ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Халдеевой Анны Романовны «Разработка морозостойких уплотнительных резин на основе эпихлоргидринового каучука для эксплуатации в экстремально холодном климате», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки)

Актуальность темы диссертационной работы определяется стратегическими приоритетами развития Российской Федерации. Промышленное освоение Арктической зоны является приоритетным направлением государственной политики и закреплено Указом Президента РФ № 645 от 26.10.2020. Реализация масштабных инфраструктурных и добывающих проектов в высоких широтах обуславливает необходимость создания надежных технических систем, функционирующих в экстремальных климатических условиях.

Особую значимость в этом контексте приобретает проблема обеспечения герметичности и работоспособности резинотехнических изделий (РТИ). Приведенные в работе данные о том, что до 30 % отказов машин и механизмов в условиях Крайнего Севера обусловлены разрушением уплотнительных элементов, убедительно подтверждают критичность рассматриваемой проблемы. Комплексное воздействие низких температур, УФ-излучения, резких перепадов температур и агрессивных углеводородных сред приводит к преждевременной потере эластичности и герметизирующей способности резин.

Соискатель верно акцентирует внимание на ключевом противоречии современного материаловедения: необходимости обеспечения комплекса свойств, сочетающего высокую морозостойкость с масло-, бензо- и износостойкостью. Ограниченность существующей сырьевой базы в РФ, в частности, использование бутадиен-нитрильных каучуков с содержанием акрилонитрила 17-18%, не всегда позволяет достичь требуемого уровня низкотемпературных свойств. В связи с этим, поиск альтернативных эластомерных матриц, в частности эпихлоргидриновых каучуков (ЭХГК), таких как Hydrin T6000 с температурой стеклования минус 60°С, представляет собой научно обоснованный и практически значимый шаг. Недостаточная изученность и ограниченное количество исследований по применению данного каучука в рецептурах морозостойких уплотнительных резин для арктических условий определяют новизну и своевременность настоящей диссертационной работы.

Таким образом, тема диссертации Халдеевой А.Р. является, безусловно, актуальной и направлена на решение важной научно-технической задачи – повышение надежности и долговечности техники, эксплуатируемой в экстремальных условиях Арктической зоны РФ.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработаны научные основы выбора функциональных ингредиентов для создания морозостойких (до минус 55°С) уплотнительных резин на основе ЭХГК. Данные основы

базируются на выявленных соискателем закономерностях влияния структуры пространственной сетки, структуры пластификаторов, технического углерода, стабилизаторов, а также технологических приемов введения пластификаторов и термостатирования после вулканизации.

2. Установлено и научно обосновано, что применение тройной системы ускорителей вулканизации позволяет сформировать вулканизационную сетку резин на основе ЭХГК с сульфидными связями различной химической природы. Соискателем доказано, что увеличение плотности сетки на 13–15% по сравнению с двойной системой обеспечивает повышение морозостойкости на 10%, износостойкости на 50% и снижение остаточной деформации сжатия на 11%.

3. Установлено и экспериментально подтверждено преимущество пластификаторов с линейной структурой (ДБС, ДОА, ДОС) для обеспечения высокой морозостойкости резин на основе ЭХГК за счет повышения сегментальной подвижности макромолекул каучука, что доказано сдвигом температуры стеклования на 7–21°С в область низких температур, определенным методом ДСК. Кроме того, соискателем научно 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 марки 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 работы заключается в следующем:

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

2. Осуществлено успешное внедрение результатов исследований в реальный сектор экономики. Разработанные материалы успешно прошли опытно-промышленные испытания в составе резиновых уплотнений на ведущих предприятиях региона, включая ОАО НК «Туймаада-нефть», ОАО «Саханефтегазсбыт», ООО «Сервис-Краспецавтоматика», ООО «ТЗК «АэропортГСМсервис»», АО «Аэропорт Якутск». Испытания подтвердили полную работоспособность и надежность уплотнений в условиях экстремально низких температур, что зафиксировано в 6 актах внедрения.

3. Сформулированы рекомендации для стратегического развития отечественной промышленности эластомеров. Соискатель обосновал научно-техническую необходимость производства российскими промышленными предприятиями эпихлоргидриновых каучуков со свойствами на уровне каучука Hydrin T6000. Данный шаг имеет критически важное значение для обеспечения импортонезависимости РФ при изготовлении резин с высокой

надежностью и долговечностью в составе техники, эксплуатируемой в холодном климате РФ, особенно при освоении арктических территорий.

