

Использование модифицированного «неодимового» полибутадиена в рецептуре обкладки конвейерных лент

Татьяна А. Ярцева	¹	yrceva@bk.ru	 0000-0001-8175-6210
Ольга В. Карманова	¹	karolga@mail.ru	 0000-0002-2360-5892
Наталья А. Михалева	²	n.mikhaleva@orgkhim.com	
Алексей В. Ткачев	³	tkachevalv@vsk.sibur.ru	 0000-0002-6912-4947

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² Обособленное подразделение ООО ПСК «БИОСИНТЕЗ», Ленинский пр-т, д.2, оф.1, г. Воронеж, 394014, Россия

³ АО «Воронежсинтезкаучук», Ленинский пр-т, д.2, г. Воронеж, 394014, Россия

Аннотация. В настоящее время в рецептурах конвейерных лент для улучшения прочностных показателей и износостойкости резин используют бутадиеновый каучук в дозировке до 50 масс. ч. Представлены результаты исследования свойств обкладочных резиновых смесей и резин на основе комбинации полиизопрена, бутадиен-стирольного сополимера и полибутадиена, применяемых для изготовления конвейерных лент. Предложено использование в рецептуре обкладки конвейерных лент модифицированного «неодимового» полибутадиена (СКД-НД-М), при получении которого в качестве модификатора использовали полифункциональное гетероциклическое соединение. Образец отличался повышенным содержанием 1,4-цис звеньев, узким ММР и вязкостью по Муни на уровне каучуков, полученных без модификатора. В качестве образцов сравнения использовали серийные марки каучуков, полученных на разных каталитических системах: титановой (СКД) и неодимовой (СКД-НД). Отмечено существенное снижение энергозатрат при изготовлении резиновых смесей на основе модифицированного каучука по сравнению с резиновой смесью на основе СКД. Установлено, что применение СКД-НД-М вместо СКД позволило достигнуть улучшения технологических свойств резиновых смесей и их вулканизационных характеристик, обеспечить требуемый уровень физико-механических свойств вулканизатов и эксплуатационных показателей обкладочных резин. Отмечено улучшение сопротивления раздиру резин, а также остаточной деформации при сжатии, оцененной при 100°C и 125°C, при использовании в рецептуре обкладочной резины вместо каучука «титанового» каучука, модифицированного «неодимового» полибутадиена. Замена СКД-НД на модифицированный аналог обеспечила снижение показателя истирания обкладки конвейерной ленты, что положительно скажется на увеличении срока службы изделий на его основе.

Ключевые слова: бутадиеновый каучук, модифицированный цис -1,4 полибутадиен, конвейерная лента.

The use of modified "neodymium" polybutadiene in the formulation of the outer lining of conveyor belts

Tatiana A. Yartseva	¹	yrceva@bk.ru	 0000-0001-8175-6210
Olga V. Karmanova	¹	karolga@mail.ru	 0000-0002-2360-5892
Natalia A. Mikhaleva	²	n.mikhaleva@orgkhim.com	
Alexey V. Tkachev	³	tkachevalv@vsk.sibur.ru	 0000-0002-6912-4947

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² BIOSINTEZ Production and Service Company ООО, 2, Leninsky Av., Voronezh, 394014, Russia

³ JSC "Voronezhskintezkauchuk", Leninsky pr-t, 2, Voronezh, 394014, Russia

Abstract. Currently, in the formulations of conveyor belts, polybutadiene rubber used with a content of up to 50 mass parts to improve the strength and wear resistance of rubbers. The results of a study of the properties of covering rubber compounds and rubbers based on a combination of polyisoprene, styrene-butadiene copolymer and polybutadiene used for the manufacture of conveyor belts were presented. The use of modified "neodymium" polybutadiene (SKD-ND-M), in the preparation of which a polyfunctional heterocyclic compound was used as a modifier, was proposed in the formulation of the lining of conveyor belts. This sample was characterized by an increased content of 1,4-cis units, a narrow MWD and a Mooney viscosity at the level of rubbers obtained without a modifier. We used serial brands of rubbers obtained on different catalytic systems: titanium (SKD) and neodymium (SKD-ND) as reference samples. A significant reduction in energy consumption in the manufacture of rubber compounds based on modified rubber in comparison with the rubber compound based on SKD was noted. It has been established that the use of SKD-ND-M instead of SKD made it possible to achieve an improvement in the technological properties of rubber compounds and their vulcanization characteristics, to ensure the required level of physical and mechanical properties of vulcanizates and performance indicators of lining rubbers. An improvement in the tear resistance of rubbers, as well as in compression set at 100°C and 125°C, when using modified "neodymium" polybutadiene in the lining rubber formulation instead of SKD rubber, was revealed. Replacing SKD-ND with a modified analogue provided a reduction in the abrasion rate of the conveyor belt lining, which will positively affect the increase in the service life of products based on it.

