

На правах рукописи



Халдеева Анна Романовна

**РАЗРАБОТКА МОРОЗОСТОЙКИХ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ РЕЗИН НА
ОСНОВЕ ЭПИХЛОРГИДРИНОВОГО КАУЧУКА ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В
ЭКСТРЕМАЛЬНО ХОЛОДНОМ КЛИМАТЕ**

2.6.17. Материаловедение (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Якутск – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», в обособленном подразделении Институте проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: **Давыдова Мария Ларионовна**, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», обособленное подразделение Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории материаловедения

Официальные оппоненты: **Ворончихин Василий Дмитриевич**, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», заведующий кафедрой химической технологии твердых ракетных топлив, нефтепродуктов и полимерных композиций

Котова Светлана Владимировна, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», и.о. заведующего кафедрой химии и технологии переработки эластомеров имени Кошелева Ф.Ф.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград

Защита диссертации состоится «27» октября 2026 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета 24.1.234.03, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», по адресу: 677000, г. Якутск, ул. Октябрьская, д. 1, 3 этаж, зал Ученого совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке ЯНЦ СО РАН по адресу: 677007, г. Якутск, ул. Петровского, д. 2, 3 этаж и на сайте <https://ipng.ysn.ru/news/obyavleniya-o-zashhitah/>.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 677007, г. Якутск, ул. Петровского, д. 2, диссертационный совет 24.1.234.03 и на e-mail: dissfic24123403@mail.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат технических наук



Аммосова
Ольга Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы обусловлена стратегическими приоритетами промышленного освоения Арктики в Российской Федерации. Специфика климатических особенностей данных регионов предъявляет повышенные требования к качеству резин для уплотнительных устройств, которые должны иметь высокую морозостойкость в сочетании с масло- и износостойкостью. Достижение такого баланса свойств требует обоснованного подбора всех компонентов резиновой смеси, при этом требуемый уровень морозостойкости резинотехнических изделий (РТИ) достигается прежде всего за счет использования каучуков с низкой температурой стеклования, а маслостойкость – за счет наличия в их составе полярных групп. В связи с этим особый интерес представляют эпихлоргидриновые каучуки (ЭХГК), в частности каучук марки Hydrin T6000 с температурой стеклования минус 60 °С и достаточно высоким уровнем масло- и износостойкости. Ограниченное количество исследований по апробации данного каучука в морозостойких уплотнительных резинах, несмотря на его очевидный потенциал для арктических РТИ, определяет актуальность настоящего исследования.

Степень разработанности темы исследования. Теоретические и экспериментальные аспекты создания морозостойких резин и изделий на их основе систематизированы в трудах С.К. Курлянда, М.Ф. Бухиной, М.А. Ваниева, А.М. Чайкуна, Я.А. Вахрушевой, Н.Ф. Ушмарина и их коллег. Значительный вклад в развитие арктического материаловедения внесли ученые якутской научной школы: С.Н. Попов, М.Д. Соколова, Н.Н. Петрова, Н.В. Шадрин, М.Л. Давыдова, А.Ф. Федорова, В.В. Портнягина.

Зарубежные данные по апробации резин на основе ЭХГК марки Hydrin T6000 ограничиваются техническими разработками и рекомендациями производителя, а научные исследования сфокусированы на менее морозостойких марках. В России, напротив, активно ведутся научные исследования именно этого морозостойкого каучука. Значительный вклад в исследование структуры и свойств эластомеров на основе Hydrin T6000, разработку модельных рецептур и оценку эффективности их модификации (шунгитом, углеродными нанотрубками, гидролизатом коллагена и др.) внесли А.В. Румянцев, С.К. Курлянд, Г.М. Хвостик, Н.Н. Петрова и др. Однако вопросы оптимизации составов эластомеров на основе Hydrin T6000 с учетом совместного влияния различных ингредиентов (вулканизирующей группы,

пластификаторов, активного наполнителя, стабилизаторов) на комплекс эксплуатационных свойств остаются открытыми.

Целью диссертационной работы является разработка научно обоснованных рецептурно-технологических решений для создания морозостойких эластомерных материалов на основе эпихлоргидринового каучука с улучшенным комплексом эксплуатационных свойств в условиях экстремально низких температур.

Для достижения поставленной в диссертации цели были сформулированы следующие **задачи**:

1. Изучение влияния двойных и тройных систем ускорителей вулканизации на комплекс свойств резин на основе эпихлоргидринового каучука Hydrin T6000.
2. Исследование влияния пластификаторов различной химической природы и технологии их введения в резиновую смесь на низкотемпературные характеристики резин.
3. Исследование влияния технического углерода на технологические и физико-механические свойства вулканизатов на основе ЭХГК.
4. Оценка эффективности пространственно-затрудненных фенольных стабилизаторов по стабилизации свойств вулканизатов в условиях натурных испытаний на открытой атмосферной площадке и в агрессивных средах.
5. Опытно-промышленные испытания морозостойких резин на основе эпихлоргидринового каучука Hydrin T6000 и их внедрение на предприятиях Республики Саха (Якутия).

Научная новизна.

1. Разработаны научные основы выбора функциональных ингредиентов для создания морозостойких (до минус 55 °С) уплотнительных резин на основе ЭХГК, основанные на выявлении закономерностей влияния структуры пространственной сетки, структуры пластификаторов, технического углерода, стабилизаторов, а также технологических приемов введения пластификаторов и термостатирования после вулканизации.
2. Установлено, что применение тройной системы ускорителей вулканизации позволяет сформировать вулканизационную сетку резин на основе ЭХГК с сульфидными связями различной химической природы с плотностью сетки на 13–15 % больше по сравнению с двойной системой, что обеспечивает повышение морозостойкости на 10 %, износостойкости на 50 % и снижение остаточной деформации сжатия на 11 %.

3. Установлено преимущество пластификаторов с линейной структурой (ДБС, ДОА, ДОС) для обеспечения высокой морозостойкости резин на основе ЭХГК за счет повышения сегментальной подвижности макромолекул каучука, что подтверждено сдвигом температуры стеклования на 7–21 °С в область низких температур, определенным методом ДСК. Обосновано использование технологии предварительного набухания каучука в пластификаторе, обеспечивающей улучшение технологичности резиновых смесей и повышение коэффициента морозостойкости резин на 12–13 %.

4. Впервые на основании комплексных климатических испытаний резин на основе ЭХГК Hydrin T6000 установлена взаимосвязь между изменениями физико-механических свойств и структуры резин с пространственно-затрудненными фенольными стабилизаторами СО-3, СО-4 и Стафен в условиях воздействия деструктивных факторов резко-континентального климата Севера.

Практическая значимость.

Разработан ряд составов резиновых смесей, обладающих высокой морозостойкостью в сочетании с высокой масло-, бензо-, износостойкостью, на основе эпихлоргидринового каучука марки Hydrin T6000. На разработанный состав получен патент РФ на изобретение № 2685089.

Разработанные материалы успешно прошли опытно-промышленные испытания в составе резиновых уплотнений на предприятиях ОАО НК «Туймаада-нефть», ОАО «Саханефтегазсбыт», ООО «Сервис-Кранспецавтоматика», ООО «ТЗК «АэропортГСМсервис»», АО «Аэропорт Якутск». Испытания показали, что разработанные резины полностью выдерживают эксплуатационные нагрузки при низких климатических температурах. Получено 6 актов внедрения.

Показана острая необходимость производства российскими промышленными предприятиями эпихлоргидриновых каучуков со свойствами на уровне каучука Hydrin T6000, что позволит обеспечить импортнезависимость при изготовлении резин с высокой надежностью и долговечностью в составе техники, эксплуатируемой в холодном климате РФ, особенно при освоении арктических территорий.