Анализ содержания работы и ее завершенности. Диссертационная работа Халдеевой Анны Романовны состоит из введения, литературного обзора, описания объектов и методов исследования, основных результатов и их обсуждения, внедрения на промышленных предприятиях, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка используемой литературы и приложения. Работа изложена на 178 страницах машинописного текста, включает 36 рисунков, 21 таблицу и 6 приложений. Список цитируемых литературных источников содержит 232 наименования. Рукопись оформлена в соответствии с существующими требованиями ВАК РФ и представляет собой завершенную научную работу.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Во введении соискателем сформулирована актуальность диссертационной работы, определены цели и задачи, изложены научная новизна, практическая и теоретическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности полученных результатов и данные их апробации.

Первая глава посвящена анализу современного состояния науки в области создания морозостойких резин уплотнительного назначения, а также материаловедческим аспектам их разработки. Особое внимание уделено роли вулканизующей системы, пластификаторов и стабилизаторов. Показан высокий потенциал эпихлоргидринового каучука марки Hydrin T6000 как основы для создания морозостойких резин уплотнительного назначения. Проведен анализ современного состояния российского рынка ингредиентов резинотехнической промышленности, который свидетельствует о наличии достаточно развитой сырьевой базы и создает необходимый фундамент для разработки перспективных морозостойких эластомеров. Проведенный автором анализ литературы позволил обосновать цели и содержание работы.

Во второй главе приведены характеристики эпихлоргидринового каучука марки Hydrin T6000 (Zeon Chemicals L.P.) и ингредиентов резиновой смеси (вулканизующего агента, ускорителей и активаторов вулканизации, активных наполнителей, мягчителя, пластификаторов, стабилизаторов). Подробно изложены используемые методики исследований. В работе использованы современные методы анализа, такие как сканирующая электронная микроскопия, инфракрасная спектроскопия и дифференциальная сканирующая калориметрия. 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 использованы стандартизированные методики. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена стандартными методами математической статистики.

Третья глава посвящена исследованию свойств морозостойких резин уплотнительного назначения на основе ЭХГК марки Hydrin T6000 и состоит из 3 разделов,

в которых приведены экспериментальные данные, полученные в ходе исследования, а также их обсуждения.

В первом разделе представлены результаты исследования влияния состава вулканизующей группы на свойства резин на основе Hydrin T6000. Соискатель провел сравнительный анализ эффективности двойных и тройных систем ускорителей серной вулканизации, включающих тиурам (ТМТД), дифенилгуанидин (ДФГ) и каптакс (МБТ). Экспериментально 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%.

Во втором разделе соискателем изучено влияние пластификаторов различной химической природы (ДБС, ДОС, ДОА, 3G8, ДОФ, ДОТФ), направленное на улучшение технологических свойств смесей и морозостойкости резин. Анализ физико-механических характеристик позволил автору обосновать преимущество линейных пластификаторов (ДБС, ДОС, ДОА) для резин на основе ЭХГК. Экспериментально доказано, что их применение обеспечивает снижение температуры стеклования на 7-21°С, а также повышение коэффициента морозостойкости при растяжении при минус 55°С на 67-70% по сравнению с резиной без пластификатора. Научный и практический интерес представляет предложенный для данных пластификаторов метод предварительного набухания каучука в пластификаторе, который способствует улучшению технологичности резиновых смесей и повышению морозостойкости резин до 12% при минус 55°С.

В третьем разделе Халдеевой А.Р. изучено влияние технического углерода (ТУ) высокой активности марки N330 и средней активности марки N774. На основе анализа свойств резин автором обосновано, что для разработки морозостойких резин предпочтительным является использование ТУ средней активности. В ходе оптимизации состава композиций установлено, что введение ТУ N774 в интервале от 65 до 80 мас. ч. обеспечивает приемлемый баланс между упруго-прочностными характеристиками, твердостью, морозостойкостью и способностью сохранять эластические свойства в сжатом состоянии (ОДС). Научный и практический интерес представляет предложенный автором технологический прием: на примере наполненной смеси (80 мас. ч. ТУ) показана высокая эффективность дополнительного термостатирования, позволяющего существенно снизить показатель ОДС с 69% до 39%, что особенно важно для уплотнительных материалов.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния пространственно-затрудненных фенолов (Стафен, СО-3, СО-4) на свойства и структуру эпихлоргидриновых резин при климатическом старении в условиях экстремально холодного климата Республики Саха (Якутия). Соискателем научно доказана высокая эффективность пространственно-затрудненных фенолов как стабилизаторов для резин на основе эпихлоргидринового каучука. Экспериментально установлено, что максимальную

стабильность эксплуатационных свойств как на открытом атмосферном воздухе, так и в рабочих средах показала резина, содержащая стабилизатор Стафен.

