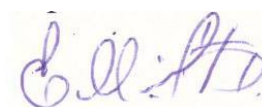


На правах рукописи



МАЖИТОВ ЕРКЕБУЛАН БИСЕНГАЛИЕВИЧ

ЗОЛЬ-СИЛИКАТНАЯ КРАСКА ДЛЯ ОТДЕЛКИ СТЕН ЗДАНИЙ

2.1.5. Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Пенза 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Логанина Валентина Ивановна

Официальные оппоненты: **Лукутцова Наталья Петровна**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Брянский государственный
инженерно-технологический
университет», заведующий кафедрой
«Производство строительных
конструкций»

Фролова Мария Аркадьевна,
кандидат химических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический)
федеральный университет имени
М.В. Ломоносова», доцент кафедры
«Композиционные материалы и
строительная экология»

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Белгородский
государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова»**

Защита состоится 17 февраля 2022 года в 13:00 на заседании диссертационного совета 24.2.356.01, созданного на базе Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28, корп.1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пензенского государственного университета архитектуры и строительства и на сайте <http://dissovet.pguas.ru/index.php/contact-us/24-2-356-01/115-121-mazhitov-erkebulan-bisengalievich>.

Автореферат разослан 17 декабря 2021 года.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Бакушев
Сергей Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность избранной темы. Строительство и поддержание рабочего состояния зданий и сооружений требуют большого количества лакокрасочных составов. Растущая конкуренция на рынке отделочных материалов, повышающиеся требования потребителей требуют от производителей получение высококачественных окрашенных поверхностей. Для отделки наружных и внутренних стен зданий нашли широкое применение силикатные краски. Однако покрытия на основе силикатных красок обладают недостаточной трещиностойкостью. В связи с этим разработка научно обоснованного технологического решения получения силикатных красок для отделки стен зданий, покрытия на основе которых будут обладать повышенными эксплуатационными свойствами, является важной научно-технической задачей, решение которой позволит снизить затраты на ремонт стен зданий.

Диссертационная работа выполнена на базе кафедры «Управление качеством и технология строительного производства» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» при финансовой поддержке Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана (Договор № А-2016/35 от 25 августа 2016 г., срок выполнения 2016-2020 гг.).

Степень разработанности темы: При выполнении диссертационной работы был проведён обзор научно-технической литературы по: лакокрасочным материалам и предъявляемым к ним нормативным требованиям, способам модификации жидкого стекла. Теоретическими основами исследования стали работы отечественных и зарубежных учёных Айзенштадта А.М., Везенцевой А.И., Данилова В.В., Иващенко Ю.Г., Карякиной М.И., Климановой Е.А., Комохова П.Г., Корнеева В.И., Королева Е.В., Лебедевой Е.Ю., Мчедлова-Петросяна О.П., Низиной Т.А., Рейбман А.И., Сычева М.М., Уржумцева Ю.С., Фиговского О.Л., Яковлева Г.И., Ailer R., Beilin D., Carman P.C., Grasshoff K., Greenwood P., Neimark I.E., Romm F.A. и других.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка научно обоснованного технологического решения получения силикатных красок для отделки стен зданий, покрытия на основе которых будут обладать повышенными эксплуатационными свойствами.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

– исследовать закономерности изменения коллоидно-химического состояния кремнезема в полисиликатных растворах;

- исследовать закономерности формирования структуры и свойств покрытий на основе золь-силикатной краски;
- исследовать эксплуатационную стойкость покрытий на основе золь-силикатной краски;
- подготовить нормативно-техническую документацию для внедрения рецептуры разработанной золь-силикатной краски в промышленное производство.

Научная новизна работы. Установлены закономерности изменения коллоидно-химического состояния кремнезема в полисиликатных растворах от содержания щелочного золя кремниевой кислоты, времени старения, вида катионов щелочных металлов. Выявлено, что при увеличении содержания щелочного золя кремниевой кислоты наблюдается увеличение количества высокополимерных фракций кремнекислородных анионов. Установлено влияние вида катиона щелочного металла на скорость растворения кремнезема в полисиликатных растворах, заключающееся в большем содержании кремнезема в мономерной форме в натриевом полисиликатном растворе по сравнению с калиевым. В калиевых полисиликатных растворах содержится большее количество высокополимерных фракций кремнекислородных анионов по сравнению с натриевыми полисиликатными растворами.

Установлено, что применение в золь-силикатных красках в качестве наполнителя микрокальцита способствует получению более высокой когезионной прочности покрытий, обусловленное увеличением вклада дисперсионных сил в системе «наполнитель-связующее». Установлена линейная зависимость между значением постоянной Гамакера и прочностью при растяжении покрытий.

Теоретическая и практическая значимость работы. Расширены и дополнены теоретические представления о коллоидно-химическом состоянии кремнезема в полисиликатном растворе, закономерностях формирования структуры и свойств покрытий на основе полисиликатного пленкообразующего.

Разработана рецептура золь-силикатной краски для отделки стен зданий, позволяющая получить покрытия с прочностью при растяжении $R_p=2,3$ МПа, прочностью сцепления с подложкой 0,80 МПа, коэффициентом паропроницаемости $\mu = 0,002$ мг/(м·ч·Па), морозостойкостью F35. Покрытия относятся к группе несгораемых материалов Г1.

Подготовлена нормативная документация, проведены промышленные испытания.

Техническая новизна разработок подтверждена патентами Российской Федерации на изобретение: №2669317 «Состав для отделки» от 10.10.2018 г., №2707623 «Шпатлевка» от 28.11.2019 г.

Методология и методы исследования. Методологической основой диссертационной работы является системный подход, предполагающий комплексное рассмотрение предмета исследования. Для получения аналитических данных использовались физико-химические и физико-механические методы испытаний, методы статистической обработки результатов экспериментов, метод сравнительного анализа. Изучение свойств и основных характеристик золь-силикатной краски осуществлялось с применением действующих ГОСТ. Для оценки структурных изменений при модификации связующего компонента применялись современные методы физико-химических исследований: молибдатный метод, ИК-спектральный анализ, метод сканирующей зондовой микроскопии, метод ОВРК (Оунса, Вендта, Рабеля и Кьельбле).

