

УДК 691.57

Тип статьи: научная статья

ГРНТИ 67.09.51

Научная специальность ВАК: 2.1.05 Строительные материалы и изделия (технические науки)

EDN OSZNEД

DOI 10.62980/2076-0655-2024-163-173

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНО-СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ

Яковлев Г.И.¹, Пудов И.А.¹, Саидова З.С.¹, Первушин Г.Н.¹, Бурьянов А.Ф.², Дулесова И.Г.³

¹Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

³ООО «Новый дом», г. Ижевск

АННОТАЦИЯ

В работе описана однокомпонентная цементно-силикатная краска на основе белого портландцемента и гидросиликата натрия, в котором отсутствуют дорогостоящие оксид цинка и калиевое жидкое стекло. Краску предполагается производить в виде сухой смеси, которая может быть применена в условиях строительной площадки с использованием смесителей. Показано, что введение в базовый состав краски хризотилевых нановолокон позволяет использовать ее для окраски горячих поверхностей, работающих при температурах до 700 °С. Использование нанодисперсного диоксида титана в составе цементно-силикатной краски обеспечивает самоочистку окрашенного покрытия вследствие фотокаталитических реакций на загрязненной поверхности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цементно-силикатная краска, термостойкость, трещиностойкость, гидросиликат натрия, фосфат натрия, микроструктура, энергодисперсионный анализ.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Яковлев, Г. И. Расширение функциональных свойств цементно-силикатной краски / Г. И. Яковлев, И. А. Пудов, З. С. Саидова, Г. Н. Первушин, А. Ф. Бурьянов, И. Г. Дулесова // Техника и технология силикатов. – 2024. – Т. 31, №2. – С. 163-173.

Type of article - scientific article

OECD 2.01 Civil engineering

QG MATERIALS SCIENCE, COATINGS & FILMS

EDN OSZNEД

DOI 10.62980/2076-0655-2024-163-173

EXPANSION OF FUNCTIONAL PROPERTIES OF CEMENT-SILICATE PAINT

Yakovlev G.I.¹, Pudov I.A.¹, Saidova Z.S.¹, Pervushin G.N.¹, Buryanov A.F.², Dulesova I.G.³

¹Kalashnikov Izhevsk State Technical University

²Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) National Research University.

³LLC “Novy Dom”, Izhevsk

ABSTRACT

The paper describes a one-component cement-silicate paint based on white Portland cement and sodium hydrosilicate, which lacks expensive zinc oxide and potassium liquid glass. The paint is supposed to be produced as a dry mixture, which can be applied in the conditions of the construction area using mixers. It is shown that the introduction of chrysotile nanofibers into the basic composition of the paint allows its use for painting hot surfaces operating at temperatures up to 700 °C. The use of nanodispersed titanium dioxide in the composition of cement-silicate paint provides self-cleaning of the painted coating due to photocatalytic reactions on the contaminated surface.

KEY WORDS: cement silicate paint, heat resistance, crack resistance, sodium hydrosilicate, sodium phosphate, microstructure, energy dispersive analysis.

FOR CITATION: Yakovlev, G. I. Expansion of functional properties of cement-silicate paint / G. I. Yakovlev, I. A. Pudov, Z. S. Saidova, G. N. Pervushin, A. F. Buryanov, I. G. Dulesova // Technique and technology of silicates. – 2024. Vol. – 31, No-2. – Pp. 163 – 173.

ВВЕДЕНИЕ

Технологии и составы, преимущественно на основе водных эмульсий акриловых полимеров, являются основными при окрашивании фасадов зданий. Однако низкие массо- и паропроницаемость (менее 150 г/м²·сут) водных эмульсий приводят к ее отслоению от основания в процессе эксплуатации (рисунок 1) вследствие, в том числе, разных коэффициентов линейного расширения основы и лакокрасочного покрытия, что снижает долговечность покрытия [1].

INTRODUCTION

Technologies and formulations, mainly based on aqueous emulsions of acrylic polymers, are the main ones for painting facades of buildings. However, low mass and vapor permeability (less than 150 g/m²-day) of water emulsions lead to its delamination from the base during operation (Figure 1) due to, among other things, different coefficients of linear expansion of the base and paint coating, which reduces the durability of the coating [1].

РИСУНОК 1

ОТСЛОЕНИЕ ВОДОЭМУЛЬСИОННОГО ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ НА ФАСАДЕ ЗДАНИЯ

по адресу: г. Ижевск, Авангардная 5а

Figure 1

Peeling of water-emulsion paint and varnish coating on the facade of the building
Izhevsk, Avangardnaya 5a



К тому же воздействие солнечной радиации на окрашенную поверхность, приводит к деструкция полимерного связующего [2]. В итоге, при окрашивании минеральных поверхностей (силикатные композиции, бетоны, растворы, керамический и силикатный кирпич) традиционными составами на полимерной связующем, возникают дефекты в виде трещин и последующего шелушения краски. Кроме того, водоземulsionные краски имеют низкую термостойкость, не превышающую 250 - 300 °С, что исключает их использование при окраске горячих поверхностей с температурами до 600 - 700 °С. В качестве альтернативы предлагаются фасадные краски на основе калиевого жидкого стекла и оксида цинка, которые не имеют недостатков, присущих водоземulsionным покрытиям, однако их эффективность нивелируется высокой стоимостью основных компонентов. При этом эти покрытия предполагают двухкомпонентность в виде раствора жидкого калиевого стекла и оксида цинка, что существенно снижает их технологичность при нанесении. Таким образом, экономическая эффективность, технологичность и низкая долговечность вследствие слабой водостойкости используемых в настоящее время силикатных красок составов является неудовлетворительной.

