

**Исследование свойств резино-металлокордных композитов
в присутствии новых промоторов адгезии**

Ольга В. Карманова	¹	karolga@mail.ru	 0000-0002-2360-5892
Сергей Г. Тихомиров	¹	tikhomirov_57@mail.ru	 0000-0002-8192-0049
Елена В. Линцова	¹	alena.lintzova@ya.ru	 0000-0003-4335-5955
Любовь В. Попова	¹	luba030883@ya.ru	 0000-0002-9648-7620

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

Аннотация. Проведены исследования опытных кобальтсодержащих промоторов адгезии, полученных на основе смеси жирных кислот производства светлых растительных масел. Исследованы свойства резиновых смесей, вулканизатов, резино-металлокордных композитов, полученных с использованием опытных промоторов адгезии КК с содержанием кобальта от 7,5 до 16,5 %. Изучены пласто-эластические свойства, вулканизационные свойства бреккерных резиновых смесей на основе изопренового каучука, физико-механические свойства бреккерных резин и прочность связи в системе «резина-латунированный металлокорд». В ходе испытаний бреккерных резиновых смесей, полученных с использованием опытных промоторов адгезии и импортного аналога Манобонд 680С выявлено: пластичность опытных бреккерных резиновых смесей находилась в пределах 0,2-0,4, что указывает на удовлетворительные технологические свойства; вязкость по Муни опытных образцов ниже, чем серийного образца. Отмечено, что применение в рецептуре бреккерных резин опытных промоторов адгезии вместо Манобонд 680С способствует повышению стойкости к скорчингу. Анализ упруго-прочностных свойств бреккерных резин показал, что по условной прочности при растяжении опытные образцы уступают серийному, но резины, содержащие промоторы КК-12, КК-13,5, КК-15 соответствуют нормам контроля. Относительное удлинение при разрыве у опытных резин выше, чем у серийного образца, что свидетельствует о формировании более равномерной вулканизационной сетки в присутствии опытных продуктов. При испытании резино-металлокордных композитов отмечено, что при нормальных условиях опытные промоторы адгезии имеют преимущества по сравнению с Манобондом 680С. Однако, при повышенных температурах, в условиях солевого и паровоздушного старения незначительно уступают Манобонду 680С. Установлено, что опытные промоторы адгезии обеспечивают требуемый комплекс технических свойств бреккерных резин при содержании в них Co^{2+} 12–16,5% мас. Таким образом, можно рекомендовать промоторы адгезии КК-12, КК-13,5, КК-15 к практическому использованию в составе бреккерных резиновых смесей, что позволит заменить продукт зарубежного производства и снизить стоимость продукции.

Ключевые слова: обрешеченный металлокорд, прочность связи, промоторы, карбоксилат кобальта, композиты

**Research of the properties of rubber-cord composites in the presence
of new adhesion promoters**

Olga V. Karmanova	¹	karolga@mail.ru	 0000-0002-2360-5892
Sergey G. Tikhomirov	¹	tikhomirov_57@mail.ru	 0000-0002-8192-0049
Elena V. Lintsova	¹	alena.lintzova@ya.ru	 0000-0003-4335-5955
Lubov V. Popova	¹	luba030883@ya.ru	 0000-0002-9648-7620