Положения, выносимые на защиту:

- закономерности изменения коллоидно-химического состояния кремнезёма в полисиликатных растворах и свойств полисиликатного связующего;
- закономерности формирования структуры и свойств покрытий на основе золь-силикатной краски;
- результаты оценки эксплуатационной стойкости покрытий на основе золь-силикатной краски;
- состав и технология получения золь-силикатной краски для отделки стен зданий.

Степень достоверности полученных результатов обеспечена сопоставлением результатов экспериментальных исследований с производственным апробированием, статистической обработкой результатов экспериментальных исследований, проведением исследований на оборудовании, прошедшем метрологическую поверку.

Полученные результаты имеют высокую воспроизводимость и сходимость и не противоречат общепризнанным данным и работам других авторов. Проведённый комплекс экспериментальных исследований апробирован в промышленных условиях.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы представлены на: международной научно-технической конференции молодых учёных БГТУ им. В.Г. Шухова «Фундаментальные основы строительного материаловедения» (Белгород, 2017); Всероссийской международной научной конференции «Наука и образование: Проблемы развития строительной отрасли» (Пенза, 2018); IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Belgorod, 2020). В промышленных условиях апробацию полученных результатов осуществляли на предприятии ООО «Коломенские краски».

Публикации. Основные результаты диссертационной работы представлены в 23 научных публикациях, в том числе в 14 научных статьях в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных

изданий, рекомендованных ВАК, в пяти статьях в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science.

Структура и объём работы. Диссертационная работа включает введение, пять глав, заключение, список литературы и приложения. Диссертация изложена на 186 страницах машинописного текста, включающего 41 таблицу, 67 рисунков, список литературы из 173 источников, 2 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Для отделки фасадов зданий широкое применение нашли силикатные краски, покрытия на основе которых характеризуются декоративной выразительностью, стойкостью к биоразрушению. В настоящее время существует широкая номенклатура силикатных декоративных и защитных покрытий. При этом практически все предлагаемые составы имеют определённые недостатки как технологического, так и эксплуатационного характера. Необходимость улучшения некоторых свойств силикатных красок и покрытий на их основе, таких как водостойкость, трещиностойкость привели к разработке высокомодульных жидких стекол, полисиликатных растворов, полученных смешением жидкого стекла и золь кремниевых кислот. Особенности получения полисиликатных растворов накладывают определенные ограничения и требования при разработке лакокрасочных составов на его основе.

При разработке золь-силикатной краски использовались щелочные золи кремневой кислоты Nanosil 20 и Nanosil 30, жидкое стекло с силикатным модулем $M=2,78-3,29$.

Установлено, что при смешивании жидкого стекла с модулем $M=2,78$ с щелочными золями кремневой кислоты Nanosil 20 и Nanosil 30 с рН 10 в количестве 5-15 % от массы жидкого стекла можно получить полисиликатные растворы с модулем $M=4,25-5,29$. Установлено, что рН полисиликатного раствора непрерывно изменяется. После смешивания жидкого стекла и золя кремниевой кислоты рН выше, чем на более поздних стадиях. При увеличении количества вводимого золя кремниевой кислоты наблюдается снижение рН полисиликатных растворов при неизменной концентрации щелочи. При концентрации золя Nanosil 20 в количестве 15 % от массы жидкого стекла рН раствора составляет 10,95, стабилизация рН наблюдается спустя 27 часа после смешивания.

Введение золя кремниевой кислоты приводит к изменению вязкости растворов, причем на начальном этапе чем выше содержание золя кремниевой кислоты, тем в значительной степени наблюдается снижение вязкости (таблица 1). Однако спустя некоторое время хранения наблюдается возрастание вязкости полисиликатного раствора и гелеобразование.

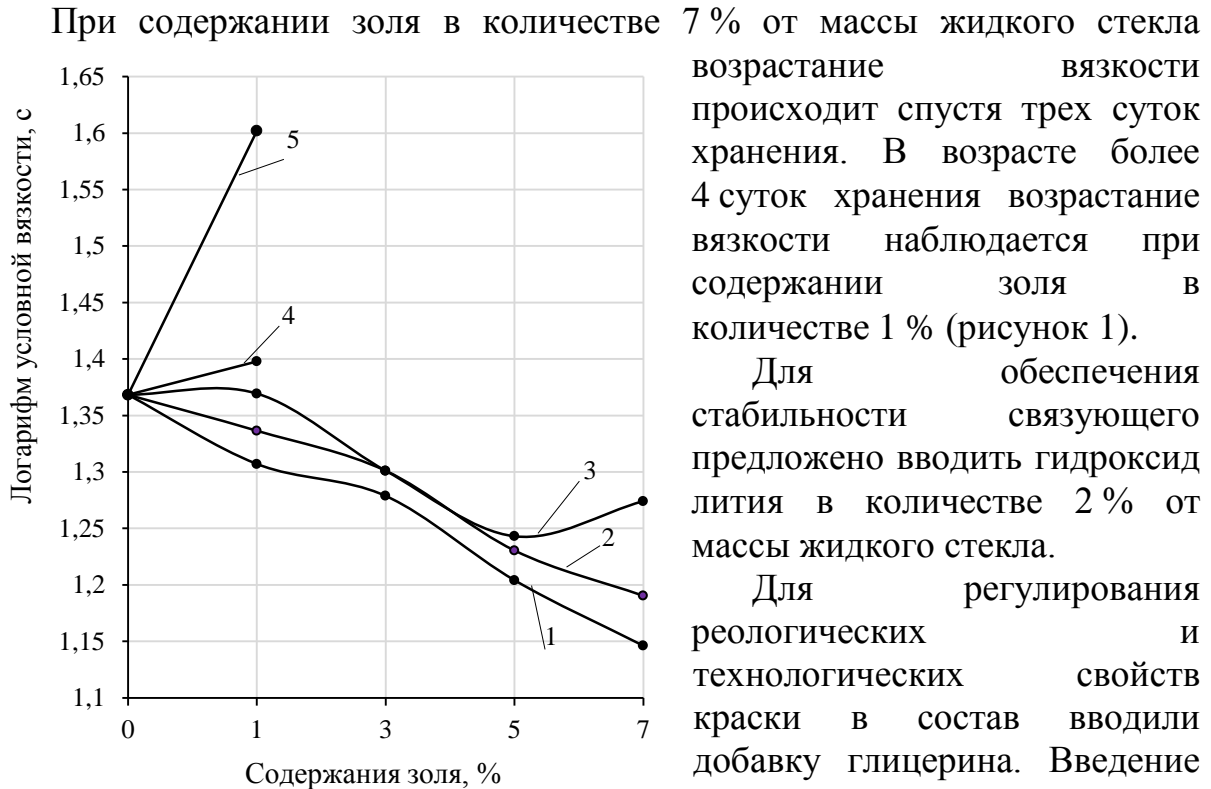


Рисунок 1 – Изменение вязкости натриевого полисиликатного раствора в зависимости от содержания золя кремниевой кислоты (Nanosil 20): 1 – после приготовления; 2 – через сутки; 3 – через 3 суток; 4 – через 5 суток; 5 – через 7 суток