Аналог этого состава, но приготовленный на основе двухкомпонентной композиции, включающей белый портландцемент и жидкое натриевое стекло в сочетании с пигментом на основе отходов керамического производства (керамзитовая пыль) показал высокую долговечность, превышающую 20 лет эксплуатации без ремонта (рисунок 2).

Exposure of the painted surface to solar radiation leads to the destruction of the polymer binder [2]. When painting mineral surfaces (silicate compositions, concrete, mortars, ceramic and silicate bricks) with traditional compositions based on polymer binder, defects in the form of cracks and subsequent flaking of paint occur. In addition, water emulsion paints have low temperature resistance, not exceeding 250 - 300 °C. This excludes their use when painting hot surfaces with temperatures up to 600 - 700 °C. As an alternative, facade paints based on potassium liquid glass and zinc oxide are offered. Such paints do not have disadvantages inherent in water-based coatings, but their effectiveness is leveled by the high cost of the main components. In this case, these coatings are bicomponent coatings. They include a solution of liquid potassium glass and zinc oxide. This significantly reduces their processability during application. Thus, the economic efficiency and processability is unsatisfactory. At the same time, currently used silicate paints have low durability due to poor water resistance.

The analog of this composition, but prepared on the basis of two-component composition, including white Portland cement and liquid sodium glass in combination with pigment on the basis of ceramic production waste (expanded clay dust) showed high durability, exceeding 20 years of operation without repair (Figure 2).

РИСУНОК 2

**ЗДАНИЕ ВНЕШТЕРМИНАЛ
КОМПЛЕКСА**

в г. Ижевск, окрашенное в 1996 г.:

- а) до нанесения краски,
б) после нанесения краски



Figure 2

Terminal building in Izhevsk, painted in 1996:

- (a) before paint application,
(b) after painting

Ранее нашими исследованиями было установлено, что керамзитовая пыль незначительно влияет на минералогический состав новообразований в силикатном покрытии, однако способствует уменьшению размеров пор и более равномерному их распределению в объеме затвердевшего состава, что способствует уплотнению структуры и повышению прочности покрытия. От известных двухкомпонентных традиционных силикатных составов разработанная композиция отличается возможностью изготовления её в виде сухой смеси, которую перед применением можно затворить водой [5,6].

Цель данной исследовательской работы было получение однокомпонентной цементно-силикатной краски, которую можно использовать для окраски горячих поверхностей, работающих при температурах до 700 °С, а также обеспечивающую самоочистку окрашенного покрытия.

Материалы и методы

В качестве основных компонентов базового состава использовался белый портландцемент и растворимое натриевое стекло.

В работе был использован порошок гидратированного силиката натрия компании ООО «Лайсан», выпущенный в соответствии с ТУ 20.13.62-060-00883732-2019, отвечающий требованиям ТУ 20.13.62-001-06051139-2020. Силикатный модуль продукта варьируется от 2,8 до 3,4. Массовая доля компонентов, согласно паспорту качества, составляет для оксида натрия (Na₂O) - 24,13% и диоксида кремния (SiO₂) - 70,83%. В соответствии с паспортными данными, время полного растворения частиц гидросиликата натрия в воде составляет 20 минут при комнатной температуре.

Оптимальный состав, имеющий необходимое сцепление с минеральной поверхностью, водостойкостью и отсутствием высолов включал белый портландцемент 50 г, гидросиликат натрия - 40 г, микрокальцит - 7 г, фосфат натрия - 25 г. (по ГОСТ 201-76.) Смесь всех компонентов перетиралась в дисковом истирателе ИД-200 и затворялась водой с температурой 20 °С. Затворение производилось водой при В/Ц отношении 0,64. Свежеприготовленная краска наносилась на окрашиваемую поверхность через 20 минут после приготовления с помощью краскопульты (DECO DKSG55K1 HVLP) толщиной 150-200 мкм.

Earlier our studies have established that expanded clay dust insignificantly affects the mineralogical composition of new formations in the silicate coating, but contributes to a decrease in the size of pores and their more uniform distribution in the volume of the hardened composition, which contributes to the compaction of the structure and increases the strength of the coating. The developed composition differs from the known two-component traditional silicate compositions by the possibility of its production in the form of a dry mixture, which can be mixed with water before use [5,6].

The purpose of this research work was to obtain a one-component cement-silicate paint, which can be used for painting hot surfaces operating at temperatures up to 700 °C, as well as providing self-cleaning of the painted coating.

Materials and methods

White Portland cement and soluble sodium glass were used as the main components of the basic composition.

Hydrated sodium silicate powder of the company “Laisan” Ltd, produced in accordance with TU 20.13.62-060-00883732-2019, which meets the requirements of TU 20.13.62-001-06051139-2020, was used in this work. The silicate modulus of the product varies from 2.8 to 3.4. The mass fraction of components, according to the quality data sheet, is for sodium oxide (Na₂O) - 24.13% and silicon dioxide (SiO₂) - 70.83%. According to the passport data, the time of complete dissolution of sodium hydrosilicate particles in water is 20 minutes at room temperature.

The optimal composition, which has the necessary adhesion to the mineral surface, water resistance and lack of efflorescence included white Portland cement 50 g, sodium hydrosilicate - 40 g, microcalcite - 7 g, sodium phosphate - 25 g. (GOST 201-76.) The mixture of all the components was grinded in a disk eraser ID-200 and mortared with water at a temperature of 20 °C. The mixing was made with water at В/С ratio of 0.64. Freshly prepared paint was applied to the surface to be painted 20 minutes after preparation with a paint gun (DECO DKSG55K1 HVLP) with a thickness of 150-200 microns.