Keywords: butadiene rubber, modified cis -1,4 polybutadiene, conveyor belt

Для цитирования

Ярцева Т.А., Карманова О.В., Михалева Н.А., Ткачев А.В. Использование модифицированного «неодимового» полибутадиена в рецептуре обкладки конвейерных лент // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 85. № 2. С. 276–281. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-276-281

For citation

Yartseva T.A., Karmanova O.V., Mikhaleva N.A., Tkachev A.V. The use of modified "neodymium" polybutadiene in the formulation of the outer lining of conveyor belts. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 85. no. 2. pp. 276–281. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-276-281

Введение

В связи с ужесточением требований к эксплуатационным характеристикам резинотехнических изделий, работающих в сложных условиях особую актуальность, приобретают исследования, направленные на совершенствование конструкции изделий, материалов и технологии их изготовления. К таким изделиям относится конвейерная лента, являющаяся гибким элементом транспортирующей установки, передающей тяговые усилия от приводного барабана и несущей транспортируемый груз [1]. Это основная часть ленточного конвейера, поскольку обычно стоимость конвейерной ленты и ее ремонта за полный срок эксплуатации конвейера в несколько раз выше стоимости механического оборудования и его монтажа: до 50 % капитальных и до 30 % эксплуатационных расходов при строительстве и обслуживании конвейерной установки приходится на стоимость и эксплуатацию конвейерной ленты [2]. Ленты используют для транспортировки руд черных и цветных металлов, крепких горных пород кусками, известняка и других абразивных материалов, поэтому они должны иметь высокую прочность при растяжении, обеспечивающую передачу тягового усилия с учетом коэффициента запаса прочности; низкое удлинение при рабочей нагрузке, что обеспечивает минимальный ход натяжных устройств конвейера и снижение числа перестыковок ленты в процессе эксплуатации. Кроме того, они должны иметь стойкость к ударным нагрузкам, износу обкладки, продольным порывам и порезам, расслоению, распространению разрушения после частичного повреждения, сохранение прочностных и эксплуатационных характеристик в процессе эксплуатации [3].

В рецептурах обкладки конвейерных лент, особенно эксплуатирующихся при пониженных температурах, для улучшения прочностных показателей, износостойкости и морозостойкости резин используют бутадиеновый каучук в дозировке до 50 масс. ч. [4]. В настоящее время проводятся работы по созданию новых марок бутадиеновых и бутадиен-стирольных каучуков, полученных с применением разветвляющих или функционализирующих агентов [5-7], которые характеризуются узким молекулярно-массовым распределением и обеспечивают улучшение эксплуатационных свойств резин на их основе. Как известно, улучшению упруго-прочностных свойств резин способствует снижение коэффициента полидисперсности каучука, увеличение стерео-регулярности его микроструктуры [8], при этом, как правило, повышаются износостойкость и долговечность резин [9]. Однако при переработке таких каучуков как правило,

возникает ряд проблем, связанных с корректировкой рецептуры резиновых смесей и режимов их изготовления, что может привести к повышению энергозатрат на переработку, усложнению и удорожанию рецептуры резиновой смеси, что требует дополнительного обоснования целесообразности применения таких каучуков. В этой связи исследование возможности и целесообразности применения модифицированных бутадиеновых каучуков в рецептуре конвейерных лент является актуальной задачей.