Для обеспечения стабильности связующего предложено вводить гидроксид лития в количестве 2 % от массы жидкого стекла.

Для регулирования реологических и технологических свойств краски в состав вводили добавку глицерина. Введение добавки глицерина в количестве 10 % приводит к снижению вязкости полисиликатного раствора на 35 %. Определено оптимальное количество глицерина,

составляющее 10 % от массы связующего.

Таблица 1 – Влияние добавки золя кремниевой кислоты на вязкость полисиликатного раствора

Жидкое стекло с золем кремниевой кислоты	Содержание золя, (по массе) %	Плотность раствора, кг/м ³	Условная вязкость раствора, с	Динамическая вязкость, Па·с·10 ⁻³	Кинематическая вязкость, м ² /с·10 ⁻⁶
Жидкое стекло	0	1348	8,72	1,573	1,172
Nanosil 20					
Состав 1	5	1333	7,98	1,426	1,070
Состав 2	10	1325	7,74	1,375	1,038
Состав 3	15	1316	7,56	1,334	1,014
Nanosil 30					
Состав 4	5	1340	8,09	1,454	1,085
Состав 5	10	1331	7,69	1,372	1,031
Состав 6	15	1325	7,71	1,371	1,034

Для изучения коллоидно-химического состояния кремнезёма в полисиликатном растворе применяли молибдатный метод. Введение золя кремниевой кислоты способствует увеличению доли высокополимерных фракций кремнекислородных анионов (ККА) γ -SiO₂, причём с увеличением содержания золя доля полимерной формы кремнезёма возрастает (таблица 2).

Таблица 2 – Изменение коллоидно-химического состояния кремнезёма в зависимости от содержания золя кремниевой кислоты

Содержание золя, %	Общее содержание кремнезема SiO ₂ , %	Содержание α -SiO ₂ + β -SiO ₂ , %	Содержание γ -SiO ₂ , %
0	21,9	19,38	2,51
5	26,21	18,61	7,6
10	30,39	17,71	12,68
15	34,93	15,00	19,93

Зависимость содержания кремнезёма в мономерной форме (α -SiO₂) на ранних стадиях взаимодействия золя с жидким стеклом носит экстремальный характер. Максимальное содержание α -SiO₂ наблюдается спустя 60 минут в зависимости от вида жидкого стекла и количества введённого золя. Спустя 60 минут содержание кремнезёма α -SiO₂ в полисиликатном растворе составляет 6,97 % при содержании 5 % золя (таблица 3).

Таблица 3 – Изменение α -SiO₂ и β -SiO₂ в процессе старения полисиликатных растворов

Время, мин	Содержание золя кремниевой кислоты от массы жидкого стекла, %					
	5		10		15	
	α -SiO ₂	β -SiO ₂	α -SiO ₂	β -SiO ₂	α -SiO ₂	β -SiO ₂
2,5	1,51	17,09	2,73	14,97	6,21	8,78
5,0	2,24	16,36	4,33	13,37	6,91	8,08
7,5	3,21	15,39	5,23	12,47	7,13	7,86
10	3,79	14,81	5,62	12,08	7,28	7,71
12,5	4,42	14,18	6,19	11,51	7,51	7,48
15	4,76	13,84	6,49	11,21	7,61	7,38
17,5	5,05	13,55	6,79	10,91	7,64	7,35
20	5,34	13,26	7,05	10,65	7,77	7,22
25	6,74	11,87	7,52	10,18	7,98	7,01
27,5	6,77	11,84	7,67	10,03	7,99	7,01
30	6,79	11,82	8,08	9,63	8,09	6,96
45	6,86	11,72	8,14	9,57	8,23	6,98
60	6,97	11,64	7,47	8,83	8,14	6,85
120	6,94	11,66	7,53	8,98	7,98	6,84
180	6,68	11,93	7,30	9,06	7,74	7,16
240	6,76	11,85	7,05	9,45	7,75	7,24
360	6,73	11,87	6,85	9,49	7,17	7,60

Дополнительно для изучения состава полисиликатных растворов применяли метод нарушения полного внутреннего отражения (МНПВО).

Выявлено, что калиевый полисиликатный раствор имеет ряд характерных полос поглощения, которые в спектральном диапазоне 1000-1250 см^{-1} отвечают колебаниями Si-O-Si связей (рисунок 2). Сдвиг полосы 1110 см^{-1} , соответствующий колебаниям Si-O-Si, в область более высоких частот по сравнению с жидким стеклом (1082 см^{-1}) свидетельствует о большей степени полимеризации и увеличении числа силоксановых связей.