Теоретическая значимость работы заключается в установлении фундаментальных закономерностей совместного влияния функциональных компонентов резиновой смеси (вулканизирующей системы, пластификатора, стабилизатора и активного наполнителя) на структурообразование и комплекс свойств вулканизата на основе ЭХГК. Полученные данные о взаимосвязи между составом смеси, структурой, вулканизационными, вязкоупругими и эксплуатационными

характеристиками позволили сформулировать научно обоснованные принципы создания морозостойких резин для экстремально низких температур, что существенно расширяет и дополняет основы арктического материаловедения в области эластомеров.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Обоснование использования комбинации ускорителей вулканизующей системы «МБТ–ТМТД–ДФГ» для формирования пространственной сетки с повышенной плотностью и оптимальным сочетанием поперечных связей разной сульфидности в резине на основе ЭХГК морозостойкой марки Hydrin T6000.

2. Обоснование эффективности применения пластификаторов линейного строения для обеспечения высокой морозостойкости резин на основе ЭХГК. Возможность использования технологии предварительного набухания каучука в пластификаторе для улучшения технологичности резиновых смесей и повышения морозостойкости резин на основе ЭХГК.

3. Использование технического углерода средней активности от 65 до 80 мас. ч. обеспечивает наилучший баланс основных физико-механических свойств. Дополнительное термостатирование резин позволяет существенно (на 43 %) снизить один из самых важных показателей для уплотнительных резин – остаточную деформацию сжатия (ОДС).

4. Результаты мониторинга свойств структуры и физико-механических свойств образцов в климатических условиях холодного климата РФ, позволившие оценить эффективность применения пространственно-затрудненных фенолов в составе резин на основе ЭХГК.

Методология и методы исследования. В ходе исследований применялись современные методы анализа, такие как сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), инфракрасная (ИК) спектроскопия и дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Для оценки вулканизационных и вязкоупругих характеристик резиновых смесей и вулканизатов, физико-механических и низкотемпературных свойств резин, а также стойкости к старению при воздействии естественных климатических факторов использовались стандартизированные методики. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили стандартными методами математической статистики.

Достоверность результатов исследования подтверждается высокой воспроизводимостью данных, полученных с использованием современного оборудования и стандартизированных методик, а также возможностью их независимой верификации.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих международных и всероссийских конференциях: VIII-IX Евразийских симпозиумах по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата (Якутск, 2018, 2020); Всеросс. науч. конф. с междунар. участием «Третий Байкальский материаловедческий форум» (Улан-Удэ, 2018); Междунар. мультидисциплинарной конф. по промышленному инжинирингу и современным технологиям «FarEastCon-2018» (Владивосток, 2018); IV междисциплинарном науч. форуме с междунар. участием «Новые материалы и перспективные технологии» (Москва, 2018); Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Совершенствование технологии горных работ и подготовка кадров для обеспечения техносферной безопасности в условиях Северо-Востока России» (Якутск, 2018); Междунар. науч. конф. «Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства» (Омск, 2019); II молодежном междунар. конгр. «Современные материалы и технологии новых поколений» (Томск, 2019); Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Полимерные и композиционные материалы в условиях Севера» (Якутск, 2021); V Междунар. науч. конф. «Новые материалы и технологии в условиях Арктики» (Якутск, 2022); XII Всеросс. молодежной науч.-практ. конф. «Нанотехнологии. Информация. Радиотехника» (НИР-2023) (Омск, 2023); Междунар. инновационной конф. молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения «МИКМУС» (Москва, 2023, 2025); XXI-XXV-XXVI Лаврентьевских чтениях (Якутск, 2017, 2023, 2024); XII Всеросс. конф. с междунар. участием «Каучук и резина – 2024: традиции и новации» (Москва, 2024); XXXI Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2024» (Москва, 2024); XXV Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке ХХТ-2024» (Томск, 2024); XX и XXI Междунар. науч.-практ. конф. «Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения» (Эльбрус, 2024, 2025).

Личный вклад автора заключается в сборе и анализе литературных источников по теме диссертации, постановке целей и задач исследования, проведении экспериментальных исследований, обработке и интерпретации экспериментальных данных, систематизации результатов, подготовке публикаций по теме исследования, участии в опытно-промышленных испытаниях и внедрении результатов в производство.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 печатные работы, в том числе 6 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2

статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, 1 глава в коллективной монографии, 1 патент РФ на изобретение и 13 тезисов докладов в сборниках материалов конференций.

Связь работы с научными программами и темами. Основные результаты диссертационной работы получены при выполнении следующих программ и тем:

– Госзадание Министерства науки и высшего образования РФ АААА-А17-117040710038-8 «Исследование и разработка полимерных и композиционных материалов для северных и арктических условий эксплуатации» – 2017–2020 гг.;

– Госзадание Министерства науки и высшего образования РФ №122011100162-9 «Научные основы создания морозостойких композитов технического и дорожно-строительного назначения с высокой надежностью и долговечностью при эксплуатации в арктическом климате» с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ ЯНЦ СО РАН грант №13 ЦКП.21.0016 – 2021–2025 гг.;

– НИР по государственному контракту (№ 0708, № 5304) «Создание и испытания композиционных материалов и конструкций с их применением, предназначенных для эксплуатации в климатических условиях Республики Саха (Якутия)» (Заказчик – Академия наук РС (Я)) – 2021–2022 гг.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 232 источников. Работа изложена на 178 страницах, содержит 36 рисунков, 21 таблицу и 6 приложений.

Благодарность. Автор выражает искреннюю благодарность коллегам из ИПНГ СО РАН за помощь в подготовке диссертации. Отдельную признательность сотрудникам Шаньдунской Академии наук (Китай) за предоставленную поддержку и ресурсы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи, изложены научная новизна, практическая и теоретическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности полученных результатов и данные их апробации.

В первой главе диссертации проведен анализ современного состояния науки в области создания морозостойких резин уплотнительного назначения и представлен материаловедческий аспект разработки морозостойких резин. Особое внимание

уделено роли вулканизирующей системы, пластификаторов и стабилизаторов. Проведенный анализ литературы позволил обосновать цели и содержание работы.

Во второй главе приведены характеристики объектов исследований и описаны методы исследования. В работе в качестве полимерной основы выбран ЭХГК марки Hydrin T6000 производства Zeon Chemicals L.P. Для исследования технологических и физико-механических свойств применяли стандартизованные методики. Для исследования структуры – методики ИК-спектроскопии, СЭМ, ДСК. Натурные испытания проведены на открытой атмосферной площадке климатического полигона Института проблем нефти и газа СО РАН (г. Якутск) по ГОСТ 9.066-76, а также в рабочих средах (индустриальном масле И-50А и нефти Талаканского месторождения) в слабоотапливаемом помещении при температуре от минус 3 до плюс 1 °С в зимнее время и от плюс 17 до плюс 20 °С в летнее.

В третьей главе представлены результаты разработки морозостойких уплотнительных резин на основе ЭХГК марки Hydrin T6000 путем целенаправленного подбора вулканизирующей системы, пластификатора и активного наполнителя.

На первом этапе исследования изучено влияние двойных систем ускорителей вулканизации: ТСУ на основе тиурама (ТМТД) и каптакса (МБТ), а также ГСУ на основе дифенилгуанидина (ДФГ) и каптакса (МБТ). Для дальнейшей оптимизации комплекса свойств эластомеров была использована тройная система ускорителей ТГСУ, сочетающая ТМТД, ДФГ и МБТ. Дозировка МБТ во всех составах оставалась неизменной (1,5 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука), а содержание ТМТД и ДФГ варьировали в соответствии с данными, представленными в таблице 1.

