

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования

«Российский химико-технологический
университет имени Д.И. Менделеева»,
г. Ф. М. И.

Е.В. Хайдуков

2025 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (РХТУ им. Д.И. Менделеева) на диссертационную работу Макущенко Ивана Сергеевича «Противокоррозионный герметик для предотвращения коррозии сопрягаемых металлических материалов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов

1. Актуальность темы исследования для науки и практики

Образование и развитие коррозии элементов конструкций авиационной техники может привести к нарушению герметичности соединений, ухудшению обтекаемости самолета и его частей, загрязнению эксплуатационных жидкостей коррозионными продуктами и т.д. Контактная коррозия представляет собой один из видов коррозионных разрушений, возникающих при контакте с разнородными металлами в присутствии электролита. Применение различных способов защиты от контактной коррозии, в особенности полимерными покрытиями, позволяет обеспечить защиту металлических конструкций от

воздействия факторов окружающей среды и увеличить срок службы изделий. Герметизация является одним из способов защиты от контактной коррозии и способна предотвратить попадание конденсата или иных сред в узлы и щели элементов конструкций, а также не допустить утечек жидкостей и газов. В качестве дополнительной противокоррозионной защиты элементов конструкций авиационной техники эффективно применение полисульфидных герметиков. Полисульфидные герметики широко известны ввиду их высокой прочности, что необходимо при применении в авиационной технике, так как они подвергаются воздействию значительных механических нагрузок, экстремальных температур и условий, а также благодаря их долгому сроку службы. Для усиления защитных свойств и повышения антикоррозионной стойкости материалов, в полисульфидные герметики целесообразно вводить ингибиторы коррозии. Однако, применение их в полисульфидных герметизирующих материалах практически не исследовалось.

Таким образом, проведение исследований и разработок в области авиационных полисульфидных герметиков, обеспечивающих дополнительную противокоррозионную защиту элементов конструкций авиационной техники, является **актуальной** задачей.

Целью своей работы автор ставит разработку состава, технологию изготовления и исследования механизма отверждения противокоррозионного полисульфидного герметика с улучшенными эксплуатационными характеристиками для предотвращения контактной коррозии сопрягаемых металлических материалов авиационной техники.

Для достижения поставленной цели, автор решает следующие **задачи**:

1. Исследование и выбор меркаптосодержащих олигомеров в качестве матрицы герметика.
2. Исследование и выбор ингибиторов коррозии и их влияния на свойства модельной композиции герметика на основе меркаптосодержащих олигомеров.

3. Оценка эффективности защитной способности модельной композиции герметика, содержащей ингибиторы коррозии.

4. Разработка рецептуры и технологии изготовления герметика с противокоррозионными свойствами.

2. Научная новизна диссертационной работы

Основной научный вклад состоит в разработке состава и технологии изготовления противокоррозионного герметика. В работе установлено, что введение 1,5 масс. ч., способствует увеличению плотности вулканизационной сетки и структурных связей, повышающих прочность композиции. Введение хромсодержащих ингибиторов коррозии в количестве 0,1 % масс. приводит к ускорению отверждения модельной композиции герметика, т.к. происходит протекание дополнительных химических реакций с участием шестивалентного хрома. Введение хромсодержащих ингибиторов способствует образованию плотной разветвленной микроструктуры, что позволяет создать сложный путь для коррозионно-активной среды и способствует вымыванию ингибиторов из полимерной матрицы при этом влагопоглощение композиции снижается. В работе автор предлагает следующий механизм защитного действия модельной композиции герметика, содержащего в составе ингибитор коррозии - при контакте с жидкостью ингибитор коррозии вымывается из микроструктуры герметика на поверхность металла и пассивирует ее, снижая ток коррозии, возникающий при контакте сопрягаемых разнородных материалов, более чем в 2,6 раза.

3. Практическая значимость результатов диссертационной работы

Практическая значимость работы состоит в разработке рецептуры и технологии изготовления герметика, обеспечивающего дополнительную противокоррозионную защиту, которому в дальнейшем присвоена марка ВГМ-17. Немаловажной частью в практической значимости является и то, что на разработанный материал оформлена технологическая документация (ТИ и ТР),

проведены работы в рамках программы опробования и внедрения. В результате выполнения работы получен патент № 2817353 от 15.04.2024 г.

4. Содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, **6** глав, выводов, списка использованной литературы из **112** наименований, содержит **64** рисунка, **32** таблицы, изложена на **148** страницах машинописного текста.

