

На правах рукописи



**БОГДАНОВ ВСЕВОЛОД НИКОЛАЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА И КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА ВОДНО-ДИСПЕРСИОННОГО  
ЛАКОКРАСОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ  
КАЛИЕВОГО ЖИДКОГО СТЕКЛА**

**1.4.10. Коллоидная химия**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Белгород – 2026**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»

**Научный руководитель**

**Везенцев Александр Иванович**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры промышленной экологии ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»

**Официальные оппоненты**

**Гороховский Александр Владиленович**

доктор химических наук, профессор,  
заведующий кафедрой химии и химической технологии материалов ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

**Пчельников Александр Владимирович**

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой надёжности и ремонта машин ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий»

**Ведущая организация**

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

Защита состоится «21» мая 2026 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета 24.2.276.01 при ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» по адресу: 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, ауд. ГК 242.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БГТУ им. В.Г. Шухова и на сайте: [https://gos\\_att.bstu.ru/dis/Bogdanov](https://gos_att.bstu.ru/dis/Bogdanov)

Автореферат разослан «24» марта 2026 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук



В.А. Полуэктова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Строительная индустрия в настоящее время требует применения новых экологически чистых высокоэффективных лакокрасочных материалов на основе недефицитных составляющих. В РФ самыми распространенными лакокрасочными материалами остаются композиционные материалы на основе органических пленкообразующих составов. Однако органические компоненты (пленкообразователи и растворители) часто оказывают токсическое воздействие на организм человека как при синтезе пленкообразователей, так и при производстве и применении лакокрасочных материалов (ЛКМ). Покрытия на основе органических материалов имеют низкую стойкость к микробиологическим воздействиям, сравнительно недолговечны в атмосферных условиях, горючи, взрывоопасны, срок эксплуатации покрытий на органическом пленкообразователе составляет до 15 месяцев.

Одной из важнейших задач в различных отраслях промышленности, транспорта, строительства, сельского хозяйства и быта является защита строительных конструкций, для чего наиболее эффективно использование лакокрасочных материалов с улучшенными физико-механическими свойствами, долговечностью, твердостью, износостойкостью, антимикробной активностью и другими свойствами создаваемых покрытий.

Использование в качестве основы композиции пленкообразователя жидких стекол, в частности, калиевого жидкого стекла (КЖС) – актуальное и перспективное направление при решении этих задач. Оптимизация силикатного композиционного лакокрасочного материала может базироваться на: модифицировании водного силикатного связующего с сохранением агрегативной устойчивости за счет введения добавок-модификаторов неорганической и органической природы; использовании наполнителей и синтетических водных дисперсионных искусственных смол, обеспечивающих придание заданных функциональных свойств.

Таким образом, актуальной научной задачей является разработка состава водно-дисперсионного лакокрасочного материала на основе коллоидно-устойчивой силикатной композиции пленкообразователя, обеспечивающей повышенные значения эксплуатационных и бактерицидных свойств образуемых защитно-декоративных покрытий.

Работа выполнялась при финансовой поддержке в рамках реализации государственного контракта ВКГ 043-2012 №10367р/18339 (СТАРТ-12).

**Степень разработанности темы.** В последние годы наблюдается тенденция к замене органических пленкообразователей на неорганические, которые являются экологически чистыми, обладают высокими эксплуатационными качествами (химическими, тепло- и морозостойкими), не пожароопасными, а также имеют более низкую себестоимость. К таким материалам относят известковые, известково-цементные и силикатные покрытия. Из перечисленных

групп покрытий наибольший интерес представляют силикатные покрытия на основе КЖС, которые при отверждении силикатизаторами или при термообработке, или даже при атмосферном воздействии способны образовывать прочное атмосферо- и химически стойкое покрытие. Защитно-декоративное покрытие (ЗДП) на основе силикатов обладает высокой механической прочностью и хорошей адгезией к металлам, бетонам, штукатуркам и другим минеральным основам. Этому посвящено большое количество публикаций и патентов в области покрытий с применением жидкого стекла. Однако в большинстве патентов на силикатные покрытия упоминаются 2-упаковочные краски, а процесс их нанесения является двухстадийным, что затрудняет его практическое применение. Остаются недостаточно изученными вопросы влияния рецептурно-технологических параметров, коллоидно-химических показателей на получение как пленкообразователя на основе КЖС, так и водно-дисперсионного ЛКМ в целом с учетом свойств образуемого в дальнейшем отвержденного ЗДП.

**Цель работы.** Разработка и изучение коллоидно-химических свойств пленкообразователя на основе калиевого жидкого стекла, как компонента разрабатываемого состава водно-дисперсионного лакокрасочного материала, обеспечивающего высокие эксплуатационные свойства покрытий.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- установление зависимости влияния исследуемых соотношений КЖС и стирол-акриловой дисперсии (САД) в составе неотвержденного пленкообразователя на его коллоидно-химические свойства;
- исследование плёнкообразующей способности калиевого жидкого стекла в составе композиции;
- изучение влияния пиритиона цинка на бактерицидные свойства неотвержденного пленкообразователя;
- установление влияния вида и количества наполнителей, поверхностно-активного вещества, гидрофобизатора на свойства разрабатываемого состава водно-дисперсионного ЛКМ;
- разработка состава водно-дисперсионного ЛКМ с анализом адгезии, механической прочности, гидрофобности, пожаробезопасности и эксплуатационных характеристик образуемого отвержденного ЗДП по ГОСТ 52020-2003;
- разработка технологии и рекомендаций по внедрению водно-дисперсионных ЛКМ на основе КЖС в промышленных условиях.

**Научная новизна.** Установлены коллоидно-химические закономерности изменения поверхностных характеристик композиции пленкообразователя на основе калиевого жидкого стекла и стирол-акриловой дисперсии, заключающиеся в синергетическом снижении поверхностного натяжения плёнкообразователя (с 83,5 до 25,1 мН/м) и краевого угла смачивания (с 57,3° до 38,4°) при увеличении доли полимерной составляющей.

Выявлена зависимость адгезионно-когезионного баланса в системе «пленкообразователь-подложка» от соотношения калиевого жидкого стекла и стирол-акриловой дисперсии в композиции, которая характеризуется тем, что при снижении доли калиевого жидкого стекла происходит непропорциональное снижение работы когезии (с 167 до 50,2 мН/м) относительно снижения работы адгезии (с 128,7 до 44,4 мН/м).

Определено улучшение смачивающе-растекающих свойств связующего на границе раздела межфазового взаимодействия в системе «пленкообразователь-подложка»: увеличение коэффициента смачивания (с 0,77 до 0,88) и снижение отрицательного значения коэффициента растекания Гаркинса (с -38,3 до -5,7 мН/м).