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

Abstract. Studies of experimental adhesion modifiers based on a mixture of fatty acids from the production of light vegetable oils. The properties of rubber compounds and their vulcanizates obtained using experimental adhesion promoters KK with cobalt content from 7.5 to 16.5% are investigated. The plastic-elastic and vulcanization properties of the properties of breaker rubber compounds based on polyisoprene, the physical and mechanical properties of breaker rubbers and the bond strength in the “rubber-brass-plated steel cord system” were studied. When testing belt rubbers containing experienced adhesion promoters or an imported analog of Manobond 680C, the following features were revealed. The plasticity of the prototypes was in the range of 0.2-0.4. This indicates satisfactory processing properties. The Mooney viscosity of the prototypes was lower than that of the production sample. The use of experienced adhesion promoters instead of the analogue (Manobond 680C) increases the resistance to scorching. On the basis of the analysis of elastic-strength properties, it was found that in terms of the conditional tensile strength, the prototypes were inferior to the serial ones. However, rubbers containing the KK-12, KK-13.5, KK-15 promoters met the control standards. The tensile elongation at break of the experimental rubbers is higher than that of the serial sample. This may indicate the formation of a more uniform cure network in the presence of the test products. When testing rubber-metal-hard composites, it was noted that, under normal conditions, the experienced adhesion promoters have advantages over Manobond 680C. However, at elevated temperatures, under conditions of salt and steam-air aging, they are slightly inferior to Manobond 680C. It has been established that the experimental adhesion promoters provide the required set of technical properties of belt rubbers with a CO_2 + content of 12–16.5% wt. Thus, it is possible to recommend the adhesion promoters KK 12, KK-13.5, KK 15 for practical use in the composition of belt rubber compounds. This will allow replacing a foreign-made product and reducing the cost of production.

Keywords: rubber-coated steel cord, bond strength, promoters, cobalt carboxylate, composites

Для цитирования

Карманова О.В., Тихомиров С.Г., Линцова Е.В., Попова Л.В. Исследование свойств резино-металлокордных композитов в присутствии новых промоторов адгезии // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 221–226. doi:10.20914/2310-1202-2020-3-221-226

For citation

Karmanova O.V., Tikhomirov S.G., Lintsova E.V., Popova L.V. Research of the properties of rubber-cord composites in the presence of new adhesion promoters. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 221–226. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-3-221-226

Введение

Развитие современной техники требует создания материалов с улучшенным комплексом свойств. При производстве конкурентоспособных автомобильных шин, отвечающих высоким эксплуатационным требованиям, необходимо обеспечить высокую прочность связи между резиной и армирующим материалом [1–2]. Повышение адгезионной связи в системе «эластомер-металл» достигается с помощью специальных добавок – промоторов адгезии. В шинной технологии при обрешивании латунированного металлокорда используют композицию на основе полиизопрена с добавлением кобальтсодержащих промоторов адгезии, которые способствуют повышению стойкости резино-металлокордной системы к воздействию агрессивных сред [3–6]. В процессе вулканизации в резинокордном композите на границе «резиновая смесь-латунированный металлокорд» образуются связи, обеспечивающие прочное адгезионное соединение. Промоторы адгезии способствуют увеличению количества межфазных связей. В настоящее время, применяются дорогостоящие промоторы адгезии, неадаптированные под действия агрессивных сред в зоне контакта с содержанием кобальта 19–23% [7–11]. В этой связи разработка новых промоторов с пониженным содержанием кобальта, обеспечивающих высокие эксплуатационные характеристики композитов, стойкие в условиях влажного и теплового старения и экономически рентабельных, является актуальной задачей.

Цель работы – разработка промоторов адгезии бреккерных резин к латунированному металлокорду на основе отечественного сырья и изучение свойств резино-металлокордных композитов на их основе.

Материалы и методы

Новые кобальтсодержащие промоторы адгезии получены на основе смеси жирных кислот (сопутствующий продукт рафинации подсолнечного масла стадии нейтрализации свободных жирных кислот) [12–13]. Смесь жирных кислот включала, % мас.: стеариновую – 42,43; олеиновую – 15,72; линолеовую – 3,6; линоленовую – 10,63 и в малых количествах другие кислоты жирного ряда. Получены промоторы с содержанием кобальта от 7,5 до 16,5%. В шифрах опытных образцов цифра указывала на содержание кобальта в %: КК-7,5; КК-9; КК-10,5; КК-12; КК-13,5; КК-15; КК-16,5.

Для исследования свойств резиновых смесей, вулканизатов и резино-металлокордных композитов в присутствии опытных промоторов адгезии изготавливали бреккерные резиновые смеси на основе

изопренового каучука СКИ-3, в рецептуру которых вводили продукт серии КК в количестве 1,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука. Образцом сравнения выступала бреккерная резиновая смесь, содержащая известный импортный промотор адгезии Манобонд 680С с содержанием кобальта 22,5% мас. – на основе солей кобальта, стеариновой, нафтеновой, 2-этилгексановой и других кислот, содержащий 1,8% мас. борсодержащего соединения.

