Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Объект авторского права

УДК 678.046.36

ЛЮШТЫК
Андрей Юрьевич

ШИННЫЕ РЕЗИНЫ С КРЕМНЕКИСЛОТНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности
05.17.06 – технология и переработка полимеров и композитов

Минск 2026

Научная работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» и открытом акционерном обществе «Белшина».

Научный руководитель	**Шашок Жанна Станиславовна**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры полимерных композиционных материалов учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»
Официальные оппоненты:	**Крутько Эльвира Тихоновна**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры нефтегазопереработки и нефтехимии учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»; **Валько Наталья Георгиевна**, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой общей физики учреждения образования «Гродненского государственного университета имени Янки Купалы»
Оппонирующая организация:	Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси»

Защита состоится «11» декабря 2026 г. в 11.00 ч на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.04 при учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, ауд. 240, корп. 4.
E-mail: uss@belstu.by, тел. +375 17 379-65-62.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «04» ноября 2026 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций Е.П. Усс

ВВЕДЕНИЕ

Перспективным направлением повышения эксплуатационных характеристик шинных протекторных резин является применение в их составе кремнекислотных наполнителей (ККН). Замена технического углерода на минеральный наполнитель позволяет получать шины с более низким сопротивлением качению и более высоким сцеплением с мокрой дорогой, что приводит к меньшему расходу топлива и повышению безопасности. Использование кремнекислотного наполнителя в составе эластомерных композиций также улучшает стойкость к порезам, сколам и уменьшает теплообразование в резинах. Однако, ввиду особенностей физико-химических свойств поверхности наполнителя, он неудовлетворительно диспергируется в объеме каучуков общего назначения, что приводит к увеличению вязкости резиновой смеси, затруднению ее переработки, влиянию на процесс вулканизации и технические свойства резин. В связи с этим в состав эластомерных композиций с кремнекислотным наполнителем вводятся бифункциональные силаны или каплинг-агенты, которые могут вступать в химическую реакцию с силанольными группами на поверхности ККН и участвовать в процессе вулканизации с образованием химических связей с каучуками.

В настоящее время отсутствует информация о четкой взаимосвязи природы эластомера, физико-химических показателей кремнекислотного наполнителя и дозировки силанового агента с технологическими свойствами резиновых смесей и техническими показателями резин. Определение количественного содержания кремнекислотного наполнителя и каплинг-агента в составе протекторных эластомерных композиций с учетом влияния указанных компонентов на технологические свойства смесей и эксплуатационные показатели шинных резин является актуальной задачей в области повышения качества и конкурентоспособности отечественных легковых шин.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами. Работа выполнялась на базе центральной заводской лаборатории открытого акционерного общества «Белшина» и в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре полимерных композиционных материалов в рамках научно-исследовательской хоздоговорной работы «Разработка технологии изготовления эластомерных композиций для протектора и брекера легковых шин с повышенными эксплуатационными характеристиками» (ГР № 20192945, 2019–2023 гг.) и государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограммы «Многофункциональные и композиционные материалы» задание 4.2.12 НИР 1

«Разработка научных и технологических основ получения эластомерных композиций с кремнекислотными наполнителями для получения изделий с улучшенным комплексом свойств» (ГР № 20211616, 2021–2025 гг.). Диссертационная работа соответствует перечню «Приоритетные направление научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы (Указ Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 № 156) п. 4. Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы: композиционные и многофункциональные материалы.

Цель, задачи, объект и предмет исследования. *Цель исследования* – разработать рецептурно-технологические принципы получения шинных эластомерных композиций с кремнекислотным наполнителем с улучшенными технологическими и эксплуатационными свойствами.

Для достижения поставленной цели определены следующие *задачи*:

– установить влияние природы эластомера, марки и дозировки кремнекислотных наполнителей на пластоэластические свойства модельных резиновых смесей и распределение наполнителя в объеме эластомерной матрицы;

– исследовать влияние дозировки кремнекислотного наполнителя и каплинг-агента на вулканизационные свойства модельных резиновых смесей и упруго-прочностные показатели резин;

– установить зависимости изменения технологических и вулканизационных свойств шинных эластомерных композиций от дозировки кремнекислотного наполнителя и каплинг-агента;

– осуществить проверку полученных результатов исследований в производственных условиях.

Объект исследования – эластомерные композиции на основе каучуков общего назначения с кремнекислотным наполнителем и каплинг-агентом.

Предмет исследования – состав, структура и свойства и эластомерных композиций с кремнекислотным наполнителем и каплинг-агентом.

Выбор объектов обусловлен целью и задачами исследования.

Научная новизна.

Впервые установлено, что при изготовлении резиновых смесей на основе растворных бутадиен-стирольных каучуков с кремнекислотными наполнителями и каплинг-агентом на степень гидрофобизирования поверхности наполнителя оказывает влияние молекулярная масса полимера и наличие в нем масла-наполнителя.

Определены закономерности изменения свойств эластомерных композиций с кремнекислотными наполнителями от их физико-химических характеристик и дозировки, содержания каплинг-агента, приводящие к целенаправленному регулированию технологических свойств резиновых смесей и технических характеристик вулканизатов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Зависимости между типом и дозировкой кремнекислотного наполнителя, маркой растворного бутадиен-стирольного каучука и технологическими свойствами эластомерных композиций, позволяющие получать при равнозначном наполнении резиновые смеси с меньшей (на 5,6–29,5 %) вязкостью по Муни и более равномерным диспергированием наполнителя в объеме эластомерной матрицы (меньшим значением комплексного динамического модуля в 1,18–2,09 раза).

2. Особенности изменения вулканизационных и упруго-прочностных свойств эластомерных композиций от дозировки кремнекислотного наполнителя и каплинг-агента, способствующие получению резиновых смесей с меньшим на 2,6–10,9 % временем достижения оптимальной степени вулканизации и резин с повышенной на 4,0–21,5 % условной прочностью при растяжении.

3. Зависимости изменения технологических и вулканизационных свойств шинных резиновых смесей от дозировки кремнекислотного наполнителя и каплинг-агента, обеспечивающие получение эластомерных композиций с повышенной в 1,33–1,50 раза когезионной прочностью и меньшим на 3,0–8,8 % оптимумом вулканизации.

4. Эластомерные композиции на основе комбинации каучуков общего назначения с кремнекислотным наполнителем и каплинг-агентом, обуславливающие получение резин с повышенными в 1,34–1,94 раза показателем условного напряжения при 300 %-м удлинении и на 13,7–40,0 % сопротивлением раздиру при сохранении упруго-гистерезисных свойств на приемлемом уровне.

Личный вклад соискателя ученой степени заключается в поиске, систематизации и анализе научно-технической литературы по теме диссертации; участии совместно с научным руководителем в определении цели и задач исследования, выборе объектов и предмета исследования; в определяющем вкладе проведенных исследований лично или при непосредственном участии; интерпретации и обсуждении результатов исследования; в анализе и обработке полученных результатов, формулировке теоретических выводов по результатам исследования, подготовке публикаций; разработке рецептур шинных композиции с кремнекислотным наполнителем и их опытно-промышленной апробации.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные результаты исследований представлены и обсуждены на: II–IV Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов «Актуальные проблемы науки о полимерах» (Казань, 2021, 2023, 2024); IV и V Международных научно-технических форумах по химическим технологиям и нефтегазопереработке «НЕФТЕХИМИЯ-2021» и

«Нефтегазохимия-2022» (Минск, 2021, 2022); 86–88-ой научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием) «Технология органических веществ» (Минск, 2022–2024); LX–LXIII-ой отчетных научных конференциях преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2021–2024 годы (Воронеж, 2022–2025); XXVII–XXIX-ой научно-практических конференциях «Резиновая промышленность: сырье, материалы, технологии» (Москва, 2022–2024); Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы и инновационные решения в химической технологии» (Воронеж, 2022).