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Установлены коллоидно-химические особенности повышения адгезионно-когезионного взаимодействия, смачивающей способности и полноты растекания пленкообразователя на основе калиевого жидкого стекла по подложке, влияющие на прочностные, водостойкие и пожаробезопасные свойства разрабатываемого состава водно-дисперсионного лакокрасочного материала.

Предложено решение научной задачи по получению водно-дисперсионного ЛКМ в одноупаковочном варианте на основе коллоидно-устойчивой ( $\zeta$ -потенциал -49 мВ) композиции пленкообразователя с калиевым жидким стеклом, обеспечивающий формирование защитно-декоративного покрытия с повышенной прочностью, твердостью, гидрофобностью и пожаробезопасностью.

В качестве пленкообразователя для ЛКМ разработана композиция на основе КЖС (50 масс. %) и САД НОВОПОЛ 004А (50 масс. %). Применение КЖС с силикатным модулем 3,48 и плотностью 1,24 г/см<sup>3</sup> обуславливает формирование системы со следующими реологическими и адгезионными параметрами: поверхностное натяжение 40,8 мН/м,  $\cos\theta = 0,74$ , работа адгезии 71,1 мН/м, работа когезии 81,6 мН/м, коэффициент смачивания 0,87, коэффициент растекания Гаркинса -10,4 мН/м.

Предложен состав пленкообразователя на основе калиевого жидкого стекла, обладающий бактерицидными свойствами в отношении патогенных бактерий *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*. Выявлено соотношение КЖС: САД НОВОПОЛ 004А в разведении 9:1 с содержанием пиритиона цинка 1 масс. %.

Разработан состав водно-дисперсионного ЛКМ на основе калиевого жидкого стекла. Лакокрасочный материал включает: дисперсионную среду – КЖС – 22 масс. %, САД НОВОПОЛ 004А – 15 масс. %, вода – 5 масс. %; дисперсную фазу – наполнители: технический тонкодисперсный мел марки МТД-2 – 20 масс. %, оксид железа (III) – 19 масс. %; диспергатор – поверхностно-активное вещество (ПАВ) 10 %-й раствор сульфозтоксилат натрия (СЭ) –

12 масс. %; гидрофобизатор – полиметилсилоксан марки ПМС-400 – 7 масс. %.

Предложена технологическая схема производства одноупаковочного водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС.

**Методология и методы исследования.** Методологической основой работы являлись результаты фундаментальных и прикладных исследований ученых в области коллоидной химии, а именно, поверхностных явлений, протекающих в дисперсных системах. Методология работы построена на принципах разработки состава композиции водно-дисперсионного ЛКМ. В работе использованы современные физико-химические методы исследований: рентгенофазовый, аналитической растровой, аналитической просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения, определения коллоидно-химических свойств сталагмометрическим методом, измерением  $\zeta$ -потенциала и методом определения краевого угла. Исследования покрытия проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 52020-2003 и ГОСТ 18958-73.

**Положения, выносимые на защиту:**

- обоснование и экспериментальное подтверждение влияния соотношения КЖС и САД на коллоидно-химические свойства пленкообразователя: поверхностное натяжение, краевой угол смачивания, работу адгезии, работу когезии, коэффициента смачивания, коэффициента растекания и  $\zeta$ -потенциал;
- характер влияния пириитона цинка на бактерицидные свойства пленкообразователя;
- состав водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС, обеспечивающий получение ЗДП с повышенными прочностью, влагостойкостью, гидрофобностью, пожаробезопасностью;
- технология получения одноупаковочного водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС.

**Степень достоверности полученных результатов** обеспечена выполнением экспериментальных исследований с учетом требований нормативной документации с применением сертифицированного и проверенного оборудования. Полученные теоретические решения и экспериментальные данные не противоречат общепризнанным фактам и согласуются с работами других авторов, специализирующихся в данной области исследования.

**Апробация результатов работы.** Основные положения диссертационной работы были представлены на всероссийских и международных конференциях и форумах: III Международной научно-практической конференции «Наука и современность – 2010» (Новосибирск, 2010); Отчетной конференции программы развития «Инновационно-технологический комплекс БелГУ как фактор развития университетского производственно-финансового пространства» (Белгород, 2011); IV Международной научной конференции «Сорбенты как фактор качества жизни и здоровья» (Белгород, 2012); Региональном форуме «Энергоэффективность в строительстве» (Белгород, 2012); II Международной

научная конференция «Актуальные аспекты и перспективы развития современной биотехнологии» (Белгород, 2025), VII Международном симпозиуме «INNOVATIONS IN LIFE SCIENCES» (Белгород, 2025); Международной научной конференции «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материалообразования, химия и биотехнология» (Белгород, 2025).

**Внедрение результатов исследований.** С целью внедрения разработаны технические условия, технологический регламент на производство одноупаковочного водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС. На предприятии ООО «Белрегионцентр» (г. Старый Оскол) осуществлён выпуск опытной партии защитно-декоративного покрытия.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 5 статей в журналах, входящих в перечни рецензируемых научных изданий и международных реферативных баз, рекомендованных ВАК РФ. Получен патент РФ на изобретение.

**Личный вклад.** Автором теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС. Проведен комплекс экспериментальных работ по изучению коллоидно-химических свойств получаемых компонентов, а также физико-химических свойств покрытия. Разработан состав неотвержденной композиции пленкообразователя с бактерицидными свойствами.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа изложена на 148 страницах в пяти главах, состоит из введения, основной части, заключения, списка литературы, включающей 170 наименований, содержит 29 рисунков, 33 таблицы, 3 приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология исследований, выносимые на защиту основные положения работы, а также сведения, подтверждающие достоверность полученных результатов.

В **первой главе** описаны способы синтеза жидкого стекла как коллоидно-химической системы, рассмотрен химизм формирования твердых покрытий на основе коллоидных растворов силикатов щелочных металлов, адгезионно-когезионные механизмы повышения прочности, представлен процесс образования донорно-акцепторных связей, приводящих к образованию двойного электрического слоя в зоне контакта покрытия и подложки, а также основные принципы составления композиций на силикатной основе. Проанализированы патенты и научно-техническая литература, в которой даны примеры рецептур

для различных типов подложек. Представлены сведения о металлонаполненных силикатных покрытиях и покрытиях без металлических ингредиентов по металлическим подложкам. Рассмотрены существующие способы придания покрытиям бактерицидных свойств.