Базовая рецептура резиновых смесей имеет следующий состав (на 100,0 мас. ч. каучука): технический углерод (ТУ) N774 – 80,0 мас. ч.; пластификатор дибутилсебагинат – 10,0 мас. ч.; стеариновая кислота – 1,5 мас. ч.; активаторы вулканизации (оксид магния – 1,0 мас. ч. и оксид цинка – 3,0 мас. ч.); стабилизатор 6PPD – 1,0 мас. ч., сера – 1,5 мас. ч. Вулканизацию образцов проводили при температуре 155 °С.

Влияние ускорителей вулканизации. Использование двойной системы ускорителей ТСУ приводит к увеличению показателей M_n и $\Delta(M_n - M_L)$ в 1,5 раза по сравнению с ГСУ. Это свидетельствует о более высокой плотности их пространственной сетки, что объясняется преобладанием коротких моно- и дисульфидных связей.

Таблица 1 – Свойства резиновых смесей и вулканизаторов на основе Huprin T6000 с двойной и тройной системами ускорителей вулканизации

Показатели	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	№11	№12
	Двойная система ускорителей						Тройная система ускорителей					
	ТСУ			ГСУ			ТГСУ					
	Содержание ТМТД, мас. ч.			Содержание ДФГ, мас. ч.			Содержание ТМТД/ДФГ, мас. ч.					
	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,5/0,5	1,0/0,5	1,5/0,5	0,5/1,0	1,0/1,0	1,5/1,0
Вулканизационные характеристики												
M _L , дНм	3,08	2,80	3,01	2,53	2,63	2,73	2,52	2,45	2,30	2,75	2,66	2,59
M _H , дНм	20,40	24,93	27,57	13,66	14,41	14,10	21,22	25,19	25,29	20,21	24,38	26,66
Δ(M _H -M _L), дНм	17,32	22,13	24,56	11,13	11,78	11,36	18,70	22,74	22,99	17,46	21,72	24,07
t _s , мин	1,63	1,89	2,05	2,91	2,30	1,75	1,65	1,87	2,00	1,85	1,79	1,74
t ₉₀ , мин	13,62	12,37	11,16	18,64	15,57	15,36	14,26	13,11	11,79	15,06	13,50	11,63
R _v , мин ⁻¹	8,34	9,54	10,97	6,35	7,53	7,34	7,93	8,89	10,21	7,57	8,53	10,11
Параметры пространственной сетки												
M _c , г/моль	12139,60	10857,90	9561,30	14834,00	14725,00	14616,80	10316,20	9636,30	9283,80	8839,00	8677,50	8134,30
ν _c *10 ⁻¹⁹ , см ⁻³	5,29	5,88	6,69	4,30	4,34	4,37	6,24	6,62	6,88	7,22	7,36	7,69
ν _c *10 ⁴ , моль/см ³	0,44	0,49	0,56	0,36	0,36	0,36	0,52	0,55	0,57	0,60	0,61	0,65
Физико-механические свойства												
f _p , МПа	10,1±0,2	9,9±0,6	11,0±0,8	8,2±0,6	9,9±0,5	10,1±0,4	10,6±0,6	9,9±0,5	9,4±0,2	9,4±0,3	9,5±0,5	9,4±0,2
f ₁₀₀ , МПа	3,4±0,2	4,3±0,3	5,2±0,3	2,0±0,2	2,9±0,1	2,9±0,2	4,4±0,2	4,6±0,1	4,7±0,3	3,2±0,2	4,1±0,3	4,5±0,1
ε _p , %	421±21	279±17	270±15	637±32	498±26	494±13	297±15	267±17	251±9	439±21	306±19	286±13
K _m при -55 °С	0,34±0,02	0,46±0,01	0,40±0,01	0,13±0,01	0,21±0,01	0,23±0,02	0,50±0,01	0,51±0,02	0,48±0,01	0,39±0,02	0,40±0,01	0,42±0,01
ΔM (70 °С x 72 ч), %, СЖР-3	5,3±0,3	4,8±0,2	5,0±0,3	6,7±0,4	7,3±0,6	7,0±0,6	6,7±0,1	6,6±0,1	6,5±0,2	5,7±0,3	5,3±0,3	5,0±0,1
C (125 °С x 24 ч), %	80±3	74±3	75±2	88±3	81±3	86±2	69±1	68±1	72±2	69±2	66±3	66±1
ΔV, см ³	0,06±0,003	0,07±0,003	0,09±0,004	0,12±0,005	0,09±0,003	0,09±0,004	0,05±0,001	0,04±0,002	0,03±0,001	0,06±0,003	0,06±0,002	0,06±0,003

Примечание: M_L – минимальный крутящий момент; M_H – максимальный крутящий момент; $\Delta(M_H-M_L)$ – разница крутящих моментов; t_s – время начала подвулканизации; t_{90} – оптимальное время вулканизации; R_v – скорость вулканизации; M_c – средняя молекулярная масса отрезка цепи между двумя соседними связями; ν_c – концентрация поперечных связей, приходящихся на 1 см³ вулканизата; ν_c – плотность поперечного сшивания; f_p – условная прочность при растяжении; f_{100} – условное напряжение при 100% удлинении; ϵ_p – относительное удлинение при разрыве; K_M – коэффициент морозостойкости при растяжении; ΔM – степень набухания; C – остаточная деформация сжатия; ΔV – объемный износ при абразивном изнашивании.

Известно, что тиурамы способствуют образованию именно таких поперечных связей, тогда как гуанидины – полисульфидных, а тиазолы (каптакс) – от углерод-углеродных до полисульфидных с различной степенью сульфидности. Данные о плотности сетки полностью коррелируют с результатами определения параметров её пространственной структуры и подтверждаются динамическими испытаниями, проведенными на анализаторе перерабатываемости резин RPA 2000 (рисунок 1). Более высокие значения G' во всем диапазоне частот (рисунок 1а) для вулканизатов с ТСУ также указывают на этот факт. Соизмеримые величины G'' (рисунок 1б) и более высокие значения $\operatorname{tg}\delta$ (рисунок 1в) у вулканизатов с ГСУ обусловлены эффективной диссипацией энергии за счет высокой подвижности и способности к перестройке полисульфидных связей.

