

АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА

На правах рукописи

**ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ КОРПУСА
СУДНА С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОПОЛНИТЕЛЕЙ В
ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЯХ**

Специальность: 3319.03 – “Технология судостроения и
судоремонта”

Область науки: технические науки

Соискатель: **Фатьянова Наталья Владимировна**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по технике

Баку – 2025

Диссертационная работа выполнена в Азербайджанской Государственной Морской Академии.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Исмаилов Низами Шаи оглы

Официальные оппоненты:

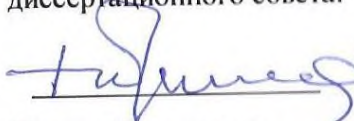
доктор технических наук, профессор
Гувалов Аббас Абдурахман оглы

доктор технических наук, доцент
Джаббаров Тахир Гаффар оглы

доктор философии по технике, доцент
Оруджев Фазиль Сяди оглы

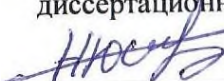
На базе Диссертационного совета ED 2.02, действующего при «АГУНП» ПЮЛ, создан одноразовый Диссертационный совет с регистрационным номером BFD 2.02 при Высшей аттестационной комиссии при Президенте Азербайджанской Республики

Председатель
диссертационного совета:



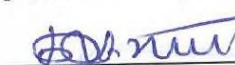
доктор технических наук, профессор
Габиев Ибрагим Абульфаз оглы

Ученый секретарь
диссертационного совета:



доктор технических наук, профессор
Ибрагимов Назим Юсиф оглы

Председатель научного семинара:



доктор технических наук, профессор
Баширов Расим Джавад оглы



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и степень разработанности проблемы.

Коррозия металлических изделий, конструкций и оборудования наносит значительный технико-экономический и экологический ущерб водному транспорту, в связи с чем требования к коррозионной стойкости судовых металлоконструкций повышаются, что делает актуальными задачи совершенствования способов защиты.

Коррозионные разрушения наносят непоправимый ущерб корпусу судна, трубопроводам, сооружениям и прочим конструкциям судов, так как вследствие коррозионного воздействия уменьшается плотность и прочность конструкций и корпуса в общем. В целях устранения последствий коррозионного разрушения требуется выполнение дорогостоящих ремонтов.

Необходимо принимать во внимание то, что большая часть деталей элементов корпуса, сооружений и судовых механизмов одновременно подвергается воздействию коррозионного разрушения и механических напряжений. По причине коррозионных и механических разрушений гибнет немалое количество плавучих технических сооружений.

По данным экспертов потери металла составляют 30 % от всего годового производства стали и 10 % металла безвозвратно теряется, рассеивается в виде продуктов окисления. Однако потеря металла вследствие коррозионных разрушений не является определяющей, поскольку не учитывают остальные затраты, которые связаны с выходом из строя металлических конструкций и агрегатов. Реальный урон с экономической точки зрения при потере сооружения состоит из таких факторов, как стоимость утраченного оборудования, затраты на его восстановление и ремонт, убытки от простоя в работе и прочие.

При нарушении целостности резервуаров с нефтью и танков морских судов газогидратами или другим сырьём для энергоресурсов, возможно загрязнение водной поверхности. Загрязнения нефтепродуктами водной поверхности наносят большой вред окружающей среде. Попадая на поверхность воды,

нефть быстро растекается, тяжелые фракции нефти оседают на дно, загрязняется не только береговая зона, но и морское дно.

В целях улучшения противокоррозионных свойств корпуса применяются различные способы защиты. Среди них неоспоримыми преимуществами обладают лакокрасочные покрытия. С целью повышения технологических свойств и снижения расхода пигментов лакокрасочных материалов (ЛКМ) вводятся специальные вещества- наполнители: мел, микроасбест, аэросил, тальк, микрослюда и др. Лакокрасочные материалы по сути являются взвесями частиц пигментов и прочих компонентов в жидких плёнкообразующих веществах. При вводе наполнителей в значительной степени улучшаются прочностные и адгезионные характеристики покрытия, создаётся возможность более плотного заполнения малейших неровностей окрашиваемых поверхностей.

ЛКМ, имеющие в своём составе наряду с базовыми компонентами какие-либо наноструктуры и образующие покрытия толщиной наноразмеров, называются нанолакокрасочными материалами (НЛКМ).

Производство и применение нанонаполнителей для судовых ЛКМ открывает новые горизонты в использовании их необычных свойств. Применение нанонаполнителей позволяет получать сверхтонкие ЛКП толщиной в 0,01-3500 мкм. Краски с нанонаполнителями обладают очень высокими показателями адгезионной прочности, гидрофобности, абразивной, химической и термической стойкости.

На сегодняшний день существует много методов защиты корпуса судна от коррозии. Тем не менее, они не в полной мере обеспечивают полное её предотвращение и недостаточно защищают от коррозионных разрушений. В сфере металловедения первым вопрос коррозионной защиты рассмотрел российский Академик Г.В. Карпенко. В его работах затронуты вопросы опасности проявления коррозионной усталости и водородного охрупчивания, отрицательно сказывающиеся при эксплуатации судовых металлоконструкций и приводящие к огромным экономическим потерям.

Диссертационное исследование основано на научных трудах ученых в области защиты от различных коррозионных разрушений морских судов, таких как Медведев М.С., Редреев С.Е., Андреев Э.М., Бойко И.А., Бабкина З.Ф., Билев Е.А. Вопросы прочности металла в коррозионной среде исследовались Дюрягиной А.Н., Пономаревой Е.Б., Тюканько В.Ю., Шириным С.А., Буйновой О.А. Методы коррозионных испытаний с применением лакокрасочных покрытий были предложены Дринбергом А.С., воздействие поверхностно-активной среды на коррозионные процессы представлено в работах Болатбаева К.Н., Островного К.А., Дюрягиной А.Н.

Несмотря на большое количество исследований в области повышения коррозионной стойкости корпуса судна, на сегодняшний день мало исследований, посвящённых вопросам применения нанонаполнителей в судовых лакокрасочных покрытиях, обусловленное сравнительно недавними открытиями в области нанотехнологий и возможностями применения наночастиц в различных сферах промышленности, в частности, при приготовлении эмалей на основе нанонаполнителей.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является повышение коррозионной стойкости корпусных конструкций судов посредством применения нанонаполнителей в лакокрасочных материалах, а предметом исследования – состав, свойства и различные методы повышения характеристик судовых ЛКМ.

Цель исследования. Целью научного исследования является применение эффективных методов улучшения качества ЛКМ и ЛКП, обеспечивающих защиту корпусных конструкций судов от коррозионного разрушения на основе рационального использования нанонаполнителей.

Основными задачами диссертационного исследования являются:

1. Обзор основных направлений защиты корпуса судна от коррозионного воздействия.

2. Обоснование и выбор методов и средств исследования качества ЛКМ.

3. Анализ состава и свойств наполнителей судовых лакокрасочных материалов.

4. Проведение экспериментальных исследований с целью выявления рациональных составов и свойств судовых лакокрасочных материалов.

5. Техничко-экономическая обоснованность применения нанонаполнителей в производстве ЛКМ.

Методы исследования. В данной работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследования (анализ, синтез, метод сбора фактов, аналогии, сравнение, индукция, дедукция, классификация, наблюдение). Расчётными методами подтверждена целесообразность применения нанонаполнителей при производстве ЛКМ в целях повышения коррозионной стойкости корпуса судна.

Работы выполнены на современных приборах, в том числе:

- электронный сканирующий микроскоп JEOL JSM 6610lv;
- модуль энергодисперсионного анализа Oxford X-Max (S1XMX1002);

- настольная установка JEOL JFC-1600;

- универсальная режущая вертикальная мельница VLM-2;

- лазерный гранулометр MASTERSIZER 3000.