Во второй главе для подтверждения выдвинутой гипотезы и получение водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС использовались следующие материалы. Для разработки композиции плёнкообразователя использовали: синтезированное нами КЖС и промышленно выпускаемое КЖС (ООО «Промстеклоцентр-Екб»); САД НОВОПОЛ 004А (ООО «Группа «ХОМА») и ДИСТЕКС-45 (ООО «Агрохимэк»). Для повышения физико-механических свойств отверждаемых покрытий использовали: наполнители - мел марки МТД-2 ТУ 5743-002-05346453-2008, оксид железа (III) ГОСТ 4173-77 «чда»; поверхностно-активные вещества (ПАВ) – 10 %-й водный раствор сульфэтоксилата натрия (СЭ), 20%-й водный раствор лаурилсульфата натрия (ЛСNa), 5%-й водный раствор цетилпиридиния хлорид (ЦПХ), 50%-й водный раствор полиакриловой кислоты (ПАК), 30%-й раствор в изопропанол-креозол-формальдегидной смолы (КФС); гидрофобизаторы – полиметилсилоксан ПМС-400 (ПМС), вазелиновое масло (ВМ). Дисперсионной средой являлась вода. В качестве антимикробных агентов использованы растворимые комплексы пиритиона цинка.

Для испытаний разрабатываемого водно-дисперсионного ЛКМ использовали стальные пластины по ГОСТ 8832-76.

Силикатный модуль КЖС определялся по ГОСТ 18958-73; плотность – по ГОСТ 13078-81. Микроструктуру частиц КЖС изучали с помощью автоэмиссионного просвечивающего электронного микроскопа сверхвысокого разрешения Теснаі G2F20 S-Twin (FEI Company) и Quanta 200 3D (производство FEI) с энергодисперсионным анализатором EADEx. РФА проводили на дифрактометре Дрон-3 ( $S_{\alpha}$ -излучение) с шагом сканирования по  $2\theta$ – $0,5^\circ$ . Поверхностное натяжение определяли сталагмометрическим методом; краевой угол смачивания – методом лежащей капли с помощью KRUSS Easy Drop DSA-30 (Германия). Микроструктурный анализ отвержденного пленкообразователя исследовали на анализаторе SIAMS 800.  $\zeta$ -потенциал исследовали на лазерном анализаторе Zetatrac Microtrac Inc (США).

Для получения КЖС использовали автоклавный гидротермальный способ. Сульфэтоксилат натрия получали методом сульфатирования.

Качество покрытия определяли: механическую прочность – по ГОСТ 31974-2012; степень меления – по ГОСТ 16976-71; водостойкость – ГОСТ 9.403-80; адгезионную прочность – ГОСТ 15140-78; пожаровзрывоопасность – ГОСТ 12.1.044-89. Определение антибактериальных свойств проводили микробиологическим методом с использованием тест-культур штаммов *Staphylococcus aureus* (золотистый стафилококк) и *Escherichia coli* (кишечная палочка) в Белгородском филиале ФГБНУ ВИЭВ им. Я.Р. Коваленко.

В третьей главе приведены результаты получения КЖС и его характеристики. Анализ основных характеристик продуктов синтеза (таблица 1) показал, что для разработки состава плёнокообразователя использовали синтезированное КЖС с силикатным модулем 3,48 и плотностью  $1,24 \text{ г/см}^3$ , так как КЖС с силикатным модулем 4,00 и более относятся к высокомодульным полисиликатам и ввиду снижения их агрегативной устойчивости трудно применимы при производстве силикатных красок.

Полученное КЖС представляет собой высокодисперсную систему (рисунок 1), состоящую из изометричных коллоидных частиц и их агломератов размером от 10 до 100 нм, образующих устойчивый гель.

К основным коллоидно-химическим свойствам пленкообразователя относятся смачивание, поверхностное натяжение, краевой угол, адгезия, когезия. От вида и значения этих показателей зависит консистенция неотверждённого композиционного ЛКМ, предел прочности на изгиб, твердость и долговечность образующегося покрытия.

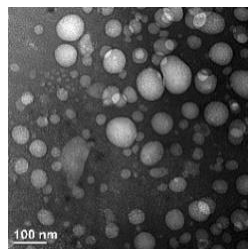
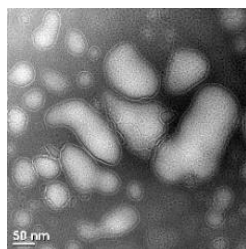


Рисунок 1 – Микроструктура КЖС

Величина поверхностного натяжения неотверждённых пленкообразователей лаков и красок во многом зависит от природы растворителей. Наиболее высокие значения поверхностного натяжения имеют ЛКМ, в которых дисперсной средой служит вода, так как поверхностное натяжение воды значительно выше, чем у органических растворителей ( $\sigma = 72,7 \text{ мДж/м}^2$ ). Применение органических растворителей снижает поверхностное натяжение ( $\sigma = 22\text{--}36 \text{ мДж/м}^2$ ) в составе ЛКМ.

Для уменьшения поверхностного натяжения в состав разрабатываемой неотвержденной композиции пленкообразователя на основе КЖС, вводили САД – водные эмульсии дисперсных полимерных частиц.

Для определения особенностей протекания коллоидно-химических процессов по поверхности стальной подложки в системе «КЖС – САД» использовали КЖС (синтезированный) и САД НОВОПОЛ 004А в различных массовых соотношениях. В качестве контрольной композиции с целью проведения сравнительного анализа использовали промышленно выпускаемое калиевое жидкое

Таблица 1 – Характеристики синтезированных растворов КЖС

Силикатный модуль	№ состава				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
Теоретический	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
Экспериментальный	1,96	2,48	3,00	3,48	3,93
Плотность, $\text{г/см}^3$	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25

стекло (Промстеклоцентр) и САД ДИСТЕКС-45 в аналогичных массовых соотношениях. КЖС в обоих вариантах пленкообразователя использовали с силикатным модулем 3,48 и плотностью 1,24 г/см<sup>3</sup>.

Рациональный состав плёнообразователя определяли расчётным методом. В расчете работы адгезии ( $W_a$ ), формирующую прочность сцепления пленкообразователя с подложкой, использовали уравнение Дюпре–Юнга:

$$W_a = \sigma \cdot (1 + \cos \theta). \quad (1)$$

Оценку работы когезии ( $W_k$ ), определяющей прочность неотвержденной композиции пленкообразователя на разрыв, рассчитывали по уравнению:

$$W_k = 2\sigma. \quad (2)$$

Коэффициент растекания Гаркина ( $f$ ), обеспечивающей блеск, ровность поверхности покрытия, отсутствие кратеров, рассчитывали через уравнение:

$$f = W_a - W_k. \quad (3)$$

Коэффициент смачивания ( $S$ ), характеризующий способность жидкости смачивать поверхность с образованием пленки, определяли по уравнению:

$$S = W_a / W_k. \quad (4)$$

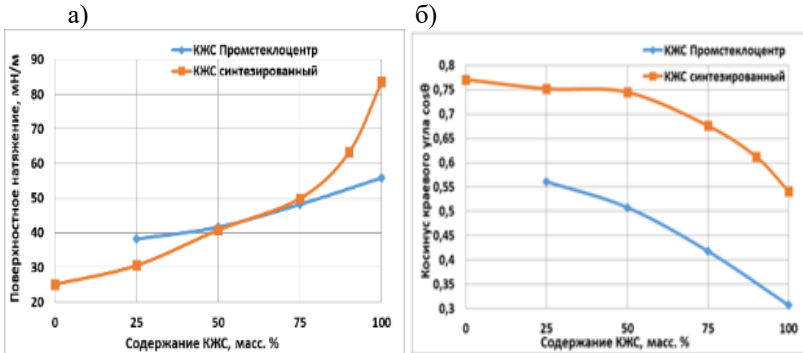
Расчёты коллоидно-химических процессов проводили по полученным экспериментальным результатам: поверхностного натяжения ( $\sigma$ ), косинуса краевого угла ( $\cos\theta$ ) в составах с заменой калиевого жидкого стекла на стирол-акриловую дисперсию с шагом 10–25 масс. %.

Анализ графических зависимостей (рисунок 2) показал, что с уменьшением массовой доли КЖС и увеличением доли САД в композициях происходит увеличение  $\cos\theta$  с уменьшением  $\sigma$  в обоих вариантах, что способствует растеканию материала.

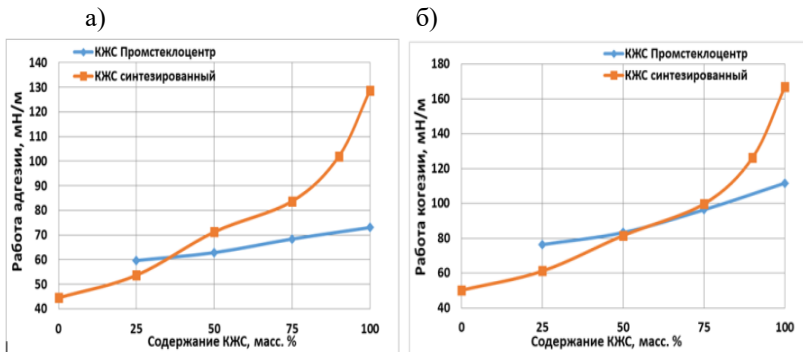
После достижения значения  $\sigma = 41,6$  мН/м,  $\cos\theta = 0,50$  в композиции КЖС (Промстеклоцентр) и САД ДИСТЕКС-45, а также при значении  $\sigma = 40,8$  мН/м и  $\cos\theta = 0,74$  в составе КЖС (синтезированный) со САД НОВОПОЛ 004А при дальнейшем увеличении доли САД в композиции происходит замедление уменьшения  $\sigma$  и роста  $\cos\theta$ , что свидетельствует об отсутствии необходимости увеличивать долю стирол-акриловой дисперсии в составе пленкообразователя более 50 масс. %.

Графические зависимости значений работы адгезии и работы когезии (рисунок 3) показывают, что уменьшение в композиции доли калиевого жидкого стекла способствует снижению адгезионно-когезионного взаимодействия со стальной подложкой.

Значения  $W_a = 62,8$  мН/м,  $W_k = 83,3$  мН/м в композиции КЖС (Промстеклоцентр) и САД ДИСТЕКС-45, а также значение  $W_a = 71,1$  мН/м и  $W_k = 81,6$  мН/м в составе КЖС (синтезированный) со САД НОВОПОЛ 004А указывают на то, что дальнейшее увеличение доли стирол-акриловой дисперсии более 50 масс. % способствует ослаблению адгезионно-когезионных сил, ухудшая прочностные характеристики образуемых покрытий.

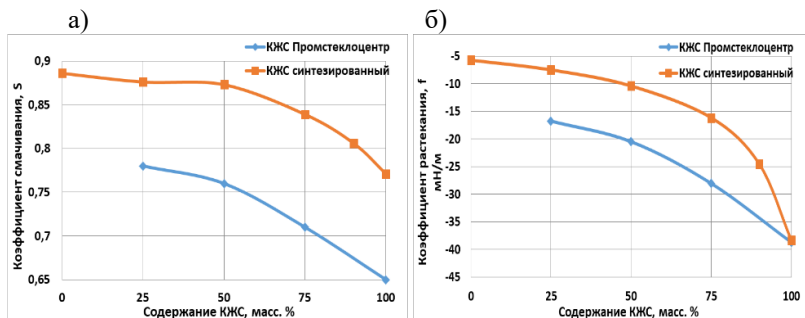


**Рисунок 2** – Изменения поверхностного натяжения (а) и косинуса краевого угла (б) в зависимости от содержания КЖС в составе пленкообразователя



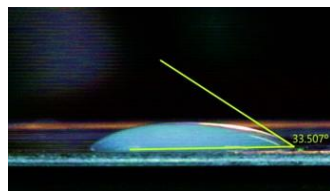
**Рисунок 3** – Изменения работы адгезии (а) и работы когезии (б) в зависимости от содержания КЖС в составе пленкообразователя

Представленные графические зависимости значений коэффициента смачивания и коэффициента растекания Гаркинса (рисунок 4) отражают увеличение сил смачивания при введении в составы пленкообразователя САД, которые снижают когезионные силы, стремящиеся стянуть пленкообразователь в каплю и препятствующую растеканию. При достижении значений  $S = 0,76$  и  $f = -20,49$  мН/м в составе композиции 50 масс. % КЖС (Промстеклоцентр) и 50 масс. % САД ДИСТЕК-45, а также значениях  $S = 0,87$ ,  $f = -10,41$  мН/м в соотношении 50 масс. % КЖС (синтезированный) к 50 масс. % САД НОВО-ПОЛ 004А необходимость в дальнейшем увеличении доли САД более 50 масс. % нецелесообразна, так как это может способствовать стремлению системы к полному смачиванию и растеканию. В условиях полного смачивания может произойти адгезионно-когезионный отрыв, способствующий разрушению покрытия, а при полном растекании – образованию подтеков.



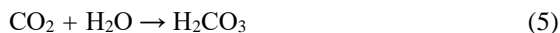
**Рисунок 4** – Изменения коэффициента смачивания (а) и коэффициента растекания Гаркинаса (б) в зависимости от содержания КЖС в составе пленкообразователя

С целью определения коллоидной устойчивости проведены измерения электрокинетического потенциала ( $\zeta$ -потенциала) композиции пленкообразователя при соотношении 50 масс. % КЖС (Промстеклоцентр) к 50 масс. % САД ДИСТЕКС-45. Значение  $\zeta$ -потенциала -49 мВ свидетельствует о высокой коллоидной устойчивости композиции в соответствии с ГОСТ Р 8.887-2015. При подборе состава композиции также учитывалась стоимость используемых компонентов, а именно тот факт, что стоимость САД значительно превышает стоимость КЖС. С учетом вышеуказанных графических зависимостей, расчётов, коллоидно-химических свойств пленкообразователей и стоимости компонентов наиболее приемлемым составом композиции можно считать соотношение 50 масс. % КЖС к 50 масс. % САД (рисунок 5).

