

Физико-механические показатели вулканизатов на основе жидкофазно-наполненного озонированным техническим углеродом каучука СКС-30 АРК

Иван С. Киселев ¹ kiselev_is87@bk.ru  0009-0001-6318-7648

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

Аннотация. В настоящее время в производстве эластомеров востребован высокоокисленный технический углерод, поскольку серийный выпускаемый печной технический углерод содержит небольшое количество кислородсодержащих групп. Высокоактивный наполнитель может быть получен модификацией печного технического углерода с использованием сильных окислителей, таких как азотная кислота, озона, перекись водорода и др. Использование эластомерной композиции, полученной жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного технического углерода П324 с бутадиен-стирольным каучуком СКС-30АРК на стадии выделения из латекса с использованием ультразвукового воздействия, сокращает продолжительность смешения на стадии изготовления резиновых смесей более, чем 51%. Показано, что вулканизаты на основе эластомерной композиции, полученной жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного технического углерода П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса имеют более высокие прочностные показатели в сравнении с вулканизатами, полученными традиционным «сухим» смешением каучука с печным техническим углеродом П324. Выявлено, что эмульгирующие компоненты латекса, адсорбированные нанодисперсным техническим углеродом, способствуют стабилизации и диспергированию ингредиентов резиновых смесей. Установлено, что исключение из состава резиновых смесей стеарина не только снижает время изготовления резиновых смесей, но и способствует получению вулканизатов с более высокими прочностными показателями, что, по-видимому, указывает на избыточное содержание эмульгирующих агентов в эластомерной композиции. Достижение повышенных физико-механических показателей вулканизатов на основе эластомерной композиции, полученных жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного технического углерода П324 с каучуком СКС 30АРК на стадии латекса с использованием ультразвукового воздействия, требует корректировки состава и режимов вулканизации.

Ключевые слова: бутадиен-стирольный каучук, технический углерод, резиновые смеси, эластомерная композиция, ультразвуковое воздействие.

Physico-mechanical properties of vulcanizates based on liquid-phase-filled with ozonated technical carbon rubber SKS-30 ARK

Ivan S. Kiselev ¹ kiselev_is87@bk.ru  0009-0001-6318-7648

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

Abstract. Currently, highly oxidized carbon black is in demand in the production of elastomers, since commercially produced furnace carbon black contains a small amount of oxygen-containing groups. A highly active filler can be obtained by modifying furnace carbon black using strong oxidizing agents such as nitric acid, ozone, hydrogen peroxide, etc. Using an elastomeric composition obtained by liquid-phase combining an aqueous dispersion of ozonolized carbon black P324 with styrene-butadiene rubber SKS-30ARK at the isolation stage made of latex using ultrasonic influence, reduces the mixing time at the stage of manufacturing rubber compounds by more than 51%. It has been shown that vulcanizates based on an elastomeric composition obtained by liquid-phase combining an aqueous dispersion of ozonolized carbon black P324 with SKS-30ARK rubber at the latex stage have higher strength properties in comparison with vulcanizates obtained by traditional “dry” mixing of rubber with furnace carbon black P324. It was revealed that emulsifying latex components adsorbed by nanodispersed carbon black contribute to the stabilization and dispersion of rubber compound ingredients. It has been established that the exclusion of stearin from the composition of rubber compounds not only reduces the production time of rubber compounds, but also contributes to the production of vulcanizates with higher strength properties, which apparently indicates an excessive content of emulsifying agents in the elastomeric composition. Achieving increased physical and mechanical properties of vulcanizates based on an elastomeric composition, obtained by liquid-phase combining an aqueous dispersion of ozonized carbon black P324 with SKS 30ARK rubber at the latex stage using ultrasonic influence, requires adjustment of the composition and vulcanization modes.

Keywords: styrene-butadiene rubber, carbon black, rubber compounds, elastomeric composition, ultrasonic exposure.

Введение

Теоретические основы достижения высоких физико-механических показателей эластомеров

Для цитирования

Киселев И.С. Физико-механические показатели вулканизатов на основе жидкофазно-наполненного озонированным техническим углеродом каучука СКС-30 АРК // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 265–271. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-265-271

базируется на поверхностных явлениях, главным образом, происходящих на разделе фаз между каучуком и структурными элементами

For citation

Kiselev I.S. Physico-mechanical properties of vulcanizates based on liquid-phase-filled with ozonated technical carbon rubber SKS-30 ARK. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 265–271. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-265-271

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

технического углерода (ТУ). Эффект повышения физико-механических показателей вулканизатов лимитируется структурно-химическими характеристиками ТУ [1]:

- высокой удельной внешней поверхности;
- повышенной структурностью – морфологией дисперсных частиц;
- энергетической активностью и неоднородностью поверхности.