Целью работы явилось исследование свойств резиновых смесей и резин, полученных по рецептуре износостойкой обкладки конвейерных лент на основе различных бутадиеновых каучуков.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись резиновые смеси предназначенные для изготовления обкладки конвейерных лент, полученные на основе тройной комбинации каучуков: изопреновый, бутадиен-стирольный, бутадиеновый в соотношении 33:34:33, соответственно. В работе использовали следующие бутадиеновые каучуки:

- СКД-Ti - синтезированный на титановой каталитической системе: содержание 1,4-цис-звеньев - 92,2 % масс.; вязкость по Муни (ML(1+4) 100°C) - 45,2 ед., полидисперсность (M_w/M_n) - 2,6;

- СКД-НД - синтезированный на неодимовой каталитической системе: содержание 1,4-цис-звеньев - 96,5 % масс., вязкостью по Муни - 45,3 усл ед., полидисперсность - 2,6;

- модифицированный «неодимовый» каучук шифра СКД-НД-М, при получении которого в качестве модификатора использовали полифункциональное гетероциклическое соединение. Образец отличался повышенным содержанием 1,4-цис-звеньев - 98,4 % масс. и низкой полидисперсностью - 2,3. Вязкость по Муни модифицированного образца - 44,5 усл. ед., то есть близка к показателю каучуков СКД-НД и СКД-Ti.

Таким образом исследовали три типа образцов: серийный на основе СКД-Ti и два опытных на основе СКД-НД и СКД-НД-М.

Резиновые смеси получены в резиносмесителе Intermix 1.5 по рецептуре, представленной в таблице 1 по двух-стадийному режиму смешения. На первой стадии температура загрузки ингредиентов составляла 65°C, температура выгрузки 155±5°C, на второй стадии начальная температура составляла 45°C, температура выгрузки 105±5°C. Резиновую смесь после первой стадии подвергали вылежке в течении 4 часов, после чего проводили вторую стадию смешения.

Для оценки технологических свойств резиновых смесей использовали ротационный вискозиметр Муни (ASTM D 1646) и анализатор перерабатываемости резин RPA-2000 (ф. «Alpha Technologies») при 0,1 Гц и 100°C в диапазоне деформаций от 1 до 450 %. Оценка технологических свойств осуществляли по значению вязкости по Муни резиновой смеси после 1 и 2 стадии смешения.

Вулканизационные характеристики резиновых смесей определяли на приборе MDR 2000 в течение 30 мин при температуре $T=160^{\circ}\text{C}$, амплитуде колебаний $0,50^{\circ}$, частоте колебаний 1,7 Гц (ASTM D 5289).

Физико-механические испытания проведены на разрывной машине Zwick/Roell/Z005 согласно ASTM D 412-98.

Анализ упруго-гистерезисных свойств резин осуществляли с использованием прибора DMA 242 E Artemis (ф. Netzsch) при частоте деформации 10 Гц; амплитуде динамической деформации 1%.

Таблица 1.
Рецептура износостойкой обкладки
конвейерных лент

Table 1.
Recipe for wear-resistant lining of conveyor belts

Наименование ингредиента Ingredients	Мас.ч Phr
Каучук СКИ-3 Rubber SKI-3	33,0
Каучук СКС-30АРКМ-15/ Rubber SKS-30 ARKM-15	33,0
Каучук СКД-Ті* или СКД-НД** или СКД-НД-М** Rubber SKD-Ti* or SKD-ND** or SKD-M**	34,0
Серпа Sulfur	1,0
Оксид цинка Zinc oxide	3,0
Кислота стеариновая Stearic acid	1,0
Ускорители вулканизации Vulcanization accelerators	2,3
Техуглерод Carbon black	60,0
Минеральные наполнители Mineral fillers	10,0
Мягчители и пластификаторы Softeners and plasticizers	19,0
Противостарители Antioxidants	1,9
Итого Total	198,2

Обсуждение результатов

В ходе анализа пласто-эластических свойств исследуемых резиновых смесей установлено, что при замене СКД-Ті на СКД-НД наблюдается увеличение вязкости по Муни после 1 и 2 стадий на 12-15 %, а при использовании СКД-НД-М повышение вязкости по Муни незначительно (2-3 %) относительно образца СКД-Ті (рисунок 1, а), что свидетельствует о лучшей перерабатываемости резиновых смесей на основе СКД-НД-М по сравнению с СКД-НД.