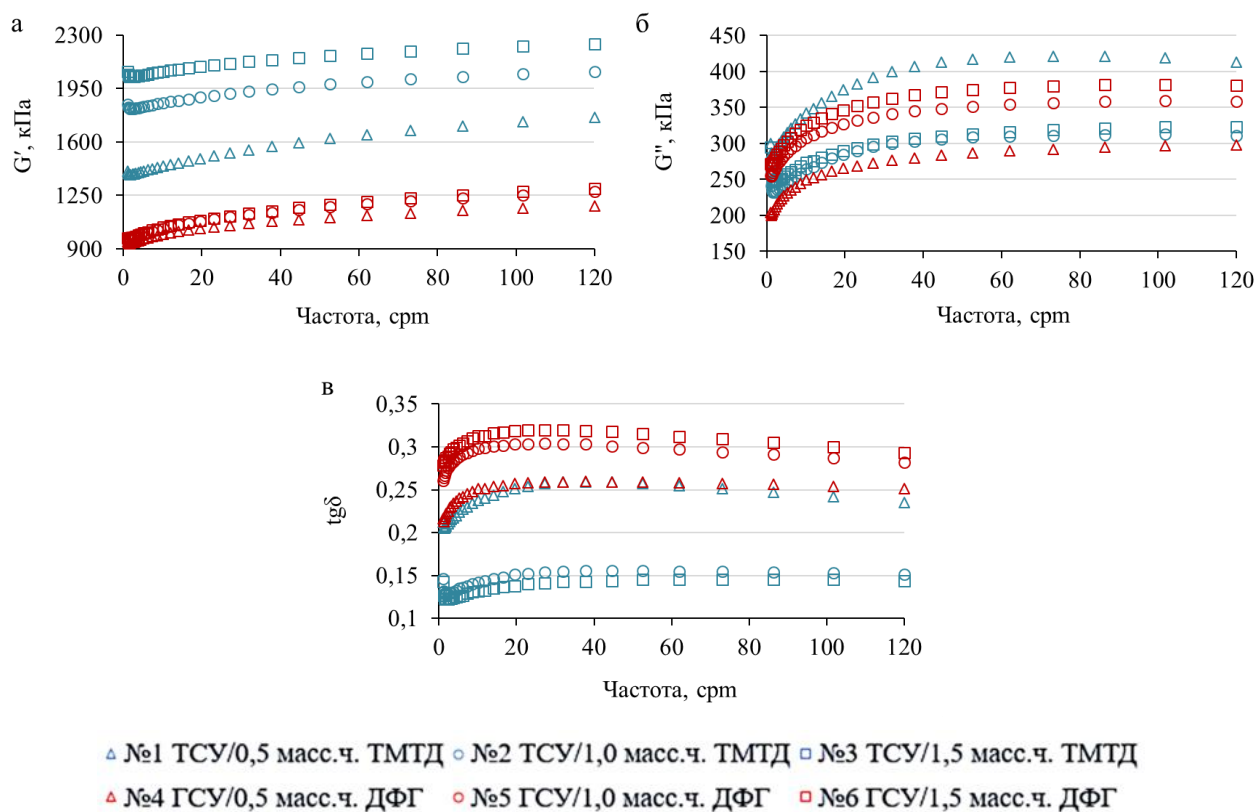


Рисунок 1 – Зависимость динамического модуля накопления G' (а), модуля потерь G'' (б) и тангенса угла механических потерь $\operatorname{tg}\delta$ (в) от частоты нагружения

В результате установленные различия в структуре вулканизатов обеспечили преимущество системы ТСУ по сравнению с ГСУ: f_{100} выше на 41 %, K_M при минус 55 °С – в 2 раза, ΔM в среде СЖР-3 и ΔV ниже на 28 % и 33 % соответственно.

Применение ТГСУ обеспечивает дополнительное повышение плотности пространственной сетки со сбалансированной структурой поперечных связей различной степени сульфидности, о чем свидетельствует снижение M_c и рост n_c и v_c .

Именно благодаря этому у вулканизатов с ТГСУ наблюдается улучшение комплекса физико-механических характеристик по сравнению с ТСУ: морозостойкость возрастает на 10 %, износостойкость – на 50 %, ОДС снижается на 11 %.

Влияние пластификаторов. Для улучшения технологических свойств смесей и морозостойкости резин осуществлен подбор пластификаторов различной химической природы – линейных (ДБС, ДОС, ДОА, 3G8) и разветвленных (ДОФ, ДОТФ), совместимость которых оценена по параметрам растворимости Хансена (δ_h). В качестве основы для рецептур использовали смесь № 7 (таблица 1) с лучшим комплексом, пластификаторы (10,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука) вводили по традиционной технологии изготовления резиновых смесей (технология № 1).

Анализ физико-механических и низкотемпературных характеристик (рисунок 2) показал преимущество линейных пластификаторов ДБС, ДОА и ДОС перед разветвленными. Благодаря линейному строению молекул, низкой вязкости и высокой совместимости с каучуком, данные эфиры эффективно диффундируют в полимерную матрицу, ослабляя межмолекулярные взаимодействия. Это повышает сегментальную подвижность макромолекул и усиливает ориентацию цепей под нагрузкой, что обеспечивает вулканизатам повышенную эластичность, маслостойкость и существенно улучшает их морозостойкость.

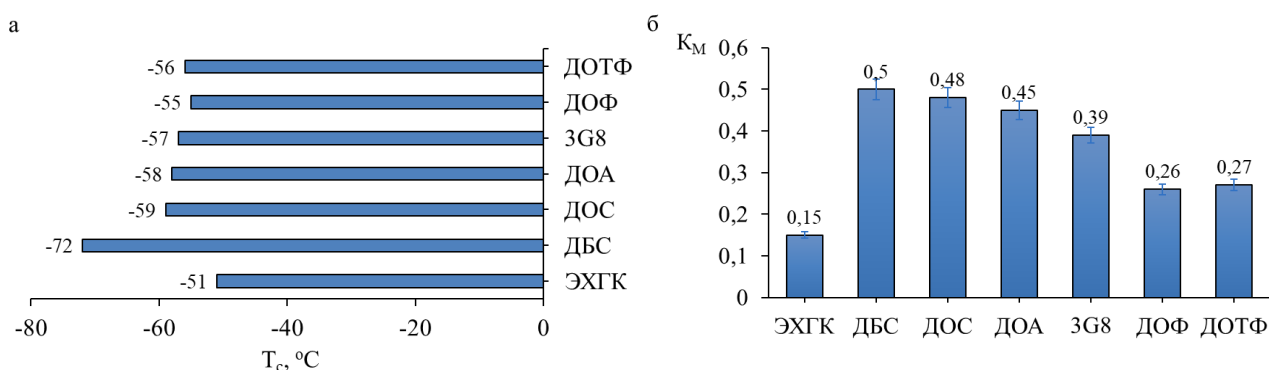


Рисунок 2 – Низкотемпературные свойства вулканизатов с различными пластификаторами: а – температура стеклования, б – коэффициент морозостойкости при растяжении при минус 55 °С

Превосходную морозостойкость обеспечивает ДБС, его температура стеклования (T_g) составляет минус 72 °С, K_m при минус 55 достигает 0,5. Разветвлённые пластификаторы ДОФ и ДОТФ уступают линейным по эффективности из-за наличия в их составе ароматических колец. Такие пространственные структуры создают стерические препятствия, затрудняют диффузию молекул в полимерную сетку.

Для пластификаторов (ДБС, ДОА, ДОС) далее применен способ их введения посредством предварительного набухания каучука в течение 48 часов при 23 °С (технология № 2) с последующим введением других ингредиентов по стандартной технологии.

Выявлено, что применение технологии № 2 обеспечивает снижение вязкости (рисунок 3) резиновых смесей на 20 %, способствующее улучшению их перерабатываемости и сокращению энергозатрат при смешении.

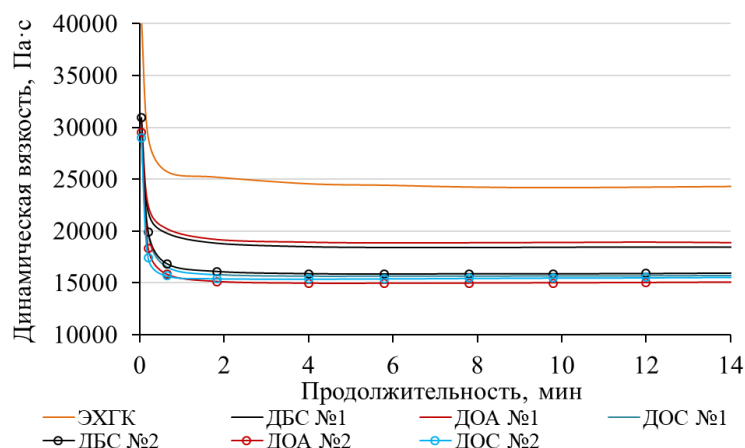


Рисунок 3 – Зависимость динамической вязкости при сдвиге (η') резиновых смесей на основе Hydrin T6000 от продолжительности испытания

При этом наблюдается увеличение эффекта Пейна (таблица 2) вследствие экранирования макромолекул каучука пластификатором, снижающего взаимодействие наполнитель–полимер. Подобное ослабление межфазных взаимодействий приводит к незначительному снижению упруго-прочностных характеристик вулканизатов при одновременном повышении K_M при минус 55 °С на 12 %.