Высокое содержание на поверхности ТУ функциональных групп, в частности, кислородосодержащих групп (карбоксильных, гидроксильных, карбонильных, гидроперекисных, хиноновых, лактоновых и т. п.), способствует энергетической активности, что косвенного характеризуется показателем рН водной дисперсии.

В настоящее время в производстве эластомеров востребован высокоокисленный ТУ, поскольку серийный выпускаемый печной ТУ содержит небольшое количество кислородсодержащих групп. Высокоактивный наполнитель может быть получен модификацией печного ТУ с использованием сильных окислителей, таких как азотная кислота, озона, перекись водорода и др. [2].

Установлено [3], что образцы печной сажи марок № 234 и № 330 с содержанием кислорода 4–8% и низким значением рН могут быть получены низкотемпературным окислением озono-кислородной смесью, при этом удельная поверхность образцов существенно не изменяется. Значения рН, параметры текстуры, содержание кислорода в окисленной печной саже N234 близки к показателям канальной сажи K354. Таким образом, ТУ N234 может быть рекомендован в качестве заменителя канальной сажи в рецептурах каучуков специального назначения и красящих композиций.

Достижение равномерного распределения высокоактивного наполнителя по эластомерной матрице без использования стабилизирующих агентов обеспечивается жидкофазным наполнением эмульсионного каучука на стадии латекса водной дисперсией ТУ в ультразвуковом поле. Стабилизация водной дисперсии ТУ достигается в результате сорбции ТУ эмульгирующих агентов с защитной поверхности латексных глобул на развитую поверхность ТУ, образующуюся в результате ультразвукового воздействия (УЗВ), что сопровождается нарушением агрегативной устойчивости латексной системы. Наполнение эмульсионного каучука СКС-30-АРК на стадии латекса водной дисперсии ТУ при УЗВ высокой интенсивности исключает использование коагулирующих агентов при его выделении из наполненной латексной системы.

Полученные жидкофазным совмещением эластомерные композиции (ЭК) обеспечивают необходимые физико-механические показатели вулканизатов на их основе [4–6].

Следует отметить, что при получении ЭК, жидкофазно-наполненной нанодисперсным ТУ с использованием УЗВ, отмечается глубокое извлечение эмульгирующих агентов – лейканола и смеси смоляных и жирных кислот, а также их производных из латексной системы. В качестве подтверждения сорбционного извлечения эмульгирующих агентов нанодисперсным ТУ в ультразвуковом поле является коэффициент поверхностного натяжения стоков на уровне 72.1 мН/м, что указывает на высокую степень извлечения мыл смоляных и жирных кислот и их производных из водной фазы латекса [6].

Важным аспектом при разработке составов резиновой смеси на основе эмульсионных каучуков является наличие эмульгатора и коагулирующего агента, которые используются при синтезе и выделении каучука. Известно, что бутадиен-нитрильные каучуки производятся по двум технологиям: непрерывным способом с применением парафинатных эмульгаторов (БНКС) и периодическим способом с применением сульфонатных эмульгаторов (СКН). Сульфонатный эмульгатор практически полностью удаляется из каучука после отмывки, поэтому эти каучуки можно считать условно чистыми. В каучуках БНКС, полученных с использованием парафинатных эмульгаторов, остается до 5% некаучуковых примесей, в основном, стеаратов кальция или магния, в зависимости от применяемого коагулянта [7].

Показано [8], что введение стеарата кальция в резиновую смесь на основе бутадиен-нитрильного каучука увеличивает время подвулканизации и замедляет скорость в главном периоде, что особенно заметно при высоком содержании стеарата кальция – 5 масс. ч. По снижению величины $\Delta S'$ вулканизатов можно судить, что добавление стеарата кальция уменьшает густоту вулканизационной сетки, особенно для каучука БНКС-28АН, в котором соли жирных кислот присутствуют изначально.

Таким образом, использование ЭК, жидкофазно-наполненной озонализированным ТУ в ультразвуковом поле, при получении вулканизатов с повышенными физико-механическими свойствами требует корректировки рецептуры резиновой смеси.