Отмечено улучшение диспергирования наполнителей при использовании СКД-НД-М, что подтверждается более низким значением

показателя эффекта Пейна $\Delta G'$ 1-100%, кПа (рисунок 1, б), характеризующим взаимодействие каучука с наполнителем [10].

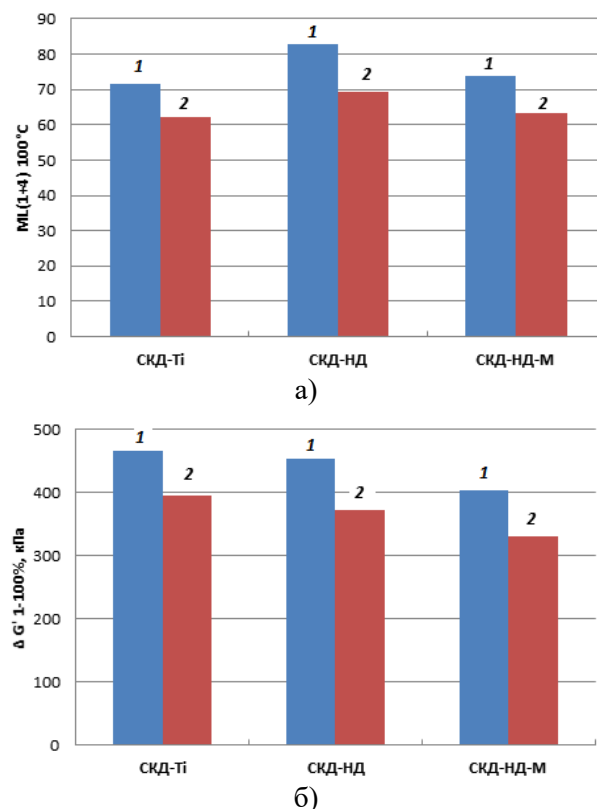


Рисунок 1. Вязкость по Муни резиновых смесей на основе разных марок бутадиеновых каучуков: 1 - после первой стадии смешения; 2 - после второй стадии смешения.

Figure 1. Mooney viscosity of rubber compounds based on different brands of butadiene rubber: 1 - after the first stage of mixing; 2 - after the second stage of mixing.

В таблице 2 приведены результаты исследования вулканизационных характеристик исследуемых резиновых смесей. Установлено, что применение в рецептуре СКД-НД-М обуславливает увеличение продолжительности индукционного периода (τ_s) и сокращение времени достижения оптимума вулканизации (τ_{90}) по сравнению с образцами на основе СКД-Ті и СКД-НД, что приводит к повышению общей скорости вулканизации (v).

Сопротивление раздиру резин обкладки конвейерных лент является важным показателем, характеризующим его эксплуатационные свойства, так как в процессе эксплуатации лент часто происходят порезы и разрывы острыми кромками транспортируемого материала. Установлено, что введение в рецептуру износостойкой обкладки конвейерной ленты каучука СКД-НД-М позволило повысить сопротивление раздиру резин ~ на 8% по сравнению с серийной резиной на основе СКД-Ті (рисунок 2, а).

При анализе износостойкости обкладки конвейерной ленты установлено, что применение в рецептуре СКД-НД и СКД-НД-М обуславливает значительное снижение показателя истирания, что вероятно связано с особенностями структуры, а именно снижением полидисперсности и проявлением эффекта гелеобразования в процессе получения каучука [11].

Анализ физико-механических свойств резин на основе исследуемых каучуков показал, что условная прочность при растяжении образцов на основе СКД-НД-М выше по сравнению с резиной, содержащей каучук СКД-НД (~ на 7%). По условной прочности при растяжении резин на основе СКД-НД-М и СКД-Ті получены близкие значения (таблица 3).

Таблица 2.

Вулканизационные характеристики резиновых смесей на основе бутадиеновых каучуков

Table 2.