Пятая глава посвящена внедрению РТИ из разработанных материалов на промышленных предприятиях Республики Саха (Якутия). Испытания показали, что разработанные автором резины полностью выдерживают эксплуатационные нагрузки при низких климатических температурах. Замена штатных уплотнений на изделия из Hydrin T6000 увеличивает ресурс уплотнительных элементов в зимний период более чем в 2-3 раза.

В заключении обобщены результаты исследований, обладающие научно-практической значимостью. Эти данные подтверждают успешное решение поставленных задач и достижение цели диссертационной работы.

В приложении приведены материалы, подтверждающие практическую значимость полученных результатов (акты внедрения).

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Основные положения, выносимые соискателем на защиту, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы и аргументированы. Их достоверность не вызывает сомнений, так как исследования выполнены с применением комплекса стандартизированных и современных инструментальных методов на сертифицированном оборудовании. Экспериментальные данные подвергнуты статистической обработке, выводы непротиворечивы и согласуются с известными научными представлениями. Диссертационная работа изложена хорошим научным языком, материал логично структурирован, оформление соответствует установленным требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Работа прошла апробацию на международных и всероссийских конференциях, основные результаты опубликованы в 23 печатных работах, в том числе 6 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 2 статьях в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, 1 главе в коллективной монографии, 1 патенте РФ на изобретение и 13 тезисах докладов в сборниках материалов конференций.

Научные публикации диссертанта в полном объеме отражают основные положения диссертационной работы, соответствуют ее содержанию и задачам исследования, раскрывают положения научной новизны и практической значимости.

Соответствие содержания автореферата основным положениям и выводам диссертации, качество оформления автореферата.

Автореферат логично структурирован и его содержание в полной мере отражает основные положения, цели, задачи, научную новизну, практическую и теоретическую значимость, методологию исследования и выводы диссертационной работы. Он содержит достаточное количество иллюстративного материала, позволяющего наглядно представить основные результаты исследования. По своему объему и оформлению работа полностью

соответствует требованиям, предъявляемым к авторефератам диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

Вопросы и замечания по диссертационной работе.

1. В главе 3 совместимость выбранных пластификаторов с каучуком предлагается оценивать по параметрам растворимости Хансена. Однако в таблице 3.6 приведены лишь значения суммарного параметра — без разбивки на составляющие (дисперсионную, полярную и водородную). В дальнейшем влияние пластификаторов на свойства резин объясняется преимущественно через структуру и вязкость используемых веществ. При этом анализ взаимодействия каучука и пластификатора мог бы быть полнее, если учитывать вклад каждой из составляющих параметра растворимости.

2. В главе 4 приведены результаты натурных климатических испытаний резин на основе ЭХГК марки Hydrin T6000 продолжительностью 24 месяца. Возникает вопрос: является ли двухлетний срок экспозиции достаточным для объективной оценки эксплуатационных характеристик и прогнозирования долговечности уплотнительных изделий, а также эффективность стабилизаторов?

3. В пятой главе показано, что замена штатных уплотнений на изделия из Hydrin T6000 увеличивает их зимний ресурс в 2-3 раза. Проводился ли расчет экономического эффекта от внедрения разработанных резин?

4. Для оценки поведения разработанного материала в условиях реальной эксплуатации определяющую роль играют показатели усталостных свойств эластомеров, что определяет срок службы изделия. Отсутствие таких испытаний в диссертационной работе можно отнести к её недостаткам.

Указанные замечания не уменьшают значимости работы и не снижают положительную оценку диссертации в целом.

Заключение.

Диссертация Халдеевой Анны Романовны на тему «Разработка морозостойких уплотнительных резин на основе эпихлоргидринового каучука для эксплуатации в экстремально холодном климате» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена научная задача по разработке основ выбора функциональных ингредиентов для создания морозостойких уплотнительных резин на основе эпихлоргидринового каучука с повышенным комплексом эксплуатационных характеристик. Содержание и результаты работы соответствуют паспорту научной специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки) по пунктам 1, 3, 16.

По своей актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости полученных результатов диссертация полностью отвечает требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Халдеева Анна Романовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата

технических наук по научной специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки).

Официальный оппонент Котова Светлана Владимировна
и.о. заведующего кафедрой химии и технологии переработки эластомеров имени Кошелева Ф.Ф. Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА-Российский технологический университет», доцент, доктор технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.
119454, г. Москва, проспект Вернадского, д.78.
Тел.: +79255508566
E-mail: s.v.kotova@mail.ru

_____ Котова Светлана Владимировна
«29» сентября 2026 г.

Я, Котова Светлана Владимировна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Халдеевой Анны Романовны и их дальнейшую обработку.

_____Котова Светлана Владимировна
«29» сентября 2026 г.

Подпись доктора технических наук Котовой Светланы Владимировны заверяю:

Первый проректор, д.х.н., профессор Прокопов Н.И.