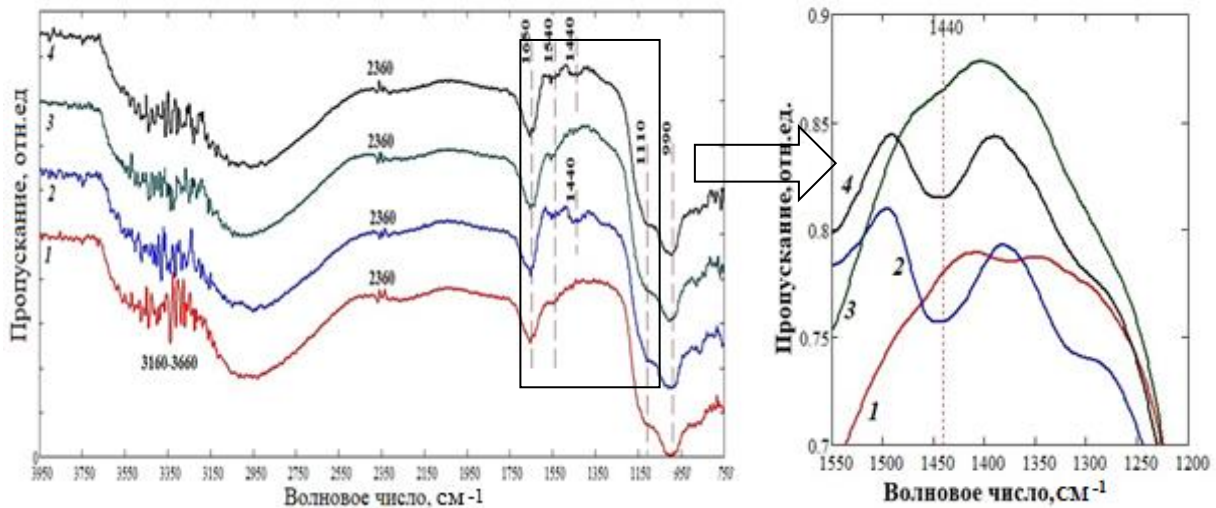


Рисунок 2 – ИК-спектры МНПВО полисиликатных растворов:

- 1 – КЖС; 2 – КЖС с глицерином; 3 – КЖС с золом кремниевой кислоты;
4 – КЖС с добавлением глицерина и золя кремниевой кислоты

Покрyтия на основе полисиликатных растворов характеризуются более быстрым отверждением. В возрасте 24 часов относительная твёрдость плёнки на основе контрольного состава (без золя) составляет 0,28, а с добавлением золя Nanosil 20 в количестве 5, 10, 15 % от массы жидкого стекла соответственно 0,38, 0,43, 0,47. Процесс отверждения заканчивается спустя 7 суток (рисунок 3). Для плёнок на основе полисиликатных растворов характерно проявление масштабного фактора. С увеличением толщины покрытия наблюдается снижение относительной твердости.

При исследовании свойств плёнок на основе полисиликатного раствора установлено, что плёнки обладают более высокой когезионной прочностью. Прочность при растяжении плёнки на основе калиевого жидкого стекла составляет $R_p=0,39$ МПа, а на основе полисиликатного раствора (15 % Nanosil 20) – 1,14 МПа.

Выявлено, что между содержанием $\gamma\text{-SiO}_2$ в полисиликатном растворе и прочностью при растяжении плёнок существует линейная зависимость, заключающаяся в том, что при увеличении содержания кремнезёма в

полимерной форме $\gamma\text{-SiO}_2$ наблюдается увеличение прочности при растяжении пленок (рисунок 4).

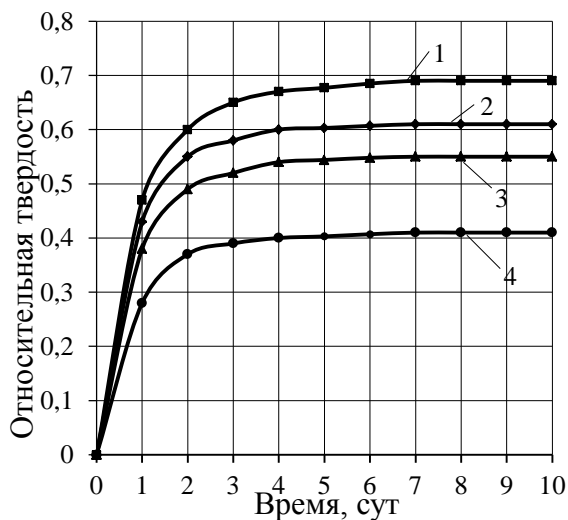


Рисунок 3 – Изменение во времени относительной твердости пленок на основе полисиликатных растворов:
1 – КЖС; 2 – КЖС+5%Nanosil20;
3 – КЖС+10% Nanosil20;
4 – КЖС +15%Nanosil20

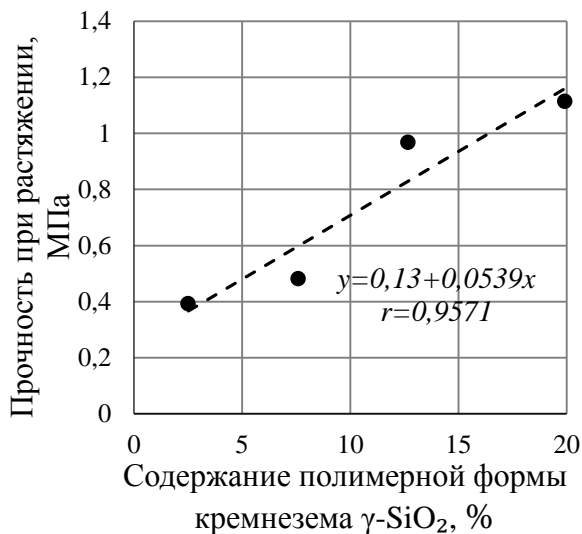


Рисунок 4 – Зависимость прочности при растяжении пленок на основе калиевого полисиликатного раствора от содержания кремниевой кислоты в полимерной форме $\gamma\text{-SiO}_2$

Выбор наполнителя осуществлялся на основании термодинамических критериев (критическое поверхностное натяжение, постоянная Гамакера). В качестве наполнителей применяли микрокальцит, микротальк МТ, маршалит марки «А». Выявлено, что микрокальцит имеет более высокое значение критического поверхностного натяжения, равное $\sigma_k=28,8$ мН/м, по сравнению с остальными наполнителями. Значение постоянной Гамакера для микрокальцита составляет $A=3,15 \cdot 10^{-20}$ Дж, что характеризует более сильное взаимодействие в системе «микрокальцит-связующее». Установлено, что между значением постоянной Гамакера и прочностью при растяжении покрытий существует линейная зависимость, что обусловлено влиянием силы межчастичного взаимодействия «микрокальцит-связующее» на когезионную прочность покрытий.