Результаты диссертационной работы внедрены в технологический процесс производства легковых шин в ОАО «Белшина» (г. Бобруйск), что подтверждено актом внедрения от 08.12.2025 г. Экономический эффект состоит в снижении себестоимости 1 т протекторной резиновой смеси на 5,1 %.

Опубликованность результатов диссертации. По результатам исследования опубликовано 25 печатных работ, в том числе 8 статей в журналах, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, 16 материалов конференций, получен 1 патент на изобретение Республики Беларусь. По теме диссертации опубликовано 5,43 авторских листа.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Полный объем диссертации 166 с., из них 14 с. занимают иллюстрации и 29 с. таблицы; 17 с. – список использованных источников, включающий 139 наименований и 25 публикаций соискателя, и приложение на 10 с.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Первая глава посвящена анализу состояния исследований в области использования кремнекислотных наполнителей в составе шинных эластомерных композиций. Применение указанного минерального наполнителя в протекторных резинах позволяет повысить сцепление шин с мокрой поверхностью дороги и понизить сопротивление качению шин, что значительно влияет на безопасность и топливную экономичность шин. Однако, полярный кремнекислотный наполнитель плохо совмещается с неполярными каучуками, что требует применения силанового агента (каплинг-агента), который позволяет создать надежную связь между эластомером и поверхностью наполнителя. При этом в научно-технической и патентной литературе отсутствуют систематизированные данные по установлению взаимосвязи природы эластомера, физико-химических показателей кремнекислотного наполнителя и дозировки каплинг-агента с технологическими особенностями изготовления и переработки резиновых смесей и характеристиками резин.

Таким образом, актуальной задачей является разработка рецептурно-технологических принципов получения шинных эластомерных композиций с кремнекислотным наполнителем, позволяющим повысить качество и конкурентоспособность выпускаемой продукции. Результаты проведенного анализа и систематизации научных работ ведущих ученых в области использования кремнекислотных наполнителей в составе эластомерных композиций позволили сформулировать цель, задачи и предмет исследования.

Во второй главе дано обоснование выбора и описание объектов и методов исследований. В качестве объектов исследований использовались модельные эластомерные композиции на основе растворных бутадиен-стирольных каучуков марок ДССК-2163 и ДССК-2560М27, различающихся содержанием стирола, 1,2-звеньев и наличием масла-наполнителя в ДССК-2560М27, а также шинные резиновые смеси на основе комбинации каучуков общего назначения (ДССК-2163 с технически специфицированным натуральным каучуком (НК) марки TSR-20 и ДССК-2560М27 со стереорегулярным бутадиеновым каучуком СКД). Для получения модельных эластомерных композиций применялись две марки кремнекислотного наполнителя Zeosil-1165MP и Zeosil Premium 200MP, различающиеся величиной удельной поверхности по адсорбции азота и цетилтриметиламмоний бромиду (ЦТАБ). В промышленных шинных рецептурах использовался высокодисперсный кремнекислотный наполнитель марки Экстрасил 150ВД. Характеристика основных свойств наполнителей приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели удельной поверхности кремнекислотных наполнителей

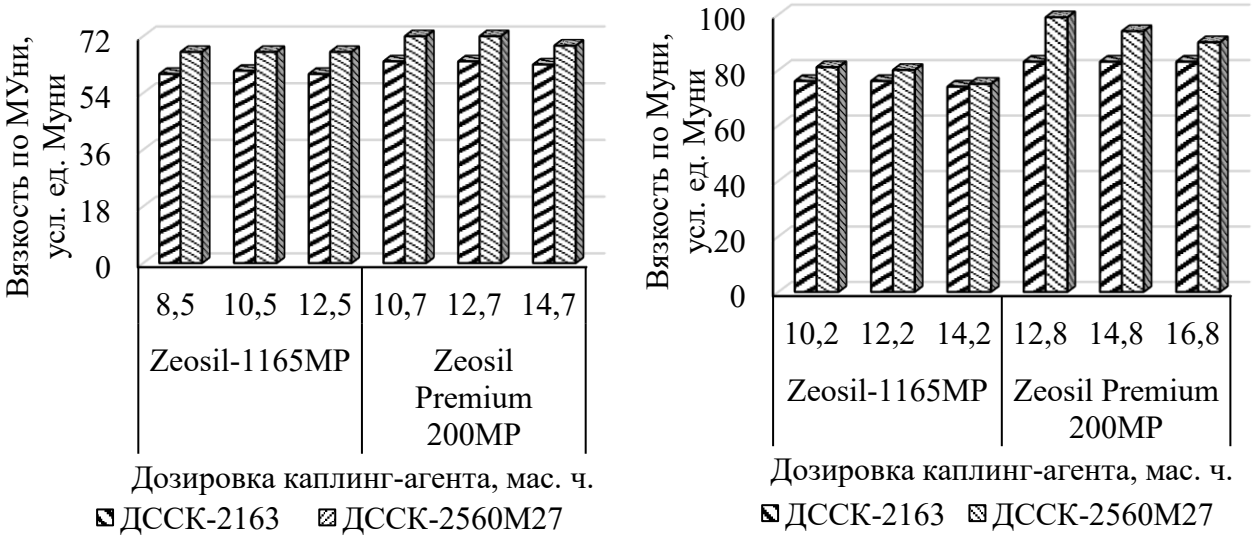
Наименование наполнителя	Удельная поверхность по адсорбции азота, $м^2/г$	Удельная поверхность по адсорбции ЦТАБ, $м^2/г$
Zeosil 1165 MP	140–180	150–190
Zeosil Premium 200MP	190–235	180–220
Экстрасил 150ВД	150–175	140–165

В качестве каплинг-агента использовался силан марки X 50-S, представляющий собой смесь бифункционального серосодержащего органосилана (бис-(триэтоксисилилпропил)тетрасульфид (торговая марка Si 69 (TESPT)) и технического углерода марки N 330 в соотношении 1:1 по массе. На основании анализа технической и научной литературы содержание каплинг-агента рассчитывалось с учетом дозировки кремнекислотного наполнителя и показателя его удельной поверхности по адсорбции цетилтриметиламмоний бромиду.

Для исследования пластоэластических свойств эластомерных композиций с кремнекислотными наполнителями применялись методы ротационной вискозиметрии согласно ГОСТ Р 54552-2011 с использованием вискозиметра

MV 2000. Определение кинетики вулканизации проводилось на безроторном реометре MDR-2000 по ГОСТ Р 54547–2011. Качественные показатели распределения кремнекислотных наполнителей в объеме эластомерной матрицы определялись на динамическом безроторном реометре RPA 2000. Упруго-прочностные характеристики резин оценивались в соответствии с ГОСТ 270-75 на разрывной машине Tensometer T 220 DC, а стойкость вулканизатов к термическому старению в воздушной среде определялась в соответствии с ГОСТ 9.024-74. Сопротивление раздиру экспериментальных образцов исследовалось согласно ГОСТ 262-93. Динамический механический анализ (ДМА) свойств резин оценивался при различных температурах на приборе DMA GABO Eplexor 500N. Полученные результаты исследований статистически обрабатывались с привлечением программного обеспечения. Определено, что относительная ошибка полученных результатов при исследовании пластоэластических и вулканизационных характеристик эластомерных композиций не превышала 2,2 %, в остальных испытаниях – 5,3 % при доверительной вероятности 0,95.

В третьей главе представлены результаты исследований модельных эластомерных композиций на основе растворных бутадиен-стирольных каучуков ДССК-2163 и ДССК-2560М27. Выявлено, что вязкость композиций существенно зависит от природы эластомера, марки и дозировки ККН. Введение исследуемых наполнителей приводит к получению смесей на основе ДССК-2163 с меньшей на 5,6–29,5 % вязкостью по сравнению с композициями из ДССК-2560М27, что обусловлено как высокой молекулярной массой маслонаполненного полимера, так и наличием в системе масла-наполнителя, который может оказывать влияние на степень протекания химической реакции между поверхностью кремнекислотного наполнителя и каплинг-агентом (рисунок 1).