Материалы и методы

В качестве объекта изучения использовали образцы ЭК, полученные с использованием латекса с производства каучука марки СКС-30АРК

(АО «Воронежсинтезкаучук»), при соотношении компонентов, мас. ч. – каучук.: ТУ П324 = 100 : 100.

Контрольный образец. Резиновая смесь изготовлена с использованием каучука СКС-30АРК и ТУ П324 в соответствии со стандартом – Смеси резиновые для испытания. Приготовление, смешение и вулканизация. Оборудование и методы / ИСО 2393–94/.

Опытный образец № 1. Резиновая смесь изготовлена с использованием ЭК, полученной жидкофазным совмещением водной дисперсии ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса при УЗВ.

Опытные образцы № 2 и № 3. Резиновые смеси изготовленные с использованием ЭК, полученными жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса при УЗВ. Образец № 3 изготовлен без использования стеарина в резиновой смеси.

При изучении пласто-эластических свойств резиновых смесей и физико-механических показателей вулканизатов на основе ЭК использовали стандарт «Определение прочностных свойств при растяжении / ИСО 37–94/».

Обсуждение

Определяющую роль в процессе вулканизации имеет поверхностно-активные вещества, которые влияют на растворимость и диспергирование ингредиентов резиновых смесей. Растворимость многих вулканизирующих веществ в малополярных полимерах крайне низка и составляет десятки и сотые доли процента. Кинетические закономерности процесса вулканизации и топология вулканизационных структур определяется характером распределения низкомолекулярных веществ в объеме полимера [9].

Для жидкофазно-наполненного нанодисперсным ТУ П324 бутадиен-стирольного каучука характерно высокое содержание смоляных и жирных кислот, а также их производных, которые находятся на поверхности раздела фаз и проявляют свойства структурного пластификатора. В источнике [10] показано, что мыла канифоли как стабилизатор сажевых дисперсий имеет преимущества в сравнении с другими поверхностно-активными веществами, например лейканолом, так при коагуляции саженнаполненных систем в кислой среде выделяющиеся абиетиновые кислоты, нерастворимые в воде, которые остаются в полимере и улучшают его свойства.

Эмульгирующие агенты, адсорбированные высокоразвитой поверхностью ТУ, обеспечивают стабилизирующую способность при жидкофазном наполнении и способствуют получению ЭК с равномерным распределением активного наполнителя по объему эластомерной матрицы. Однако избыточное содержание эмульгирующих агентов оказывает существенное влияние на характер взаимодействий на межфазных поверхностях, изменяют коллоидно-химическую природу систем и протекающих в них химических реакций. В этой связи изготовление и обработка резиновых смесей на основе ЭК, содержащих лейканол, смоляные и жирные кислоты, а также их производные, сопровождается протекают одновременно сложных процессов, которые накладываются друг на друга и, в зависимости от природы используемого полимера и ингредиентов резиновых смесей, меняют свою направленность. В этой связи были изготовлены резиновые смеси по рецептам (таблица 1), различающихся способом получения ЭК и содержанием стеарина.

Таблица 1.

Состав резиновых смесей

Table 1.

Composition of rubber compounds

Компонент Component	Содержание массовых частей в образце Mass fraction content in the sample			
	Контроль Control	1	2	3
Каучук СКС -30АРК SKS 30ARC rubber	100,0	-	-	-
ЭК (каучук СКС-30АРК и ТУ П324) ЕС (rubber SKS 30ARC and TU P324)	-	160,0	-	-
ЭК (каучук СКС-30АРК и озонизированный ТУ П324) ЕК (rubber SKS 30ARK and ozonolised TU P324)	-	-	160,0	160,0
Сера Sulphur	2,0	2,0	2,0	2,0
Стеарин Stearin	1,5	1,5	1,5	-
Цинковые белила Zinc white	5,0	5,0	5,0	5,0
Тиазол 2МБС Thiazole 2MBS	3,0	3,0	3,0	3,0
ТУ П324 TU P324	60,0	-	-	-

Использование ЭК, полученной жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса потребовала корректировку режимов смешения при изготовлении резиновых смесей. Из таблицы 2 следует, что сокращается стадия вальцевание смеси при использовании ЭК с 5 до 3 минут, т. к. требуется только формование листа. Исключаются стадии: 3, 4, 5 и 6 – порционного введения ТУ с подрезкой смеси. В результате использования ЭК, полученной жидкофазным совмещением водной суспензией ТУ с каучуком на стадии латекса, позволяет сократить продолжительность изготовления резиновых смесей с 27 до 15 минут.