Во введении обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулированы цели и задачи исследований, отражены основные положения, полученные лично автором, отмечена научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе проведен обзор отечественной и зарубежной научно-технической литературы, в котором показаны основные очаги коррозии, возникающие в узлах конструкций авиационной техники, способы защиты от коррозии, исследования и механизмы действия ингибиторов коррозии. Подробно рассмотрена герметизация в качестве одного из основных способов защиты от коррозии. На основе статистических и литературных данных установлено, что герметики на полисульфидной основе активно применяются в авиационной технике, в частности рассмотрены зарубежные противокоррозионные герметики на основе полисульфидов.

Во второй главе приведены основные объекты исследования – тиоколы и гибридные меркаптосодержащие олигомеры, компоненты с указанием химической природы, ингибиторы коррозии. В работе использованы широко применяемые методы исследования, выполняемые в соответствии с требованиями действующих стандартов на современном оборудовании.

В третьей главе проведены сравнительные исследования меркаптосодержащих олигомеров, определены физико-механические свойства вулканизатов при введении в их состав серы, выбрана матрица противокоррозионного герметика. Показано, что при содержании серы от 0,5

масс. ч до 1,5 масс. ч. в вулканизатах на основе тиоколов G 112, LP-32, TP-2 показатели физико-механических свойств в совокупности $\approx 35\%$ выше, чем у вулканизатов на тиоколах G-21, LP-23, TP-3 соответственно. Вулканизаты на основе тиоколов марок I-НТ и II-НТ имеют высокие значения физико-механических свойств, соответствующих ГОСТ 12812-80. Для дальнейших исследований в качестве матрицы противокоррозионного герметика был выбран тиокол марки TP-2, однако автором отмечено, что применение тиоколов марок G 112, LP-32, II-НТ не исключается при применении их в качестве альтернативного варианта матрицы герметика.

Четвертая глава, посвящена выбору и исследованию ингибиторов коррозии, и их влиянию на свойства модельной композиции герметика на основе меркаптосодержащего олигомера. По результатам исследований автором установлен состав и технология изготовления модельной композиции герметика, в которой для регулирования вязкости компонента А при необходимости следует вводить загуститель. Оптимальными параметрами для диспергирования на трехвалковой машине при изготовлении компонента А являются: ширина зазоров между валками не более 50 мкм при первом и втором проходе, температура валков равная 35-40 °С, скорость выходного валка 170-230 об/мин. Оптимальными параметрами для диспергирования для изготовления компонента Б являются: ширина зазоров между валками менее 45 мкм при первом и втором проходе, температура валков равная 35-40 °С, скорость выходного валка 150-200 об/мин. Ингибиторы коррозии не требуют дополнительной предварительной обработки. На основании полученных результатов для дальнейших исследований модельной композиции герметика количество компонента Б выбрано в количестве 12 масс. ч. Введение 1 и 2 % масс. ингибиторов коррозии в состав снижает показатели физико-механических свойств композиции, а введение 0,1 % и 0,5 % масс. способствует улучшению физико-механических свойств на 10% и более. Композиция с содержанием

0,1 % хромсодержащих ингибиторов не относятся к коррозионно-агрессивным. В процессе сшивки наличие хромсодержащих ингибиторов коррозии способствует уменьшению тепловых эффектов, наблюдаемых при исследовании отвержденных образцов композиций. Установлено, что хромсодержащие ингибиторы ускоряют процесс отверждения. Ингибиторы коррозии участвуют в процессе без полного химического взаимодействия с полимерной матрицей или компонентами композиции. В процессе отверждения модельной композиции герметика не происходит седиментации ИнК, что подтверждено методом рентгеноспектрального микроанализа. Модельная композиция герметика, содержащая ингибиторы, в среднем до 5 % меньше набирает массу в дистиллированной воде и до 0,3 % меньше теряет массу в топливе ТС-1 в сравнении с композицией без содержания ингибиторов.