Таблица 2 – Зависимость эффекта Пейна резиновых смесей от способа введения пластификаторов

Показатели	ЭХГК	ДБС	ДОА	ДОС	ДБС	ДОА	ДОС
		Технология № 1			Технология № 2		
G'_0 , кПа	701,1	480,3	477,7	468,1	501,8	505,6	463,6
G'_ω , кПа	30,4	46,9	66,4	74,9	40,4	48,9	71,8
G_k , кПа	670,7	433,4	411,3	393,2	461,4	456,7	391,8

Примечание: G'_0 – модуль эластичности при 1 %; G'_ω – модуль сдвига при 100 %; G_k (Эффект Пейна) – комплексный динамический модуль.

Таким образом, установлена эффективность технологии предварительного набухания каучука в пластификаторе как способа направленного регулирования технологичности и морозостойкости резин на основе Hydrin T6000.

Влияние активных наполнителей. Изучено влияние ТУ высокой активности марки N330 и средней активности марки N774. Содержание ТУ в смесях составило от 55,0 до 100,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука.

Как видно в таблице 3, с увеличением содержания, удельной поверхности и структурности ТУ эффект Пейна резиновых смесей возрастает. Это обусловлено ухудшением макро- и микродиспергирования ТУ в объеме эластомерной матрицы, вызванным усилением взаимодействия между частицами при увеличении его концентрации.

Таблица 3 – Зависимость эффекта Пейна резиновых смесей от содержания и типа ТУ

Показатели	N774					N330
	Обозначение (Содержание ТУ, мас. ч.)					
	T1 (55)	T2 (65)	T3 (75)	T4 (80)	T5 (100)	T6 (80)
G'_0 , кПа	280,9	385,3	425,2	443,6	525,2	720,4
G'_ω , кПа	72,8	79,3	83,2	85,5	87,1	89,6
G_k , кПа	208,1	306,0	342,0	358,1	438,1	630,8

Аналогичные факторы предопределяют и рост гистерезисных потерь (рисунок 4), обусловленных усилением внутреннего трения и значительными затратами энергии на разрушение вторичных агрегатов ТУ. Формирование данных структур подтверждается ростом $\Delta(M_H - M_L)$ (таблица 4), служащей в наполненных системах суммарным показателем плотности как вулканизационной сетки, так и физической сетки наполнителя.

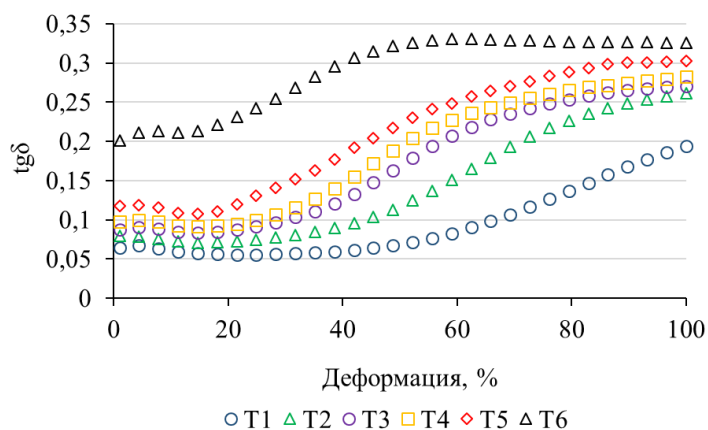


Рисунок 4 – Зависимость тангенса угла механических потерь ($\text{tg}\delta$) от амплитуды деформации сдвига вулканизатов

Замена ТУ марки N774 на высокоактивный N330 позволяет повысить f_p на 26 %, ε_p – на 51 %, Н – на 4 ед. Шора А и снизить ΔV на 15 %. Однако при этом отмечается существенное уменьшение K_M на 32 %. Это обусловлено формированием развитой вторичной структуры наполнителя, ограничивающей сегментальную подвижность цепей каучука и вызывающей высокие гистерезисные потери, препятствующие полному эластическому восстановлению материала.

Таблица 4 – Свойства вулканизатов с разным содержанием и типом ТУ

№	Показатели	N774					N330
		T1 (55)	T2 (65)	T3 (75)	T4 (80)	T5 (100)	T6 (80)
Вулканизационные характеристики							
1	$\Delta(M_H-M_L)$, дНм	20,2	21,4	22,5	24,1	25,0	25,7
Физико-механические характеристики							
2	f_p , МПа	9,7±0,1	10,1±0,8	10,4±0,3	10,6±0,6	9,6±0,4	13,4±0,5
3	f_{100} , МПа	2,2±0,1	3,3±0,1	4,0±0,1	4,4±0,2	4,5±0,3	4,5±0,1
4	ε_p , %	602±13	474±16	384±17	297±15	265±18	448±21
5	K_M при -55 °С	0,57±0,01	0,56±0,01	0,54±0,02	0,50±0,01	0,42±0,02	0,34±0,02
6	C (125 °С x 24 ч), %	66±3	66±1	68±2	69±1	75±1	77±1
7	H, ед. Шор А	54±0,0	61±1,0	65±0,0	68±1,0	70±1,0	72±0,0
8	ΔM (70 °С x 72 ч), %, СЖР-3	6,9±0,4	6,8±0,1	6,6±0,1	6,7±0,1	6,9±0,2	6,6±0,1
9	ΔV , см ³	0,192±0,002	0,197±0,001	0,200±0,001	0,204±0,002	0,207±0,003	0,174±0,003

Примечание: H – твердость по Шору А.

Образцы резины Т4 подвергали дополнительному термостатированию при температуре 170 °С в течение 3 ч. Данная технологическая операция обеспечила существенное снижение ОДС с 69 % до 39 %, что особенно важно для уплотнительных материалов. Подобный эффект обусловлен формированием дополнительных поперечных связей в эластомерной матрице в процессе термообработки. Другие физико-механические показатели изменились незначительно, а высокий уровень морозостойкости сохранился.

Таким образом, использование ТУ средней активности в диапазоне 65–80 мас. ч. обеспечивает высокий уровень физико-механических показателей вулканизатов на основе ЭХГК, а последующее термостатирование готовых РТИ является эффективным технологическим решением, позволяющим кардинально снизить ОДС при сохранении высокого уровня морозостойкости.

В четвертой главе представлены результаты исследования влияния пространственно-затрудненных фенолов Стафен, СО-3, СО-4 опытного производства НИОХ СО РАН (г. Новосибирск) на физико-механические свойства и структуру эпихлоргидриновых резин при климатическом старении в условиях экстремально

холодного климата Республики Саха (Якутия). В качестве сравнения выбран широко применяемый в резиновой промышленности аминный стабилизатор 6PPD. Стабилизаторы вводили в резиновую смесь в количестве 1,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука.

Образцы резин экспонировали в течение 24 месяцев на открытой атмосферной площадке климатического полигона ИПНГ СО РАН (г. Якутск), а также в рабочих средах И-50А и нефти в слабоотапливаемом помещении (рисунок 5).



Рисунок 5 – Экспонирование образцов на климатическом полигоне ИПНГ СО РАН (а, б) и в помещении (в)

ЭХГК относится к группе каучуков, обладающих высокой устойчивостью к воздействию кислорода и озона благодаря отсутствию непредельных связей в основной цепи макромолекул. Тем не менее, при проведении открытой натурной экспозиции образцов в условиях резко континентального холодного климата РС (Я) (рисунок 6) наблюдаются существенные изменения упруго-прочностных характеристик резин на основе Hydrin T6000. Наиболее заметным изменениям подвергается показатель f_p : его увеличение составляет от 42,1 до 46,6 % для резин без стабилизатора и со стабилизаторами 6PPD и СО-3, тогда как для ϵ_p наблюдается снижение на 29,8–30,5 % (без стабилизатора, СО-4).