Аналогичные положительные моменты, в частности, сокращение цикла смешения на 10%, улучшение перерабатываемости композиции и повышение стойкости к скорчингу достигаются

благодаря лучшему диспергированию в эластомерной матрице ингредиентов с применением композиционного активатора вулканизации в виде оксида цинка со смесью жирных кислот [11].

Адсорбированные ТУ эмульгирующие компоненты латекса находятся на поверхности раздела фаз и способствуют равномерному распределению ингредиентов резиновой смеси по эластомерной матрице. Однако содержание поверхностно-активных веществ порядка 5% (мас.) в каучуке способствует снижению поверхности контактов межфазного взаимодействия, что будет негативно влиять на образование вулканизационной сетки. Установлено [6], что при жидкофазном наполнении каучука на стадии латекса достигается максимальная степень сорбирования ТУ лейканола, смоляных и жирных кислот, а также их производных, что указывает на возможное избыточное содержание поверхностно-активных веществ в ЭК [12–20].

Таблица 2.

Режимы смешения

Table 2.

Mixing modes

Стадия State	Ингредиент Ingredient	Продолжительность обработки образцов Processing time of the samples			
		Контроль Control	1	2	3
1	Вальцевание каучука или эластомерной композиции Rolling of rubber or elastomeric composition	5	3	3	3
2	Подрезка смеси на $\frac{3}{4}$ вала с каждой стороны через 30 сек Trimming the mixture by $\frac{3}{4}$ of the roll on each side after 30 sec.	+	+	+	+
3	Введение $\frac{1}{2}$ части ТУ Introduction of $\frac{1}{2}$ part of TR	5	-	-	-
4	Подрезка смеси на $\frac{3}{4}$ вала по три раза с каждой стороны Trimming the mixture $\frac{3}{4}$ of a roll three times on each side.	+	-	-	-
5	Введение $\frac{1}{2}$ части ТУ и ТУ порциями Introducing $\frac{1}{2}$ of the TR and TR in portions	5	-	-	-
6	Подрезка смеси по три раза с каждой стороны Trimming the mixture three times on each side	+	-	-	-
7	Введение стеарина Introduction of stearin	2	2	2	-
8	Подрезка смеси по одному разу с каждой стороны Trimming the mixture once on each side	+	+	+	+
9	Введение цинковых белил, Тиазола 2МБС и серы Introduction of zinc whitewash, Thiazol 2MBS and sulphur	5	5	5	5
10	Подрезка смеси на $\frac{3}{4}$ вала по пять раз с каждой стороны Trimming the mixture $\frac{3}{4}$ of the roll five times on each side	2	2	2	2
11	Срезка смеси, сдвиг валков до зазора 0,6–0,8. Пропуск смеси шесть раз Cutting the mixture, shifting the rolls to a gap of 0.6-0.8. Passing the mixture six times	2	2	2	2
12	Листование смеси по толщине $(2,1 \pm 0,3)$ мм Sheeting the mixture to a thickness of (2.1 ± 0.3) mm	1	1	1	1
	Снятие смеси Removing the mixture	27	15	15	13

Исключение стеарина из состава резиновой смеси, полученной с использованием опытного образца 2, позволяет не только сократить время изготовления на 2 минуты, а главное получить вулканизаты с более высокими физико-механическими показателями, что отражено в таблице 3.

Физико-механические показатели опытных образцов вулканизатов при использовании ЭК полученных жидкофазным совмещением водной дисперсией озонизированного ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса в первом приближении находятся на уровне опытных образцов вулканизатов, наполненных канальным ТУ К354.

Таблица 3.

Физико-механические показатели опытных образцов вулканизатов

Table 3.