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты физико-химических, морфологических и фазовых анализов минеральных наполнителей и наночастиц кальцита и талькита;

- выявленный механизм, природа взаимодействия нанонаполнителей с металлическим корпусом судна;

- результаты испытаний технологических и эксплуатационных свойств различных составов ЛКМ с использованием наночастиц кальцита и талькита;

- результаты коррозионных испытаний поверхностей корпуса судна, окрашенных эмалями ПФ-115 на основе различных наполнителей в агрессивных средах;

- разработка требований к поиску рационального состава и универсального критерия качества судовых ЛКМ;
- разработка этапов поиска модельной рецептуры с оценкой влияния на качество ЛКМ;
- результаты экспериментов по получению высокодисперсных порошков нанонаполнителей диспергационными методами;
- установленные преимущества применения нанонаполнителей в судовых ЛКП: улучшенные защитные свойства, регулируемая вязкость, повышенная прочность, экономное использование пигмента, высокая укрывистость, низкая потечность и улучшенные реологические свойства;
- результаты испытаний разработанных составов судовых ЛКМ на экологическую безопасность и соответствие санитарно-эпидемиологическим нормам;
- результаты технико-экономических расчетов производительности и энергозатрат помольного оборудования для оценки эффективности подготовки высокодисперсных порошков наполнителей;
- результаты расчетов технико-экономической эффективности разработанных предложений при использовании ЛКП с нанонаполнителями на судоремонтном и судостроительном заводе «Зых».

Научная новизна работы. Обоснованы и выбраны методы и средства исследований лакокрасочных материалов, обеспечивающих защиту коррозионной стойкости корпуса. Установлены преимущества современных методов защиты корпусной конструкции судов от коррозионного воздействия.

Выявлены особенности технологии покраски судовых корпусных конструкций. Разработаны теоретические и технологические аспекты применения нанонаполнителей в составе ЛКМ для окраски корпуса судна. Экспериментально установлено, что нанонаполнители в составе ЛКМ создают возможность более плотного и легкого заполнения микронеровностей окрашиваемой

поверхности. Разработан новый состав краски для корпусных конструкций судов (патент АР № I 2024 0121).

Определено, что применение наночастиц мела (НЧМ) в составе судовых ЛКМ повышает коррозионную стойкость корпуса судна за счёт улучшения адгезионных и прочностных характеристик ЛКМ, приводящее к увеличению срока эксплуатации судов.

Практическая и теоретическая ценность исследования.

Практическая значимость данной работы состоит в повышении коррозионной стойкости корпуса судна путём применения нанонаполнителей в составе ЛКМ, способствующее продлению срока службы судов. Таким образом, уменьшаются затраты на ремонт судов, снижается отрицательное воздействие на окружающую среду. Внедрение предложенных автором методов позволяет получать технико-экономическую эффективность посредством повышения коррозионной стойкости корпусных конструкций судов.

Апробация и внедрение результатов исследования. В цехе судоремонтного завода «Биби-Эйбат» ЗАО «Азербайджанское Каспийское Морское Пароходство» на основе полученных нанонаполнителей были созданы несколько образцов краски. Полученный на основе наномела образец краски ПФ-115 экспериментально был апробирован в 2023 году на судоремонтном и судостроительном заводе «Зых» ЗАО «Азербайджанское Каспийское Морское Пароходство» при ремонте парома «Балакан» проекта 11611А. Результаты апробирования были заверены Актом использования результатов научно-исследовательского труда «Повышение коррозионной стойкости корпуса судна с применением нанонаполнителей в лакокрасочных покрытиях» и получения краски на их основе».

Результаты данной диссертационной работы обсуждались и докладывались на:

– научно-методических семинарах кафедры «Судостроение и судоремонт» АГМА, 2016-2023;

- международной научно-технической конференции «Проблемы металлургии и материаловедения», Баку, АзТУ, 2017;
- международной научной конференции «Актуальные проблемы и пути их решения при производстве строительных материалов», посвящённой памяти профессора Б.С.Сардарова, Баку, ААСУ, 2018;
- XXIII Республиканской научной конференции молодых учёных и докторантов, Баку, 2019;
- международной научно-технической конференции молодых ученых «Молодежь в науке» на тему «Principles of selection of marine paint and coating materials and coating systems», Минск, 2019;
- международной научно-технической конференции «Техническая эксплуатация водного транспорта: пути развития и проблемы». Петропавловск – Камчатский, 2020;
- международных научно-технических конференциях «Проблемы водного транспорта» Баку, 2017-2022 гг.;
- международной научно-технической конференции «Современные проблемы и перспективное развитие электроэнергетики», Баку, -2022 г.

Название организации, в которой выполнена диссертационная работа. Диссертационная работа выполнена в Азербайджанской Государственной Морской Академии на кафедре «Судостроение и судоремонт».

Публикации по теме исследования. Основные положения проведённых исследований опубликованы в 22 научных статьях - 9 статьях в сборниках Международных научных конференций и 13 статьях в журналах ВАК (в т.ч. 2 статьях за рубежом и 1 статье в журнале SOCAR Proceedings, включённом в международную систему цитирования Scopus).

Личный вклад соискателя в диссертацию. Основные результаты, изложенные в диссертации получены автором самостоятельно или при ее непосредственном участии. Соискателем самостоятельно обоснована актуальность темы, цель и задачи исследований. Обоснованы и выбраны методы и средства исследований физико-химических и технологических

свойств минеральных наполнителей и лакокрасочных материалов. Выполнены экспериментальные исследования и определены рациональные составы ЛКП, обеспечивающие коррозионную стойкость корпуса судна. Автору принадлежит обсуждение и интерпритация результатов исследований. Соискателем сформулированы основные научные и практические выводы и рекомендации.

Общий объем диссертации с указанием символов, обозначающих объем структурных разделов диссертации в отдельности по каждому разделу. Структура диссертации - титульный лист (379 символов), содержание (2392 символов), введение (11 080 символов), 3 главы (глава I – 50 301 символов, глава II – 51 552 символов, глава III – 61 216 символов, глава IV – 38 063), основные выводы (4 921 символ), список использованной литературы, приложения (24 730 символов). Общий объем диссертационной работы составляет 230 страниц, напечатанных на компьютере, в том числе 41 рисунка, 31 таблица, 2 графиков, 49 приложений, список использованной литературы, состоящий из 161 наименования, 203 879 символов без учета изображений, таблиц, приложений и списка литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и степень разработанности проблемы, обозначены объект и предмет исследования, определены цель и задачи исследования, указаны методы исследования, основные положения, выносимые на защиту, научная новизна работы, практическая и теоретическая ценность исследования, апробация и внедрение результатов исследования, публикации по теме исследования и структура работы.

В первой главе проведён анализ литературных и производственных источников по основным направлениям защиты корпуса судна от коррозии.

Анализ литературы показывает, что среди методов защиты корпуса судна от коррозии наиболее надёжным и эффективным

методом является защита поверхности лакокрасочными покрытиями и материалами. Сравнительным анализом функциональных свойств и технического уровня судовых лакокрасочных материалов установлены основные причины низкого качества ЛКМ и ЛКП.

Выявлено, что отечественные судовые лакокрасочные материалы в значительной мере уступают зарубежным как по качеству изготовления, уровню функциональных свойств, так и по стабильности физико-химических показателей и полноте номенклатуры.

Причиной низкого качества лакокрасочных материалов, в первую очередь, является недостаточность разработок и изысканий, нехватка местных ресурсов, а также ограниченный ассортимент алкидных, масляных, поливинилбутиральных и фенольных красок.

Установлено, что в судоремонте и судостроении применяется большое количество различных систем ЛКП и марок ЛКМ. Широкий ассортимент покрытий и материалов связан со сложными условиями эксплуатации корпусных конструкций судов в целом, с агрессивностью коррозионных сред и особенностью корпусных материалов.

Выявлено, что в настоящее время окрашивание корпусных конструкций на судах ЗАО «Азербайджанское Морское Пароходство» главным образом осуществляется лакокрасочными материалами зарубежных производителей, таких как Jotun (Норвегия) и International (Англия).