Известно, что в процессе старения резин протекают конкурирующие процессы, такие как дополнительное структурирование и деструкция полимерных цепей. У образцов без стабилизатора и со стабилизатором СО-4 по истечении 2 лет экспозиции начинает преобладать избыточное структурирование, о чем свидетельствует переход значений Δf_p и $\Delta \epsilon_p$ в отрицательную область на фоне интенсивного роста ΔH . Непрерывное повышение твердости служит прямым следствием уплотнения пространственной сетки, что исключает доминирование деструкции на данном этапе старения. Указанные изменения подтверждаются результатами СЭМ низкотемпературных сколов вулканизатов после 24-месячного атмосферного старения (рисунок 7).

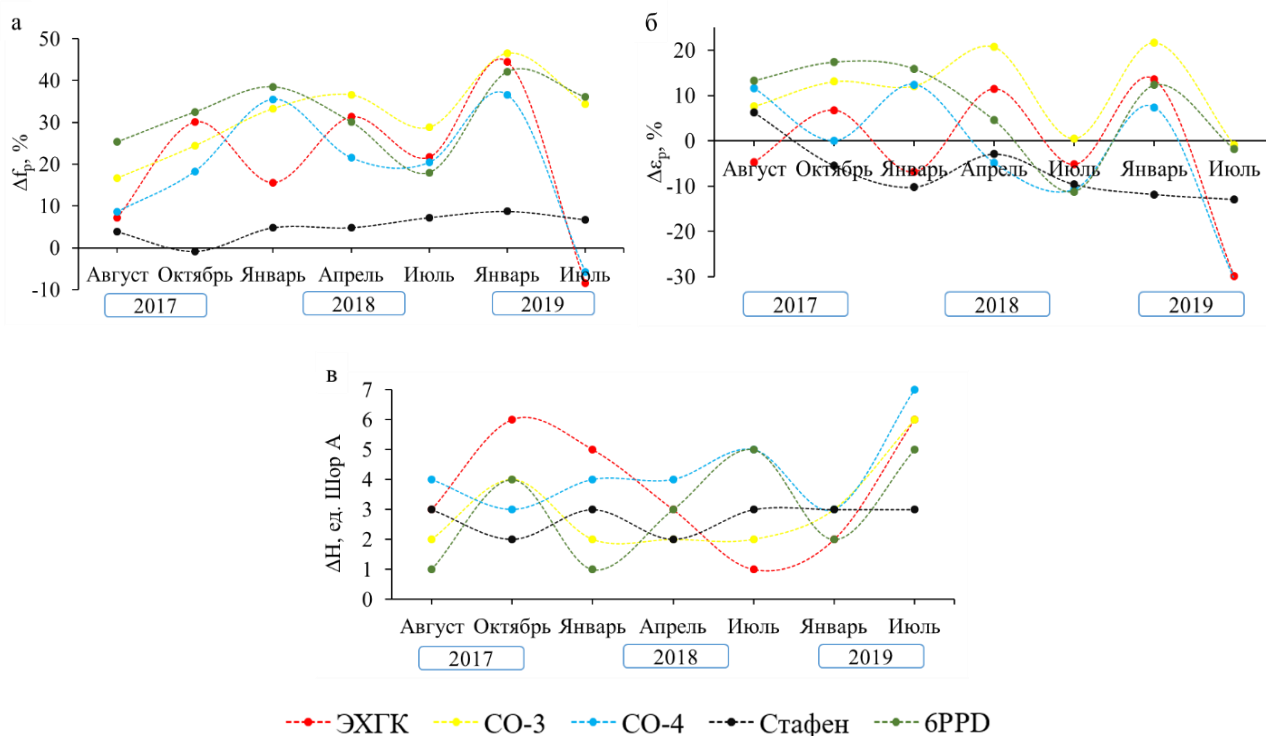


Рисунок 6 – Изменение физико-механических свойств резин при экспонировании на открытой атмосферной площадке

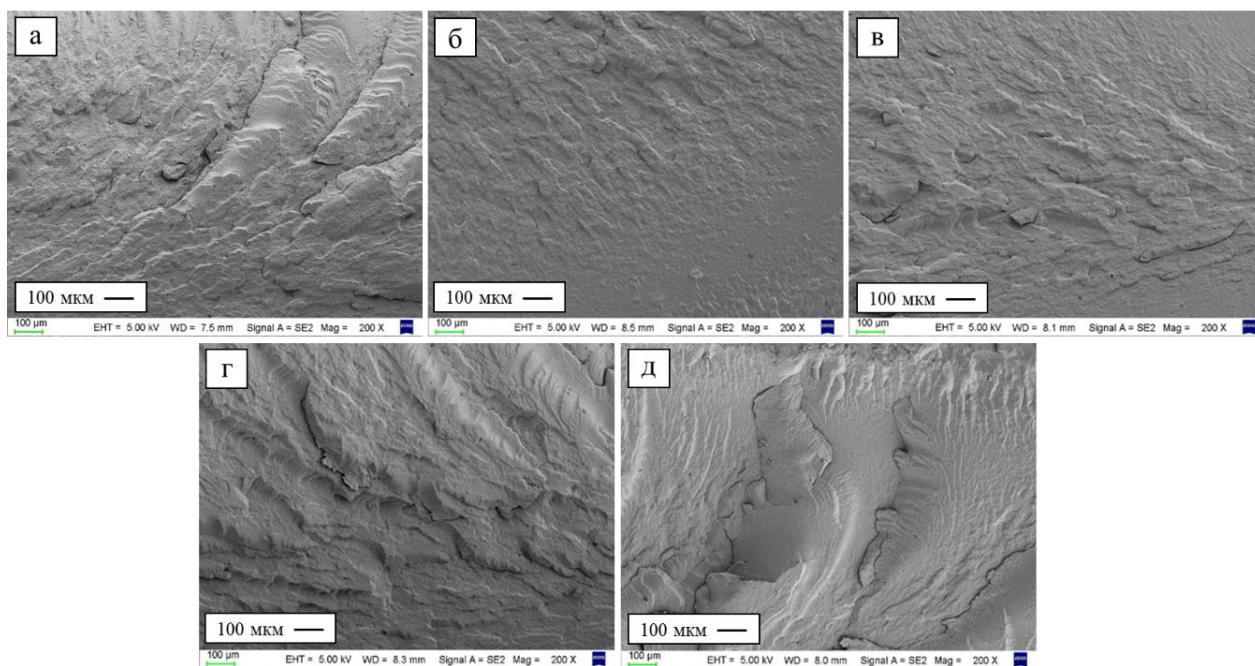


Рисунок 7 – Микрофотографии низкотемпературных сколов резин после старения на атмосферном воздухе при увеличении $\times 200$: а – ЭХГК, б – ЭХГК+Стафен, в – ЭХГК+6PPD, г – ЭХГК+СО-3, д – ЭХГК+СО-4

Установлено, что выраженные поверхностные дефекты в виде четких трещин характерны для резин без стабилизатора (рисунок 7а) и с СО-4 (рисунок 7д), у которых

развивается избыточное структурирование. Из всех исследованных образцов наиболее сохраненная структура наблюдается при использовании стабилизатора Стафен.

Методом ИК-спектроскопии по изменению спектральных индексов кислородсодержащих групп оценена степень окисления образцов до и после 24-месячного атмосферного старения (таблица 5).