Оптимальная степень наполнения золь-силикатной краски была определена двумя методами: теоретическим и экспериментальным. Рассчитанный расход пигментов в обоих случаях оказался одинаковым. Экспериментально определение оптимального содержания пигмента (наполнителя) устанавливали по изменению вязкости раствора. В качестве пигментов применяли: диоксид титана рутильной формы, охру, сурик железный, оксид хрома. Выявлено, что значения критической объемной концентрации пигментов (КОКП) при использовании полисиликатных растворов в качестве пленкообразующего возрастают по сравнению с контрольными составами (на основе жидкого стекла) независимо от вида

пигмента. Установлено оптимальное соотношение пигмент-наполнитель (тальк:микрокальцит), составляющее 1:1,5:5,5.

При оценке межфазного взаимодействия между пленкообразующим и пигментом (наполнителем) термодинамическим методом выявлено, что для полисиликатного раствора характерна большая работа адгезии к наполнителю (пигменту), составляющая 103,85 мН/м, в то время как работа адгезии жидкого стекла – 87,74 мН/м. Для полисиликатного раствора характерна и большая работа смачивания, составляющая 39,78 мН/м. Наличие более полного смачивания поверхности наполнителя и пигмента в случае применения полисиликатного раствора, способствует формированию более плотной структуры покрытия и повышению физико-механических свойств. Об этом свидетельствуют данные об изменении

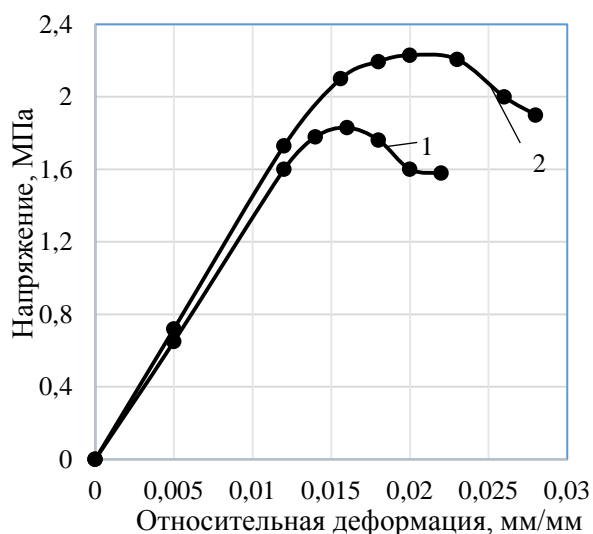


Рисунок 5 – Диаграмма «напряжение–деформация» для плёнок на основе:

- 1 – силикатной краски;
- 2 – золь-силикатной краски

0,144·10⁴ МПа (рисунок 5).

Золь-силикатная краска лучше смачивает поверхность растворной подложки. Выявлено, что золь-силикатная краска характеризуется высокой работой адгезии, составляющей 108,13 мН/м, работой смачивания, составляющей 41,95 мН/м, что и определяет высокую прочность сцепления краски с подложкой (таблица 5).

Для оценки длительной прочности покрытий исследовалась температурно-временная зависимость прочности. Экспериментально определены значения энергии активации процесса разрушения покрытий. Установлено более высокое значение энергии активации U и меньшее значение структурно-чувствительного коэффициента γ для покрытий на основе золь-силикатной краски, что свидетельствует об их большой прочности и долговечности (таблица 6).

прочности при растяжении плёнок на основе составов.

Прочность при растяжении пленок на основе золь-силикатной краски составляет $R_p=2,3$ МПа, а на основе силикатной краски – 1,86 МПа. Покрытия на основе золь-силикатной краски характеризуются большей растяжимостью, составляющей 0,028 мм/мм, в то время как основе силикатной краски – 0,023 мм/мм. Модуль упругости пленки на основе силикатной краски составляет $E=0,130 \cdot 10^4$ МПа, а на основе золь-силикатной краски –

Таблица 5 – Работа адгезии и смачивания золь-силикатной краски к подложке

Вид краски	Поверхностное натяжение, мН/м	Угол смачивания, град	Работа адгезии, мН/м	Работа когезии, мН/м	Коэффициент смачивания	Работа смачивания, мН/м
Силикатная краска	60,66	65	86,29	121,32	0,711	25,63
Золь-силикатная краска	66,18	50,66	108,13	132,36	0,816	41,95

Таблица 6 – Значения энергии активации U_0 и структурно-чувствительного коэффициента γ силикатных покрытий

Вид покрытия	U_0 , кДж/моль	γ , Дж/моль·МПа
На основе силикатной краски	84	11,14
На основе золь-силикатной краски	87	8,55

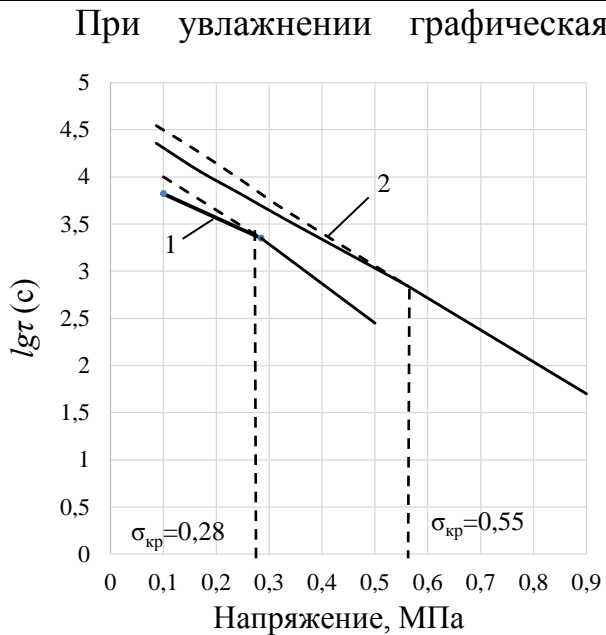


Рисунок 6 – Зависимость длительной прочности покрытий от напряжений в увлажнённом состоянии при температуре 293 К: 1 – покрытие на основе силикатной краски; 2 – покрытие на основе золь-силикатной краски

(рисунок 6).