Установлено, что выбор судовых лакокрасочных материалов и систем лакокрасочных покрытий в настоящее время производится судостроительными и судоремонтными предприятиями без полного учёта основных функциональных и потребительских свойств применяемых материалов, а также без учёта условий эксплуатации.

При выборе ЛКМ недостаточно учитывать только тип окружающей среды, следует также ориентироваться на ряд технологических, эксплуатационных и экономических факторов.

Выявлено, что основными факторами при разработке ЛКП и ЛКМ являются: требуемая долговечность покрытия, материал окрашиваемой конструкции, ремонтпригодность, технологичность нанесения материала, совместимость с другими способами защиты, необходимая степень подготовки поверхности, требования декоративности, пожарной безопасности и взрывобезопасности, экономическая целесообразность, а также санитарно-гигиенические требования [72]¹.

Определено, что в лакокрасочной промышленности недостаточно изучены и не применяются возможности нанотехнологий, не разработан и не освоен выпуск экологически чистых наполнителей и долговечных красок на полиэфирной, полиуретановой и акрилатной основах.

Установлена недостаточность научно-технических разработок, направленных на улучшение качества лакокрасочных материалов на судоремонте. Указано, что путем разработки и освоения выпуска судовых лакокрасочных материалов, с применением наноаппенителей, можно добиться продления срока службы корпуса судна.

Систематизированы Правила Регистра, которые предъявляются к ЛКМ, применяемых в судостроении. Определены основные физико-химические и технологические характеристики ЛКП для окраски корпуса судна. Особое внимание уделено технологическому процессу нанесения лакокрасочных материалов на корпус судна [114]².

¹ Люблинский Е.Я. Коррозионностойкие газотермические покрытия / В.М.Вяльцев, В.Г.Зильберберг // Физико-химическая механика материалов, – Москва: – 1998. №2, – с. 95-96.

² Тюканько В.Ю., Островной К.А., Дюрягина А.Н. Микроструктурирование ЛКП в присутствии кислот растительных масел // Сб. тр. пятой СПб. Межд. конф. молодых учёных «Актуальные проблемы науки о полимерах». – Санкт-Петербург: – 2009, – с.23-28.

Установлено, что для корпусов судов, эксплуатирующихся на Каспийском бассейне, перспективным является применение лакокрасочных материалов с использованием нанонаполнителей из местного сырья.

Обоснована важность комплексных исследований, направленные на защиту корпусов судов от коррозии путём разработки ЛКП с применением нанонаполнителей.

Установлено, что традиционно установившаяся организационная структура покрасочного производства в судоремонте и судостроении является недостаточно эффективной и тормозит его дальнейшему технологическому, техническому и экономическому развитию.

Указана целесообразность создания на отечественных предприятиях специализированных подразделений, осуществляющих полный комплекс окрасочных работ по заказам судовладельцев.

Во второй главе представлены методы и средства исследований основных свойств лакокрасочных материалов с учётом агрессивности морской воды и марки судостроительной стали. Определены основные критерии выбора лакокрасочных материалов, в соответствии с Правилами Регистра Российского Судоходства.

Классифицированы способы получения нанонаполнителей для судовых ЛКМ. Указано, что диспергационные методы основаны на получение наночастиц посредством механического измельчения, а конденсационные – на выращивании наночастиц из отдельных атомов.

Диспергационные методы признаны лучшими и эффективными методами получения нанонаполнителей для судовых ЛКМ, когда макротела измельчаются до наноразмеров.

Указано, что выбор лакокрасочных материалов должен быть проведён на основе оценки комплекса технологических и эксплуатационных свойств лакокрасочных материалов, направленных на обеспечение надёжной защиты корпуса судна.

Обосновано создание современной лаборатории контроля качества и совершенствование технологии приготовления лакокрасочных материалов. Указано, что применение нанонаполнителей в составе лакокрасочных материалов имеет хорошие перспективы и создают предпосылки для разработки эффективных лакокрасочных покрытий для судовых корпусных конструкций.

Установлено, что для придания лакокрасочным материалам заданных свойств можно применять различные наполнители, которые обеспечивают повышения прочности, теплопроводности, устойчивости к различным внешним факторам и улучшения внешнего вида поверхности.

Анализом основных физико-химических характеристик природных наполнителей установлено, что высокодисперсный тальк – силикат магния по своим технологическим свойствам удовлетворяет предъявляемым требованиям и может быть применен в составе ЛКМ в качестве наполнителя. Установлено, что при добавлении талька в состав лакокрасочных материалов повышается прочность, улучшается устойчивость к перепадам температур, сопротивляемость к механическим повреждениям и дефектам.

Анализируются основные физико-химические характеристики кальцита (мела) как одного из природных наполнителей. Установлено, что, благодаря уникальным технологическим свойствам при изготовлении современных ЛКМ кальцит (мел) используют для повышения коррозионной стойкости и адгезии, сохранения атмосферостойкости и укрывистости лакокрасочных покрытий. Кальцит позволяет регулировать реологические свойства ЛКМ, корректировать цвет и блеск в матовых красках, а также снижает себестоимость краски. Выявлены основные преимуществами кальцита (мела) в составе ЛКМ:

- улучшаются механические свойства лакокрасочного покрытия;
- улучшается стойкость к мокрому истиранию;

- увеличивается срок хранения лакокрасочного покрытия, благодаря отсутствию растворимых солей и различных примесей, вызывающих порчу краски; следовательно, меньше потерь на переработку и утилизацию;

- кальцит (мел) можно применять как реологическую добавку (добавка против осадка), вместо дорогого аэросила и бентонита.

- простота использования и удобная упаковка, позволяющая легко адаптироваться к любым производственным процессам.

Таким образом, проанализировав свойства обоих исследуемых наполнителей установлено значительное преимущество физико-химических, механических, адгезионных, реологических свойств кальцита (мела) в сравнении с тальком.

Третья глава посвящена экспериментальному обоснованию применения нанонаполнителей в судовых лакокрасочных материалах и изучению особенностей процесса подготовки высокодисперсных порошков талька и кальцита.

С применением нанонаполнителей открываются новые возможности для совершенствования технологии приготовления и повышения качества лакокрасочных материалов. Поэтому разработка оптимальных составов ЛКП с применением высококачественных нанонаполнителей имеет важное научное и практическое значение.

Возможность практического применения порошков и нанопорошков во многом зависит от их строения и проявляемых физико-химических свойств, а потому важны их исследования.

В Институте геологии и геофизики при Министерстве науки и образования Азербайджанской Республики был проведён анализ взаимосвязи технологических, физических и химических свойств лакокрасочных материалов и свойств минеральных наполнителей.

Исследования проводились на программном аппаратном комплексе для исследования морфологического, фазового, элементного состава и молекулярной структуры материалов и вещества, который состоит из электронного сканирующего

микроскопа JEOL JSM 6610lv с встроенным модулем энергодисперсионного анализа Oxford X-Max (S1XMX1002), оснащённым программным комплексом новейшего поколения с выходом в сеть Internet, а также оснащённым настольной установкой для напыления тонкого слоя металла JEOL JFC-1600 (рис.1).



Рисунок 1. Программный аппаратный комплекс:

- а) электронный сканирующий микроскоп JEOL JSM 6610lv;
- б) настольная установка JEOL JFC-1600;
- в) модуль энергодисперсионного анализа Oxford X-Max (S1XMX1002)

В качестве образцов наполнителей были взяты мел и тальк. Морфологическое изображение сухого мела показано на рисунке 2.

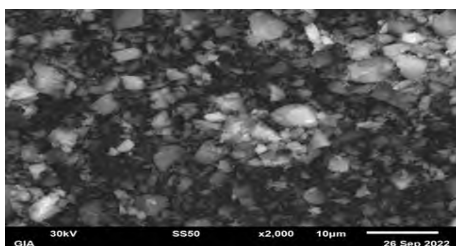


Рисунок 2. Морфологическое изображение сухого мела (2000-кратное увеличение)

Микроскопический анализ мела показал, что мел – это осадочная горная порода органического (зоогенного) происхождения. Мел имеет химическую формулу CaCO_3 и по

своему минеральному составу близок к известняку, состоит главным образом из кальцита и имеет мелкодисперсную морфологическую структуру (рис.2).