а *б*

Рисунок 1 – Вязкость по Муни резиновых смесей при дозировке кремнекислотных наполнителей 60,0 мас. ч. (*а*) и 70,0 мас. ч. (*б*)

Определено, что введение более высокодисперсного кремнекислотного наполнителя Zeosil Premium 200MP приводит к получению смесей, характеризующихся большими (на 6,6–12,2 %) показателями вязкости по Муни по сравнению с композициями, содержащими Zeosil-1165MP, что обусловлено повышением уровня межфазных взаимодействий наполнителя с эластомером.

Анализ результатов значений комплексного динамического модуля показал, что на процесс диспергирования ККН в объеме эластомерной матрицы оказывают влияние как физико-химические свойства наполнителя, его дозировка в резиновой смеси, дозировка силана, так и природа эластомера (таблица 2).

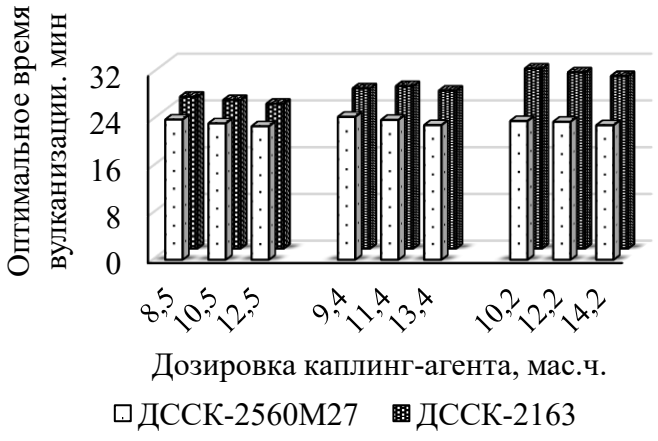
Таблица 2 – Комплексный динамический модуль модельных резиновых смесей

Марка кремнекислотного наполнителя	Дозировка наполнителя, мас. ч.	Дозировка каплинг-агента, мас. ч.	Каучук / время хранения / комплексный динамический модуль, кПа					
			ДССК-2163			ДССК-2560М27		
			1 сут.	4 сут.	7 сут.	1 сут.	4 сут.	7 сут.
Zeosil-1165MP	60	8,5	235,2	257,0	259,2	278,0	299,0	305,3
		10,5	232,4	250,2	254,7	272,2	287,9	299,7
		12,5	209,6	220,6	231,4	270,5	284,5	291,7
Zeosil Premium 200MP	60	10,7	219,9	240,6	258,4	365,1	380,0	392,9
		12,7	217,9	228,8	246,4	361,0	371,1	379,5
		14,7	215,7	220,0	244,1	336,7	359,2	365,7
Zeosil-1165MP	65	9,4	255,9	288,2	291,5	415,8	433,7	453,7
		11,4	239,9	275,4	282,7	405,2	423,5	447,5
		13,4	231,1	251,2	270,3	385,1	401,6	421,6
Zeosil Premium 200MP	65	11,8	285,7	302,4	319,9	515,5	518,4	533,5
		13,8	277,4	298,8	308,7	483,4	484,5	497,7
		15,8	256,3	271,4	300,5	474,4	481,3	492,9
Zeosil-1165MP	70	10,2	355,7	385,1	405,5	606,7	612,7	641,4
		12,2	352,4	378,2	402,7	575,9	590,3	626,3
		14,2	340,8	357,8	396,5	573,2	575,4	605,4
Zeosil Premium 200MP	70	12,8	368,2	404,0	427,7	771,1	793,1	798,2
		14,8	362,0	392,8	414,4	669,3	699,8	725,9
		16,8	345,9	385,1	409,7	649,7	680,8	718,7

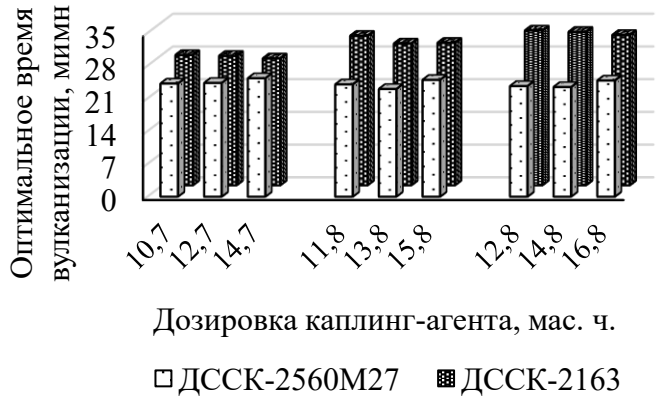
В композициях на основе маслонаполненного бутадиен-стирольного каучука ДССК-2560М27 показатели комплексного динамического модуля больше в 1,18–1,72 раза в случае наполнителя марки Zeosil-1165MP и в 1,49–2,09 раза в случае наполнителя марки Zeosil Premium 200MP по сравнению с

композициями на основе ДССК 2163, что связано с наличием масла-пластификатора в каучуке, который может снижать уровень взаимодействия поверхности наполнителя с силаном при смешении. С увеличением времени хранения резиновых смесей в объеме эластомерной матрицы усиливаются взаимодействия частиц наполнителя друг с другом – для композиций с Zeosil-1165MP на 5,6–18,4 %, а для композиций с Zeosil Premium 200MP на 3,0–17,2 %, что обусловлено различиями свойств поверхности вводимых кремнекислотных наполнителей (размером частиц, наличием функциональных групп и их реакционной способностью). Установлено, что увеличение дозировки силана X 50-S в композициях на основе маслонаполненного растворного бутадиен-стирольного каучука ДССК-2560М27 с кремнекислотным наполнителем Zeosil-1165MP приводит к уменьшению комплексного динамического модуля на 2,8–7,4 %, а с кремнеземом марки Zeosil Premium 200MP – на 7,8–15,7 %. В то же время в резиновых смесях на основе ДССК-2163 увеличение содержания каплинг-агента позволяет уменьшить комплексный динамический модуль в композициях с Zeosil-1165MP на 6,1–12,2 % и до 7,1 % в композициях с Zeosil Premium 200MP. Выявленный характер обусловлен полнотой протекания процесса гидрофобизирования поверхности наполнителя при смешении, на который оказывают влияние дисперсность наполнителя, количественное и качественное содержание функциональных групп на поверхности ККН, а также уровень межфазного взаимодействия наполнителя с полимером.

Результаты исследования кинетики вулканизации резиновых смесей показали, что увеличение дозировки каплинг-агента (рисунок 2) приводит к сокращению времени достижения оптимальной степени вулканизации резиновых смесей на основе ДССК-2163 при различном содержании наполнителя Zeosil-1165MP на 2,6–10,9 % и на 2,4–9,9 % для композиций с Zeosil Premium 200MP, в случае композиций на основе ДССК-2560М27 сокращение оптимального времени составляет 2,9–7,1 % с Zeosil-1165MP и 2,3–6,5 % с наполнителем марки Zeosil Premium 200MP. Данный характер изменения указанного показателя обусловлен повышением содержания свободной серы, образующейся из связующего агента, и тем самым ускорением формирования вулканизационной структуры. Однако, с увеличением количественного содержания наполнителя с 60,0 до 70,0 мас. ч. оптимум вулканизации увеличивается для композиций на основе ДССК-2163 на 10,2–35,6 % с Zeosil Premium 200MP и на 15,1–31,1 % для смесей с Zeosil-1165MP, а для композиций на основе ДССК-2560М27 – менее чем на 2,0 % при использовании в составе резиновых смесей наполнителя марки с Zeosil-1165MP и на 4,7–16,8 % с Zeosil Premium 200MP. В данном случае изменение времени достижения оптимальной степени вулканизации может быть обусловлено более существенными адсорбционными процессами между поверхностью высокодисперсного наполнителя и компонентами вулканизующей системы.