In order to increase heat resistance and crack resistance in the composition additionally introduced as a functional

С целью повышения термостойкости и трещиностойкости в состав дополнительно вводились в качестве функциональной добавки хризотилевые волокна 6-7 сорта, соответствующие ГОСТ 12871-2013 «Хризотил. Общие технические условия».

Испытание цементно-силикатной краски на теплоустойчивость в условиях повышенных температур проводилось в нагревательной печи при температурах 500 – 700 °С. Фиксация температуры обеспечивалась с использованием тепловизионной камеры Guide D192M.

Для расширения функциональных свойств в состав цементно-силикатной краски вводился нанодиоксид титана, который обеспечивал создание самоочищающейся фотокатализа.

Фотокаталитическую устойчивость поверхности цементно-силикатной краски оценивали по деградации органического пигмента Родамина С, нанесенного на поверхность краски.

Структурные и минералогические изменения в составе цементно-силикатной краски оценивали с помощью энергодисперсионного и ИК-спектрального анализов.

Эксперименты и обсуждение результатов

Портландцемент является эффективным отвердителем жидкого стекла, при переходе кальция в раствор происходит ранний набор прочности за счет образования силикатов из жидкого стекла. Быстрые коагуляция и отвержение системы связаны также с высокой поглощающей способностью частиц цемента, обезвоживающих жидкое стекло. Поэтому смесь жидкого натриевого стекла с портландцементом приготавливалась с использованием замедлителей твердения в виде раствора фосфата натрия для исключения быстрого схватывания цементно-силикатной краски. Исчерпание использованного в составе замедлителя коагуляции жидкого стекла приводит к отверждению системы с последующим формированием водостойкого красочного силикатного покрытия. Благодаря наличию в составе портландцемента, прочность композиции со временем нарастает за счет гидратации минералов цемента и последующей карбонизации гидроксида кальция (рисунок 3).

additive chrysotile fibers 6-7 grade, corresponding to GOST 12871-2013 “Chrysotile. General technical conditions”.

The test of cement-silicate paint for heat resistance at elevated temperatures was carried out in a heating furnace at temperatures of 500 - 700 oÑ. Temperature fixation was provided using Guide D192M thermal imaging camera.

To extend the functional properties, titanium nanodioxide was incorporated into the cement-silicate paint to create self-cleaning photocatalysis.

Photocatalytic stability of cement-silicate paint surface was evaluated by degradation of organic pigment Rhodamine C applied on the paint surface.

Structural and mineralogical changes in the composition of cement-silicate paint were evaluated by energy dispersive and infrared spectral analysis.

Experiments and discussion of results

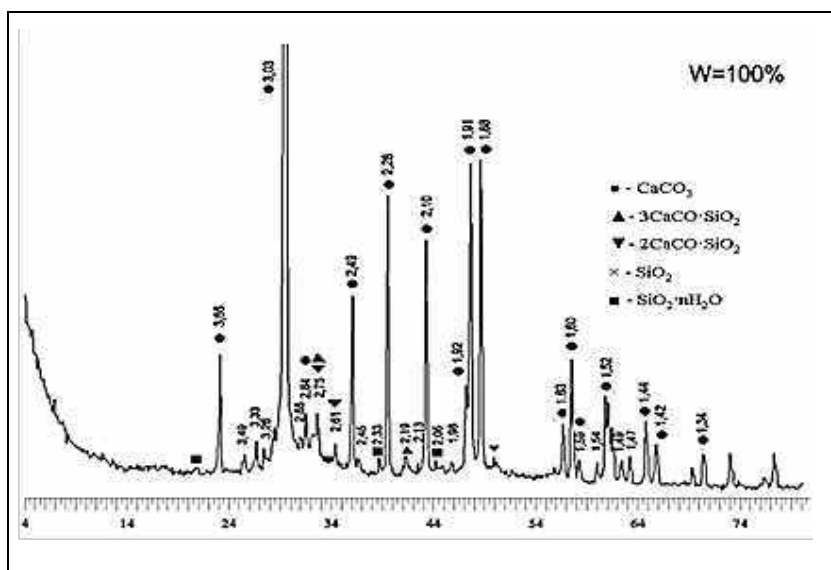
Portland cement is an effective hardener of liquid glass, with calcium transferring into the mortar, early strength gain occurs due to the formation of silicates from the liquid glass. Rapid coagulation and hardening of the system are also associated with the high absorption capacity of cement particles dehydrating liquid glass. Therefore, the mixture of liquid sodium glass with Portland cement was prepared with the use of curing retarders in the form of sodium phosphate solution to avoid rapid setting of cement-silicate paint. The exhaustion of liquid glass used in the composition of the coagulation retarder leads to the curing of the system with the subsequent formation of water-resistant colorful silicate coating. Due to the presence of Portland cement in the composition, the strength of the composition increases over time due to the hydration of cement minerals and subsequent carbonization of calcium hydroxide (Figure 3).

РИСУНОК 3

РЕНТГЕНОГРАММА ЦЕМЕНТНО-СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ, ТВЕРДЕЮЩЕЙ ПРИ 100% ВЛАЖНОСТИ СРЕДЫ

Figure 3

X-ray radiograph of cement-silicate paint curing at 100% ambient humidity



При этом из коллоидов, образовавшихся при коагуляции жидкого стекла, активно отводится вода на гидратацию цемента, а образующаяся поровая среда заполняется продуктами гидратации и карбонизации, что приводит к повышению прочности контактов между всеми составляющими композиции [3, 4]. Исследования микроструктуры цементно-силикатной краски (рисунок 4) показывает наличие в сколах цементно-силикатного покрытия ярко выраженные кристаллы карбоната кальция в форме кубов и ромбододекаэдров.