Резиновые смеси изготавливали на вальцах ЛБ 320–160/160 с температурой поверхности валков (60 ± 5) °С. Для физико-механических испытаний резиновые смеси вулканизовали в прессе при температуре 155 °С в течение 15 мин.

Пластичность и эластическое восстановление резиновых смесей определяли в соответствии с ГОСТ 415–75 на сжимающем пластометре Вильямса, вязкость по Муни и склонность к скорчингу резиновых смесей определяли согласно ГОСТ Р 54552–2011 на ротационном вискозиметре Муни MV2000; вулканизационные характеристики – по ГОСТ 12535–84 на безроторном вулканометре MDR-2000; упруго-прочностные свойства – по ГОСТ Р 54553 на разрывной машине РМИ-60; прочность связи резины с латунированным металлокордом – по ГОСТ ISO 5603–2013.

Результаты и обсуждение

В ходе изготовления резиновых смесей не наблюдалось технологических затруднений, диспергирование компонентов в матрице каучука происходило достаточно быстро и равномерно. Резиновая смесь имела гладкую глянцевую поверхность, ровные кромки. Возможно, присутствие смеси жирных кислот в опытных промоторах адгезии обуславливает их действие по отношению к ингредиентам резиновой смеси как диспергатора компонентов.

Для обеспечения удовлетворительного сочетания когезионных и реологических свойств бреккерных резиновых смесей предпочтительно использование каучука с исходной пластичностью 0,3–0,4. В таблице 1 приведены результаты исследования пласто-эластических свойств резиновых смесей. Пластичность всех исследуемых образцов лежит в пределах 0,30–0,40, смеси относятся к группе средней пластичности. Наблюдается снижение пластичности при увеличении содержания промоторов КК. Следует отметить, что промоторы, содержащие свыше 15% Co^{2+} обуславливают снижение эластического восстановления, но тем не менее, превосходят серийно применяемый продукт.

Результаты исследования вязкости и склонности к преждевременной подвулканизации резиновых смесей с опытными промоторами адгезии приведены в таблице 1.

Значение τ_5 при температуре испытания 120 °С должно составлять от 7 до 20 мин для мягких резиновых смесей, от 20 до 35 мин – для большинства резиновых смесей, от 35 до 80 мин – для высоконаполненных жестких

резиновых смесей. Установлено, что стойкость к скорчингу всех исследуемых смесей, оцененная по скорости подвулканизации, удовлетворительная.

Таблица 1. Пласто-эластические свойства резиновых смесей на основе каучука СКИ-3

Table 1.

Plasto-elastic properties of rubber compounds based on SKI 3 rubber

Показатель Indicator	Шифры образцов Samples Codes								
	Без промотора No promoter	Манобонд 680С Manobond 680C	КК-7,5 CC-7,5	КК-9 CC-9	КК-10,5 CC-10,5	КК-12 CC-12	КК-13,5 CC-13,5	КК-15 CC-15	КК-16,5 CC-16,5
Пластичность Plastic	0,30	0,33	0,40	0,39	0,37	0,37	0,37	0,35	0,36
Эластическое восстановление, % Elastic recovery, %	0,88	0,86	1,02	0,98	0,98	0,96	0,98	0,96	1,04
Вязкость по Муни, 100 °С, усл. ед. Mooney viscosity, 100° C, units	65	67	43	44	43	45	44	44	42
Время начала подвулканизации τ_5 , 120 °С, мин Start time of bleeding τ_5 , 120° C, min	8,2	8,0	9,0	8,7	8,5	8,5	8,2	8,2	8,3
Скорость подвулканизации ($\tau_5-\tau_{35}$), 120 °С мин Vulcanization rate ($\tau_5-\tau_{35}$), 120° C min	15,8	16,0	8,0	7,8	8,2	8,3	8,3	8,3	7,7