Physico-mechanical parameters of vulcanizate prototypes

Показатель Index	Значения показаний образцов Sample readings			
	Контроль Control	№ 1	№ 2	№ 3
Условное напряжение при 100% удлинении, МПа Conditional stress at 100% elongation, MPa	2,2	2,4	2,7	2,8
Условное напряжение при 300% удлинении, МПа Conditional stress at 300% elongation, MPa	9,5	11,9	12,6	12,9
Условная прочность при растяжении, МПа Conditional tensile strength, MPa	19,1	20,9	22,3	22,5
Относительное удлинение при разрыве, % Relative elongation at break, %	460	475	475	470

Изготовление и обработка резиновых смесей на основе ЭК, содержащих лейканол, смоляные и жирные кислоты, а также их производные, сопровождается протеканием одновременно сложных процессов. Течение разнонаправленных процессов при получении вулканизатов зависит от содержания функциональных групп в нанодисперсном ТУ, степени диспергирования ингредиентов резиновой смеси и сопутствующих примесей, что требует основательной корректировки состава резиновой смеси при её изготовлении.

Заключение

Изготовление резиновых смесей на основе ЭК, полученных жидкофазным совмещением водной дисперсией нанодисперсного ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии выделения из латекса с использованием УЗВ, сопровождается сокращением продолжительности вальцевания ЭК с 5 до 3 минут и исключением стадии порционного введения ТУ с подрезкой смеси общей продолжительностью 10 минут и исключение стадии стеарина – 2 мин. В итоге суммарное сокращение продолжительности процесса изготовления резиновой смеси составляет 14 минут.

Адсорбированные эмульгирующие компоненты латекса нанодисперсным ТУ в ходе

приготовления ЭК способствуют равномерному распределению ингредиентов по эластомерной матрице при изготовлении резиновой смеси. Использование ЭК с озонолизированным ТУ П324 обеспечивает получение вулканизатов с высокими прочностными показателями, которые находятся на уровне показателей для вулканизатов, содержащих канальный ТУ К354.

Следует отметить, что резиновые смеси и вулканизаты на их основе, которые были приготовлены с использованием ЭК, полученной жидкофазным совмещением водной дисперсией озонолизированного ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса с использованием УЗВ, содержат избыточное количество поверхностно-активных веществ в виде эмульгирующих агентов. Показано, что исключение из состава резиновой смеси стеарина способствует повышению физико-механических показателей вулканизатов.

Достижение повышенных физико-механических показателей вулканизатов на основе ЭК, полученных жидкофазным совмещением водной дисперсией озонолизированного ТУ П324 с каучуком СКС-30АРК на стадии латекса с использованием УЗВ, требует корректировки состава и режимов вулканизации.

Литература

- 1 Гюльмисарян Т.Г., Капустин В.М., Левенберг И.П. Технический углерод: морфология, свойства, производство. М.: Каучук и резина, 2017. 586 с.
- 2 Li N., Ma X., Zha Q., Kim K. et al. Maximizing the number of oxygen-containing functional groups on activated carbon by using ammonium persulfate and improving the temperature-programmed desorption characterization of carbon surface chemistry // Carbon. 2011. V. 49. №. 15. P. 5002-5013.
- 3 Кохановская О.А., Княжева О.А., Бакланова О.Н., Леонтьева Н.Н. и др. Изменение физико-химических и функциональных свойств технического углерода при окислительной обработке озоно-кислородной смесью // Материалы конференции АИР. Сер. «Нефтегазовая инженерия, ОГЭ 2021». 2021. С. 020007.
- 4 Пат. № 2640522, RU, C08C1/00 Способ изготовления наполненного высокоактивным техуглеродом каучука / Корчагин В.И., Фалыхов М.И., Киселев И.С., Кузнецова Е.Е., Протасов А.В. № 2016116845; Заявл. 28.04.2016; Оpubл. 09.01.2018, Бюл. № 1.
- 5 Корчагин В.И., Киселев И.С., Челноков П.А., Протасов А.В. и др. Жидкофазное наполнение печным техуглеродом бутадиен-стирольных каучуков в ультразвуковом поле // Каучук и резина. 2022. Т. 81. № 3. С. 134–137.
- 6 Корчагин В.И., Протасов А.В., Киселев И.С. Влияние нанодисперсного технического углерода на агрегативную устойчивость бутадиен-стирольного латекса при жидкофазном наполнении в ультразвуковом поле // Журнал прикладной химии. 2023. Т. 96. №. 2. С. 169–176.