Формирование карбоната кальция также подтверждается дифференциально-термическим анализом (рисунок 5), при котором при температуре 875 °С отмечается диссоциация карбоната кальция на CaO и CO₂ [12].

In this case, from the colloids formed during coagulation of liquid glass, water is actively withdrawn for cement hydration, and the resulting pore environment is filled with products of hydration and carbonization, which leads to an increase in the strength of contacts between all components of the composition [3, 4]. Studies of the microstructure of cement-silicate paint (Figure 4) show the presence of pronounced calcium carbonate crystals in the form of cubes and rhombododecahedrons in the cement-silicate coating chips.

The formation of calcium carbonate is also confirmed by differential thermal analysis (Figure 5), where dissociation of calcium carbonate into CaO and CO₂ is observed at 875 °C [12].

РИСУНОК 4

МИКРОСТРУКТУРА ЦЕМЕНТНО-СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ С КРИСТАЛЛАМИ В ФОРМЕ РОМБОДОДЕКАЭДРОВ В ВОЗРАСТЕ 27 ЛЕТ:

- (а) – в сколе покрытия,
- (б) – на поверхности поры

Figure 4

Microstructure of cement-silicate paint with rhombododecahedron-shaped crystals at the age of 27 years:

- (a) - in the chipped coating,
- (b) - on the pore surface

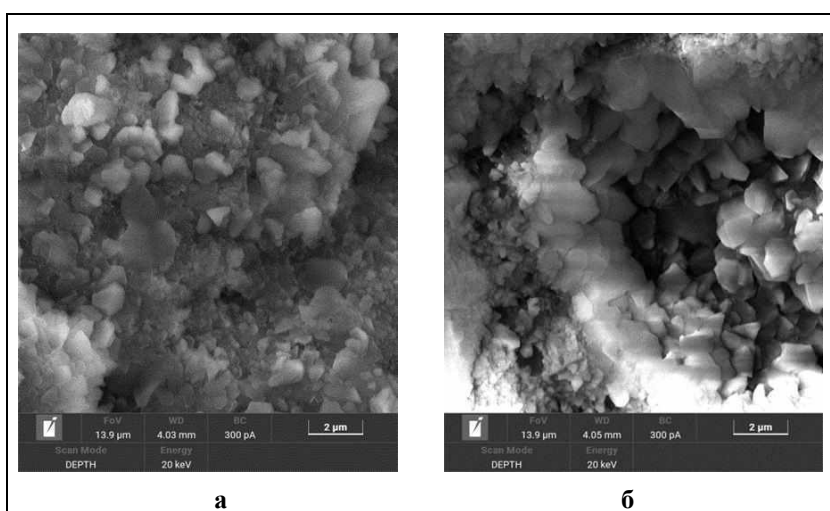
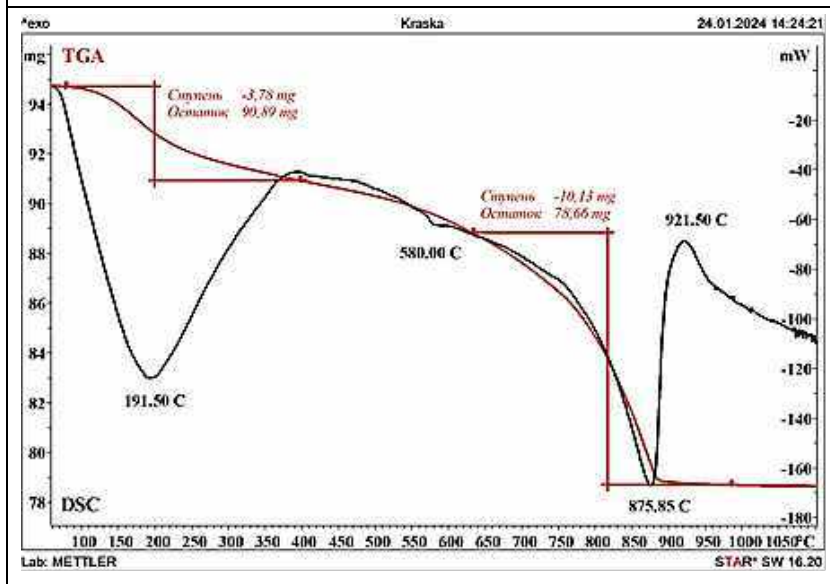


РИСУНОК 5

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦЕМЕНТНО-СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ

Figure 5

Differential thermal analysis of cement-silicate paint



Энерго-дисперсионный анализ новообразований в структуре цементно-силикатной краски, находившейся в эксплуатации в течение 27 лет, показал преобладание в составе атомов кислорода (O), кальция (Ca) и кремния (Si), что подтверждает образование гидросиликатов кальция в структуре краски (Рисунок 6).

ИК-спектральный анализ (рисунок 7) выявил дополнительно в составе краски карбонатную группу с интенсивными полосами поглощения в области 1419,61 см⁻¹ и 873,75 см⁻¹, подтверждающими карбонизацию цементно-силикатной краски в процессе эксплуатации.

Energy-dispersive analysis of neoplasms in the structure of cement-silicate paint in service for 27 years showed the predominance of oxygen (O), calcium (Ca) and silicon (Si) atoms in the composition, which confirms the formation of calcium hydrosilicates in the paint structure (Figure 6).

IR spectral analysis (Figure 7) revealed additionally in the paint composition a carbonate group with intense absorption bands in the region of 1419.61 cm⁻¹ and 873.75 cm⁻¹, confirming carbonization of cement-silicate paint during operation.