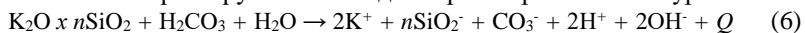


**Рисунок 5** – Микрофотография капли пленкообразователя на стальной подложке

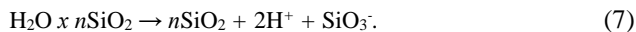
Отверждение разработанного композиционного пленкообразователя происходит в результате химических и физических процессов, протекающих в несколько стадий, связанных с потерей воды и взаимодействием с углекислым газом ( $\text{CO}_2$ ) атмосферного воздуха. Преобладающим и основным в процессе отверждения является химическое воздействие  $\text{CO}_2$  с КЖС, которое начинается с процесса хемосорбции газообразного  $\text{CO}_2$  в воде, содержащейся в КЖС, с образованием угольной кислоты:



Угольная кислота реагирует с коллоидным раствором КЖС по уравнению:



Возникшая кремневая кислота диссоциирует в воде, образуя коллоидный раствор:



Коллоидные частицы  $\text{SiO}_2$  адсорбируют на своей поверхности ионы  $\text{SiO}_3^{2-}$  и  $\text{H}^+$ . При этом вокруг  $\text{SiO}_2$  образуется двойной электрический слой с определенным электрокинетическим потенциалом.  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , образовавшаяся по уравнению (5), снижает величину pH коллоидного раствора, в результате чего уменьшается диффузионный слой и снижается электрокинетический потенциал мицеллы  $\text{H}_2\text{O} \times n\text{SiO}_2$ .

Таким образом, под действием ионов  $\text{H}^+$  КЖС коагулирует, образуя гель кремневой кислоты  $x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ , который переходит в нерастворимый в воде аморфный  $\text{SiO}_2$  (кремнезем). При отверждении КЖС по реакции (6) образуются  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , который за счет низкой энергии ионов  $\text{K}^+$  не связывает воду с образованием кристаллогидратов, тем самым обеспечивая формирующееся покрытие водостойкостью.

В результате отверждения плёнкообразователя полимерный компонент оказывается матрицей, образованной сетчато-волоконистой структурой полимера, в нашем случае применяемой САД, а  $\text{SiO}_2$  в виде камнеподобного материала располагается в межплёночном пространстве (рисунок 6).

С целью разработки состава ЛКМ на основе полученного плёнкообразователя (синтезированного КЖС: САД НОВОПОЛ 004А) проводили исследования влияния минеральных наполнителей, ПАВ и гидрофобизаторов на механическую прочность и водостойкость.

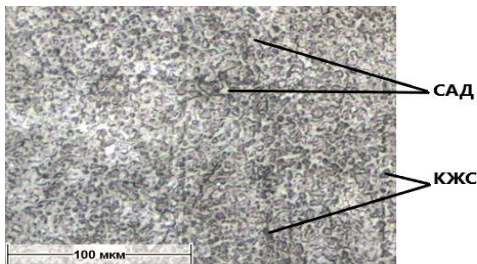
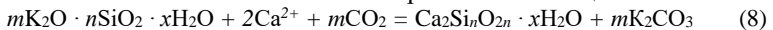


Рисунок 6 – Микрофотография отвержденной композиционной плёнкообразователя

Введение в рецептуру ЛКМ мела марки МТД-2 и оксида железа (III) в тонкодисперсном состоянии повышает механическую прочность покрытия. Поскольку мел реакционноспособен в жидкостекольных системах, поэтому при взаимодействии с КЖС образуется прочный при отверждении гидросиликат кальция:



Положительная роль оксида железа (III) в качестве наполнителя объясняется большим проявлением энергии связи за счет межмолекулярного взаимодействия между атомами железа стальной подложки и, собственно, оксидом железа (III). Для снижения межфазового натяжения с целью увеличения сил адгезии в состав вводили поверхностно-активное вещество – 10 %-й водный раствор сульфэтоксилата натрия.

Этапом исследований влияния наполнителей, ПАВ и гидрофобизаторов (таблица 2) являлось определение физико-механических свойств ЗДП: механическая прочность, водостойкость, адгезия и меленые.

Механическая прочность ЗДП повышается при введении в состав наполнителей и ПАВ (состав № 1). Водостойкость достигается введением в рецептуру химических соединений, обладающих гидрофобными свойствами и совместимостью с КЖС, проявляя с ним химическое («силикатное») сродство. С этой целью в композицию ЛКМ вводили гидрофобизатор марки ПМС-400 (ПМС) в сравнении с вазелиновым маслом (ВМ) (составы № 2-7).

Далее проводили исследования по отработке рецептур одноупаковочного водно-дисперсионного ЛКМ, обладающего высокой прочностью (адгезией) и водостойкостью при отверждении (таблица 3).

Анализ результатов (таблица 3) показал следующее: адгезионная прочность у отвержденного КЖС к стали низкая (состав № 1). С целью снижения поверхностного натяжения на границе «стальная подложка – пленкообразователь» с сохранением высокой смачиваемости были испытаны рецептуры с применением ПАВ, которые показали, что катионоактивные (раствор ЦПХ) (состав № 5) и анионоактивные (раствор ЛСNa) (состав № 6) дали незначительный эффект (3 балла) адгезионной прочности. Введение в рецептуру гидрофильной водорастворимой ПАК (состав № 4) свидетельствует о низкой адгезии к стальной подложке.

Термопластичная КФС незначительно увеличивает прочность при введении в рецептуру наполнителей (состав № 11). Данный полимер может применяться только в виде 30 %-го раствора в изопропанол, что создает практические трудности применения такой силикатной композиции ввиду ее пожароопасности. В этом отношении более приемлема пожаробезопасная САД, т.к. представляет собой стабилизированную ПАВ эмульсию стирол-акрилового полимера в воде. Ее применение позволяет повысить адгезионную прочность покрытия и водостойкость, особенно, в присутствии наполнителей (состав № 12).

Мел марки МТД-2 и оксид железа (III) незначительно повышают адгезионную прочность, т.к. наполнители при затвердевании ЗДП играют роль армирующих включений, снижая внутренние механические напряжения, увеличивая когезионные силы и, как следствие, повышая прочность пленки силикатного покрытия. Однако при этом адгезионные силы увеличиваются незначительно (состав № 10).