По процентному соотношению химического состава мела было выявлено, что мел состоит из 96,89% оксида кальция (CaO) и 3,11% оксида магния (MgO) (таблица 1).

Таблица 1

Процентное соотношение химического состава чистого мела

Элемент	Весовой, %	Атомный,%	Соединительный, %	Формула
Mg K	1.88	2.14	3.11	MgO
Ca K	69.25	47.86	96.89	CaO
O	28.88	50.00		
Итого	100.00			

Из проведенного анализа мела был сделан вывод, что он не содержит примесей в своем составе и имеет микроскопический размер частиц.

По результатам химического анализа талька выявлено, что он имеет крупнодисперсную структуру. Морфологические признаки талька представлены игольчатыми скоплениями, чешуйчатые и листоватые агрегаты, плотные скрыто и тонкочешуйчатые породы, таблитчатые кристаллы или волокнистые массы, плохо огранные и с трудом расщепляющиеся на тонкие листочки и пластинки (рис.3).

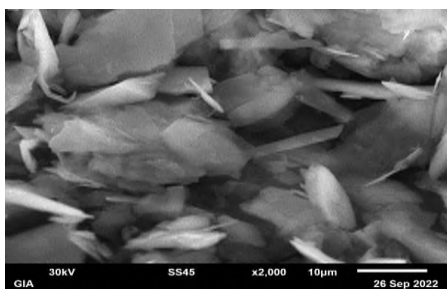


Рисунок 3. Морфологическое изображение сухого талька (2000-кратное увеличение)

Из проведенного анализа талька был сделан вывод, что тальк представлен почти в чистом виде и имеет микроскопический размер частиц.

Был проведен процентный анализ состава талька, который показал, что тальк на 65,57% состоит из оксида кремния SiO_2 и на 33,25% из оксида магния MgO , а оставшаяся часть составляют примеси, как видно из таблицы 2.

Таблица 2

Процентное соотношение химического состава чистого талька

Элемент	Весовой, %	Атомный,%	Соединительный, %	Формула
Mg K	20.05	16.60	33.25	MgO
Al K	0.33	0.25	0.63	Al_2O_3
Si K	30.65	21.96	65.57	SiO_2
Fe K	0.43	0.15	0.55	FeO
O	48.53	61.04		
Итого	100.00			

Установлено, что наиболее распространенным и производительным способом получения нанопорошков является механическое измельчение (диспергирование) материалов. Помол производится для равномерного распределения частиц и для однородности массы [133]³.

Оба образца были отправлены в Институт полимерных материалов при Министерстве науки и образования АР на помол в универсальную режущую мельницу (рис.4) [138]⁴.

³ Фатьянова Н.В. Особенности процесса подготовки высокодисперсных порошков талька // Сб. ст. Межд. науч. техн. конф. «Техническая эксплуатация Водного транспорта: Проблемы и пути развития», –Петропавловск-Камчатский: – 2020, – с. 70-72.

⁴ Фатьянова Н.В. Исследование процесса получения высокодисперсных порошков талька и кальцита // Сб. межд. научно-технической конференции «Современные проблемы и перспективы развития электроэнергетики», – Баку: – 2022, – с. 154-162.



Рисунок 4. Универсальная режущая вертикальная мельница VLM-2

После помола оба полученных образца наномела и наноталька были исследованы на электронном микроскопе. Было выявлено, что нанотальк в размерах значительно уступает размерам наномела. Даже после помола талька все равно не удалось добиться значительного уменьшения частиц и избавиться от игольчатой формы. В то время как мел за значительно небольшое время намного уменьшился в размерах своих частиц (рис 5 и рис.6) [140]⁵.

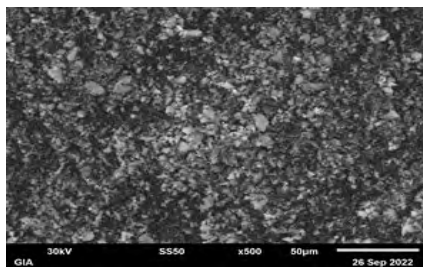


Рисунок 5. Морфологическое изображение наномела

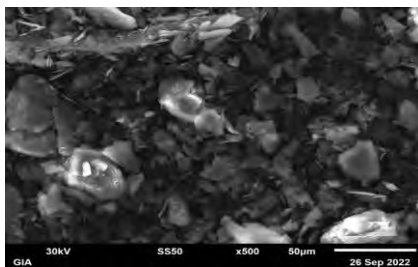


Рисунок 6. Морфологическое изображение наноталька

⁵ Фатьянова Н.В. Применение наполнителей на основе наномела и наноталька в судовых ЛКМ как один из способов повышения коррозионной стойкости корпуса судна // – Баку: Socar Proceedings, серия техн. науки, –2023, №2, – с.136-144.

Установлено, что рациональным режимом сухого помола длительностью около часа обеспечивается достаточная дисперсность, высокая обменная ёмкость и коллоидальность мела. В то время как тальк необходимо измельчать в течении нескольких часов с добавлением ПАВ.

На лазерном гранулометре Mastersizer 3000, работающем на основе метода лазерной дифракции был определен размер частиц каждого из образцов.

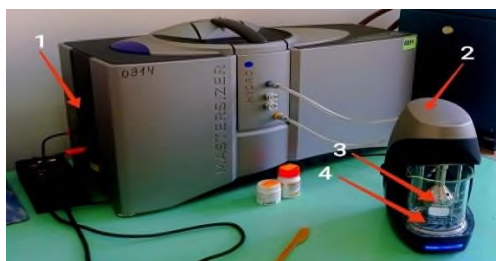


Рисунок 7. Лазерный гранулометр Mastersizer 3000:
1-единый измерительный блок; 2 – модуль Hydro EV; 3 – блок диспергирования; 4 – стакан

На рисунке 8 представлены данные по гранулометрическому анализу наномела. Для эксперимента:

- а) Использовалось: 5 г порошка наномела
- б) время определения: 5 мин
- в) удельная площадь поверхности наномела: $5,876 \text{ м}^2/\text{кг}$
- г) взвешенный остаток: 4,93%
- д) лазерное затемнение: 0,31%
- е) качество помола: удовлетворительное (ср.объёмный диаметр частиц наномела: 1020 мкм)
- ж) общий объём: 1040 мкм
- з) установлено, что: 90% порошка наномела составляют частицы размером 1220 мкм ; 50% - 1030 мкм ; 10% - 876 мкм и более.

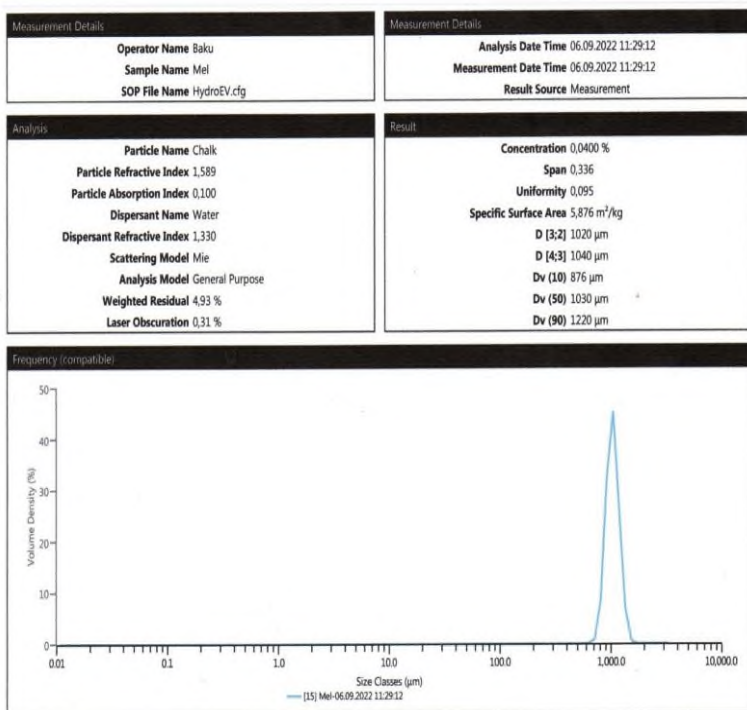


Рисунок 8. Гранулометрический анализ наномела

На рисунке 9 представлены данные по гранулометрическому анализу наноталька. Для эксперимента:

- а) использовалось: 5 г порошка наноталька;
- б) время определения: 5 мин;
- в) удельная площадь поверхности наноталька: 6,143 м²/кг;
- г) взвешенный остаток: 17,05%;
- д) лазерное затемнение: 0,48%;
- е) качество помола: среднее (средний объёмный диаметр частиц наноталька: 977 μm);
- ж) общий объём: 1040 μm;
- з) установлено, что 90% порошка составляют частицы размером 1520 μm; 50% - 1030 μm; 10% - 683 μm и более.