Vulcanization characteristics of rubber compounds based on butadiene rubbers

Наименование показателей* Properties	СКД-Ті SKD-Ti	СКД-НД SKD-ND	СКД-НД-М SKD-M
M_L , дН·м / M_L , dN·m	2,8	3,0	2,8
M_H , дН·м / M_H , dN·m	15,0	15,8	14,6
t_{s1} , мин / t_{s1} , min	4,2	4,5	5,2
t_{25} , мин / t_{25} , min	5,4	5,6	6,3
t_{50} , мин / t_{50} , min	6,8	6,9	7,6
t_{90} , мин / t_{90} , min	13,2	12,5	12,9
v , мин ⁻¹ / v , min ⁻¹	11,1	12,5	13,0

* M_L и M_H – минимальный и максимальные крутящие моменты, соответственно; t_{s1} – время начала вулканизации; t_{25} , t_{50} , t_{90} – время достижения заданной степени вулканизации (25 50 90 %), v – скорость вулканизации, мин⁻¹

* M_L и M_H – the minimum and maximum torques, respectively; t_{s1} – is the start time of vulcanization; t_{25} , t_{50} , t_{90} – time to reach the desired degree of vulcanization (25 50 90 %), v – curing speed, min⁻¹

Таблица 3.

Физико-механические характеристики вулканизатов на основе бутадиеновых каучуков

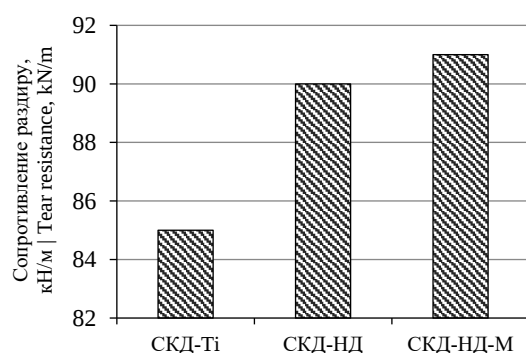
Table 3.

Physical and mechanical characteristics and elastic-hysteresis properties of vulcanizates based on butadiene rubbers

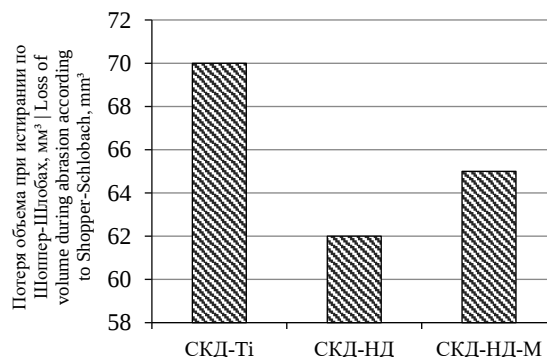
Наименование показателей* Properties*	СКД-Ті SKD-Ti	СКД-НД SKD-ND	СКД-НД-М SKD-M
f_{100} , МПа / f_{100} , MPa	1,9	2,0	1,8
f_{300} , МПа / f_{300} , MPa	6,6	7,0	5,9
f_p , МПа / f_p , MPa	20,7	19,8	21,1
ϵ_p , %	682	634	715
H_A , усл.ед. / H_A , units	71	71	69
E , %	37	39	40
ОДС, 25 %, 72 ч 100 °С / Residual deformation in static compression, 25 %, 72 ч 100 °С	86	83	88
ОДС, 25 %, 72 ч 125 °С / Residual deformation in static compression, 25 %, 72 ч 100 °С	93	91	101

* f_{100} , f_{300} – условное напряжение при заданном удлинении (100, 300 %); f_p – условная прочность при растяжении; ϵ_p – относительное удлинение при разрыве; H_A – твердость по Шору А; E – эластичность по отскоку

* f_{100} , f_{300} – nominal stress at a given elongation (100, 300 %); f_p – tensile strength; ϵ_p – elongation at break; H_A – Shore A hardness; E – elasticity



а)



б)

Рисунок 3. Эксплуатационные характеристики резин на основе разных марок бутадиеновых каучуков: а – потеря объема при истирании; б – сопротивление раздиру.

Figure 3. Performance characteristics of rubbers based on different brands of butadiene rubbers: a – loss of volume during abrasion; b – tear resistance.