Проведены исследования вулканизационных характеристик резиновых смесей. Минимальный крутящий момент M_L характеризует минимальную вязкость резиновой смеси; максимальный крутящий момент M_H , характеризует жесткость вулканизата; время начала вулканизации τ_s , то есть момент времени, соответствующий увеличению M_L на 0,1 или на 0,2 Н×м (при амплитудах колебания ротора 3 или 5°, соответственно) характеризует индукционный период вулканизации; время достижения заданной степени вулканизации $\tau_s(x)$ – это момент времени соответствующий

$$M = M_L + x(M_H - M_L).$$

При $x = 0,5$

$M_{50} = M_L + 0,5(M_H - M_L)$. Оптимальное время вулканизации $\tau_s(90)$ – момент времени, соответствующий

$$M_{90} = M_L + 0,9(M_H - M_L).$$

Скорость вулканизации v_c (% / мин) рассчитывали по формуле

$$v_c = 100 / \tau_s(90) - \tau_s.$$

Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Вулканизационные характеристики резиновых смесей на основе каучука СКИ-3

Table 2.

Vulcanization characteristics of rubber compounds based on rubber SKI-3

Показатель Indicator	Шифры образцов Samples codes							
	Манобонд 680С Manobond 680C	КК-7,5 CC-7,5	КК-9 CC-9	КК-10,5 CC-10,5	КК-12 CC-12	КК-13,5 CC-13,5	КК-15 CC-15	КК-16,5 CC-16,5
M_{min} , дН×м (dH×m)	6,5	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,5	6,5
M_{max} , дН×м (dH×m)	56,5	48,0	47,5	47,0	47,0	47,5	47,5	48,0
τ_s , мин (min)	2,62	1,52	1,54	1,54	1,52	1,58	1,63	1,63
τ_{25} , мин (min)	4,20	2,37	2,12	2,25	2,25	2,25	2,30	2,25
τ_{50} , мин (min)	5,60	3,12	3,1	2,95	2,96	2,98	3,10	2,95
τ_{90} , мин (min)	8,30	7,10	6,75	7,00	7,00	7,5	7,15	7,25
v_c , мин ⁻¹ (min ⁻¹)	17,6	17,92	19,19	18,31	18,24	16,89	17,95	17,79

Полученные результаты по влиянию опытных продуктов на вулканизационные свойства композиций на их основе свидетельствуют о синергическом действии карбоксилатов кобальта, содержащихся в промоторах адгезии

КК: проявляются тенденции к сокращению времени начала вулканизации (t_s), оптимального времени вулканизации (t_{90}) и увеличению скорости вулканизации.

В технологии эластомеров введением модификаторов удается улучшить упруго-прочностные свойства вулканизатов. Основная функция промоторов КК направлена на повышение прочностных и адгезионных свойств. Однако, присутствие Co^{2+} может оказывать негативное влияние на физико-механические показатели, поэтому они были исследованы на следующем этапе. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Анализ упруго-прочностных свойств бреккерных резин (таблица 3) показал, что условное напряжение при удлинении на 300% (M_{300}) при использовании промотора КК-9 снижается на 0,7 МПа по сравнению с серийным образцом и идентично таковому при использовании промотора КК-15. По условной прочности при

растяжении (f_p) опытные образцы уступают серийному, резины, содержащие промоторы КК-12, КК-13,5, КК-15 соответствуют нормам контроля. Относительное удлинение при разрыве (ϵ) у опытных резин выше, чем у серийного образца. Это свидетельствует о формировании более равномерной вулканизационной сетки в присутствии опытных продуктов. Относительное остаточное удлинение у всех исследуемых образцов находится на одном уровне и не превышает порогового значения для бреккерных резин 20%.

Для определения прочности связи резины с латунированным металлокордом марки 9Л20/35 измеряли усилие, при котором выдергивали одиночный металлокорд из подготовленного образца резины. Результаты испытаний представлены в таблице 4.

Таблица 3.

Физико-механические показатели вулканизатов на основе каучука СКИ-3

Table 3.