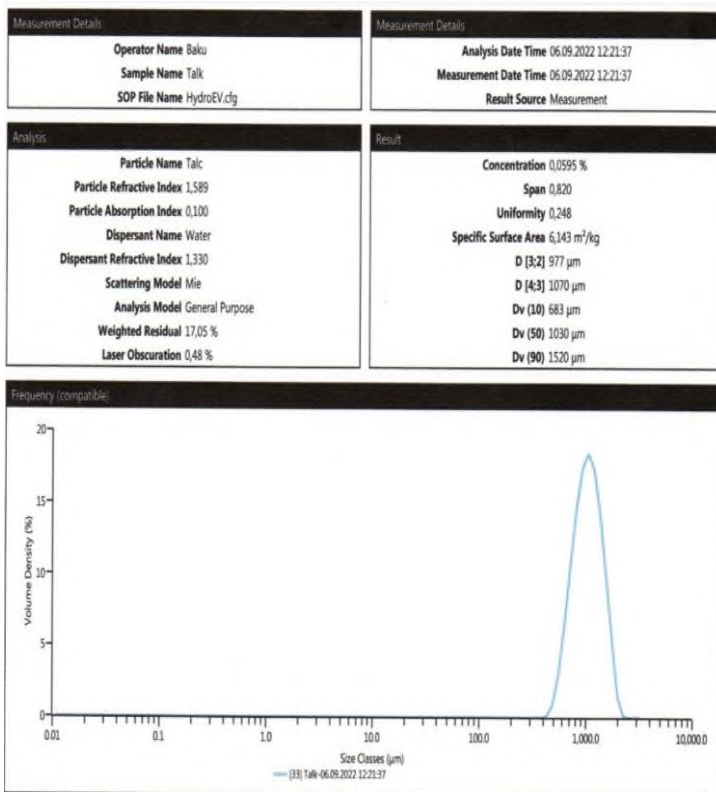


Рисунок 9. Гранулометрический анализ наноталька

Для исследования составов и свойств ЛКМ на судоремонтном заводе «Биби-Эйбат» в лакокрасочном участке были созданы 3 образца судостроительной эмали ПФ-115 (изготовленной в соответствии с ГОСТ 6465-76) на основе талька, наномела и наноталька.

В таблице 3 приведена рецептура изготовления 1 кг каждого образца полученной эмали ПФ-115 с разными наполнителями (наномел, нанотальк, тальк).

Таблица 3

**Рецептура судовых ЛКМ на основе
различных наполнителей**

Наименование компонентов	Масса составляющих компонентов, кг
Состав краски на основе наполнителя наномела	
Лак ПФ-60	0,455
Диоксид титана (TiO ₂)	0,083
Наполнитель (наномел)	0,30
Растворитель	0,145
Катализатор	0,017
Состав краски на основе наполнителя наноталька	
Лак ПФ-60	0,435
Диоксид титана (TiO ₂)	0,092
Наполнитель (нанотальк)	0,343
Растворитель	0,114
Катализатор	0,016
Состав краски на основе наполнителя талька	
Лак ПФ-60	0,435
Диоксид титана (TiO ₂)	0,092
Наполнитель (тальк)	0,343
Растворитель	0,114
Катализатор	0,016

После изготовления образцов эмали ПФ-115 для апробирования её качества были взяты образцы судостроительной стали РСД-32 [145]⁶ и окрашены всеми 4 эмалями (одной - изготовленной на заводе «Биби-Эйбат» на основе мела, являющейся контрольным образцом и тремя полученными образцами эмали) [146]⁷.

⁶ Шарифов З.З. Коррозионное поведение сварных соединений стали РСД32 и РСД32Ш в каспийской морской воде / З. З. Шарифов, И. А. Ханкишиев // Водный транспорт, – Украина: – 2016. – № 2. – с. 37-44.

⁷ Шешуков А.В. ЛКМ для судовых покрытий / Э.Ф. Ицко, М.Б. Симанович, В.П. Кырпичев // ЛКМ и их применение, – Москва: – 1992. № 4, – с.24-29.

Таким образом, для сравнения были получены 4 образца эмали:

- 1-й образец - контрольный образец;
- 2-й образец - с наполнителем- тальк;
- 3-й образец - с наполнителем- наномел;
- 4-й образец - с наполнителем - нанотальк.

Далее были определены: степень и время высыхания лакокрасочных плёнок, дана визуальная характеристика внешнему виду плёнок каждого из образцов, проведено визуальное сравнение цвета, определена укывистость, условная вязкость, адгезия полученных образцов эмали. По результатам анализа были обозначены преимущества эмали с наполнителем на основе наномела.

Результаты визуальных испытаний красок ПФ-115 с различными наполнителями представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты визуальных испытаний красок ПФ-115 с различными наполнителями

Название наполнителя	Мел	Тальк	Наномел	Нанотальк
Степень высыхания	20 ч 54 мин	20 ч 16 мин	18 ч	19 ч 23 мин
Укывистость	81 г/м ²	83 г/м ²	91 г/м ²	85 г/м ²
Условная вязкость	90 с	95 с	105 с	103 с
Степень адгезии	4 балла	3 балла	2 балла	3 балла

Также были исследованы химические составы красок ПФ-115 на основе мела и талька, наномела и наноталька. Данные по химическому анализу представлены в таблицах 5, 6, 7 и 8.

Таблица 5

Химический анализ эмали ПФ-115 на основе мела

Элемент	Весовой, %	Атомный, %	Соединительный, %	Формула
Mg K	1.36	1.52	2.26	MgO
Al K	0.71	0.72	1.34	Al ₂ O ₃
CaK	44.11	29.89	61.71	CaO
Ti K	20.79	11.79	34.68	TiO ₂
O	33.03	56.07		
Итого	100.00			

Таблица 6

Химический анализ эмали ПФ-115 на основе талька

Элемент	Весовой, %	Атомный, %	Соединительный, %	Формула
Mg K	9.28	8.73	15.39	MgO
Al K	1.36	1.15	2.57	Al ₂ O ₃
Si K	17.03	13.87	36.43	SiO ₂
Ti K	26.33	12.57	43.92	TiO ₂
Pb L	1.56	0.17	1.68	PbO
O	44.43	63.51		
Итого	100.00			

Таблица 7

Химический анализ эмали ПФ-115 на основе наномела

Элемент	Весовой, %	Атомный, %	Соединительный, %	Формула
Al K	0.93	0.96	1.76	Al ₂ O ₃
Si K	0.85	0.84	1.81	SiO ₂
Ca K	39.15	27.10	54.78	CaO
Ti K	23.08	13.37	38.50	TiO ₂
Pb L	2.92	0.39	3.15	PbO
O	33.07	57.34		
Итого	100.00			

Таблица 8

Химический анализ эмали ПФ-115 на основе наноталька

Элемент	Весовой, %	Атомный, %	Соединительный, %	Формула
Mg K	10.50	9.61	17.40	MgO
Al K	1.44	1.19	2.72	Al ₂ O ₃
Si K	21.40	16.95	45.78	SiO ₂
Ti K	19.02	8.83	31.72	TiO ₂
Pb L	2.22	0.24	2.39	PbO
O	45.44	63.19		
Итого	100.00			

Были также исследованы 60-дневные, 120-дневные и 180-дневные образцы поверхности, окрашенные эмалями на основе мела, талька, наномела и наноталька.