Для оценки локальной структуры поверхности покрытий применяли методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Установлено, что для покрытий на основе золь-силикатной краски характерно более

зависимость логарифма времени сохранения когезионной прочности изображается двумя прямолинейными участками. В области напряжений $\sigma > \sigma_{кр}$ наблюдается участок, совпадающий с линейной зависимостью $lg\tau(\sigma)$. При испытании покрытий, подвергающихся увлажнению, при $\sigma < \sigma_{кр}$ появляется другой участок, отклоняющийся от этой исходной кривой, что, видимо, обусловлено наложением двух процессов: термофлуктуационного накопления повреждений и действия влаги. Более высокое значение $\sigma_{кр}$, равное 0,55 МПа для покрытий на основе золь-силикатной краски, свидетельствует об их большей стойкости к действию влаги

равномерное распределение шероховатости. Так, шероховатость поверхности покрытия на основе силикатной краски составляет $R_a = 9,1$ мкм, а на основе золь-силикатной краски – 6,2 мкм (рисунок 7).

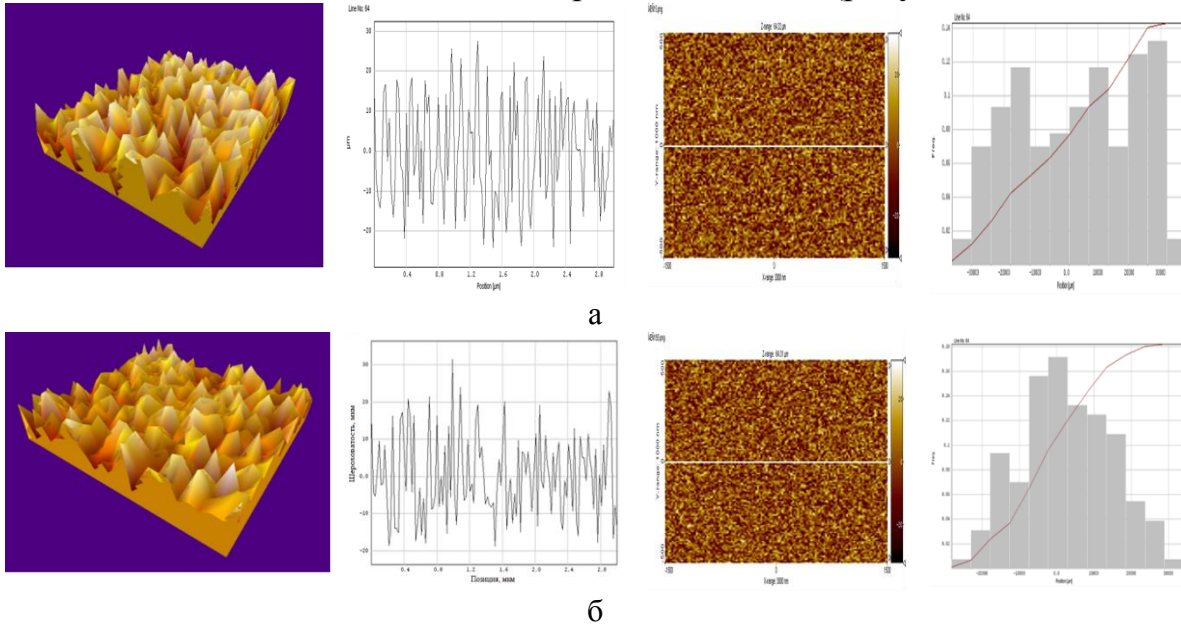


Рисунок 7 – Шероховатость поверхности покрытий на основе:

а – калиевого жидкого стекла; б – калиевого полисиликатного раствора

Для оценки поровой структуры покрытий применяли метод островов среза. Для реализации данного метода использовали программный комплекс «Идентификация и анализ пористости строительных материалов», позволяющий определять суммарную площадь пор исследуемого композита, а также распределение пор по размерам. Установлено, что фрактальная размерность поровой структуры покрытия на основе золь-силикатной краски равна 2,13, а покрытия на основе силикатной краски – 2,15, что свидетельствует о более развитой поровой структуре покрытий на основе силикатной краски.

Оценка эксплуатационной стойкости покрытий на основе золь-силикатной краски проводилась также по результатам испытания на попеременное замораживание-оттаивание. За «отказ» принималось состояние покрытия, оценённое III.3 баллами в соответствии с ГОСТ 6992 «Покрытия лакокрасочные. Метод испытаний на стойкость в атмосферных условиях». Установлено, что марка по морозостойкости покрытий составляет 35.

Было определено значение свободной энергии поверхности (СЭП) покрытий методом ОВРК (метод Оунса, Вендта, Рабеля и Кьельбле). Установлено, что покрытия на основе золь-силикатной краски характеризуются большим значением свободной энергии поверхности (СЭП), составляющим 74,12 мН/м, преобладает полярная составляющая СЭП, равная 46,56 мН/м. В процессе воздействия внешней среды наблюдается уменьшение СЭП за счет уменьшения дисперсионной составляющей. После 7 суток увлажнения отношение полярной к

дисперсионной составляющей СЭП для покрытий на основе золь-силикатной краски составляет 2,02, до испытания – 1,69 (таблица 7).

Таблица 7 – Свободная энергия поверхности покрытий на основе золь-силикатной краски

Покрытие на основе	Свободная энергия поверхности, мН/м	Дисперсионная составляющая свободной энергии поверхности, мН/м	Полярная составляющая свободной энергии поверхности, мН/м	Отношение полярной к дисперсионной составляющей свободной энергии поверхности
Силикатной краски	<u>63,59</u> 54,58	<u>27,04</u> 21,48	<u>36,55</u> 33,55	<u>1,35</u> 1,56
Золь-силикатной краски	<u>74,12</u> 69,04	<u>27,56</u> 22,21	<u>46,56</u> 44,83	<u>1,69</u> 2,02

Примечание: Над чертой приведены значения свободной энергии поверхности до увлажнения, под чертой – после увлажнения

Установлено, что водопоглощение при капиллярном всасывании образцов, окрашенных золь-силикатной краской, составляет 4,5 %, а окрашенных силикатной краской – 5,4 %. Более низкое значение водопоглощения образцов, окрашенных золь-силикатной краской, свидетельствует об изменении размеров пор в структуре покрытия по сравнению с покрытием на основе силикатной краски.