РИСУНОК 6

**ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ
НОВООБРАЗОВАНИЙ В СТРУКТУРЕ
ЦЕМЕНТНО-СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ**

Figure 6

Energy dispersive analysis of neoplasms in the structure of cement-silicate paint

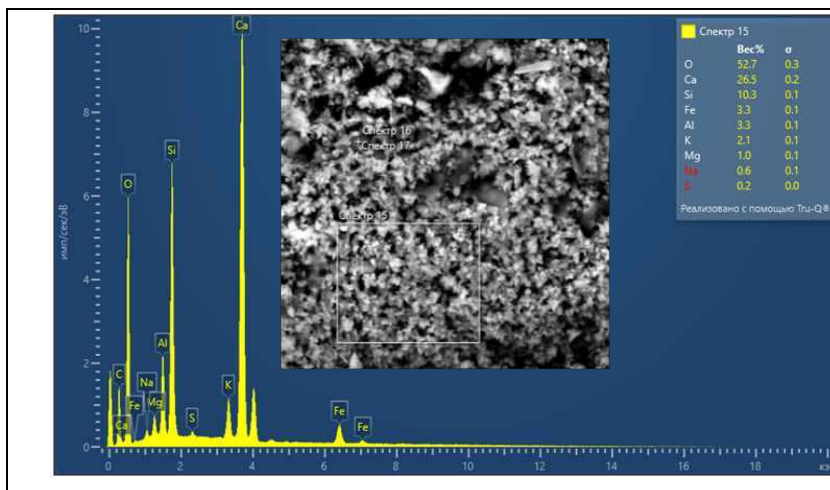


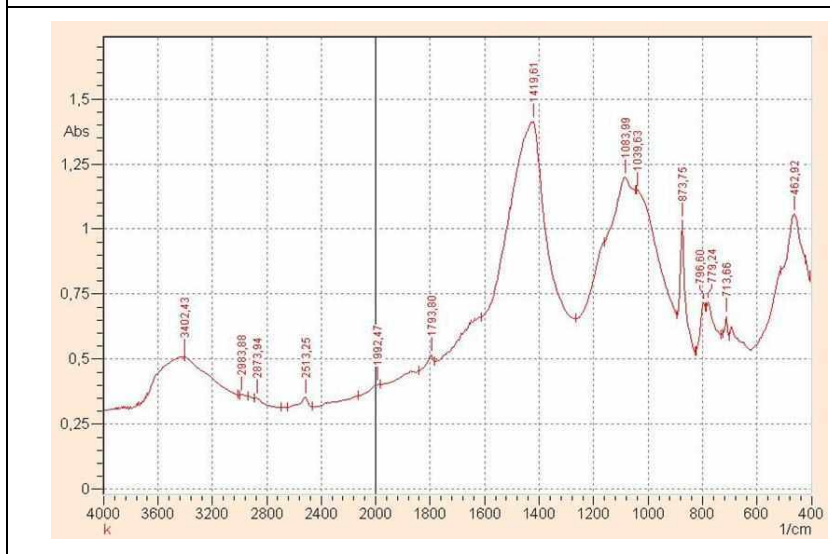
РИСУНОК 7

**ИК-СПЕКТР СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ В
ВОЗРАСТЕ 27 ЛЕТ СО СКОЛА В УГЛУ
ЦОКОЛЯ ЗДАНИЯ.**

Ижевск, пер. Широкий

Figure 7

Infrared spectrum of silicate paint at the age of 27 years from a chip in the corner of the basement of the building. Izhevsk, Shirokiy per.



В то же время, имеется потребность в создании более технологичной однокомпонентной цементно-силикатной краски, которая изготавливалась бы в виде сухой смеси и приготавливалась на строительной площадке с использованием ручных смесителей.

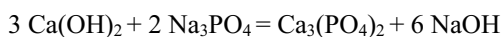
Результаты исследований, приведенные в [5] показали возможность приготовления цементно-силикатной краски, включающей все компоненты в виде сухой смеси. При этом исключается применение жидкого калиевого стекла. В качестве растворимого стекла используется порошок гидросиликата натрия. Все компоненты смеси входящие в базовый состав, включая белый портландцемент, гидросиликат натрия, фосфат натрия (замедлитель коагуляции растворимого стекла) и щелочестойкий пигмент смешиваются на строительной площадке и выдерживаются в пределах 15-20 минут для обеспечения более полного растворения гидросиликата натрия. Полученный раствор цементно-силикатной краски затвердевает в зависимости от содержания фосфата натрия в течение полутора-двух часов. Полученное покрытие приобретает водостойкость через 28 часов твердения.

Введение в состав смеси замедлителя коагуляции в виде фосфата натрия гидроксид кальция, формирующийся на поверхности частиц портландцемента, взаимодействует с образованием труднорастворимого фосфата кальция:

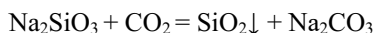
At the same time, there is a need for a more technologically advanced one-component cement-silicate paint, which would be manufactured as a dry mix and prepared on the construction site using hand mixers.

The results of studies given in [5] showed the possibility of preparing cement-silicate paint, including all components in the form of a dry mixture. In this case the use of liquid potassium glass is excluded. Sodium hydrosilicate powder is used as a soluble glass. All components of the mixture included in the basic composition, including white Portland cement, sodium hydrosilicate, sodium phosphate (retarder of coagulation of soluble glass) and alkali resistant pigment are mixed at the construction site and kept within 15-20 minutes to ensure more complete dissolution of sodium hydrosilicate. The resulting cement-silicate paint solution hardens, depending on the sodium phosphate content, within one and a half to two hours. The resulting coating becomes water-resistant after 28 hours of curing.