Морфологическая структура и химический анализ 180-дневного образца поверхности, окрашенной эмалью ПФ-115 на основе наномела и наноталька представлены на рис.10 и 11 и в таблицах 9 и 10 соответственно.

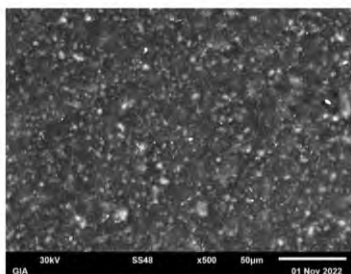


Рисунок 10.
Морфологическая структура эмали ПФ-115 на основе наномела

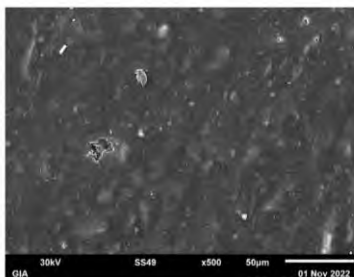


Рисунок 11.
Морфологическая структура эмали ПФ-115 на основе

Таблица 9
Процентное соотношение химического состава 180-дневного
образца поверхности, окрашенной эмалью ПФ-115 на основе
наномела

Элемент	Весовой, %	Атомный, %	Соединительный, %	Формула
Mg K	4.46	4.66	7.39	MgO
Al K	1.21	1.14	2.29	Al ₂ O ₃
Si K	5.44	4.92	11.65	SiO ₂
CaK	26.05	16.50	36.45	CaO
Ti K	24.91	13.20	41.55	TiO ₂
Fe K	0.30	0.24	0.67	Fe ₂ O ₃
O	37.40	59.35		
Итого	100.00			

Таблица 10
Процентное соотношение химического состава 180-дневного
образца поверхности, окрашенной эмалью ПФ-115 на основе
наноталька

Элемент	Весовой, %	Атомный, %	Соединительный, %	Формула
Mg K	9.29	8.72	15.40	MgO
Al K	1.53	1.29	2.89	Al ₂ O ₃
Si K	17.49	14.22	37.43	SiO ₂
Ca K	1.85	1.05	2.59	CaO
Ti K	23.36	11.13	38.60	TiO ₂
Fe K	1.10	0.39	1.60	Fe ₂ O ₃
Pb L	1.39	0.15	1.50	PbO
O	44.19	63.05		
Итого	100.00			

Химический анализ каждого образца окрашенной поверхности доказал, что процесс коррозии на поверхности, покрытой эмалью на основе талька, протекает значительно быстрее, чем на поверхности, окрашенной эмалью на основе мела.

Согласно проведённому компьютерному химическому и микроскопическому анализам был сделан вывод, что технологические, физические и химические свойства местного мела и талька свидетельствуют о том, что местные мел и тальк могут использоваться в качестве наполнителя в составе судовых лакокрасочных материалов и лакокрасочных покрытий. Однако наномел, в отличие от наноталька, полностью отвечают требованиям, которые предъявлены к лакокрасочным материалам и располагаются на уровне свойств кальцитов, широко применяемых в различных сферах промышленности (рис 12 и рис.13) [141]⁸.

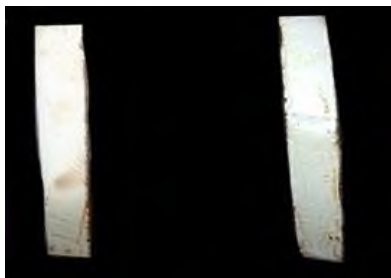


Рисунок 12.
Фотографический
снимок 180-дневных
образцов поверхности
эмали на основе талька
(слева) и мела (справа)

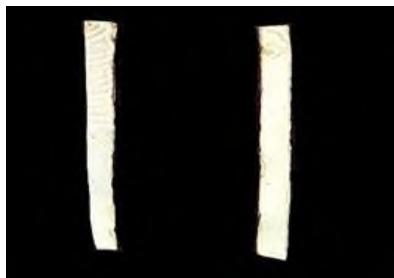


Рисунок 13.
Фотографический
снимок 180-дневных
образцов поверхности
эмали на основе
наноталька (слева) и
наномела (справа)

⁸ Фатьянова Н.В. Методы получения и применения нанонаполнителей в производстве судовых ЛКМ // – Баку: Научные труды АГМА, серия техн. науки, – 2023, №2, – с. 29-34.

Установлено положительное влияние добавок наномела на регулирование глянца краски, повышение стойкости к растрескиванию. Также наномел способствует улучшению реологических свойств краски, увеличивает механическую прочность лакокрасочных материалов.

Атмосферостойкость и влагостойкость лакокрасочных материалов улучшают добавки наномела.

Установлено, что при малых добавках наномела повышается химическая и коррозионная стойкость лакокрасочных материалов.

Наиболее важными свойствами наномела являются высокая белизна и мягкость, гидрофобность и органотфильность, высокая термостойкость, химическая инертность и низкая электропроводность.

За счёт мягкости наночастиц мела лакокрасочным материалам придаётся хорошая шлифуемость и обеспечивается низкий абразивный износ поверхности.

Гидрофобность и химическая стойкость наномела обеспечивает долговечность, антикоррозионную стойкость, а также улучшает внешний вид поверхности корпуса судна.

Пластичность наночастиц мела обеспечивает низкую водонепроницаемость, хорошую укрывистость и высокие характеристики прочности лакокрасочных материалов.

Четвёртая глава исследования посвящена расчёту экологической безопасности и технико-экономической эффективности применения нанонаполнителей в производстве судовых ЛКМ.

Поскольку производственная практика показывает, что большинство лакокрасочных материалов содержит в себе компоненты, которые способны оказать пагубное воздействие на окружающую среду и организм человека, был произведён расчёт загрязняющих веществ от производства изготовленных образцов.

1. При приготовлении краски из растворителей выделяются пары растворителей [81]⁹.

$$П^п = M_{\delta} \cdot \varphi_{л} \cdot \delta_{р} \cdot 10^{-4} \quad (4.1.1)$$

M_{δ} - количество компонентов, используемых при приготовлении краски;

$\varphi_{л}$ - сумма летучих частей из лакокрасочных материалов, %;

$\delta_{р}$ - количество растворителя, выделившегося из смесителя, %;

Выделение веществ в виде паров растворителей за секунду

$$П^п = 0,00058 \text{ г/сек}$$

Пары растворителей:

Ксилол 0,00029 г/сек

Уайт-спирит 0,00029 г/сек

По степени воздействия на организм ксилол относится к 3-му классу опасности (умеренно опасные вещества), уайт-спирит относится к 4-му классу опасности (вещества малоопасные) по ГОСТ 12.1.007—76 [32]¹⁰.

2. Пылевидные выделения вычисляются следующим образом:

При добавлении в смеситель красок различных порошкообразных веществ (мел, тальк и т.п.) эта зона принимается за источник интенсивного нелетучего пылеобразования.

⁹ «Методики расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при нанесении лакокрасочных материалов (по величинам удельных показателей)» – Санкт-Петербург: Гидрометиздат. – 2021, – с.36.

¹⁰ ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности, – Москва, Стандартинформ, –2007, – 7с.

Для расчета пылевидных выделений порошкообразных веществ (мел, тальк и т.п.) используются данные, взятые для расчета пыли.