Для выявления степени противодействия покрытий распространению огня проводили на испытательной установке «ОТП». Установлено, что разработанный состав краски образует покрытия, которые относятся к группе негорючих материалов Г1.

В таблице 8 приведены значения свойств золь-силикатной краски и покрытий на ее основе.

Таблица 8 – Технологические и эксплуатационные свойства золь-силикатных красок и покрытий на их основе

Параметр	Разрабатываемый состав	Прототип 1	Прототип 2
Условная вязкость по ВЗ-4, с	25-30	25	40-45
Плотность, кг/м ³	1400	1500	1600
Время высыхания до степени 5 при 20 °С, мин, не более	41	30	25
Паропроницаемость, г/(м ² ·сут) (ГОСТ 33355-2015)	155	135	150
Розлив, оценка	1	1	1
Прочность на растяжение, МПа	2,30	1,84	2,22
Группа горючести	Г1	Г2	Г1
Укрывистость, г/м ²	186,5	210	185
Морозостойкость, цикл	35	30	35

В качестве прототипа 1 выбрана золь-силикатная краска KEIM Sodalit фирмы KeimFarben, в качестве прототипа 2 – Histolith Sol-Silikat, производимая компанией Caparol.

Рассчитаны технико-экономические показатели и разработана технологическая схема производства золь-силикатной краски. Установлено, что разработанный состав является экономически эффективным. Экономический эффект при замене 1 тонны силикатной краски на разработанную золь-силикатную краску составит 48 тыс. рублей, и относительная экономия по стоимости составляет 33 %.

Разработан проект стандарта организации ООО «Коломенские краски» СТО «Золь-силикатная краска. Технические условия».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Научно обосновано и экспериментально подтверждено технологическое решение получения силикатных красок, покрытия на основе которых обладают повышенными эксплуатационными свойствами, заключающееся в применении в качестве связующего полисиликатного раствора, характеризующегося наличием высокополимерных фракций кремнекислородных анионов, обеспечивающих вследствие увеличения числа силоксановых связей более сильное взаимодействие в системе «наполнитель-связующее».

2. Разработана рецептура золь-силикатной краски, предназначенная для отделки стен зданий, позволяющая получить краску с укрывистостью 186,5 г/м², хорошим розливом, оцениваемым 1 баллом, временем высыхания до степени 5 – 41 минута. Покрытие на основе золь-силикатной краски характеризуется прочностью при растяжении 2,3 МПа, прочностью сцепления 0,80 МПа, коэффициентом паропроницаемости (ГОСТ 25898) – 0,002 мг/(м·ч·Па), маркой по морозостойкости F35, огнестойкостью Г1.

3. Методом нарушения полного внутреннего отражения и молибдатным методом исследовано коллоидно-химическое состояние кремнезёма в полисиликатном растворе. Установлено, что введение золя кремниевой кислоты в жидкое стекло способствует увеличению доли высокополимерных фракций кремнекислородных анионов. Выявлено, что зависимость содержания кремнезёма в мономерной форме на ранних стадиях взаимодействия золя кремниевой кислоты с жидким стеклом носит экстремальный характер.

4. Установлено, что плёнки на основе полисиликатных растворов характеризуются более быстрым отверждением. Выявлена линейная зависимость между прочностью при растяжении плёнок на основе полисиликатного раствора и содержанием в нем высокополимерных

фракций кремнекислородных анионов $\gamma\text{-SiO}_2$, обусловленная увеличением числа силоксановых связей.

5. Установлено, что применение в золь-силикатных красках в качестве наполнителя микрокальцита способствует получению более высокой когезионной прочности покрытий, обусловленное увеличением вклада дисперсионных сил в системе «наполнитель-связующее». Получена математическая модель, описывающая зависимость между значением постоянной Гамакера и прочностью при растяжении покрытий.

6. Выявлено повышение работы адгезии и работы смачивания полисиликатного раствора к пигменту (наполнителю). Установлено увеличение прочности при растяжении, предельной растяжимости покрытий на основе золь-силикатной краски.

7. Термодинамическим методом выявлено, что работа адгезии, смачивания растворной подложки золь-силикатной краской выше по сравнению с силикатной краской. Установлено, что покрытия на основе золь-силикатной краски характеризуются большим значением свободной энергии поверхности с преобладанием полярной составляющей СЭП.

8. Установлено, что золь-силикатная краска обладает хорошим розливом, составляющим 1 балл, покрытия на её основе характеризуются высоким качеством внешнего вида, составляющим АД1 и АЗ1. Методом атомно-силовой микроскопии выявлено, что покрытия на основе золь-силикатной краски характеризуются меньшей шероховатостью.

9. Установлено, что значения энергии активации процесса разрушения покрытий на основе силикатной краски меньше по сравнению значениями энергии активации процесса разрушения покрытий на основе золь-силикатной краски. Приведена зависимость длительной прочности покрытий от напряжений.

10. Рассчитаны технико-экономические показатели и разработана технологическая схема производства золь-силикатной краски для наружных стен зданий. Установлено, что разработанный состав золь-силикатной краски является экономически эффективным. Экономический эффект при замене 1 тонны силикатной краски на разработанную золь-силикатную краску составит 48 тыс. рублей, относительная экономия по стоимости составляет 33 %. Разработан проект стандарта организации ООО «Коломенский краски» СТО «Золь-силикатная краска. Технические условия»

Рекомендации. Проект стандарта организации СТО «Золь-силикатная краска. Технические условия», а также рецептуру золь-силикатной краски рекомендуется внедрить на предприятиях по производству лакокрасочных материалов. Теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для использования в учебном процессе для подготовки бакалавров по направлению «Строительство».

Перспективы дальнейшей разработки темы. Положения и выводы, изложенные в диссертации, могут представлять методологическую основу для продолжения исследований по разработке новых лакокрасочных материалов.

Основные выводы и результаты диссертационного исследования нашли отражение в следующих публикациях:

в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Логанина, В.И. Разработка рецептуры золь-силикатной краски / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 3 (32). – С. 51-53 (ИФ РИНЦ – 0,404. 0,38/0,125).

2. Логанина, В.И. Свойства жидкого стекла с добавкой золя кремниевой кислоты / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 8 (704). – С. 74-79 (ИФ РИНЦ – 0. 0,75/0,25).