а



б

а) кремнекислотный наполнитель Zeosil-1165MP;
б) кремнекислотный наполнитель
Zeosil Premium 200MP

Рисунок 2 – Оптимальное время вулканизации исследуемых резиновых смесей с 60,0 мас. ч. наполнителя (при 153 ºС)

Использование в составе эластомерных композиций кремнекислотного наполнителя марки Zeosil Premium 200MP приводит к получению резин, характеризующейся большей разностью максимального и минимального крутящих моментов, т. е. плотностью сшивания, по сравнению с резинами с Zeosil-1165MP. Увеличение дозировок наполнителя и каплинг-агента в композициях на основе ДССК-2163 приводит к повышению плотности поперечного сшивания для резин с кремнеземом марки Zeosil Premium 200MP на 30,4–69,0 %, а для резин с Zeosil-1165MP увеличение составляет 11,4–27,5 %. В то же время в резинах на основе ДССК-2560М27 при использовании кремнекислотного наполнителя марки Zeosil-1165MP показатель разности максимального и минимального крутящих увеличивается на 4,4–20,1 %, а для резин с Zeosil Premium 200MP – на 7,6–37,4 %.

Повышение содержания каплинг-агента в композициях на основе ДССК-2560М27 оказывает неоднозначное влияние на плотность поперечного сшивания вулканизатов. Установленный характер изменения указанного показателя может быть обусловлен более интенсивными взаимодействием модифицированной поверхности высокодисперсного ККН с макромолекулами каучука, а также повышенным содержанием каплинг-агента, способствующего формированию более плотной структуры резин.

Результаты определения упруго-прочностных свойств резин (таблица 3) на основе ДССК-2163 и ДССК-2560М27 с кремнекислотным наполнителем марки Zeosil-1165MP показали, что увеличение дозировки наполнителя приводит к повышению показателей условного напряжения при заданном удлинении на

25,3–34,7 % и 27,8–34,9 % соответственно, а условной прочности при растяжении – на 6,8–10,9 % и 4,2–5,6 %, при этом эластические свойства резин снижаются, поскольку показатель относительного удлинения при разрыве уменьшается до 13,6 % и на 17,3– 27,1 % соответственно для исследуемых марок каучуков.

Таблица 3 – Упруго-прочностные свойства исследуемых резин

Марка ККН	Дозировка, мас. ч.		ДССК-2163			ДССК-2560М27		
	наполнителя	каплинг-агента	f_{300}, МПа	f_p, МПа	ε_p, %	f_{300}, МПа	f_p, МПа	ε_p, %
Zeosil-1165МР	60	8,5	9,1	13,7	440	7,9	14,4	460
		10,5	9,2	13,6	380	8,5	15,4	450
		12,5	9,8	13,2	380	8,6	14,4	480
Zeosil Premium 200МР	60	10,7	8,9	12,2	400	8,9	13,3	420
		12,7	9,1	13,0	400	9,0	13,0	410
		14,7	10,1	12,4	360	9,2	13,7	410
Zeosil-1165МР	65	9,4	9,1	13,5	410	7,9	14,0	460
		11,4	10,4	13,8	370	8,8	14,1	430
		13,4	12,0	13,8	350	9,7	13,8	380
Zeosil Premium 200МР	65	11,8	9,0	14,0	440	8,9	15,5	460
		13,8	9,3	14,0	400	9,4	14,5	420
		15,8	9,5	14,5	390	11,1	14,8	390
Zeosil-1165МР	70	10,2	11,4	15,2	380	10,1	15,0	380
		12,2	11,8	14,1	350	10,5	15,6	360
		14,2	13,2	14,1	330	11,6	15,2	350
Zeosil Premium 200МР	70	12,8	9,5	14,3	410	10,8	15,6	390
		14,8	11,6	14,4	390	11,1	16,3	390
		16,8	10,7	13,9	390	12,2	15,4	370

Примечания

f_{300} – условное напряжение при 300%-ом удлинении;

f_p – условная прочность при растяжении;

ε_p – относительное удлинение при разрыве.

При использовании Zeosil Premium 200МР в составе композиций установлено, что увеличение дозировки наполнителя приводит к повышению показателя условного напряжения при 300 %-ном удлинении на 5,9–27,5 % для резин на основе каучука ДССК-2163 и на 21,3–32,6 % для резин на основе ДССК-2560М27, а условной прочности при растяжении – на 12,8–17,2 % и 17,3–25,4 % соответственно.

В тоже время показатель относительного удлинения при разрыве уменьшается для резин на основе ДССК-2163 до 13,6 % при использовании кремнезема Zeosil-1165МР и до 9,0% при использовании марки Zeosil Premium 200МР, а для композиций на основе ДССК-2560М27 уменьшение составляет 17,3–27,1 % и 7,1–9,7 % соответственно.

Таким образом, результаты исследования модельных эластомерных композиций показали, что в процессе изготовления резиновых смесей на

протекание химической реакции между кремнекислотным наполнителем с каплинг-агентом оказывает влияние природа эластомера, а именно молекулярная масса каучука и наличие в объеме эластомера масла-наполнителя. Определено, что степень диспергирования кремнекислотного наполнителя в объеме эластомерной матрицы зависит как от физико-химических свойств кремнекислотного наполнителя, его дозировки в резиновой смеси, так и от дозировки силана и природы эластомера. Выявлено, что использование более высокодисперсного кремнекислотного наполнителя Zeosil Premium 200MP приводит к наиболее существенным изменениям технологических и технических свойств эластомерных композиций по сравнению с композициями, содержащими наполнитель марки Zeosil-1165MP.

В четвертой главе приведены результаты исследования шинных эластомерных композиций на основе комбинации каучуков общего назначения с использованием кремнекислотного наполнителя марки Экстрасил 150ВД, который по своим характеристикам является аналогом Zeosil-1165MP.

Установлено, что вязкость по Муни шинных резиновых смесей с повышением содержания кремнекислотного наполнителя увеличивается для композиций на основе ДССК-2163 + НК на 40,4–41,2 %, а для композиций на основе ДССК-2560М27 + СКД – на 43,1–46,3 % (рисунок 3).

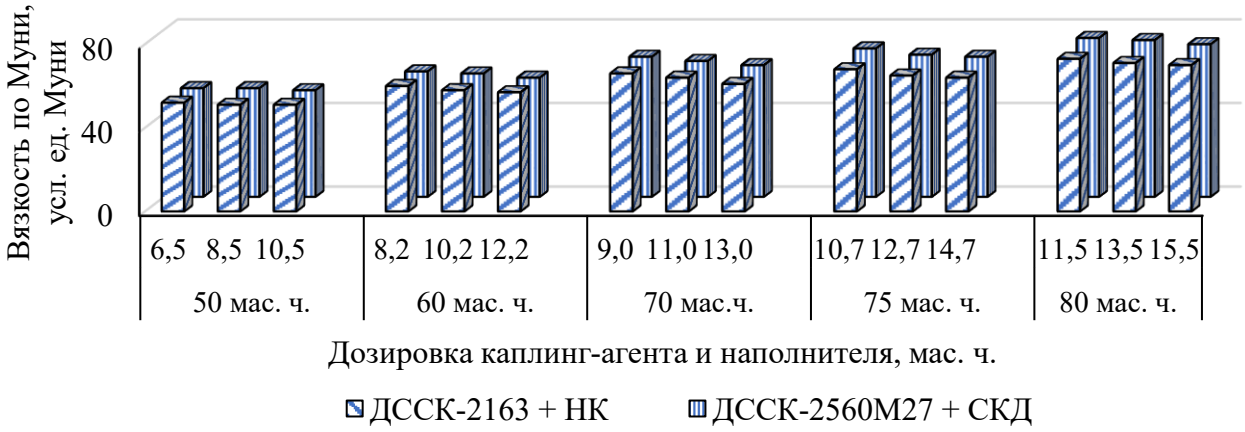


Рисунок 3 – Вязкость по Муни исследуемых шинных композиций

При дозировке ККН 50,0 мас. ч. содержание каплинг-агента практически не оказывает влияния на показатель вязкости по Муни (изменение ± 1 усл. ед. Муни). Для композиций на основе ДССК-2163 + НК с большими дозировками кремнекислотного наполнителя при увеличении содержания силана вязкость по Муни уменьшается на 2,7–5,0 %, а для композиций на основе ДССК-2560М27 + СКД – на 3,9–6,0 %. Выявлено, что применение наибольшей дозировки каплинг-агента в составе резиновых смесей не оказывает существенного влияния на их вязкость, поскольку значение вязкости по Муни

изменяется менее чем на 3,0 %. Установленные зависимости изменения вязкости по Муни резиновых смесей от дозировки кремнекислотного наполнителя связаны с уменьшением подвижности макромолекул в поверхностном слое, при этом каплинг-агент, модифицируя поверхность наполнителя, способствует его диспергированию в объеме эластомерной матрицы и несколько уменьшает вязкость смеси.