Объем пыли:

Секундный выброс загрязняющего вещества

$$q = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_7 \cdot B \cdot G \cdot 10^6}{3600} \text{ г/сек} \quad (4.1.2)$$

$k_1 = 0,09$ - весовая доля пылевой фракции;

$k_2 = 0,06$ - доля пыли (от всей весовой пыли), переходящая в аэрозоль;

$k_3 = 1$ - коэффициент, учитывающий метеорологические условия (скорость ветра);

$k_4 = 0,1$ - коэффициент степени защищённости рабочего места от внешних воздействий (условия пылеобразования);

$k_5 = 0,7$ - коэффициент влажности материала;

$k_7 = 0,8$ - коэффициент крупности материала;

$B = 0,4$ - коэффициент высоты пересыпки;

$G = 0,451$ - суммарное количество перерабатываемого материала.

$$q = 0,015 \text{ г/сек}$$

По степени воздействия на организм пылевидные выделения относятся к 3-му классу опасности (умеренно опасные вещества).

Как показали расчеты, выбросы в окружающую среду и вред для организма человека являются незначительными, а краска – умеренно токсичной.

Далее было произведено сравнение технико-экономической эффективности получения образцов наномела и наноталька. При помощи расчётных характеристик компании Тесса проводился расчёт и сравнение производительности наноталька в сравнении с производительностью наномела, а также сравнивались

удельные затраты энергии, расходуемой на помол каждого из материалов и сопоставлялись полученные значения.

Согласно полученным значениям был сделан вывод, что практически при одинаковых показателях удельных затрат энергии на помол наноталька и наномела производительность наномела более, чем в 2 раза превышает производительность наноталька. Это обусловлено структурой мела, а также меньшим временем, затрачиваемым на получение наномела.

На следующем этапе исследования были проанализированы химические и физические характеристики иностранной краски Jotun и краски ПФ-115 на основе наномела. Полученные данные показали, что оба материала обладают схожими свойствами, включая высокую адгезию, устойчивость к коррозии и высокую степень защиты поверхности. Эти результаты свидетельствуют о том, что краска ПФ-115 на основе наномела может быть успешной альтернативой краске Jotun.

Одним из ключевых моментов исследования являлось сравнение экономической эффективности обоих вариантов окрашивания. Сюда относится анализ теоретических и практических расходов материала, а также учет потерь, связанных с различными аспектами процесса окрашивания. Практические расчеты показали, что второй вариант окрашивания, предполагающий замену первого слоя краски Jotun на краску ПФ-115, оказался экономически более выгодным. Сравнение общего материального расхода на покраску подводной части судна тремя слоями краски показало, что использование краски Jotun требует 66 524 маната, в то время как второй вариант с краской ПФ-115 обходится в 44 753 маната. Экономия в размере 21 771 маната при использовании второго варианта свидетельствует о значительной экономической выгоде и делает его предпочтительным. Этот способ снижает общие материальные затраты и играет ключевую роль в повышении прибыльности проектов в морской промышленности.

Важным аспектом исследования является также необходимость учета дополнительных факторов, таких как

потери от шероховатости поверхности, методы окраски, условия работы и неизбежные потери материала. Эти аспекты оказывают влияние на общий расход материала и, следовательно, на экономическую эффективность процесса. Их учет при разработке стратегии окрашивания подводных частей судов может привести к существенной экономии ресурсов.

На основе результатов исследования рекомендуется внедрять второй вариант окраски, с заменой первого слоя краски Jotun на краску ПФ-115 на основе наномела, как предпочтительный для практического использования в морской индустрии. Этот подход соответствует современным требованиям качества, обеспечивает надежную защиту подводной части судна и при этом является экономически выгодным.

Таким образом, на основании проведённых экспериментальных исследований, можно заключить, что применение наномела в качестве наполнителя для лакокрасочных материалов, помимо физико-химических свойств, которыми обладает мел и наномел, выгодно также с точки зрения экономической эффективности, достигаемой за счёт большей производительности и меньшей цены за кг сырья, а также за счёт окрашивания подводной части судна с заменой первого слоя краски Jotun на краску ПФ-115 на основе наномела.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения исследований составляет 21 771 ман с покраски одного судна.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В ходе достижения цели и решения поставленных задач в диссертационной работе получены следующие практические и научные результаты:

1. Выявлена недостаточная эффективность существующих методов защиты стальных корпусных конструкций судов в морской воде от коррозионных разрушений. Обоснована целесообразность нанесения судовых ЛКП на корпус как одного из способов защиты.

Проведен сравнительный анализ зарубежных и отечественных судовых ЛКМ, выявлены причины низкого качества отечественных материалов и ограниченность ассортимента красок. Обнаружено, что не используются возможности нанотехнологий, местные минеральные ресурсы, и не разработаны экологичные антикоррозионные покрытия на полиэфирной, полиуретановой и акрилатной основах.

Проведена классификация методов борьбы с коррозией, указаны пути уменьшения экономических потерь от коррозии судовых корпусов в Каспийском море. Проанализирован технологический процесс нанесения ЛКМ, удовлетворяющий требованиям Регистра Судоходства, и включающий полную механизацию операций покраски при соблюдении санитарно-гигиенических норм.

2. Изучены физико-химические и минералогические характеристики наполнителей, подчеркнуты их сравнительные технологические особенности. Выявлено, что эти материалы способствуют повышению прочности и теплопроводности, устойчивости к воздействиям окружающей среды, улучшению внешнего вида корпуса судна. Подчеркнута эффективность использования наномела в составе судовых ЛКМ, благодаря его химическому составу и физическим свойствам. При добавлении наномела в ЛКМ увеличивается их термохимическая стойкость в агрессивных средах, прочность, адгезия, устойчивость к температурным перепадам, сопротивление механическим воздействиям, и уменьшаются дефекты на окрашиваемых поверхностях в агрессивных средах.

3. Проведен анализ технологии приготовления ЛКМ и используемого оборудования на судоремонтном заводе «Биби-Эйбат». Отмечено, что пентафтальные эмали являются одними из самых распространенных и востребованных ЛКМ на судах компании «ЗАО КМП». ЗАО КМП также активно работает над разработкой собственных ЛКМ для сокращения затрат на закупку. Использование нанонаполнителей в ЛКМ предоставляет новые возможности для улучшения технологии и качества ЛКМ.

4. Определены требования к поиску рационального состава судовых ЛКМ. Разработан УКК для рецептуры ЛКМ. Процесс управления составом ЛКМ включает несколько этапов: создание общей модели с ограничениями, уточнение ограничений на концентрацию компонентов и поиск модельной рецептуры с оценкой влияния на качество ЛКМ.

5. Проведены эксперименты по использованию нанонаполнителей в судовых ЛКМ, включая процесс получения высокодисперсных порошков мела и талька. Метод измельчения признан наиболее оптимальным для получения мелкодисперсных порошков. После сухого помола были получены образцы наночастиц мела и талька. Исследования показали, что тальк не подвергается значительному уменьшению размеров частиц при сухом помолу, в отличие от мела. Таким образом, экспериментально подтверждено, что тальк требует добавления ПАВ при мокром помолу для достижения хороших результатов.

6. Для изучения составов и свойств ЛКМ на судоремонтном заводе «Биби-Эйбат» были созданы 3 образца судостроительной краски на основе талька, наномела и наноталька. Проведены анализы химического состава этих эмалей и компьютерный анализ химических данных. Результаты анализа показали, что эмаль на основе мела и наномела превосходит эмаль на основе талька и наноталька по физико-химическим параметрам.

На основе результатов испытаний установлены преимущества применения наномела в судовых ЛКП: высокая атмосферо- и влагостойкость покрытий, улучшенные защитные свойства, регулирование вязкости и матовости, повышенная прочность, эффективное использование пигмента и высокая укрывистость, предотвращение образования трещин и низкая потёчность при нанесении, улучшение реологических характеристик.