Physico-mechanical properties of rubber-based vulcanizates SKI-3

Показатель Indicator	Шифры образцов Samples Codes								
	Норма Norm	Манобонд 680С Manobond 680С	КК-7,5 CC-7,5	КК-9 CC-9	КК-10,5 CC-10,5	КК-12 CC-12	КК-13,5 CC-13,5	КК-15 CC-15	КК-16,5 CC-16,5
M_{300} МПа (MPa)	17,2±1,2	16,5	14,8	15,2	16,3	15,9	15,8	15,4	15,1
f_p , МПа (MPa)	≥19,6	22,3	16,9	17,2	18,2	19,8	19,4	19,6	17,9
ϵ , %	≥450	415	420	430	420	410	450	450	440
Θ , %	≤20	16	18	16	18	20	18	18	16

Таблица 4.

Прочность связи бреккерной резины на основе СКИ-3 с латунированным металлокордом 9Л20/35

Table 4.

Bond strength of model rubber based on SKI-3 with brass-plated steel cord 9Л20/35

Показатель Indicator	Шифры образцов Samples Codes								
	Манобонд 680С Manobond 680С	КК-7,5 CC-7,5	КК-9 CC-9	КК-10,5 CC-10,5	КК-12 CC-12	КК-13,5 CC-13,5	КК-15 CC-15	КК-16,5 CC-16,5	
Прочность связи резины с металлокордом, Н Bond strength of rubber with steel cord, N	Нормальные условия Normal conditions								
	379	318	324	332	328	324	324	332	
	После теплового старения, 100°C, 72 ч After heat aging, 100°C, 72 h								
	170	198	196	210	212	218	202	204	
	После паровоздушного старения, 90°C, 96 ч After steam aging, 90°C, 96 h								
202	224	228	228	246	232	232	228		

Из данных таблицы видно, что опытные промоторы адгезии обеспечивают удовлетворительный уровень адгезионных свойств в системе «резина-латунированный металлокорд» в нормальных условиях и имеют преимущества по сравнению с Манобондом 680С, но незначительно уступают ему при повышенных температурах и в условиях паровоздушного старения.

Заключение

Кобальтосодержащие промоторы адгезии, полученные на основе смеси жирных кислот – сопутствующего продукта рафинации подсолнечного масла обеспечивают требуемый

комплекс технических свойств бреккерных резиновых смесей и вулканизатов при содержании Co^{2+} 12–16,5% мас.

Исследования пластичности исследуемых бреккерных резиновых смесей находятся в области, характеризующей их удовлетворительные технологические свойства ($P = 0,2-0,4$); вязкость по Муни опытных продуктов ниже, чем у серийного образца. Стойкость к скорчингу резиновых смесей несколько ниже при использовании Манобонда 680С. Скорость подвулканизации резиновых смесей в присутствии опытных промоторов адгезии меньше

по сравнению с серийным, что обеспечивает некоторые преимущества опытных резиновых смесей при предотвращении их преждевременного сшивания.

При изучении способности промоторов адгезии обеспечивать высокий уровень адгезионных свойств в системе «резина-латунированный металлокорд» установлено, что в нормальных условиях опытные промоторы адгезии имеют преимущества по сравнению с Манобондом 680С. Однако, при повышенных температурах,

в условиях солевого и паровоздушного старения незначительно уступают Манобонду 680С. В целом опытные промоторы адгезии обеспечивают высокий уровень адгезионных свойства бреккерных резин, соответствующих нормам контроля. Таким образом, можно рекомендовать промоторы адгезии КК-12, КК-13,5, КК-15 к практическому использованию в составе бреккерных резиновых смесей, что позволит заменить продукт зарубежного производства и снизить стоимость продукции.