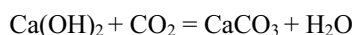
The introduction of a coagulation retarder in the form of sodium phosphate into the mixture calcium hydroxide formed on the surface of Portland cement particles interacts with the formation of calcium phosphate, which is difficult to dissolve:



Фосфат кальция сдерживает коагуляцию растворимого стекла до полной его нейтрализации фосфата натрия. В последующем в процессе гидролиза и гидратации минералов портландцемента с образованием гидросиликатов кальция и коагуляции гидросиликата натрия смесь кристаллизуется, затвердевает и сопровождается значительным снижением растворимости всей композиции. Учитывая гидролиз и гидратацию портландцемента дополнительное упрочнение нанесенного покрытия обеспечивается параллельной карбонизацией гидросиликата натрия:



Гидроксид кальция, образующийся при гидратации цемента, также подвергается карбонизации с образованием карбоната кальция:



Таким образом, в процессе твердения системы дальнейшее упрочнение и повышение водостойкости обеспечивается продолжающейся гидратацией частиц цемента с образованием прочных и водостойких новообразований, преимущественно в виде гидросиликатов кальция, а также карбонизацией гидросиликата натрия и гидроксида кальция.

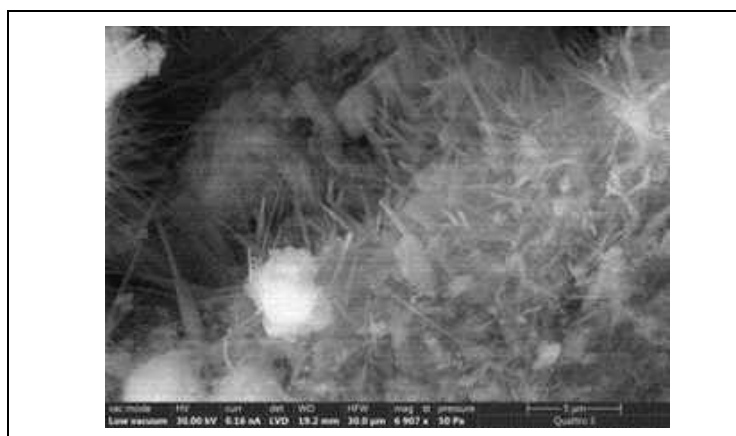
Анализ микроструктуры цементно-силикатной краски (рис. 8) показал консолидирующую роль хризотилых волокон в вяжущей матрице [7], обеспечивающую центры кристаллизации с формированием на поверхности волокон аморфной и кристаллической структуры и одновременно микроармирующую составляющую, способствующую повышению трещиностойкости покрытия.

РИСУНОК 8

МИКРОСТРУКТУРА ЦЕМЕНТНО-СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ С ХРИЗОТИЛОВЫМИ ВОЛОКНАМИ

Figure 8

Microstructure of cement-silicate paint with chrysotile fibers



Испытание цементно-силикатной краски на теплоустойчивость в условиях повышенных температур показало возможность ее эксплуатации при температурах до 700 °C (рис. 9) без признаков шелушения и отслоения покрытия, что обеспечивает создание термостойкого состава, применение которого возможно окрашивания горячих поверхностей.

Для расширения функциональных свойств в состав цементно-силикатной краски вводился нанодioxid титана, который обеспечивал создание самоочищающейся фотокатализа. Для создания композиции вследствие самоочищающейся краски в состав базовой краски

Calcium phosphate restrains the coagulation of soluble glass until it is completely neutralized by sodium phosphate. Subsequently, in the process of hydrolysis and hydration of Portland cement minerals with the formation of calcium hydrosilicates and coagulation of sodium hydrosilicate, the mixture crystallizes, hardens and is accompanied by a significant decrease in the solubility of the entire composition. Taking into account the hydrolysis and hydration of Portland cement additional hardening of the applied coating is provided by parallel carbonization of sodium hydrosilicate:

Calcium hydroxide formed during cement hydration also undergoes carbonization to form calcium carbonate:

Thus, in the process of system hardening, further hardening and increase of water resistance is provided by continued hydration of cement particles with formation of strong and water-resistant new formations, mainly in the form of calcium hydrosilicates, as well as carbonization of sodium hydrosilicate and calcium hydroxide.

Analysis of the microstructure of cement-silicate paint (Fig. 8) showed the consolidating role of chrysotile fibers in the binder matrix [7], providing crystallization centers with the formation of amorphous and crystalline structure on the surface of the fibers and at the same time microreinforcing composition contributing to the crack resistance of the coating.

The test of cement-silicate paint for heat resistance at elevated temperatures showed the possibility of its operation at temperatures up to 700 °C (Fig. 9) without signs of peeling and delamination of the coating, which provides the creation of a heat-resistant composition, the use of which is possible to paint hot surfaces.

To extend the functional properties, titanium nanodioxide was introduced into the composition of cement-silicate paint, which provided the creation of self-cleaning photocatalyst. To create a composition due to self-cleaning paint, an active photocatalyst was added to the composition of the base paint to accelerate the slow decomposition processes of pollutants

добавлялся активный фотокатализатор, ускоряющий замедленные процессы разложения загрязняющих веществ при воздействии солнечного света в ультрафиолетовом диапазоне на легко смываемые атмосферными осадками разлагающиеся продукты фотокатализа.