Таблица 5 – Относительные коэффициенты поглощения кислородсодержащих групп образцов

Образцы	ЭХГК	Стафен	6PPD	CO-3	CO-4
Эфирный индекс					
Без старения	6,774	6,33	6,224	6,642	6,908
После старения	124,043	11,684	24,719	11,06	34,84
Карбонильный индекс					
Без старения	0,734	0,805	0,846	0,765	0,714
После старения	19,787	2,266	6,219	2,774	8,64
Гидроксильный индекс					
Без старения	0,121	0,116	0,171	0,134	0,141
После старения	20,426	0,992	2,254	1,426	4,52

Наиболее интенсивное накопление продуктов старения зафиксировано у образца без стабилизатора, тогда как введение стабилизаторов позволяет существенно ингибировать данные процессы. Рост эфирного индекса указывает на вторичное структурирование макромолекул каучука через кислородные мостики, а увеличение содержания гидроксильных и карбонильных групп свидетельствует о протекании термоокислительной деструкции.

Сравнение изменений свойств резин, экспонированных в жидких рабочих средах, выявило, что в среде И-50А для всех образцов характерно умеренное повышение показателей f_p , ϵ_p и N , обусловленное пластифицирующим действием среды при малой степени набухания (рисунок 8а). В среде нефти вследствие значительного набухания (рисунок 8б), приводящего к ослаблению межмолекулярного взаимодействия, наблюдается существенные изменения показателей: падение N и рост ϵ_p .

Наибольшую стабильность свойств как на открытом атмосферном воздухе, так и в агрессивных рабочих средах показала резина, содержащая стабилизатор Стафен, что обусловлено наличием объемного заместителя в п-положении, создающего стерические препятствия.

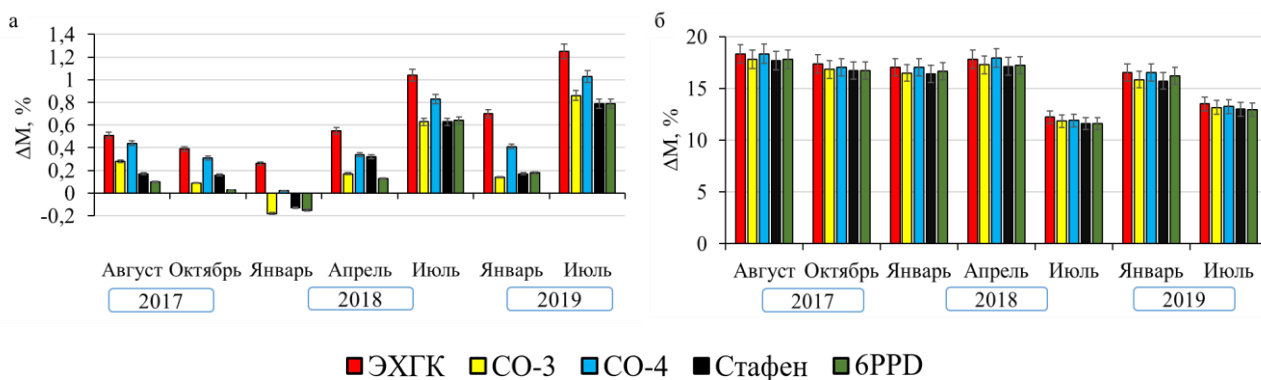


Рисунок 8 – Кинетика набухания резин на основе Hydrin T6000 в жидких рабочих средах: а – И-50А; б – нефть

В пятой главе изложены результаты работ по внедрению РТИ из разработанных материалов на промышленных предприятиях Республики Саха (Якутия). Испытания показали, что разработанные резины полностью выдерживают эксплуатационные нагрузки при низких климатических температурах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что переход от двойной тиурамовой системы ускорителей вулканизации (МБТ–ТМТД) к тройной (МБТ–ТМТД–ДФГ в оптимальном соотношении 1,5:0,5:0,5) увеличивает плотность вулканизационной сетки на 13–15 % за счет формирования сульфидных связей различной химической природы, что обеспечивает повышение морозостойкости при минус 55 °С на 10 %, износостойкости на 50 % и снижение остаточной деформации сжатия на 11 %.

2. Выявлено преимущество применения пластификаторов с линейной структурой (ДБС, ДОА, ДОС) для резин на основе эписхлоргидринового каучука Hydrin T6000, обеспечивающих снижение температуры стеклования на 7–21 °С, коэффициента морозостойкости при растяжении при минус 55 °С на 67–70 % по сравнению с резиной без пластификатора за счет повышения сегментальной подвижности макромолекул каучука. Выявленная закономерность носит инвариантный характер и может быть применима ко всему классу тройных сополимеров эписхлоргидринового каучука.

3. Установлена эффективность технологии предварительного набухания каучука в пластификаторе, улучшающей технологичность резиновых смесей и повышающей морозостойкость резин на основе ЭХГК до 12 % при минус 55 °С за счет глубокой диффузии молекул пластификатора в полимерную матрицу.

4. Установлено, что для разработки эластомерных материалов на основе ЭХГК, предназначенных для эксплуатации при температурах до минус 55 °С и ниже,

предпочтительным является использование технического углерода средней активности. Показано, что введение ТУ N774 в количестве от 65 до 80 мас. ч. обеспечивает приемлемый баланс между упруго-прочностными характеристиками, твёрдостью, морозостойкостью и способностью сохранять эластические свойства в сжатом состоянии (ОДС). Применение высокоактивных марок ТУ (N330), несмотря на повышение упруго-прочностных характеристик, приводит к ухудшению морозостойкости эластомеров за счет усиления межмолекулярного взаимодействия «каучук-наполнитель», ограничивающей сегментальную подвижность макромолекул каучука.

5. Доказана высокая эффективность пространственно-затрудненных фенолов как стабилизаторов для резин на основе эпихлоргидринового каучука в условиях воздействия экстремально холодного климата и агрессивных рабочих сред. Максимальное сохранение эксплуатационных свойств резин как на открытом атмосферном воздухе, так и в рабочих средах показала резина, содержащая стабилизатор Стафен. Так, после 24 месяцев натурной экспозиции изменение условной прочности при растяжении составило +6,7 %, относительного удлинения при разрыве -12,9 %, тогда как у резины без стабилизатора и со стабилизатором 6PPD эти показатели составили -8,4 %, -29,8 % и +36,1 %, -1,8 % соответственно. Добавление всего 1 мас. ч. на 100 мас. ч каучука позволяет эффективно подавлять процессы старения Hydrin T6000, обеспечивая стабильность структуры и свойств резин.

6. Успешно подтверждены высокие эксплуатационные характеристики уплотнений из резин на основе Hydrin T6000 в ходе опытно-промышленных испытаний на промышленных предприятиях Республики Саха (Якутия). Замена штатных уплотнений на изделия из Hydrin T6000 увеличивает ресурс уплотнительных элементов в зимний период более чем в 2–3 раза. Разработанные составы защищены патентом РФ № 2685089, а их применимость подтверждена 6 актами внедрения на промышленных предприятиях.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Соколова, М.Д. Эластомерные материалы уплотнительного назначения для эксплуатации в условиях холодного климата России / М.Д. Соколова, Н.В. Шадрин, М.Л. Давыдова, **А.Р. Халдеева**, В.В. Павлова // Каучук и резина. – 2018. – Т. 77, № 6. – С. 402-409.

2. **Халдеева, А.Р.** Исследование влияния пространственно-затрудненных фенольных стабилизаторов на климатическую устойчивость резин на основе эпихлоргидринового каучука / А.Р. Халдеева, М.Л. Давыдова, М.Д. Соколова, А.Ф. Федорова, В.В. Павлова // Нефтегазовое дело. – 2021. – Т. 19, № 2. – С. 78-90.

3. Davydova, M.L. Influence of Vulcanizing System on Properties and Structure of Rubbers Based on Hydrin T6000 Epichlorohydrin Rubber / M.L. Davydova, N.V. Shadrinov, **A.R. Khaldeeva**, A.F. Fedorova, M.D. Sokolova // Inorganic Materials. Applied research. – 2021. – Vol. 12, No. 4. – P. 859-865.