Определено, что когезионная прочность резиновых смесей увеличивается в 1,33–1,50 раза при повышении содержания ККН в эластомерных композициях, что обусловлено большим межфазным взаимодействием поверхности наполнителя с каучуком. Однако, увеличение дозировки каплинг-агента в смесях на основе ДССК-2163 + НК снижает прочность смесей на 3,1–4,3 %, в композициях на основе ДССК-2560М27 + СКД – на 3,0–5,1 %, что связано с уменьшением межмолекулярного взаимодействия молекулярных цепей эластомера за счет лучшего диспергирования наполнителя в объеме смеси.

Установлено, что увеличение дозировки кремнезема приводит (таблица 4) к повышению условного напряжения при 300 %-ом удлинении для композиций на основе ДССК-2163 + НК в 1,60–1,94 раза и в 1,34–1,57 раза для композиций на основе ДССК-2560М-27 + СКД, а после теплового старения указанный показатель увеличивается для всех исследуемых резин, что связано с изменением структуры вулканизатов и повышением жесткости резин.

Показатель условной прочности при растяжении резин на основе ДССК-2163 + НК с увеличением дозировки кремнекислотного наполнителя изменяется в пределах 6,6–8,3 %, а для резин на основе ДССК-2560М27 + СКД – до 10,7 %. Наибольшие показатели прочностных свойств установлены при дозировках ККН 60,0 и 70,0 мас. ч. для композиций из ДССК-2163 + НК и с 75,0 и 80,0 мас. ч. ККН для композиций из ДССК-2560М27 + СКД. Значения показателя условной прочности при растяжении резин до и после теплового старения выше у композиций на основе ДССК-2163 + НК. Выявлено, что повышение содержания ККН в составе шинных композиций приводит к уменьшению относительного удлинения при разрыве резин на основе ДССК-2163 + НК в 1,43–1,62 раза, а резин на основе ДССК-2560М-27 + СКД – в 1,11–1,33 раза. При этом композиции на основе ДССК-2163 + НК в меньшей степени теряют свои эластические свойства при воздействии повышенной температуры и кислорода воздуха. Изменение упруго-прочностных свойств резин обусловлено тем, что содержание кремнекислотного наполнителя оказывает влияние на процесс вулканизации и формирование количества и типа поперечных связей между макромолекулами эластомера за счет процессов адсорбции (десорбции) компонентов вулканизующей системы на поверхности наполнителя, а также участием каплинг-агентов в образовании и трансформации вулканизационной сетки резины при тепловом старении.

Таблица 4 – Физико-механические показатели шинных эластомерных композиций с кремнекислотным наполнителем

Дозировка ККН, мас. ч.	Дозировка каплинг-агента, мас. ч.	Условное напряжение при 300%-ом удлинении, МПа		Условная прочность при растяжении, МПа		Относительное удлинение при разрыве, %		Сопротивление раздиру, кН/м	
		ДССК-2163 + НК	ДССК-2560М27 + СКД	ДССК-2163 + НК	ДССК-2560М27 + СКД	ДССК-2163 + НК	ДССК-2560М27 + СКД	ДССК-2163 + НК	ДССК-2560М27 + СКД
50	6,5	7,9	5,6	16,6	11,8	450	560	45	45
	8,5	8,9	5,8	16,1	12,1	440	550	42	44
	10,5	9,7	6,0	15,8	12,1	440	550	40	45
60	8,2	9,7	6,0	17,7	12,6	450	550	49	46
	10,2	10,9	6,4	16,9	12,5	440	540	46	47
	12,2	11,9	6,4	16,7	12,7	420	520	44	46
70	9,0	10,8	6,4	17,5	12,9	440	540	53	48
	11,0	11,9	7,1	17,2	12,8	430	520	50	47
	13,0	13,4	7,7	16,8	12,7	390	490	48	47
75	10,7	11,2	7,2	17,2	12,8	390	520	59	51
	12,7	11,9	8,0	16,0	12,8	340	470	52	51
	14,7	13,4	8,6	15,7	13,1	320	460	51	51
80	11,5	15,3	7,5	17,0	13,0	380	510	63	53
	13,5	15,4	8,3	15,9	13,3	320	450	55	58
	15,5	15,5	9,4	15,4	13,4	300	430	54	51

Определено, что с увеличением содержания кремнекислотного наполнителя в составе эластомерных композиций сопротивления раздиру резин увеличивается на 13,7–40,0 %, при этом влияние дозировки силана на показатель стойкости к разрушению резин при наличии концентрации напряжений несколько нивелируется.

Показано, что повышение количественного содержания кремнекислотного наполнителя в шинных резинах на основе ДССК-2560М-27 + СКД увеличивает тангенс угла механических потерь на 10,4–11,9 %, а в резинах на основе ДССК-2163 + НК – на 20,0–21,65 %. Дозировка силана также оказывает влияние на гистерезисные характеристики вулканизатов, поскольку увеличение содержания каплинг-агента, при постоянной дозировке наполнителя, приводит к повышению tgα на 1,9–4,1 % для исследуемых резин.

Резины на основе ДССК-2163 + НК характеризуются меньшими значениями показателей упруго-гистерезисных свойств по сравнению с резинами

на основе ДССК-2560М-27 + СКД, что обусловлено различиями структуры полимеров, поскольку ДССК-2560М-27 является высокомолекулярным маслонаполненным каучуком, содержит большее количество связанного стирола, что может увеличивать межмолекулярное взаимодействие цепей эластомера и тем самым увеличивать гистерезис резин. Повышение гистерезисных потерь образцов при увеличении дозировки кремнекислотного наполнителя обусловлено уменьшением гибкости молекулярных цепей и увеличением внутреннего трения в вулканизате.

Таким образом, результаты исследования шинных эластомерных композиций показали, что для получения резин с наилучшим комплексом эксплуатационных свойств целесообразно применение кремнекислотного наполнителя в дозировках 50–60 мас. ч. При этом дозировка каплинг-агента может составлять меньшее или расчетное значение, учитывающее характеристику наполнителя по адсорбции цетилтриметиламмоний бромида.

В пятой главе приведены результаты промышленных испытаний опытной протекторной эластомерной композиции с кремнекислотным наполнителем в ОАО «Белшина» (г. Бобруйск) и получено заключение, подтверждающее получение качественной резиновой смеси, выпуска деталей протектора, сборку покрышки и стендовые испытания шины, в результате которых установлено уменьшение сопротивления качению по сравнению с нормой на 18,1 %. Разработанная протекторная резина характеризуется повышенными на 27,5 % прочностными показателями, на 15,8 % большей износостойкостью, в 1,45 раза большим сопротивлением истиранию и меньшими на 26,0 % гистерезисными потерями.

Для изготовления протекторной эластомерной композиции на основе опытной рецептуры разработан технологический режим смешения резиновой смеси, предусматривающий сокращение стадийности и времени смешения. Экономический эффект от внедрения в производство шин разработанной эластомерной композиции с кремнекислотным наполнителем и технологического режима ее изготовления состоит в снижении на 5,1 % себестоимости 1 т протекторной резиновой смеси.