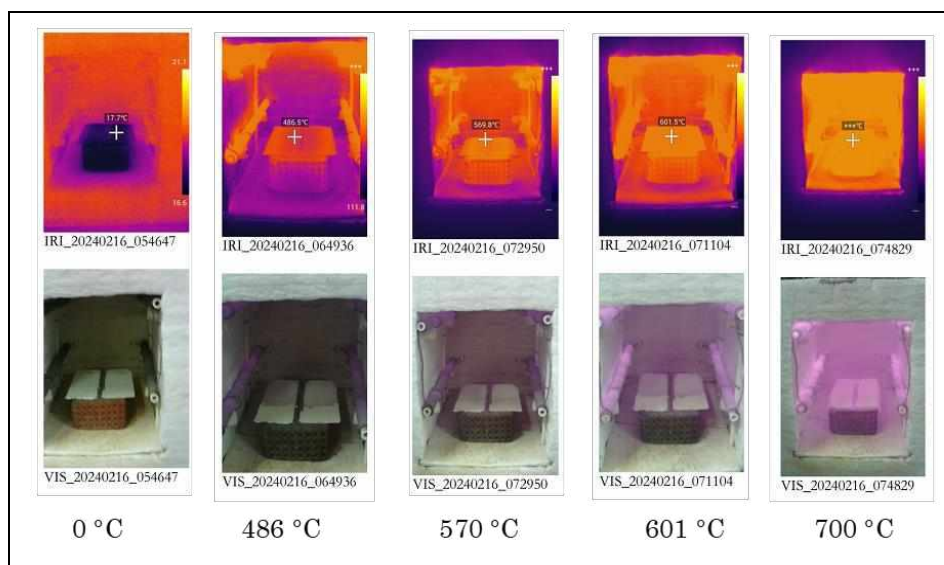
when exposed to sunlight in the ultraviolet range to decomposing products of photocatalysis easily washed away by atmospheric precipitation.

РИСУНОК 9

ТЕРМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕМЕНТНО-СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ В НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Figure 9

Thermal studies of cement-silicate paint in a heating furnace.



Суть фотокаталитической реакции заключается в том, ультрадисперсный нанодиоксид титана, являющийся полупроводником, при воздействии солнечного света поглощает фотоны в ультрафиолетовом диапазоне, энергия которых достаточна для перехода электронов из валентной зоны в зону проводимости (возбуждение). в результате такого перехода электронов с одного энергетического уровня на другой в валентной зоне формируются вакансии, т.е. заряд оказывается разделен на пары электрон-дырка, обладающие сильной восстанавливающей и окисляющей способностью.

Положительные вакансии обеспечивают создание высокоактивных гидроксильных радикалов (OH) при дальнейшем взаимодействии с атмосферной влагой, что важно при фотокаталитическом разложении. При этом электроны вступают в реакцию с молекулами O₂, образуя супероксиды-анионы (O²⁻). Данные соединения, образовавшиеся в результате фотокатализа (гидроксильные радикалы и супероксид-ионы), являясь очень сильными окислителями, способны разлагать широкий спектр органических загрязнителей, включая как поверхностные вещества (сажа, пыль, масло), так и биологические организмы (бактерии, вирусы) [8-11].

Наряду с разложением органических загрязнителей процесс фотокатализа, т.е. поглощения УФ-излучения фотокатализатором TiO₂, также приводит к образованию гидроксильных групп OH⁻, повышающих поверхностную энергию покрытия и способствующих его повышенной гидрофильности (рис. 10).

Метод основан на нанесении органического пигмента Родамина С (использован принцип деградации органического пигмента) на два образца нанесенной цементно-силикатной краски. Для эксперимента были изготовлены два состава с добавлением 5% и 10% порошка фотокатализатора. Результаты эксперимента, подтверждающие деградацию пигмента Родамина, представлены на рисунке 11. Визуальная оценка однозначно говорит о четкой деградации органического пигмента

The essence of the photocatalytic reaction is that ultradisperse titanium nanodioxide, which is a semiconductor, when exposed to sunlight absorbs photons in the ultraviolet range, the energy of which is sufficient for the transition of electrons from the valence zone to the conduction zone (excitation). as a result of such a transition of electrons from one energy level to another in the valence zone vacancies are formed, i.e. the charge is divided into electron-hole pairs with strong reducing and oxidizing ability.

Positive vacancies ensure the creation of highly active hydroxyl radicals (OH) during further interaction with atmospheric moisture, which is important for photocatalytic decomposition. At the same time, electrons react with O₂ molecules to form superoxide anions (O²⁻). These compounds formed as a result of photocatalysis (hydroxyl radicals and superoxide ions), being very strong oxidizing agents, are able to decompose a wide range of organic pollutants, including both surface substances (soot, dust, oil) and biological organisms (bacteria, viruses) [8-11].

Along with the decomposition of organic pollutants, the process of photocatalysis, i.e., absorption of UV radiation by the TiO₂ photocatalyst, also leads to the formation of OH⁻ hydroxyl groups that increase the surface energy of the coating and contribute to its increased hydrophilicity (Fig. 10).

The method is based on the application of organic pigment Rhodamine C (the principle of organic pigment degradation was used) on two samples of applied cement-silicate paint. For the experiment, two formulations were made with the addition of 5% and 10% of photocatalyst powder. The results of the experiment confirming the degradation of Rhodamine pigment are presented in Figure 11. Visual evaluation clearly indicates a clear degradation of the organic pigment Rhodamine C after 2 days of exposure to ultraviolet solar radiation in the field followed by exposure to precipitation at 14 °C.