- 7 Папков В.Н., Гусев Ю.К., Ривин Э.М., Блинов Е.В. Бутадиен-нитрильные каучуки. Синтез и свойства. Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГУИТ», 2014. 218 с.
- 8 Боброва И.И., Котова С.В., Наумова Ю.А. Исследование влияния стеарата кальция на свойства резиновых смесей и их вулканизатов на основе бутадиен-нитрильных каучуков // Промышленное производство и использование эластомеров. 2012. № 4. С. 3–7.
- 9 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.
- 10 Пуценко С.К.Н. Опыт совместного использования кремнезема и латекса в бетонных технологиях // Дороги и мосты. 2020. № 1. С. 205–223.
- 11 Карманова О.В., Фатнева А.Ю., Тихомиров С.Г., Попова Л.В. Влияние состава композиционного активатора вулканизации на свойства эластомеров // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 4. С. 178–183.
- 12 Дорофеев А.Н., Курлянд С.К., Земский Д.Н. Влияние нового противостарителя на физико-механические свойства резин // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 4. С. 128–129.
- 13 Zaimova D., Bayraktar E., Miskioglu I. Design and manufacturing of new elastomeric composites: Mechanical properties, chemical and physical analysis // Composites Part B: Engineering. 2016. V. 105. P. 203–210.
- 14 Kim I.J., Ahn B., Kim D., Lee H.J. et al. Vulcanizate structures and mechanical properties of rubber compounds with silica and carbon black binary filler systems // Rubber Chemistry and Technology. 2021. V. 94. № 2. P. 339–354.
- 15 Formela K., Wąsowicz D., Formela M., Hejna A. et al. Curing characteristics, mechanical and thermal properties of reclaimed ground tire rubber cured with various vulcanizing systems // Iranian Polymer Journal. 2015. V. 24. P. 289–297.
- 16 Malas A., Das C. K. Effect of graphene oxide on the physical, mechanical and thermo-mechanical properties of neoprene and chlorosulfonated polyethylene vulcanizates // Composites Part B: Engineering. 2015. V. 79. P. 639–648.
- 17 Maciejewska M., Siwek M. The influence of curing systems on the cure characteristics and physical properties of styrene-butadiene elastomer // Materials. 2020. V. 13. № 23. P. 5329. doi: 10.3390/ma13235329
- 18 Shuhaimi N.H.H., Ishak N.S., Othman N., Ismail H. et al. Effect of different types of vulcanization systems on the mechanical properties of natural rubber vulcanizates in the presence of oil palm leaves-based antioxidant // Journal of Elastomers & Plastics. 2014. V. 46. № 8. P. 747–764.
- 19 Mangili I., Lasagni M., Anzano M., Collina E. et al. Mechanical and rheological properties of natural rubber compounds containing devulcanized ground tire rubber from several methods // Polymer Degradation and Stability. 2015. V. 121. P. 369–377.
- 20 Paran S.M.R., Naderi G., Ghoreishy M.H.R. Effect of halloysite nanotube on microstructure, rheological and mechanical properties of dynamically vulcanized PA6/NBR thermoplastic vulcanizates // Soft Materials. 2016. V. 14. № 3. C. 127–139.