7. Идентифицированы выбросы газов из судовых ЛКМ разных классов, а также составы ЛОС, характерных для этих материалов. Выявлено, что в ЛКМ содержатся умеренно токсичные компоненты, соответствующие экологическим

стандартам. Рассчитаны загрязняющие вещества от производства ЛКМ, и результаты демонстрируют соответствие санитарно-эпидемиологическим нормам.

8. На основе данных от компании Тесса, специализирующейся на помольном оборудовании, проанализированы данные по производительности и энергозатратам образцов с наполнителями на основе наномела. Были рассчитаны показатели удельных затрат энергии на помол наноталька и наномела и проанализированы полученные данные. Анализ показал, что производительность наномела превышает производительность наноталька более чем в 2 раза при схожих энергозатратах на помол. Это обосновывает использование наномела в ЛКМ, что доказывает экономическую эффективность и целесообразность такого решения с точки зрения физико-химических свойств и экономической выгоды, обеспечивая существенные экономии материальных ресурсов и затрат.

Расчеты по технико-экономической эффективности также подтвердили, что использование краски ПФ-115 с наномелом вместо первого слоя краски Jotun для окрашивания подводной части судна проекта 11611А является наилучшим вариантом. Это обеспечивает необходимую защиту и качество покрытия, что подтверждает преимущества использования наномела в лакокрасочных материалах с физико-химической и экономической точек зрения, позволяя сэкономить ресурсы и снизить затраты.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения исследований составляет 21 771 ман с покраски одного судна.

Таким образом, подтверждена эффективность и целесообразность применения нанонаполнителей в ЛКМ для повышения коррозионной стойкости корпуса судна.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Фатьянова Н.В. Особенности ЛКМ, применяемых в судоремонте / Н.Ш. Исмаилов, В.Б. Садыгов // Науч. Тр. АГМА, серия техн. науки, - Баку: -2017. №2, -с. 24-30.
2. Фатьянова Н.В., Садыгов В.Б., Исмаилов Н.Ш. Некоторые характеристики ЛКП, применяемых в Каспийском Морском Пароходстве // Сб. II-ой межд. науч. техн. конфер. «Проблемы металлургии и материаловедения», - Баку: - 2017, -с. 244-246.
3. Фатьянова Н.В. Лакокрасочные материалы – эффективные средства защиты от коррозии / З.З. Шарифов, Н.Ш. Исмаилов // Научные труды АГМА, серия техн. науки, - Баку: -2018, №1, -с. 24-28.
4. Фатьянова Н.В. Сравнительные характеристики красок иностранных производителей, применяемых ЗАО «Азербайджанское Каспийское Морское Пароходство» / Н.Ш. Исмаилов // Экология и водное хозяйство, серия техн. науки, - Баку: -2018, №1, -с. 3-9.
5. Фатьянова Н.В. Методики и особенности исследования свойств судовых ЛКМ // - Баку: Научно-практический журнал «Молодой исследователь», серия техн. науки, - 2018, -с. 22-28.
6. Фатьянова Н.В., Исмаилов Н.Ш. Особенности технологии окрасочных работ на судоремонтном производстве. // Сб. XIII -ой межд. научно-технической конференции «Проблемы водного транспорта», - Баку: -2018, - с. 13-20.
7. Фатьянова Н.В. Принципы выбора судовых ЛКМ и систем покрытий // Сб. мат. межд. науч. конф. «Актуальные проблемы и пути их решения при производстве строительных материалов», посвящённой памяти проф. Б.С.Сафарова, - Баку: - 2018, -с. 147-151.
8. Фатьянова Н.В. Методы расчёта расходов судовых ЛКМ // - Москва: Научный журнал «Транспортное дело России», серия техн. науки, -2019, -с. 156-157.
9. Фатьянова Н.В. Анализ состава и свойств лакокрасочных

- материалов, изготавливаемых на заводе «Биби-Эйбат» ЗАО КМП // - Санкт-Петербург: Научно-техн. Сб.РМРС., серия техн. науки, -2019, -с. 94-100.
10. Фатьянова Н.В. Применение наночастиц минерального наполнителя – талька в ЛКП // Сб. ст. XXIII Республиканской научной конференции, - Баку: - 2019, -с.198-201.
 11. Фатьянова Н.В. Principles of selection of marine paint and coating materials and coating systems // Тезисы докл. XVI Межд. конф. молодых учёных «Молодёжь в науке 2019», - Минск: - 2019, -с. 240-242.
 12. Фатьянова Н.В. Определение ущерба, наносимого окружающей среде от судовых лакокрасочных материалах // - Баку: Научные труды АГМА, серия техн. науки, -2020, №2, с. 15-22.
 13. Фатьянова Н.В. Современные методы повышения коррозионной стойкости металлоконструкций с применением нанонаполнителей в лакокрасочных покрытиях в судо- и авиастроении // - Баку: Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, серия техн.науки, -2020, №4, -с.40-46.
 14. Фатьянова Н.В. Особенности процесса подготовки высокодисперсных порошков талька // Сб. ст. Межд. науч. техн. конф. «Техническая эксплуатация Водного транспорта: Проблемы и пути развития», - Петропавловск-Камчатский: - 2020, - с. 70-72
 15. Фатьянова Н.В. Стабилизация свойств судовых лакокрасочных материалов с добавками наночастиц талька (НЧТ) // - Баку: Научные труды АГМА, серия техн. науки, - 2021, №2, -с.12-21.
 16. Фатьянова Н.В. Современные методы применения наночастиц в производстве судовых ЛКМ // Сб. XVI-ой межд. научно-технической конференции «Проблемы водного транспорта», - Баку: -2021, с. 5-7.
 17. Фатьянова Н.В. Методика поиска рациональных составов судовых ЛКМ // - Баку: Научные труды АГМА, серия техн. науки, -2022, №2, -с.7-13.

18. Фатьянова Н.В. Современные методы применения наночастиц в производстве судовых ЛКМ // Сб. XVII-ой межд. научно-технической конференции «Проблемы водного транспорта», - Баку: -2022, с. 18-21.
19. Фатьянова Н.В. Исследование процесса получения высокодисперсных порошков талька и кальцита // Сб. межд. научно-технической конференции «Современные проблемы и перспективы развития электроэнергетики», - Баку: -2022, с. 154-162
20. Фатьянова Н.В. Инновационные нанотехнологии в ЛКМ в судо- и авиастроении. Повышение коррозионной стойкости металла за счёт применения наполнителей на основе наномела и наноталька // - Баку: Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, серия техн. науки, -2023, №3, -с.15-27
21. Фатьянова Н.В. Применение наполнителей на основе наномела и наноталька в судовых ЛКМ как один из способов повышения коррозионной стойкости корпуса судна // - Баку: Socar Proccedings, серия техн. науки, -2023, №2, -с.136-144
22. Фатьянова Н.В. Методы получения и применения нанонаполнителей в производстве судовых ЛКМ // -Баку: Научные труды АГМА, серия техн. науки, -2023, №2, с. 29-34

Личное участие автора в опубликованных работах в соавторстве:

Работы под номерами [5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22] выполнены автором самостоятельно.

В работах под номерами [1, 2, 3, 4, 6] постановка исследовательских вопросов, теоретические исследования, обработка результатов, выдвижение предложений, формулировка научных положений выполнены автором. Остальные части выполнены авторами в равной степени.

Работы под номерами [1, 2, 3, 4, 6] написаны по рекомендации научного руководителя с целью освоения теоретической части проблемы в результате совместного обсуждения авторов.

Защита диссертации состоится 28 февраля 2025 года в 14:00 на заседании одностороннего Диссертационного совета ВФД 2.02, действующего на базе Диссертационного совета ЕД 2.02 Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности.

Адрес: Az1010, город Баку, проспект Азадлыг 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Азербайджанского Государственного Университета нефти и промышленности.

Электронная версия автореферата размещена на официальном сайте Азербайджанского Государственного Университета нефти и промышленности.

Автореферат разослан по соответствующим адресам _____ 2025-го года.

Подписано в печать: 22.01.2025

Формат бумаги: А5

Объем: 48 108

Тираж: 100