Переводная версия: Давыдова, М.Л. Влияние вулканизирующей системы на свойства и структуру резин на основе эпихлоргидринового каучука марки Hydrin T6000 / М.Л. Давыдова, Н.В. Шадрин, А.Р. Халдеева, А.Ф. Федорова, М.Д. Соколова // Материаловедение. – 2020. – № 9. – С. 10-15.

4. Федорова, А.Ф. Исследование влияния диоктилсебацата на свойства эпихлоргидриновых резин / А.Ф. Федорова, М.Л. Давыдова, В.В. Павлова, Н.В. Шадрин, **А.Р. Халдеева**, М.Д. Соколова // Известия Волгоградского государственного технического университета – 2021. – № 5 (252). – С. 27-32.

5. Федорова, А.Ф. Исследование влияния ускорителей вулканизации на свойства резин на основе эпихлоргидринового каучука / А.Ф. Федорова, **А.Р. Халдеева**, М.Л. Давыдова, М.Д. Соколова // Каучук и резина. – 2022. – Т. 81, № 3. – С. 118-122.

6. Давыдова, М.Л. Выбор ускорителей вулканизации для резин на основе эпихлоргидринового каучука / М.Л. Давыдова, **А.Р. Халдеева**, А.Ф. Федорова, М.Д. Соколова // Перспективные материалы. – 2023. – № 3. – С. 24-31.

*Переводная версия: Davydova, M.L. Choice of Accelerators of the Vulcanization Group for Rubbers Based on Epichlorohydrin Rubber / M.L. Davydova, **A.R. Khaldeeva**, A.F. Fedorova, M.D. Sokolova // Inorganic Materials: Applied Research. – 2023. – Vol. 14 (5). – P. 1321-1326.*

Публикации в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus:

1. **Haldeeva, A.R.** Development of Frost-Resistant Rubber Based on Epichlorohydrin Rubber of Hydrin T6000 Brand / A.R. Haldeeva, M.L. Davydova, M.D. Sokolova // Materials Science Forum. – 2019. – Vol. 945. – P. 356-361.

2. **Haldeeva, A.R.** Frost-Resistant Sealing Rubber Based on Hydrin T6000 / A.R. Haldeeva, M.L. Davydova, M.D. Sokolova // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2141, No. 1. – P. 040002.

Патент:

1. Пат. № 2685089 РФ, МПК C08L 19/00, C08K 3/04, C08K 3/06. Морозостойкая резиновая смесь на основе эпихлоргидринового каучука Hydrin T6000 / М.Л. Давыдова, **А.Р. Халдеева**, М.Д. Соколова, А.Ф. Федорова; заявитель и патентообладатель ФГБУН ФИЦ «ЯНЦ СО РАН». – № 2018114193; заявл. 17.04.2018; опубл. 16.04.2019, Бюл. № 11. – 7 с.

Глава в монографии:

1. Соколова М.Д. Оценка долговечности морозостойких резин и их композитов в климатических условиях Севера / М.Д. Соколова, Н.В. Шадрин, М.Л. Давыдова, А.Ф. Федорова, **А.Р. Халдеева** // Надежность материалов, техники и конструкций в условиях экстремально холодного климата / под ред. М.П. Лебедева. – Новосибирск: СО РАН, 2025. – С. 72-93.

Тезисы докладов и материалы конференций:

1. **Халдеева, А.Р.** Морозостойкая резина на основе эпихлоргидринового каучука / А.Р. Халдеева, М.Л. Давыдова // Труды VIII Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата «EURASTRENCOLD-2018». – Якутск, 2018. – С. 77-81.
2. **Халдеева, А.Р.** Получение и исследование резиновой смеси на основе эпихлоргидринового каучука марки HYDRIN T6000 / А.Р. Халдеева, М.Л. Давыдова, М.Д. Соколова // Материалы Всеросс. науч. конф. с междунар. участием «Третий Байкальский материаловедческий форум». – Улан-Удэ, 2018. – С. 215-216.
3. **Халдеева, А.Р.** Морозостойкие резины на основе эпихлоргидринового каучука «Hydrin T6000» / А.Р. Халдеева, М.Л. Давыдова, М.Д. Соколова // Сб. материалов четвертого междисциплинарного науч. форума с междунар. участием «Новые материалы и перспективные технологии». – Москва, 2018. – С. 329-332.
4. **Халдеева, А.Р.** Морозостойкие уплотнительные резины на основе Hydrin T6000 / А.Р. Халдеева, М.Л. Давыдова, М.Д. Соколова // Материалы IX Междунар. науч.-техн. конф. «Техника и технология нефтегазового производства». – Омск, 2019. – С. 147-148.
5. **Халдеева, А.Р.** Разработка морозостойких резин уплотнительного назначения на основе эпихлоргидринового каучука / А.Р. Халдеева, М.Л. Давыдова, М.Д. Соколова // Материалы II Междунар. молодежного конгр. «Современные материалы и технологии новых поколений». – Томск, 2019. – С. 67-69.
6. **Халдеева, А.Р.** Исследование климатической стойкости резин на основе эпихлоргидринового каучука / А.Р. Халдеева, М.Л. Давыдова, А.Ф. Федорова // Материалы Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Вклад Д.И. Менделеева

в развитие фундаментальных наук, в углубление и расширение образования для устойчивого развития». – Якутск, 2019. – С. 260-263.

7. **Халдеева, А.Р.** Влияние пространственно-затрудненных фенольных стабилизаторов на физико-механические свойства и структуру резин на основе эписхлоргидринового каучука / А.Р. Халдеева, М.Л. Давыдова, М.Д. Соколова, А.Ф. Федорова // Труды Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Полимерные и композиционные материалы в условиях Севера». – Якутск, 2021. – С. 45-48.

8. Соколова, М.Д. Пути повышения морозостойкости резин уплотнительного назначения / М.Д. Соколова, **А.Р. Халдеева**, В.В. Павлова // Сб. материалов X Всеросс. конф. с междунар. участием «Каучук и Резина – 2021: традиции и новации». – Москва, 2021. – С. 67-69.

9. **Халдеева, А.Р.** Изменение структуры эписхлоргидриновых резин, содержащих фенольные и аминные стабилизаторы, под действием климатических факторов / А.Р. Халдеева, М.Л. Давыдова, М.Д. Соколова, А.Ф. Федорова // Материалы V Междунар. конф. с элементами науч. школы «Новые материалы и технологии в условиях Арктики». – Якутск, 2022. – С. 197-199.

10. **Халдеева, А.Р.** Влияние ускорителей вулканизации на свойства резин на основе Hydrin T6000 / А.Р. Халдеева, М.Л. Давыдова, А.Ф. Федорова, М.Д. Соколова // Материалы Всеросс. молодежной науч.-практ. конф. «Нанотехнологии. Информация. Радиотехника (НИР-23)». – Омск, 2023. – С. 100-104.

11. **Халдеева, А.Р.** Разработка морозостойких эластомерных материалов уплотнительного назначения на основе эписхлоргидринового каучука и их климатические испытания / А.Р. Халдеева, М.Д. Соколова, М.Л. Давыдова, А.Ф. Федорова // Сб. материалов XII Всеросс. конф. с междунар. участием «Каучук и резина – 2024: традиции и новации». – Москва, 2024. – С. 88-89.

12. **Халдеева, А.Р.** Подбор ускорителей вулканизации и их влияние на свойства резин на основе эписхлоргидринового каучука марки Hydrin T6000 / А.Р. Халдеева // Материалы Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов 2024», секция «Химия». – Москва, 2024. – С. 946.

13. Соколова, М.Д. Опыт импортозамещения при разработке морозостойких резин / М.Д. Соколова, **А.Р. Халдеева** // Материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф. «Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения». – Нальчик, 2025. – С. 267.