Таким образом, в результате проведенных сравнительных исследований свойств резиновых смесей и резин, полученных по рецептуре обкладки конвейерных лент при использовании различных бутадиеновых каучуков, выявлено, что использование модифицированного полибутадиена приводит к улучшению технологических свойств резиновой смеси по сравнению с СКД-НД, улучшению физико-механических показателей его вулканизатов относительно СКД-Тi и СКД-НД,

а также значительному повышению показателей сопротивления раздиру и стойкости к стиранию по сравнению с серийной резиной.

Улучшение технологических свойств резиновых смесей при сохранении высокого уровня показателей вулканизатов может быть обусловлено улучшением взаимодействия между наполнителем и полимером, а также за счет образования микрогеля, способного выступать в роли структурного пластификатора.

Литература

- 1 Ерофеева Н.В., Чеботова И.Н. Методы повышения долговечности конвейерных лент на горячих грузопотоках // III Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве». 2014. С. 28-29.
- 2 Голиков Г.Ф. Изучение характера износа обкладок-эффективный путь создания условий для повышения долговечности конвейерных лент // Каучук и резина. 2017. Т. 76. №. 5. С. 298-301.
- 3 Коптев С.С., Коровин В.В. Зарождение производства резиновых технических изделий в Курской области // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. №. 4. С. 210-215.
- 4 Каблов В.Ф., Аксёнов В.И. Современные тенденции применения каучуков и наполнителей в рецептуре резин // Промышленное производство и использование эластомеров. 2018. №. 3. С. 24-34.
- 5 Джабаров Г.В., Лынова А.С., Ярцева Т.А., Туренко С.В. и др. Морозостойкий полибутадиен, полученный на неодимовой каталитической системе // Каучук и резина. 2020. Т. 79. №. 4. С. 180-185.
- 6 Перфелёва С.А., Шашок Ж.С., Шкодищ В.Ф., Кочнев А.М. Влияние структуры бутадиеновых каучуков на технические свойства шинных резин // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. №. 2. С. 183-186.
- 7 Pogodaev A.K., Karmanova O.V., Pogodaev A.K., Firsova A.V. et al. Synthesis and properties of functionalized styrene-butadiene rubbers // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2019. V. 54. № 6. P. 1137–1140.
- 8 Ярцева Т.А., Лагунова С.А., Лынова А.С., Ткачев А.В. Неодимовый полибутадиен, модифицированный тетрахлоридом олова и тетрахлоридом кремния. Свойства каучука и резин на их основе // Промышленное производство и использование эластомеров. 2017. № 3-4. С. 45-49.
- 9 Галимова Е.М., Галимова А.Г. Сахабутдинов А.Г., Коробейникова О.А. Сравнительная оценка характеристик промышленных полибутадиенов, полученных на разных каталитических системах // Каучук и резина. 2018. Т. 77. № 3. С. 142-147.
- 10 Jalal M., Nassir N., Jalal H. Waste tire rubber and pozzolans in concrete: A trade-off between cleaner production and mechanical properties in a greener concrete // Journal of Cleaner production. 2019. V. 238. P. 117882. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117882
- 11 Золотарев В.Л., Левенберг И.П., Ковалева Л.А., Зуев А.А. и др. 1,4-цис-полибутадиен и морозостойкость резин на его основе // Производство и использование эластомеров. 2020. №3-4. С 3-7.
- 12 Wang H., Yang L., Rempel G.L. Homogeneous hydrogenation art of nitrile butadiene rubber: a review // Polymer Reviews. 2013. V. 53. №. 2. P. 192-239. doi: 10.1080/15583724.2013.776586
- 13 Hou G., Tao W., Liu J., Zhang X. et al. Effect of the structural characteristics of solution styrene-butadiene rubber on the properties of rubber composites // Journal of Applied Polymer Science. 2018. V. 135. №. 24. P. 45749. doi: 10.1002/app.45749
- 14 Yang R., Song Y., Zheng Q. Payne effect of silica-filled styrene-butadiene rubber // Polymer. 2017. V. 116. P. 304-313. doi: 10.1016/j.polymer.2017.04.003
- 15 Peterson S.C. Utilization of low-ash biochar to partially replace carbon black in styrene-butadiene rubber composites // Journal of Elastomers & Plastics. 2013. V. 45. №. 5. P. 487-497. doi: 10.1177/0095244312459181
- 16 Qu L., Yu G., Xie X., Wang L. et al. Effect of silane coupling agent on filler and rubber interaction of silica reinforced solution styrene butadiene rubber // Polymer Composites. 2013. V. 34. №. 10. P. 1575-1582. doi: 10.1002/pc.22554
- 17 Lin Y., Liu S., Peng J., Liu L. The filler-rubber interface and reinforcement in styrene butadiene rubber composites with graphene/silica hybrids: A quantitative correlation with the constrained region // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2016. V. 86. P. 19-30. doi: 10.1016/j.compositesa.2016.03.029
- 18 Yang Q., Yu S., Zhong H., Liu T. et al. Gas products generation mechanism during co-pyrolysis of styrene-butadiene rubber and natural rubber // Journal of Hazardous Materials. 2021. V. 401. P. 123302. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123302
- 19 Choi S.S., Ko E. Novel test method to estimate bound rubber formation of silica-filled solution styrene-butadiene rubber compounds // Polymer testing. 2014. V. 40. P. 170-177. doi: 10.1016/j.polymertesting.2014.09.003
- 20 Shi J., Zou H., Ding L., Li X. et al. Continuous production of liquid reclaimed rubber from ground tire rubber and its application as reactive polymeric plasticizer // Polymer degradation and stability. 2014. V. 99. P. 166-175. doi: 10.1016/j.polymdgradstab.2013.11.010