В пятой главе по результатам исследований автором установлено, что введение в раствор электролита водной вытяжки модельной композиции герметика, содержащей ионы ингибиторов, способствует снижению силы тока и напряжения, возникающие в гальванической паре. Наибольшей эффективностью против распространения коррозии обладает модельная композиция герметика, содержащая ХЦА. Автором установлено, что ингибиторы коррозии вымываются из модельной композиции герметика, тем самым обеспечивая и усиливая защиту от контактной коррозии материалов. Автором предложен механизм защиты полисульфидного герметика, содержащего ингибиторы коррозии: в случае появления механических дефектов полимерных покрытий, принимающих на себя основной удар агрессивных факторов окружающей среды, высоких знакопеременных нагрузках, приводящих к появлению трещин, отслаиванию в результате снижения адгезии, может образовываться коррозия из-за попадания влаги или иного электролита, вызывающего контактную коррозию. При повреждении противокоррозионного герметика, в процессе эксплуатации при возникновении

механических дефектов и попадании влаги в образовавшуюся трещину, ингибитор вымывается в жидкость и попадает на защищаемую поверхность с образованием защитного слоя.

В шестой главе приведена технология изготовления противокоррозионного герметика, которому присвоена марка ВГМ-17. Приведен сравнительный анализ разработанного герметика с зарубежным аналогом. Разработанный антикоррозионный герметик обладает превосходными свойствами по сравнению с зарубежным аналогом и показал более высокие прочностные свойства и повышенную адгезию к различным поверхностям.

5. Обоснование и достоверность

При выполнении диссертационной работы Макущенко И.С. использованы стандартизованные методы испытаний, метрологически аттестованное, поверенное современное оборудование, обработан значительный объем экспериментальных данных.

Результаты приведенных исследований отражены в 13 научных работах, из них 2 в изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России, 3 в журналах, включенных в международные системы цитирования и 1 патент РФ.

Полученные результаты можно использовать в организациях, занимающихся как изготовлением герметизирующих материалов авиационного назначения, так и в организациях, непосредственно связанных с изготовлением воздушных судов с применением герметизирующих материалов.

Аннотация в полной мере соответствует диссертационной работе, в достаточной степени отражает научную новизну, содержание, результаты и полученные выводы.

6. Замечания по диссертационной работе

1. В работе не указаны марки оборудования и некоторых компонентов герметика.

2. Автор для исследования химической структуры меркаптосодержащих

олигомеров использовал метод ИК-спектроскопии. Однако тиольные группы плохо отображаются на данных спектрах и следовало бы в дополнение к ИК-спектроскопии также применить КР-спектроскопию для более полного анализа.

3. На рисунке 3.9 приведена зависимость плотности вулканизационной сетки по данным равновесного набухания в толуоле в зависимости от содержания серы. Целесообразно было бы провести исследование на всех тиоколах и с шагом содержания серы в 0,1% для полноты информации.

4. В работе присутствуют термины «сшивка», «отверждение» и «вулканизация», которые автор относит к одному процессу. Однако, данные процессы описывают различный механизм действия и применять их для обозначения одного процесса, протекающего в материале, стилистически не корректно.

5. В работе при описании количества вводимых ингибиторов коррозии не указывается, какой процент ввода имеет в виду автор – массовый или объемный.

Перечисленные замечания не ставят под сомнение новизну, основные выводы и результаты работы, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

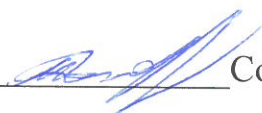
7. Общая оценка диссертации

Диссертационная работа Макущенко Ивана Сергеевича на тему: «Противокоррозионный герметик для предотвращения коррозии сопрягаемых металлических материалов» представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов, представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, имеющей актуальность, научную новизну, практическую ценность, и в полной мере удовлетворяет требованиям и критериям, установленным пунктам 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства

РФ №842 от 24 сентября 2013 г. в действующей редакции) отвечает требованиям ВАК, предъявленным к кандидатским диссертациям, а ее автор Макущенко И.С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Отзыв на диссертационную работу Макущенко Ивана Сергеевича «Противокоррозионный герметик для предотвращения коррозии сопрягаемых металлических материалов» рассмотрен и утвержден на расширенном заседании кафедры химической технологии пластических масс (ХТП) с привлечением сотрудников кафедры химической технологии полимерных композиционных материалов и покрытий (ЛКМ) РХТУ им. Д.И. Менделеева протокол № 2 от «24» сентября 2025 г.

Отзыв на диссертационную работу составили:

к. х. н., доцент кафедры ЛКМ  Солдатов Михаил Александрович

Председатель заседания

д. х. н., доцент,

и. о. заведующего кафедрой ХТП  Биличенко Юлия Викторовна

Секретарь заседания

к. х. н., доцент кафедры ХТП  Тупиков Антон Сергеевич

Подписи Солдатов М. А., Биличенко Ю. В., Тупикова А. С. заверяю



 Н.А. МАКАРОВ