Одновременное введение в рецептуру САД, СЭ, наполнителей обеспечило увеличение адгезионной прочности покрытия (состав № 13,14). Водостойкость повышается за счет введения в состав ЛКМ гидрофобизатора ПМС-400, который как кремнийорганический полимер обладает хорошей совместимостью с силикатными и неорганическими ингредиентами (составы № 18, 19).

Таким образом, адгезионная прочность и водостойкость повышены до максимального значения путем введения в рецептуру покрытия СЭ, САД, наполнителей и гидрофобизатора (состав №19).

**Таблица 2 – Состав и свойства ЗДП**

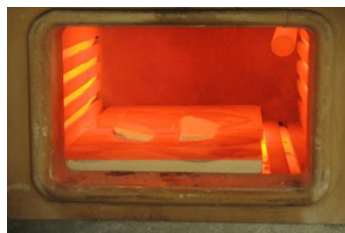
№ п/п	Состав рецептуры, масс %							Результаты испытаний				
	Пленкообразователь		Наполнитель		ПАВ	Вода	Гидрофобизатор		Механическая прочность*	Водостойкость в течение 3 мес.**	Адгезия, баллы***	Меление****
	КЖС	САД	Мел МТД-2	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	СЭ		ПМС-400	ВМ				
1	20,0	15,0	25,0	22,0	8,0	10,0			24–25	Покрытие разрушено	1	0
2	20,0	15,0	25,0	22,0	8,0	8,0	2,0		24–25	Разрушено частично	1	0
3	20,0	15,0	25,0	22,0	8,0	5,0	5,0		22–24	Разрушено частично	2	0
4	20,0	15,0	25,0	22,0	8,0		10,0		22–24	Водостойкое	2	0
5	20,0	15,0	21,0	21,0	8,0		15,0		18–20	Водостойкое	3	2–3
6	20,0	15,0	21,0	21,0	8,0	13,0		2,0	18–20	Разрушено частично	3	2–3
7	20,0	15,0	21,0	21,0	8,0	10,0		5,0	13–15	Разрушено частично	3	4–5

**Таблица 3 – Разработка состава водно-дисперсионного ЛКМ**

№ п/п	Состав рецептуры, масс %										Результаты испытаний		
	Пленкообразователь		Поверхностно-активные вещества					Наполнитель		Гидрофобизатор	Вода	Адгезия, баллы	Водостойкость, балы
	КЖС	САД	КФС	ПАК	ЦПХ	ЛСNa	СЭ	Мел МТД-2	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ПМС-400			
1	100											4	0,0
2	90	10										4	0,2
3	90		10									4	0,1
4	90			10								4	0,0
5	90				10							3	0,0
6	90					10						3	0,0
7	90						10					3	0,0
8	40							60				4	0,1
9	40								60			4	0,1
10	40							35	25			3	0,2
11	40		10					30	20			3	0,2
12	40	10						30	20			3	0,2
13	80	10					10					2	0,2
14	25	10					10	30	20		5	1	0,2
15	95								5			4	0,0
16	85						10		5			2	0,4
17	75	10					10		5			1	0,9
18	40	10					10	20	15			1	0,9
<b>19</b>	<b>22</b>	<b>15</b>					<b>12</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1,0</b>

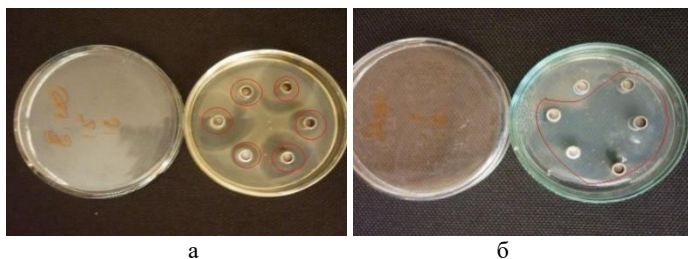
\* – количество изгибов до разрушения покрытия, ГОСТ 31974-2012.6.806-73; \*\* – водостойкость, ГОСТ 9.403-80; \*\*\* – адгезия, ГОСТ 31149-2012; \*\*\*\* – количество отпечатков покрытия на бумаге / баллы, ГОСТ 16976-71

Испытания на пожаровзрывоопасность показали, что поверхность образцов при нагревании до 800°C не покрывалась трещинами, кратерами, не изменяла своего цвета, не замечено визуальных признаков задымленности, горения, тления или возгорания. Водно-дисперсионный ЛКМ относится к классу пожарной опасности строительных материалов – КМО.



**Рисунок 7** – Испытание образцов с нанесенным водно-дисперсионным ЛКМ на пожароопасность

**В четвертой главе** рассмотрена возможность придания бактерицидных свойств разработанному составу плёнообразователя путем введения в композицию антимикробных агентов. Установлено, что КЖС обладает не высоким бактериостатическим действием к анализируемым возбудителям, в то время как САД не обладает бактериостатическим действием в отношении стафилококка и проявляет незначительное бактериостатическое действие в отношении кишечной палочки. Результатом проведенных экспериментов по определению чувствительности тест-культур штаммов (3.107 КОЕ) *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* к КЖС, САД и пиритиону цинка при их сочетании в различных пропорциях являлось определение зоны задержки роста бактерий (рисунок 8).

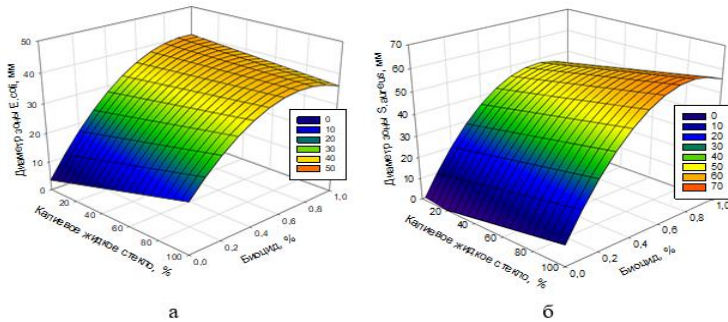


**Рисунок 8** – Зависимость зоны задержки роста:

*а* – *Escherichia coli* в соотношении 9:1 (КЖС: САД) и пиритион цинка 1 масс. %, *б* – *Staphylococcus aureus* в соотношении 9:1 (КЖС: САД) и пиритион цинка 1 масс. %.

При анализе антимикробного влияния сочетания вышеуказанных ингредиентов четко прослеживается зависимость антибактериальных свойств от концентрации пиритиона цинка в составе пленкообразователя. На поверхности мясопептонного агара исследуемых штаммов бактерий зафиксировано существенное увеличение зон задержки роста стафилококков, кишечной палочки на композициях в соотношении 9:1 (КЖС: САД) с содержанием пиритиона цинка 1,0 масс. %.