References

- 1 Erofeeva N.V., Chebotova I.N. Methods for increasing the durability of conveyor belts on hot cargo flows. III International scientific and practical conference. "Modern trends and innovations in science and production". 2014. pp. 28-29. (in Russian).
- 2 Golikov G.F. The study of the nature of the wear of the facings is an effective way to create conditions for increasing the durability of conveyor belts. *Kauchuk i rezina*. 2017. vol. 76. no. 5. pp. 298-301. (in Russian).
- 3 Koptev S.S., Korovin V.V. The origin of the production of rubber technical products in the Kursk region. *Proceedings of the South-Western State University*. 2013. no. 4. pp. 210-215. (in Russian).
- 4 Kablov V.F., Aksenov V.I. Modern trends in the use of rubbers and fillers in the formulation of rubber. *Industrial production and use of elastomers*. 2018. no. 3. pp. 24-34. (in Russian).

- 5 Dzhaharov G.V., Lynova A.S., Yartseva T.A., Turenko S.V. Frost-resistant polybutadiene obtained on a neodymium catalytic system. *Kauchuk i rezina*. 2020. vol. 79. no. 4. pp. 180-185. (in Russian).
- 6 Perfeleva S.A., Shashok Zh.S., Shkodich V.F., Kochnev A.M. Influence of the structure of butadiene rubbers on the technical properties of tire rubber. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2015. vol. 18. no. 2. pp. 183-186. (in Russian).
- 7 Pogodaev A.K., Karmanova O.V., Pogodaev A.K., Firsova A.V. et al. Synthesis and properties of functionalized styrene-butadiene rubbers. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2019. vol. 54. no. 6. pp. 1137-1140.
- 8 Yartseva T.A., Lagunova S.A., Lynova A.S., Tkachev A.V. Neodymium polybutadiene modified with tin tetrachloride and silicon tetrachloride. Properties of rubber and rubber based on them. *Industrial production and use of elastomers*. 2017. no. 3-4. pp. 45-49. (in Russian).
- 9 Galimova E.M., Galimova A.G., Sakhabutdinov A.G., Korobeynikova O.A. Comparative evaluation of the characteristics of industrial polybutadienes obtained on different catalytic systems. *Kauchuk i rezina*. 2018. vol. 77. no. 3. pp. 142-147. (in Russian).
- 10 Jalal M., Nassir N., Jalal H. Waste tire rubber and pozzolans in concrete: A trade-off between cleaner production and mechanical properties in a greener concrete. *Journal of Cleaner production*. 2019. vol. 238. pp. 117882. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117882
- 11 Zolotarev V.L., Levenberg I.P., Kovaleva L.A., Zuev A.A. et al. 1,4-cis-polybutadiene and frost resistance of rubber based on it. *Production and use of elastomers*. 2020. no. 3-4. pp. 3-7. (in Russian).
- 12 Wang H., Yang L., Rempel G.L. Homogeneous hydrogenation of nitrile butadiene rubber: a review. *Polymer Reviews*. 2013. vol. 53. no. 2. pp. 192-239. doi: 10.1080/15583724.2013.776586
- 13 Hou G., Tao W., Liu J., Zhang X. et al. Effect of the structural characteristics of solution styrene-butadiene rubber on the properties of rubber composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2018. vol. 135. no. 24. pp. 45749. doi: 10.1002/app.45749
- 14 Yang R., Song Y., Zheng Q. Payne effect of silica-filled styrene-butadiene rubber. *Polymer*. 2017. vol. 116. pp. 304-313. doi: 10.1016/j.polymer.2017.04.003
- 15 Peterson S.C. Utilization of low-ash biochar to partially replace carbon black in styrene-butadiene rubber composites. *Journal of Elastomers & Plastics*. 2013. vol. 45. no. 5. pp. 487-497. doi: 10.1177/0095244312459181