Технология изготовления эластомерной композиции с кремнекислотным наполнителем для протектора бегового слоя, обладающая повышенными эксплуатационными характеристиками, может быть использована на шинных предприятиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Определено, что использование кремнекислотных наполнителей в составе эластомерных композиций на основе ДССК-2163 приводит к получению смесей с меньшими показателями вязкости по Муни (на 5,6–29,5 %) и комплексным динамическим модулем (в 1,18–2,09 раза) по сравнению с композициями на основе ДССК-2560М27, что обусловлено как высокой молекулярной массой полимера, так и наличием в системе масла-наполнителя, который может оказывать влияние на степень протекания процесса гидрофобизирования поверхности наполнителя и тем самым уменьшать взаимодействие функциональных групп каплинг-агента с реакционноспособными силанольными группами поверхности кремнезема. Введение более высокодисперсного кремнекислотного наполнителя марки Zeosil Premium 200MP в состав эластомерных композиций приводит к получению резиновых смесей, характеризующихся большими показателями вязкости по Муни и комплексного динамического модуля резиновых смесей по сравнению с композициями, содержащими Zeosil-1165MP, что обусловлено повышением уровня межфазных взаимодействий кремнезема с эластомером ввиду большей удельной адсорбционной поверхностью наполнителя [3–А, 5–А, 10–А, 11–А, 12–А, 13–А].

2. Установлено, что увеличение дозировки каплинг-агента в составе эластомерных композиций приводит к сокращению времени достижения оптимальной степени вулканизации резиновых смесей на основе ДССК-2163 при различном содержании наполнителя на 2,6–10,9 % для композиций с Zeosil-1165MP и на 2,4–9,9 % для композиций с Zeosil Premium 200MP, в случае композиций на основе ДССК-2560М27 сокращение времени составляет 2,9–7,1 % с кремнекислотным наполнителем Zeosil-1165MP и 2,3–6,5 % с наполнителем марки Zeosil Premium 200MP, что обусловлено повышением содержания свободной серы, образующейся из связующего агента, и тем самым ускорением формирования вулканизационной структуры. Определено, что увеличение дозировки наполнителя Zeosil-1165MP в композициях на основе ДССК-2163 и ДССК-2560М27 приводит к повышению условной прочности при растяжении на 6,8–10,9 и 4,2–5,6 % соответственно, а при использовании наполнителя марки Zeosil Premium 200MP показатель условной прочности при растяжении увеличивается на 12,8–17,2 % для композиций на основе ДССК-2163 и на 17,3–25,4 % для композиций на основе ДССК-2560М27 [4–А, 6–А, 14–А, 15–А, 16–А, 17–А, 18–А, 19–А, 20–А, 21–А, 22–А].

3. Определено, что когезионная прочность резиновых смесей на основе комбинации каучуков общего назначения ДССК-2163 + НК и ДССК-2560М27 + СКД

увеличивается в 1,33–1,50 раза при повышении содержания кремнекислотного наполнителя в шинных эластомерных композициях, что обусловлено большим межфазным взаимодействием поверхности наполнителя с каучуком. Увеличение дозировки каплинг-агента в составе шинных резиновых смесей приводит к сокращению оптимума вулканизации на 3,0–8,8 %, что связано с участием силана в процессе образования пространственной сетки вулканизата [1–А, 4–А, 6–А, 8–А].

4. Выявлено, что увеличение дозировки кремнекислотного наполнителя приводит к повышению условного напряжения при 300 %-ом удлинении для композиций на основе ДССК-2163 + НК в 1,60–1,94 раза и в 1,34–1,57 раза для композиций на основе ДССК-2560М-27 + СКД, а показатель сопротивления раздиру для исследуемых резин повышается на 13,7–40,0 %. Резины на основе ДССК-2163 + НК характеризуются меньшими значениями показателей упруго-гистерезисных свойств по сравнению с резинами на основе ДССК-2560М-27 + СКД, что обусловлено различиями структуры полимеров [2–А, 5–А, 7–А, 8–А, 9–А, 23–А, 24–А, 25–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанная технология получения шинных эластомерных композиций с кремнекислотным наполнителем и каплинг-агентом позволяет получить протекторную резину с повышенными прочностными показателями, износостойкостью, большим сопротивлением истиранию и меньшими гистерезисными потерями. Данная технология изготовления эластомерной композиции для протектора бегового слоя легковых шин, характеризующаяся повышенными эксплуатационными показателями, целесообразна для использования на шинных предприятиях. Проведены опытно-промышленные и стендовые испытания на ОАО «Белшина», и получено положительное заключение о соответствии требованиям качества продукции с использованием рецептуры протекторной резиновой смеси (стендовые испытаниях шины выявили уменьшение на 18,1 % сопротивления качению по сравнению с нормой).

Новизна технического решения подтверждена патентом Республики Беларусь «Резиновая смесь» [25–А].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в журналах, входящих в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований

1–А. Свойства шинных эластомерных композиций с кремнекислотными наполнителями / С. Н. Каюшников, А. Ю. Люштык, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2019. – №2 (223). – С. 30–34.

2–А. Исследование упруго-гистерезисных свойств протекторных шинных резин с кремнекислотными наполнителями / О. А. Кротова, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, А. Ю. Люштык, О. В. Карманова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2021. – Т. 83, №1. – С. 330–335.

3–А. Особенности диспергирования кремнекислотных наполнителей в эластомерных композициях на основе растворных бутадиен-стирольных каучуков / А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2022. – №2 (259). – С. 19–25.

4–А. Вулканизационные свойства эластомерных композиций с кремнекислотными наполнителями / А. Ю. Люштык, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2023. – № 2 (271). – С. 19–25.

5–А. Application of various brands of silica fillers in the formulation of treads of car tires / A. Yu. Lyushtyk, S. N. Kayushnikov, Zh. S. Shashok, E. P. Uss, E. V. Fedulova, Yu. V. Grabko, O. V. Stoyanov // Polymer Science, Series D. – 2023. – Vol. 16, № 4. – P. 963–968.

6–А. Vulcanization of elastomer compositions with silicon acid fillers / Zh. S. Shashok, E. P. Uss, A. Yu. Lyushtyk, S. N. Kayushnikov, O. V. Stoyanov // Polymer Science, Series D. – 2024. – Vol. 17, № 2. – P. 236–241.

7–А. Технические свойства шинных резин с различными дозировками каплинг-агента / А. Ю. Люштык, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2025. – № 1 (289). – С. 12–17.

8–А. Свойства шинных эластомерных композиций с кремнекислотным наполнителем и каплинг-агентом / А. Ю. Люштык, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2025. – № 2 (295). – С. 12–19.

Материалы конференций

9–А. Применение кремнекислотных наполнителей в протекторных эластомерных композициях / О. А. Кротова, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, А. Ю. Люштык, Н. Г. Белоблоцкая // Актуальные проблемы науки о полимерах : материалы II Всерос. науч. конф. (с междунар. участием) преподавателей и студентов вузов, г. Казань, 25–26 мая 2021 г. / М-во науки и высш. образ. РФ, ФГБОУ ВО «Казан. нац. исслед. технол. ун-т» ; редкол.: О. В. Стоянов (пред.) [и др.]. – Казань, 2021. – С. 97.

10–А. Свойства эластомерных композиций с высокодисперсным кремнекислотным наполнителем / А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников, Ю. В. Грабко, Е. И. Цветкова, Я. М. Прокопович, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич // НЕФТЕХИМИЯ–2021 : материалы IV Междунар. науч.-техн. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, г. Минск, 22–24 нояб. 2021 г. / Бел. гос. технол. ун-т, М-во обр. Респ. Беларусь, Бел. гос. концерн по нефти и химии, Гос. комитет по науке и технологиям, НАН Беларуси, Науч. совет по нефтехимии МААН, Исполнительный комитет СНГ, Постоянный комитет Союзного гос-ва, Россотрудничество, Евразийская академия горных наук ; редкол.: И. В. Войтов [и др.]. – Мн., 2021. – С. 125–127.

11–А. Некоторые особенности технологических свойств эластомерных композиций с кремнекислотными наполнителями / Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич, А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников // Технология органических веществ : материалы 86-й науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, науч. сотруд. и асп. (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 12 февр. 2022 г. / Бел. гос. технол. ун-т ; редкол.: И. В. Войтов (гл. ред.). – Мн., 2022. – С. 129–132. – URL: https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/46405/Шашок_Некоторые.pdf (дата обращения: 02.09.2025).