Анализ математического моделирования зависимостей диаметра зоны задержки роста бактерий от количества и составов пленкообразователей (рисунок 9) показал, что максимальным биоцидным свойством в отношении как *Escherichia coli*, так и к *Staphylococcus aureus* обладает пленкообразователь, масс. %: КЖС – 83,86; САД – 15,26; биоцид – 0,87.



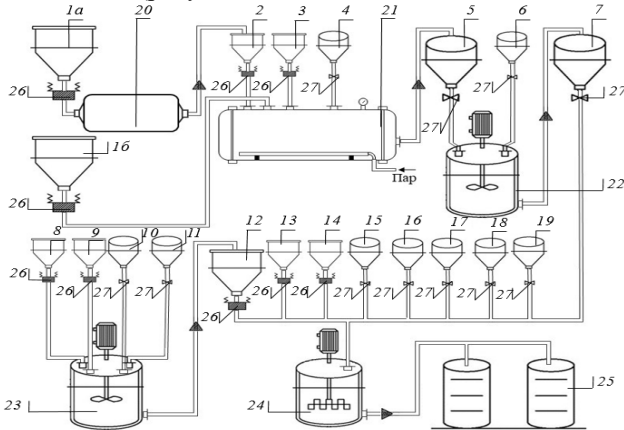
**Рисунок 9** – Зависимость диаметра зоны задержки роста бактерий от количества биоцида (пиритиона цинка) в составе пленкообразователя:  
а – *Escherichia coli*; б – *Staphylococcus aureus*

**В пятой главе** представлены свойства разработанного ЛКМ, технология производства, экономическая целесообразность выпуска водно-дисперсионного ЛКМ и нормативно-техническая документация для производства разработанного материала. Полученные свойства ЛКМ приведены в таблице 4.

**Таблица 4** – Сравнительная характеристика разработанного водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС с краской марки ВД-КЧ-124.

Показатель	ЛКМ	ВД-КЧ-124	Требования	
			ГОСТ Р 52020-2003	ГОСТ 18958-73
Условная вязкость по вискозиметру типа ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм при температуре 20±0,5°С, ГОСТ 8420-74	16	18	≥ 14	14,0–16,0
Массовая доля нелетучих веществ, %, ГОСТ 17537 п. 1	50	50	≥ 50	–
рН краски, ГОСТ 52020 п. 9.4	6,6–9,5	6,5–9,5	6,5–9,5	–
Степень перетира, мкм, ГОСТ 6589	40	30	≤ 70	–
Укрывистость высушенной пленки, г/м <sup>2</sup> , ГОСТ 8784-75	190–240	120	–	400–650
Время высыхания до степени 3 при температуре 20±0,5°С, мин, ГОСТ 19007	60	60	≤ 60	–
Стойкость покрытия к статическому воздействию воды при температуре 20±0,5°С, ч, ГОСТ 9.403-80	48	72	≥ 12	–
Смываемость пленки, г/м <sup>2</sup> , ГОСТ 52020 П 9.5	3,5	3,5	3,5	–

Для производства водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС разработана технологическая схема (рисунок 10).



**Рисунок 10** – Технологическая схема производства водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС:

1 – расходный бункер для кварцевого песка (а – грубой фракции; б – тонкой фракции); 2 – измельченный кварцевый песок; 3 – гидроксид калия; 4 – вода; 5 – КЖС; 6 – САД; 7 – пленкообразователь; 10, 11 – синтез СЭ; 12 – СЭ; 13–18 – мод. добавки; 19 – ПМС-400; 20 – шаровая мельница; 21 – автоклав получения КЖС; 22 – якорный смеситель; 23 – реактор получения СЭ; 24 – диссольвер; 25 – тарирование продукции; 26 – весовой дозатор; 27 – насос-дозатор

Таким образом, разработан состав и технология получения водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС. Покрытие включает: КЖС – 22 масс. %; САД НОВОПОЛ 004А – 15 масс. %; мел марки МТД-2 – 20 масс. %; оксид железа (III) – 19 масс. %; 10 % раствор СЭ – 12 масс. %; вода водопроводная – 5 масс. %; ПМС-400 – 7 масс. %.

Технико-экономический расчет (цены 2025 г.) показал, что основные затраты на выпуск одного килограмма водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС составили 150 руб., что значительно ниже стоимости (250-420 р/кг) серийно выпускаемых ВД ЛКМ по металлу, что указывает на экономическую эффективность и целесообразность масштабирования производства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Итоги выполненного исследования.** Установлены коллоидно-химические особенности повышения адгезивно-когезионного взаимодействия, смачивающей способности и полноты растекания пленкообразователя на основе КЖС по подложке, влияющие на прочностные, водостойкие и пожаробезопасные свойства разрабатываемого состава водно-дисперсионного лакокрасочного материала.

Предложено решение научной задачи по получению водно-дисперсионного ЛКМ в одноупаковочном варианте на основе коллоидно-устойчивой ( $\zeta$ -потенциал  $-49$  мВ) композиции пленкообразователя с КЖС, обеспечивающий формирование защитно-декоративного покрытия с повышенной прочностью, твердостью, гидрофобностью и пожаробезопасностью.

Установлены коллоидно-химические закономерности изменения поверхностных характеристик композиции пленкообразователя на основе калиевого жидкого стекла и стирол-акриловой дисперсии, заключающиеся в синергетическом снижении поверхностного натяжения плёнкообразователя (с  $83,5$  до  $25,1$  мН/м) и краевого угла смачивания (с  $57,3^\circ$  до  $38,4^\circ$ ) при увеличении доли полимерной составляющей.

Выявлена зависимость адгезионно-когезионного баланса в системе «пленкообразователь-подложка» от соотношения калиевого жидкого стекла и стирол-акриловой дисперсии в композиции, которая характеризуется тем, что при снижении доли калиевого жидкого стекла происходит непропорциональное снижение работы когезии (с  $167$  до  $50,2$  мН/м) относительно снижения работы адгезии (с  $128,7$  до  $44,4$  мН/м).

Определено улучшение смачивающе-растекающих свойств связующего на границе раздела межфазового взаимодействия в системе «пленкообразователь-подложка»: увеличение коэффициента смачивания (с  $0,77$  до  $0,88$ ) и снижение отрицательного значения коэффициента растекания Гаркинса (с  $-38,3$  до  $-5,7$  мН/м).

В качестве пленкообразователя для ЛКМ разработана композиция на основе КЖС (50 масс. %) и САД НОВОПОЛ 004А (50 масс. %). Применение КЖС с силикатным модулем  $3,48$  и плотностью  $1,24$  г/см<sup>3</sup> обуславливает формирование системы со следующими реологическими и адгезионными параметрами: поверхностное натяжение  $40,8$  мН/м,  $\cos\theta = 0,74$ , работа адгезии  $71,1$  мН/м, работа когезии  $81,6$  мН/м, коэффициент смачивания  $0,87$ , коэффициент растекания Гаркинса  $-10,4$  мН/м.