3. Логанина, В.И. Свойства модифицированного связующего для силикатных красок / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов, В.С. Демьянова // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 4 (33). – С. 17-23 (ИФ РИНЦ – 0,404. 0,5/0,125).

4. Логанина, В.И. Состав полисиликатного связующего для силикатных красок / В.И. Логанина, И.А. Аверин, Е.Б. Мажитов, А.А. Карманов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2017. – № 4 (35). – С.69-72 (ИФ РИНЦ – 0,527. 0,5/0,125).

5. Логанина, В.И. Реологические свойства красок на основе полисиликатных растворов / В.И. Логанина, Е.Б. Мажитов // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – № 1 (36). – С. 32-36 (ИФ РИНЦ – 0,404. 0,6/0,3).

6. Логанина, В.И. Технологические свойства зольсиликатной краски / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 2. – С. 17-20 (ИФ РИНЦ – 0,408. 0,5/0,16).

7. Логанина, В.И. Анализ качества внешнего вида силикатных покрытий методом атомно-силовой микроскопии / В.И. Логанина, Е.Б. Мажитов // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. № 5 (116). – С. 599-608 (ИФ РИНЦ – 0,743. 0,5/0,25).

8. Логанина, В.И. Полисиликатное связующее для силикатных красок / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического

университета. Строительство и архитектура. – 2018. – Т. 9. № 2. – С. 39-45 (ИФ РИНЦ – 0,403. 0,75/0,25).

9. Логанина, В.И. Длительная прочность покрытий на основе золь-силикатной краски / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. № 7 (118). – С. 877-884 (ИФ РИНЦ – 0,743. 0,5/0,16).

10. Логанина, В.И. Формирование качества внешнего вида покрытий на основе полисиликатных растворов / В.И. Логанина, Е.Б. Мажитов // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – № 3 (36). – С. 75-79 (ИФ РИНЦ – 0,404. 0,5/0,16).

11. Логанина, В.И. Оценка пористости покрытий на основе золь-силикатной краски / В.И. Логанина, Т.А. Низина, Е.Б. Мажитов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2018. – № 8 (716). – С. 69-74 (ИФ РИНЦ – 0, 0,5/0,16).

12. Логанина, В.И. Свойства полисиликатных связующих для золь-силикатных красок / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2018. – № 51 (70). – С. 78-82 (ИФ РИНЦ – 0, 221. 0,5/0,16).

13. Логанина, В.И. Закономерности формирования адгезионного контакта «золь-силикатная краска – подложка» / В.И. Логанина, Е.Б. Мажитов // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14. № 1 (124). – С. 94-101 (ИФ РИНЦ – 0,743. 0,5/0,25).

14. Логанина, В.И. Состав и свойства полисиликатного связующего для золь-силикатных красок / В.И. Логанина, Е.Б. Мажитов // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 4 (45). – С. 53-57 (ИФ РИНЦ – 0,404. 0,5/0,25).

в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science:

15. Loganina, V.I. Development of sol-silicate composition for decoration of building walls / V.I. Loganina, S.N. Kislisyna, Y.B. Mazhitov // Case Studies in Construction Materials. – 2018. – Vol. 9. – P. 1-4. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00173>.

16. Loganina, V.I. Structure and properties of the modified binding for silicate paints / V.I. Loganina, S.N. Kislisyna, Y.B. Mazhitov // Materials Science Forum: Trans Tech Publications. – 2018. – Vol. 931. – P. 469-474. – URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.469>.

17. Loganina, V.I. Assessment of the structure of polysilicate binding with added glycerol / V.I. Loganina, Y.B. Mazhitov, Y. P. Skachkov // Materials Science Forum: Trans Tech Publications. – 2020. – Vol. 987. – P. 15-19. – URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.987.15>.

18. Loganina, V.I. Estimation of porosity of coatings based on sol of silicate paint / V.I. Loganina, Y.B. Mazhitov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. Vol. 962. – P. 1-5. – URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/2/022001>.

19. Loganina, V.I. Estimation of rheological properties of ash silicate paints / V.I. Loganina, Y.B. Mazhitov // Materials Science Forum. – 2020. Vol. 992. – P. 569-573. – URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.569>.

в других изданиях:

20. Мажитов, Е.Б. Полисиликатные связующие для силикатных красок / Е.Б. Мажитов // Сборник научных трудов международной научно-технической конференции молодых учёных БГТУ им. В.Г. Шухова: Фундаментальные основы строительного материаловедения (Белгород, 2017). Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. – С. 64-67.

21. Логанина, В.И. Структура полисиликатного связующего для золь силикатных красок / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов // Сухие строительные смеси. – 2018. – №1. – С. 29-32.

22. Логанина, В.И. Свойства золь силикатной краски / В.И. Логанина, Е.Б. Мажитов // Сборник научных трудов всероссийской международной научной конференции: Наука и образование: Проблемы развития строительной отрасли (Пенза, 18-19 января 2018 года). Пенза: Изд-во ПГУАС. – С. 69-73.

23. Логанина, В.И. Золь-силикатная краска для отделки и реставрации зданий / В.И. Логанина, Е.Б. Мажитов // Сухие строительные смеси. – 2019. – №2 (70). – С. 9-12.

в патентах на изобретение:

24. Пат. № 2669317 РФ. МПК С04В 41/50 (2006.01) Состав для отделки / Логанина В.И., Кислицына С.Н., Мажитов Е.Б. // № 2017135716; заявл. 05.10.2017; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 28. 9 с.

25 Пат. № 2707623 РФ. МПК С04В 26/00 (2006.01) Шпатлевка / Логанина В.И., Мажитов Е.Б. // № 2018146986; заявл. 26.12.2018; опубл. 28.11.2019, Бюл. № 34. 9 с.

Мажитов Еркебулан Бисенгалиевич

ЗОЛЬ-СИЛИКАТНАЯ КРАСКА ДЛЯ ОТДЕЛКИ СТЕН ЗДАНИЙ

2.1.5. Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 09.12.2021. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать на ризографе.
Объем 1,0 у.п.л. Заказ № 459. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии «Профессионал»
440018, г. Пенза, ул. Средняя, дом 21