Литература

- 1 Каблов В. Ф., Лапин С. В., Пучков А. Ф., Шмурак И. Л. Некоторые промоторы адгезии металлокорда к резине // Каучук и резина. 2014. № 5. С. 42–43.
- 2 Шмурак И.Л. Адгезионное соединение металлокорд/резина. Формирование и разрушение // Каучук и резина. 2013. № 2. С. 56–60.
- 3 Бобров А.П., Дробот Д.В., Лякин Ю.И., Потапов Е.Э. и др. Кобальт – наномодифицированный шунгит как промотор адгезии резин к металлокорду // Каучук и резина. 2016. № 3. С.24–28.
- 4 Buytaert G., Luo Y. Study of Cu–Zn–Co ternary alloy-coated steel cord in cobalt-free skim compound // Journal of Adhesion Science and Technology. 2014. V. 28 (6).
- 5 Касперович А.В., Кротова О.А., Потапов Е.Э., Резниченко С.В. и др. Влияние модифицированного кремнезема на адгезию резины к металлокорду // Вестник Технологического университета. 2014. Т. 17 (14). С. 235-237.
- 6 Бородин И.А., Кокорева М.А., Кострыкина Г.И., Судзиловская Т.Н. Модификаторы адгезии к латунированному металлокорду с пониженным содержанием кобальта // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2011. Т. 54. № 10. С. 138–140.
- 7 Веснин Р.Л., Фомин С.В., Хлебов Г.А., Шилов И.Б. Применение кобальтовой соли имида 2-сульфобензойной кислоты для повышения прочности крепления резины к латунированному металлокорду // Химическая промышленность сегодня. 2011. № 6. С. 47–49.
- 8 Shi X., Ma M., Lian C., Zhu D. Investigation of the effects of adhesion promoters on the adhesion properties of rubber/steel cord by a new testing technique // Journal of Applied Polymer Science. 2014. V. 131. № 3. P. 39460.
- 9 Jeon G.S. On characterizing microscopically the adhesion interphase for the adhesion between metal and rubber compound part III. Effect of brass-plating amount for brass-plated steel cord // Journal of Adhesion Science and Technology, 2017. V. 31. № 24. P. 2667–2681.
- 10 Behroozinia P., Taheri S., Mirzaeifar R. An investigation of intelligent tires using multiscale modeling of cord-rubber composites // Mechanics Based Design of Structures and Machines, 2018. V. 46. № 2. P. 168-183.
- 11 Yin H., Pang J.-G., Shi X.-Y., Song Y.-Z. et al. Study on adhesion mechanism of resorcinol formaldehyde cobalt salt adhesive system in tire skeleton materials // Acta Polymerica Sinica. 2020. V. 51. № 4. P. 411–420.
- 12 Попова Л.В., Карманова О.В., Репин П.С., Тарасевич Т.В. Нетрадиционные методы утилизации побочных продуктов масложировой промышленности // Экология производства. 2012. № 12. С. 42.
- 13 Пат. № 2415886, RU, C08K 5/09, C08L 21/00, C07C 51/41. Соли металлов жирных кислот и способ их получения / Карманова О.В., Кудрина Г.В., Осошник И.А., Енютина М.В. и др. № 2008142776/05; Заявл. 28.10.2008; Опубл.10.04.2011, Бюл. №10.
- 14 Tao Y., Windslow R., Stevens C.A., Bilotti E. et al. Development of a novel fatigue test method for cord-rubber composites // Polymer Testing. 2018. V. 71. P. 238-247.
- 15 Lecercle A., Vignal V., Dufour F. Corrosion behaviour of rubber-metal composites in sodium chloride solution and role of inhibitors added in the rubber or in the solution // Electrochimica Acta. 2019. V. 305. P. 484-492.