Предложен состав пленкообразователя на основе калиевого жидкого стекла, обладающий бактерицидными свойствами в отношении патогенных бактерий *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*. Выявлено соотношение КЖС: САД НОВОПОЛ 004А в разведении 9:1 с содержанием пиритиона цинка 1 масс. %.

Разработан состав водно-дисперсионного ЛКМ на основе калиевого жидкого стекла. Лакокрасочный материал включает: дисперсионную среду – КЖС – 22 масс. %, САД НОВОПОЛ 004А – 15 масс. %, вода – 5 масс. %; дисперсную фазу – наполнители: технический тонкодисперсный мел марки МТД-2 – 20 масс. %, оксид железа (III) – 19 масс. %; диспергатор – поверхностно-активное вещество (ПАВ) 10 %-й раствор сульфэтоксилат натрия (СЭ) – 12 масс. %; гидрофобизатор – полиметилсилоксан марки ПМС-400 – 7 масс. %.

Предложена технологическая схема производства одноупаковочного водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС.

Обоснована экономическая эффективность и целесообразность масштабирования производства водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС.

Теоретические положения диссертационной работы, результаты экспериментальных исследований могут быть **рекомендованы** для внедрения на предприятиях по производству лакокрасочной продукции при производстве водно-дисперсионных материалов.

**Перспективы дальнейших исследований** целесообразно рассматривать в направлении прогнозирования, направленного регулирования, оптимизации физико-химических, коллоидно-химических и механо-физических свойств водно-дисперсионного ЛКМ на основе КЖС.

**СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ,  
В КОТОРЫХ ИЗЛОЖЕНЫ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОТЫ  
В журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий и меж-  
дународные реферативные базы данных и системы цитирования, реко-  
мендованных ВАК РФ**

1. **Богданов, В.Н.** Коллоидно-химические аспекты повышения прочности защитно-декоративных силикатных покрытий по стали / В.Н. Богданов, В.А. Перистый, А.И. Везенцев, Л.Ф. Перистая // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2025. – № 1–2(571). – С. 49–56. (СА(рt)).

2. **Богданов В.Н.** Повышение качества защитных силикатных покрытий по металлу / В.Н. Богданов, В.А. Перистый, А.И. Везенцев, Л.Ф. Перистая // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки. – 2014. – № 10 (181). Вып. 27. – С. 121–124.

3. **Богданов, В.Н.** Повышение прочности и влагостойкости силикатных защитных покрытий по металлу / В.Н. Богданов, В.А. Перистый, А.И. Везенцев, И.Д. Корниенко, Л.Ф. Перистая, О.А. Воронцова, Ю.Н. Козырева // Химическая промышленность сегодня. – 2013. – № 6. – С.7–11.

4. **Богданов, В.Н.** Бактерицидное действие экспериментального композиционного материала защитно-декоративного назначения / В.Н. Богданов, В.Д. Буханов, А.И. Везенцев, О.А. Воронцова // Бултеровские сообщения – 2013. – Т. 34, № 5. – С.100–105.

5. **Богданов, В.Н.** Коллоидно-химические свойства неотвержденной композиции защитно-декоративного покрытия / В.Н. Богданов, О.А. Воронцова, А.И. Везенцев // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2013. – № 1–2. – С. 70–73.

**В сборниках трудов конференций**

6. **Сапронова, Ж.А.** Зависимость работы адгезии и коэффициента смачивания от состава неотвержденной композиции защитно-декоративного покрытия

/ Ж.А. Сапронова, Л.Х. Загороднюк, Р.Р. Гафаров, **В.Н. Богданов** // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедения, химия и биотехнология: сборник докладов Международной научной конференции, г. Белгород, 2–6 июня 2025 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2025. – С. 329–332.

7. **Богданов, В.Н.** Оптимизация состава силикатного покрытия с биоцидными свойствами для металлических изделий / В.Н. Богданов, И.В. Старостина, А.И. Везенцев // INNOVATIONS IN LIFE SCIENCES: сборник материалов VII Международного симпозиума, г. Белгород, 21–23 мая 2025 г. – Белгород: Издательский дом «БелГУ», 2025. – С. 261–263.

8. **Богданов, В.Н.** Антибактериальное силикатное покрытие для металлических изделий / В.Н. Богданов, И.В. Старостина // Актуальные аспекты и перспективы развития современной биотехнологии: сборник докладов II Международной научной конференции, г. Белгород, 25–27 марта 2025 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2025. – С. 174–180.

9. **Богданов, В.Н.** Производство мела в ЗАО АППК «БЕЛСЕЛЬХОЗИН-ВЕСТ» / В.Н. Богданов, О.А. Воронцова, А.И. Везенцев // Сорбенты как фактор качества жизни и здоровья: материалы IV Международной конференции г. Белгород, 24–28 сентября 2012 года. – Белгород: Издательский дом «Белгород» 2012. – С. 17–22.

10. **Везенцев, А.И.** Синтез нанокластеров аморфных гидросиликатов калия для композиционных материалов защитно-декоративного назначения / А.И. Везенцев, О.Н. Макридина, **В.Н. Богданов** // Наука и современность – 2010: сборник материалов III Международной научно-практической конференции: в 3 ч. / под общ. ред. С.С. Чернова. – Новосибирск: Изд-во ЦРСН, 2010. – Ч. 3. – С. 52–57.

#### *Объекты интеллектуальной собственности*

11. **Пат. на изобретение 2542298 РФ.** Защитно-декоративное силикатное покрытие // В.А. Перистый, **В.Н. Богданов**, А.И. Везенцев, Л.Ф. Перистая: Заявитель и патентообладатель: НИУ БелГУ – № 2013116606; заявл. 11.04.2013; опубл. 20.02.2015. – 8 с.

Автор благодарит д-ра техн. наук, проф. А.И. Везенцева, д-ра техн. наук, проф. Л.Х. Загороднюк, канд. техн. наук, доц. В.А. Перистого, канд. ветеринар. наук, доц. В.Д. Буханова за конструктивные предложения, ценные советы, замечания и помощь при выполнении работы.

**БОГДАНОВ ВСЕВОЛОД НИКОЛАЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА И КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА ВОДНО-ДИСПЕРСИОННОГО  
ЛАКОКРАСОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ  
КАЛИЕВОГО ЖИДКОГО СТЕКЛА**

1.4.10. Коллоидная химия

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать. 13.03.2026.  
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,3. Тираж 100 экз. Заказ № 31

Отпечатано в Белгородском государственном  
технологическом университете им. В.Г. Шухова  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46