References

- 1 Gyulmisaryan T.G., Kapustin V.M., Levenberg I.P. Carbon black: morphology, properties, production. M., Kauchuk i rezina, 2017. 586 p. (in Russian).
- 2 Li N., Ma X., Zha Q., Kim K. et al. Maximizing the number of oxygen-containing functional groups on activated carbon by using ammonium persulfate and improving the temperature-programmed desorption characterization of carbon surface chemistry. Carbon. 2011. vol. 49. no. 15. pp. 5002–5013.
- 3 Kokhanovskaya O.A., Knyazheva O.A., Baklanova O.N., Leontyeva N.N. and others. Changes in the physicochemical and functional properties of carbon black during oxidative treatment with an ozone-oxygen mixture. Proceedings of the AIP conference. Ser. "Oil and Gas Engineering, OGE 2021." 2021. pp. 020007. (in Russian).
- 4 Korchagin V.I., Falyakhov M.I., Kiselev I.S., Kuznetsova E.E., Protasov A.V. Method of manufacturing rubber filled with highly active carbon black. Patent RF, no. 2640522, 2018.
- 5 Korchagin V.I., Kiselev I.S., Chelnokov P.A., Protasov A.V. and others. Liquid-phase filling of styrene-butadiene rubbers with furnace carbon black in an ultrasonic field. Rubber and Rubber. 2022. vol. 81. no. 3. pp. 134–137. (in Russian).
- 6 Korchagin V.I., Protasov A.V., Kiselev I.S. The influence of nanodispersed carbon black on the aggregative stability of styrene-butadiene latex during liquid-phase filling in an ultrasonic field. Journal of Applied Chemistry. 2023. vol. 96. no. 2. pp. 169–176. (in Russian).
- 7 Papkov V.N., Gusev Yu.K., Rivin E.M., Blinov E.V. Nitrile butadiene rubbers. Synthesis and properties. Voronezh, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "VGUIT", 2014. 218 p. (in Russian).
- 8 Bobrova I.I., Kotova S.V., Naumova Yu.A. Study of the influence of calcium stearate on the properties of rubber compounds and their vulcanizates based on nitrile butadiene rubbers. Industrial production and use of elastomers. 2012. no. 4. pp. 3–7. (in Russian).
- 9 Kablov V.F., Aksenov V.I. Modern trends in the use of rubbers and fillers in rubber formulations. Industrial production and use of elastomers. 2018. no. 3. pp. 24–34. (in Russian).
- 10 Putsenko S.K.N. Experience of joint use of silica and latex in concrete technologies. Roads and Bridges. 2020. no. 1. pp. 205–223. (in Russian).
- 11 Karmanova O.V., Fatneva A.Yu., Tikhomirov S.G., Popova L.V. Influence of the composition of a composite vulcanization activator on the properties of elastomers. Proceedings of VSUET. 2019. vol. 81. no. 4. pp. 178–183. (in Russian).
- 12 Dorofeev A.N., Kurlyand S.K., Zemsky D.N. The influence of a new antioxidant on the physical and mechanical properties of rubber. Bulletin of the Kazan Technological University. 2015. vol. 18. no. 4. pp. 128–129. (in Russian).
- 13 Zaimova D., Bayraktar E., Miskioglu I. Design and manufacturing of new elastomeric composites: Mechanical properties, chemical and physical analysis. Composites Part B: Engineering. 2016. vol. 105. pp. 203–210.
- 14 Kim I.J., Ahn B., Kim D., Lee H.J. et al. Vulcanizate structures and mechanical properties of rubber compounds with silica and carbon black binary filler systems. Rubber Chemistry and Technology. 2021. vol. 94. no. 2. pp. 339–354.
- 15 Formela K., Wąsowicz D., Formela M., Hejna A. et al. Curing characteristics, mechanical and thermal properties of reclaimed ground tire rubber cured with various vulcanizing systems. Iranian Polymer Journal. 2015. vol. 24. pp. 289–297.

16 Malas A., Das C. K. Effect of graphene oxide on the physical, mechanical and thermo-mechanical properties of neoprene and chlorosulfonated polyethylene vulcanizates. *Composites Part B: Engineering*. 2015. vol. 79. pp. 639-648.

17 Maciejewska M., Siwek M. The influence of curing systems on the cure characteristics and physical properties of styrene-butadiene elastomer. *Materials*. 2020. vol. 13. no. 23. pp. 5329. doi: 10.3390/ma13235329

18 Shuhaimi N.H.H., Ishak N.S., Othman N., Ismail H. et al. Effect of different types of vulcanization systems on the mechanical properties of natural rubber vulcanizates in the presence of oil palm leaves-based antioxidant. *Journal of Elastomers & Plastics*. 2014. vol. 46. no. 8. pp. 747-764.

19 Mangili I., Lasagni M., Anzano M., Collina E. et al. Mechanical and rheological properties of natural rubber compounds containing devulcanized ground tire rubber from several methods. *Polymer Degradation and Stability*. 2015. vol. 121. pp. 369-377.

20 Paran S.M.R., Naderi G., Ghoreishy M.H.R. Effect of halloysite nanotube on microstructure, rheological and mechanical properties of dynamically vulcanized PA6/NBR thermoplastic vulcanizates. *Soft Materials*. 2016. vol. 14. no. 3. pp. 127-139.

Сведения об авторах

Иван С. Киселев аспирант, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kiselev_is87@bk.ru
 <https://orcid.org/0009-0001-6318-7648>

Information about authors

Ivan S. Kiselev graduate student, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kiselev_is87@bk.ru
 <https://orcid.org/0009-0001-6318-7648>

Вклад авторов

Иван С. Киселев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Contribution

Ivan S. Kiselev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Поступила 15/01/2024	После редакции 02/02/2024	Принята в печать 19/02/2024
Received 15/01/2024	Accepted in revised 02/02/2024	Accepted 19/02/2024