- 16 Qu L., Yu G., Xie X., Wang L. et al. Effect of silane coupling agent on filler and rubber interaction of silica reinforced solution styrene butadiene rubber. *Polymer Composites*. 2013. vol. 34. no. 10. pp. 1575-1582. doi: 10.1002/pc.22554
- 17 Lin Y., Liu S., Peng J., Liu L. The filler-rubber interface and reinforcement in styrene butadiene rubber composites with graphene/silica hybrids: A quantitative correlation with the constrained region. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2016. vol. 86. pp. 19-30. doi: 10.1016/j.compositesa.2016.03.029
- 18 Yang Q., Yu S., Zhong H., Liu T. et al. Gas products generation mechanism during co-pyrolysis of styrene-butadiene rubber and natural rubber. *Journal of Hazardous Materials*. 2021. vol. 401. pp. 123302. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123302
- 19 Choi S.S., Ko E. Novel test method to estimate bound rubber formation of silica-filled solution styrene-butadiene rubber compounds. *Polymer testing*. 2014. vol. 40. pp. 170-177. doi: 10.1016/j.polymertesting.2014.09.003
- 20 Shi J., Zou H., Ding L., Li X. et al. Continuous production of liquid reclaimed rubber from ground tire rubber and its application as reactive polymeric plasticizer. *Polymer degradation and stability*. 2014. vol. 99. pp. 166-175. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.11.010

Сведения об авторах

Татьяна А. Ярцева аспирант, кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yartseva@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8175-6210>

Ольга В. Карманова д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, karolga@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Наталья А. Михалева к.т.н., начальник центра технического сервиса клиентов, ООО Производственно-сервисная компания «БИОСИНТЕЗ», Ленинский проспект, д. 2, оф. 1, г. Воронеж, 394014, Россия, n.mikhaleva@orgkhim.com

Алексей В. Ткачев к.т.н., Главный технолог - начальник технического отдела, АО «Воронежсинтезкаучук», Ленинский пр-т, д.2, оф.1, г. Воронеж, Ленинский пр-т, д.2, оф.1, Воронеж, 394014, Россия, tkachevalv@vsk.sibur.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6912-4947>

Information about authors

Tatiana A. Yartseva Post-graduate student, Department of Organic Compound Technology, Polymer Processing and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19 Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russia, yartseva@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8175-6210>

Olga V. Karmanova Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, Department of Organic Compound Technology, Polymer Processing and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19 Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russia, karolga@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Natalia A. Mikhaleva Ph.D., Head of Technical Customer Service Center, LLC Production and service company "BIOSINTEZ", 2, Leninsky Av., 1, Voronezh, 394014, Russia, n.mikhaleva@orgkhim.com

<https://orcid.org/0000-0002-6912-4947>

Alexey V. Tkachev Ph.D., Technology of organic compounds, polymer processing and Chief technologist - head of the technical department, JSC Voronezhskintezkauchuk, 2, Leninsky Av., room 1, Voronezh, 394014, Russia, tkachevalv@vsk.sibur.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6912-4947>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/10/2020	После редакции 20/11/2020	Принята в печать 18/12/2020
Received 20/10/2020	Accepted in revised 20/11/2020	Accepted 18/12/2020