12–А. Шашок, Ж. С. Особенности диспергирования кремнекислотного наполнителя в эластомерной матрице / Ж. С. Шашок, А. Ю. Люштык, О. А. Кротова // Материалы LX отчетной науч. конф. преподавателей и науч. сотрудников ВГУИТ за 2021 год, Воронеж, 8–9 февр. 2022 г. : в 3 ч. / М-во науки и высш. образ. РФ, ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. ун-т инж. технол.» ; редкол.: В. Н. Попов [и др.]. – Воронеж, 2022. – Ч. 1. – С. 149.

13–А. Прочность невулканизованных резиновых смесей с кремнекислотными наполнителями / Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич, А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников // Резиновая промышленность: сырье, материалы, технологии : материалы XXVII науч.-практ. конф., г. Москва, 23–27 мая 2022 г. / Научно-технический центр «НИИШП». – М., 2022. – С. 112–115.

14–А. Особенности вулканизационных свойств эластомерных композиций, наполненных кремнеземом / А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич // Проблемы и инновационные решения в химической технологии (ПИРХТ-2022) : материалы всерос. конф. с междунар. участием, г. Воронеж, 13–14 окт. 2022 г. / ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. ун-т инж. технол.» ; редкол.: В. Н. Попов [и др.]. – Воронеж, 2022. – С. 310–312.

15–А. Особенности кинетических параметров вулканизации эластомерных композиций с высокодисперсным кремнекислотным наполнителем / А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников, С. А. Перфильева, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич // НЕФТЕГАЗОХИМИЯ–2022 : материалы V Междунар. науч.-техн. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, г. Минск, 2–4 нояб. 2022 г. / Бел. гос. технол. ун-т, М-во обр. Респ. Беларусь, Бел. гос. концерн по нефти и химии, Гос. комитет по науке и технологиям, НАН Беларуси, Науч. совет по нефтехимии МААН, Исполнительный комитет СНГ, Постоянный комитет Союзного гос-ва, Россотрудничество ; редкол.: И. В. Войтов [и др.]. – Мн., 2022. – С. 108–111.

16–А. Особенности кинетики вулканизации эластомерных композиций с кремнекислотными наполнителями и каплинг-агентом / Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич, А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников // Технология органических веществ : материалы 87-й науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, науч. сотруд. и асп. (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 17 февр. 2023 г. / Бел. гос. технол. ун-т ; редкол.: И. В. Войтов (гл. ред.). – Мн., 2023. – С. 107–111. – URL: https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/55822/1/Шашок_Особенности.pdf (дата обращения: 04.11.2025).

17–А. Шашок, Ж. С. Особенности вулканизации резиновых смесей с различными марками кремнекислотных наполнителей / Ж. С. Шашок, А. Ю. Люштык, Е. П. Усс // Материалы LXI отчетной науч. конф. преподавателей и науч. сотрудников ВГУИТ за 2022 год, Воронеж, 8–9 февр. 2023 г. : в 3 ч. / М-во науки и высш. образ. РФ, ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. ун-т инж. технол.» ; редкол.: В. Н. Попов [и др.]. – Воронеж, 2023. – Ч. 1. – С. 130.

18–А. Влияние рецептурных факторов на вулканизацию эластомерных композиций с кремнекислотными наполнителями / Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич, А. А. Мулюк, С. Н. Каюшников, А. Ю. Люштык // Актуальные проблемы науки о полимерах : материалы III Всерос. науч. конф. (с междунар. участием) преподавателей и студентов вузов, г. Казань, 10–12 апр. 2023 г. / М-во науки и высш. образ. РФ, ФГБОУ ВО «Казан. нац. исслед. технол. ун-т» ; редкол.: Ю. М. Казаков [и др.]. – Казань, 2023. – С. 154.

19–А. Упруго-прочностные свойства резин с кремнекислотным наполнителем и каплинг-агентом / Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич, А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников // Резиновая промышленность : сырье, материалы, технологии: материалы XXVIII науч.-практ. конф., г. Москва, 22–26 мая 2023 г. / Научно-технический центр «НИИШП». – М., 2023. – С.134–136.

20–А. Упруго-прочностные свойства эластомерных композиций с различными марками кремнекислотных наполнителей / Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич, А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников // Технология органических веществ : материалы 88-й науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, науч. сотруд. и асп. (с междунар. участием), Минск, 29 янв. – 16 февр. 2024 г. / Бел. гос. технол. ун-т ; редкол.: И. В. Войтов (гл. ред.). – Мн., 2024. – С. 22–25. – URL: https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/66075/1/Шашок_Упруго-прочностные.pdf (дата обращения: 10.12.2025).

21–А. Шашок, Ж. С. Упруго-прочностные свойства резин с различными марками кремнекислотных наполнителей / Ж. С. Шашок, А. Ю. Люштык, Е. П. Усс // Материалы LXII отчетной науч. конф. преподавателей и науч. сотрудников ВГУИТ за 2023 год, Воронеж, 8–9 февр. 2024 г. : в 3 ч. / М-во науки и высш. образ. РФ, ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. ун-т инж. технол.» ; редкол.: О. С. Корнеева [и др.]. – Воронеж, 2024. – Ч. 1. – С. 149.

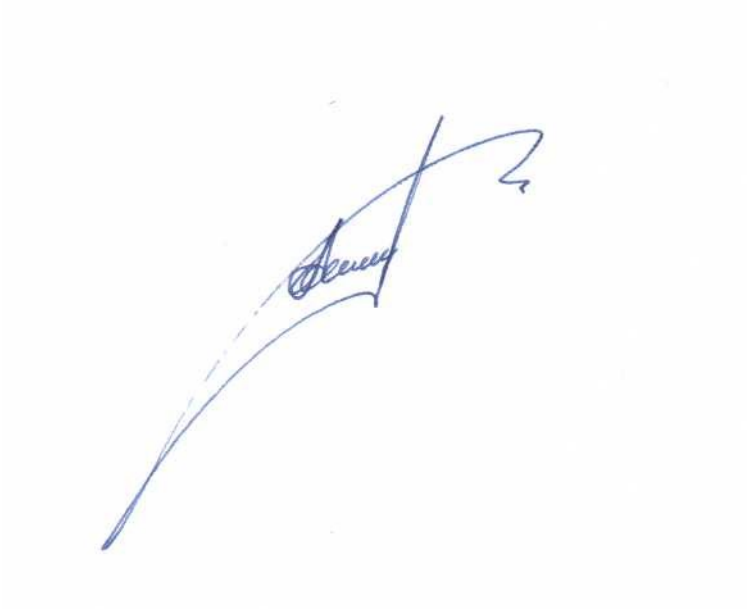
22–А. Влияние дозировки кремнекислотного наполнителя и каплинг-агента на упруго-прочностные свойства резин / Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич, А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников, Е. В. Федулова // Резиновая промышленность: сырье, материалы, технологии : материалы XXIX науч.-практ. конф., г. Москва, 27–31 мая 2024 г. / Научно-технический центр «НИИШП». – М., 2024. – С.122–125.

23–А Технические свойства шинных резин с кремнекислотным наполнителем / А. Ю. Люштык, С. Н. Каюшников, Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич // Актуальные проблемы науки о полимерах : материалы IV Всерос. науч. конф. (с междунар. участием) преподавателей и студентов вузов, г. Казань, 23–26 сент. 2024 г. / М-во науки и высш. образ. РФ, ФГБОУ ВО «Казан. нац. исслед. технол. ун-т» ; редкол.: Ю. М. Казаков [и др.]. – Казань, 2024. – С. 334–335.