References

- 1 Kablov V.F., Lapin S.V., Puchkov A.F., Shmurak I.L. Some promoters of adhesion of steel cord to rubber. Rubber and rubber. 2014. no. 5. pp. 42–43. (in Russian).
- 2 Shmurak I.L. Adhesion joint metal cord / rubber. Formation and destruction. Rubber and rubber. 2013. no. 2. pp. 56-60. (in Russian).
- 3 Bobrov A.P., Drobot D.V., Lyakin Yu.I., Potapov E.E. et al. Cobalt - nanomodified shungite as a promoter of rubber adhesion to steel cord. Rubber and rubber. 2016. no. 3. pp. 24–28. (in Russian).
- 4 Buytaert G., Luo Y. Study of Cu–Zn–Co ternary alloy-coated steel cord in cobalt-free skim compound. Journal of Adhesion Science and Technology. 2014. vol. 28 (6).
- 5 Kasperovich A.V., Krotova O.A., Potapov E.E., Reznichenko S.V. et al. The effect of modified silica on the adhesion of rubber to steel cord. Bulletin of the Technological University. 2014. vol. 17 (14). pp. 235–237. (in Russian).
- 6 Borodin I.A., Kokoreva M.A., Kostrykina G.I., Sudzilovskaya T.N. Adhesion modifiers to brass-plated steel cord with low cobalt content. Izv. universities. Chemistry and chemical technology. 2011. vol. 54. no. 10. pp. 138–140. (in Russian).
- 7 Vesnin R.L., Fomin S.V., Khlebov G.A., Shilov I.B. The use of cobalt salt of 2-sulfobenzoic acid imide to increase the strength of rubber attachment to brass-plated steel cord. Chemical Industry Today. 2011. no. 6. pp. 47–9. (in Russian).

- 8 Shi X., Ma M., Lian C., Zhu D. Investigation of the effects of adhesion promoters on the adhesion properties of rubber / steel cord by a new testing technique. *Journal of Applied Polymer Science*. 2014. vol. 131. no. 3. pp. 39460.
- 9 Jeon G.S. On characterizing microscopically the adhesion interphase for the adhesion between metal and rubber compound part III. Effect of brass-plating amount for brass-plated steel cord. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2017. vol. 31. no. 24. pp. 2667–2681.
- 10 Behroozinia P., Taheri S., Mirzaeifar R. An investigation of intelligent tires using multiscale modeling of cord-rubber composites. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. 2018. vol. 46. no. 2. pp. 168–183.
- 11 Yin H., Pang J.-G., Shi X.-Y., Song Y.-Z. et al. Study on adhesion mechanism of resorcinol formaldehyde cobalt salt adhesive system in tire skeleton materials. *Acta Polymerica Sinica*, 2020. vol. 51. no. 4. pp. 411–420.
- 12 Popova L.V., Karmanova O.V., Repin P.S., Tarasevich T.V. Unconventional methods of utilization of by-products of the oil and fat industry. *Ecology of production*. 2012. no. 12. pp. 42. (in Russian).
- 13 Karmanova O.V., Kudrina G.V., Ososhnik I.A., Enyutina M.V. et al. Salts of metals of fatty acids and method of their production. Patent RF, no. 2415886, 2011.
- 14 Tao Y., Windslow R., Stevens C.A., Bilotti E. et al. Development of a novel fatigue test method for cord-rubber composites. *Polymer Testing*. 2018. vol. 71. pp. 238-247.
- 15 Lecercle A., Vignal V., Dufour F. Corrosion behaviour of rubber-metal composites in sodium chloride solution and role of inhibitors added in the rubber or in the solution. *Electrochimica Acta*. 2019. vol. 305. pp. 484-492.

Сведения об авторах

Ольга В. Карманова д.т.н., зав. 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>

Сергей Г. Тихомиров д.т.н., профессор, кафедра информационных и управляющих систем, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tikhomirov_57@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8192-0049>

Елена В. Линцова магистрант, кафедра технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, alena.lintzova@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4335-5955>

Любовь В. Попова к.т.н., доцент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, luba030883@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9648-7620>

Information about authors

Olga V. Karmanova Dr. Sci. (Engin.), head of department, technology of organic compounds, processings of polymers and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, karolga@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

Sergey G. Tikhomirov Dr. Sci. (Engin.), professor, information and control systems department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tikhomirov_57@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8192-0049>

Elena V. Lintzova graduate student, technology of organic compounds, processings of polymers and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, alena.lintzova@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4335-5955>

Lubov V. Popova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial ecology, equipment of chemical and petrochemical productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Voronezh state university of engineering technologies, Russia, luba030883@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9648-7620>

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 23/07/2020	После редакции 01/08/2020	Принята в печать 11/08/2020
Received 23/07/2020	Accepted in revised 01/08/2020	Accepted 11/08/2020