24–А Люштык, А. Ю. Упруго-гистерезисные свойства резин с кремнекислотным наполнителем и каплинг-агентом / А. Ю. Люштык, Е. П. Усс, А. О. Кротова // Материалы LXIII отчетной науч. конф. преподавателей и науч. сотрудников ВГУИТ за 2024 год, Воронеж, 13–14 февр. 2025 г. : в 3 ч. / М-во науки и высш. образ. РФ, ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. ун-т инж. технол.» ; редкол.: О. С. Корнеева [и др.]. – Воронеж, 2025. – Ч. 1. – С. 84.

Патенты

25–А. Патент BY 23930, МПК C08L 7/00 (2006.01), C08L 9/06 (2006.01), C08K 13/02 (2006.01). Резиновая смесь : № a 20210167 : заявлено 03.06.2021 : опубл. 28.02.2023 / Вишневский К. В., Шашок Ж. С., Усс Е. П., Кротова О. А., Каюшников С. Н., Люштык А. Ю. – 4 с.



РЭЗЮМЭ

Люштык Андрэй Юр'евіч

Шынныя гумы з крэмнекіслотным напаўняльнікам з павышанымі эксплуатацыйнымі характарыстыкамі

Ключавыя словы: крэмнекіслотны напаўняльнік, сілан, каплінг-агент, каўчук, эластамерная кампазіцыя, гума, шына

Мэта даследавання – распрацаваць рэцэптурна-тэхналагічныя прынцыпы атрымання шынных эластамерных кампазіцый з крэмнекіслотным напаўняльнікам з палепшанымі тэхналагічнымі і эксплуатацыйнымі ўласцівасцямі.

Метады даследавання: метады ратацыйнай вісказіметрыі (вісказіметр Муні MV 2000), вібрацыйнай рэаметрыі (вібрарэометр MDR 2000); вызначэнне пругка-трываласных паказчыкаў, устойлівасці гум да тэрмічнага старэння на паветры, супраціўлення раздзіранню – па стандартных методыках; вызначэнне комплекснага дынамічнага модуля з дапамогай дынамічнага безротарнага рэометра RPA 2000, пругка-гістэрэзісных паказчыкаў на прыборы DMA GABO Eplexor 500N.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Распрацаваны рэцэптуры і тэхналагічныя параметры вырабу шынных эластамерных кампазіцый з кремнекіслотным напаўняльнікам, якія дазваляюць атрымліваць вулканізаты з палепшанымі тэхналагічнымі і эксплуатацыйнымі ўласцівасцямі. Вызначана, што на рэалагічныя ўласцівасці гумавых сумесей і ступень гідрафабізавання паверхні кремнекіслотнага напаўняльніка ўплывае прырода растворнага бутадыен-стырольнага каўчуку, фізіка-хімічныя характарыстыкі напаўняльніка і дазіроўка каплінг-агента. Устаноўлена, што з павышэннем утрымання кремнекіслотнага напаўняльніка ў шынных эластамерных кампазіцыях кагезійная трываласць гумавых сумесей павялічваецца ў 1,33–1,50 разы, умоўнае напружанне пры 300 %-ым падаўжэнні гум – у 1,34–1,94 разы і супраціўленне раздзіранню – на 13,7–40,0 %. Павелічэнне дазіроўкі каплінг-агента ў саставе шынных гумавых сумесей прыводзіць да скарачэння оптымуму вулканізацыі на 3,0–8,8 %, што звязана з удзелам сілану ў працэсе ўтварэння прасторавай сеткі вулканізату.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Распрацаваныя рэцэптурна-тэхналагічныя прынцыпы атрымання шынных эластамерных кампазіцый з крэмнекіслотным напаўняльнікам і каплінг-агентам дазваляюць атрымаць пратэктарную гуму з павышанымі трываласнымі паказчыкамі, трываласнымі паказчыкамі, зносастойкасцю і меншымі гістэрэзіснымі стратамі.

Галіна выкарастання: шынная прамысловасць.

РЕЗЮМЕ

Люштык Андрей Юрьевич

Шинные резины с кремнекислотным наполнителем с повышенными эксплуатационными характеристиками

Ключевые слова: кремнекислотный наполнитель, силан, каплинг-агент, каучук, эластомерная композиция, резина, шина

Цель исследования – разработать рецептурно-технологические принципы получения шинных эластомерных композиций с кремнекислотным наполнителем с улучшенными технологическими и эксплуатационными свойствами.

Методы исследования: методы ротационной вискозиметрии (вискозиметр Муни MV 2000), вибрационной реометрии (виброреометр MDR 2000); определение упруго-прочностных показателей, стойкости резин к термическому старению на воздухе, сопротивления раздиру – по стандартным методикам; определение комплексного динамического модуля с помощью динамического безроторного реометра RPA 2000, упруго-гистерезисных показателей на приборе DMA GABO Eplexor 500N.

Полученные результаты и их новизна. Разработаны рецептуры и технологические параметры изготовления шинных эластомерных композиций с кремнекислотным наполнителем, позволяющие получать вулканизаты с улучшенными технологическими и эксплуатационными свойствами. Определено, что на реологические свойства резиновых смесей и степень гидрофобизирования поверхности кремнекислотного наполнителя оказывает влияние природа растворного бутадиен-стирольного каучука, физико-химические характеристики наполнителя и дозировка каплинг-агента. Установлено, что с повышением содержания кремнекислотного наполнителя в шинных эластомерных композициях когезионная прочность резиновых смесей увеличивается в 1,33–1,50 раза, условное напряжение при 300 %-ом удлинении резин – в 1,34–1,94 раза и сопротивление раздиру – на 13,7–40,0 %. Увеличение дозировки каплинг-агента в составе шинных резиновых смесей приводит к сокращению оптимума вулканизации на 3,0–8,8 %, что связано с участием силана в процессе образования пространственной сетки вулканизата.

Рекомендации по использованию. Разработанные рецептурно-технологические принципы получения шинных эластомерных композиций с кремнекислотным наполнителем и каплинг-агентом позволяют получить протекторную резину с повышенными прочностными показателями, износостойкостью и меньшими гистерезисными потерями.

Область применения: шинная промышленность.

SUMMARY

Andrey Y. Lyushtyk

Tire rubber filled with increased performance characteristics silica

Keywords: silica filler, silane, coupling agent, caoutchouc, elastomer composition, rubber, tire

The purpose of the study is to develop formulation and technological principles for producing tire elastomer compounds filled with silica with improved processing and performance properties.

Research methods: rotational viscometry (Mooney MV 2000 viscometer), vibration rheometry (MDR 2000 vibrorheometer); determination of elastic strength properties, resistance of rubber to thermal airaging, and tear resistance – using standard methods; determination of the complex dynamic modulus using an RPA 2000 dynamic rotorless rheometer and elastic-hysteresis parameters using a DMA GABO Eplexor 500N instrument.

The results obtained and their novelty. Formulations and process parameters for the production of tire elastomer compounds with silica filler have been developed. This enables production of vulcanizates with improved processing and performance properties. It has been determined that rheological properties of rubber compounds and hydrophobization degree of the silica filler surface are influenced by the nature of the solution-based styrene-butadiene rubber, the physicochemical characteristics of the filler, and the dosage of the coupling agent. It has been established that with increasing silica filler content in tire elastomer compounds, the cohesive strength of the rubber compounds increases by 1.33–1.50 times, the nominal stress at 300 % elongation of the rubber compounds by 1.34–1.94 times, and the tear resistance by 13.7–40.0 %. Increasing the coupling agent dosage in tire rubber compounds leads to a decrease in the vulcanization optimum by 3.0–8.8 %, which is due to the participation of silane in the formation of the vulcanizate spatial network.

Recommendations for use. The developed formulation and technological principles for producing tire elastomer compounds with silica filler and coupling agent make it possible to produce tread rubber with increased strength properties, wear resistance and reduced hysteresis losses.

Application area: tire industry.

Научное издание

Люштык Андрей Юрьевич

ШИННЫЕ РЕЗИНЫ С КРЕМНЕКИСЛОТНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.17.06 – технология и переработка полимеров и композитов

Ответственный за выпуск А. Ю. Люштык

Подписано в печать 03.11.2026. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 60 экз. Заказ 404.

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.