Родамина С после 2 суток воздействия ультрафиолетового солнечного излучения в полевых условиях с последующим воздействием атмосферных осадков при температуре 14 °С

РИСУНОК 10

СХЕМА ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НАНОДИОКСИДА ТИТАНА НА ПОВЕРХНОСТЬ ЦЕМЕНТНО-СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ

Figure 10

The scheme of photocatalytic effect of titanium nanodioxide on the surface of cement-silicate paint.

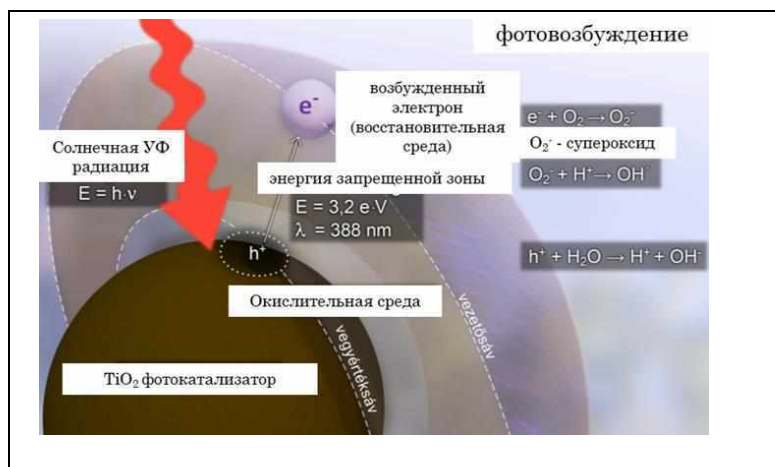


РИСУНОК 11

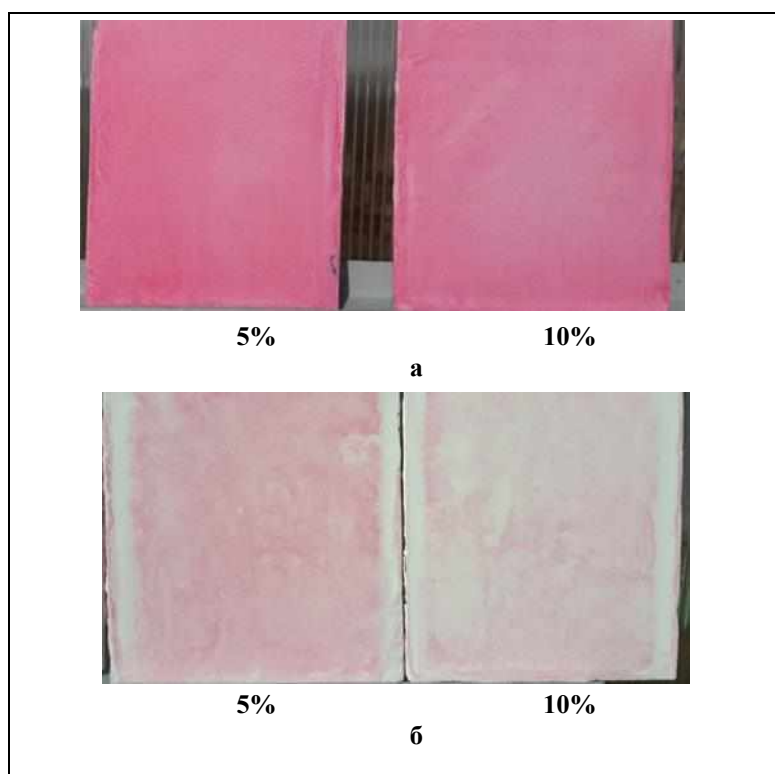
ОБРАЗЦЫ ЦЕМЕНТНО-СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ, ПОКРЫТЫЕ ОРГАНИЧЕСКИМ КРАСИТЕЛЕМ «РОДАМИН С»

а – перед испытанием в полевых условиях, б – после воздействия ультрафиолетового излучения от солнечной радиации и последующих атмосферных осадков

Figure 11

Samples of cement-silicate paint coated with organic dye “Rhodamine C”

а - before testing in field conditions, б - after exposure to ultraviolet radiation from solar radiation and subsequent atmospheric precipitation



Все эти аспекты эффекта самоочищения приводят к снижению стоимости обслуживания и долговечности цветовых оттенков, что, следовательно, является экономичным и эстетичным преимуществом использования фотокатализа TiO_2 цементно-силикатной краске. Кроме того, исследования показывают, что помимо свойства самоочищения наноксид титана может также способствовать ускорению гидратации портландцемента, оказывает влияние на улучшение долговечности цементно-силикатной краски.

Заключение

Таким образом, разработан однокомпонентный состав цементно-силикатной краски на основе белого портландцемента и гидросиликата натрия, в котором отсутствуют дорогостоящие оксид цинка и калиевое

All these aspects of the self-cleaning effect lead to lower maintenance cost and color durability, which is therefore an economical and aesthetic advantage of using nanoTiO₂ photocatalysis of cement-silicate paint. In addition, studies show that in addition to the self-cleaning property, titanium nanooxide can also help to accelerate the hydration of Portland cement, has an effect on improving the durability of cement-silicate paint.

Conclusions

Thus, a one-component composition of cement-silicate paint based on white Portland cement and sodium hydrosilicate has been developed, in which expensive zinc oxide and potassium liquid glass are absent. The composition is

жидкое стекло. Состав предполагается производить в виде сухой смеси, которая может быть применена в условиях строительной площадки с использованием смесителей. Введение в базовый состав краски хризотил-овых нановолокон позволяет использовать ее для окраски горячих поверхностей, работающих при температурах до 700 °С. Использование нанодисперсного диоксида титана в составе цементно-силикатной краски обеспечивает самоочистку окрашенного покрытия вследствие фотокаталитических реакций на загрязненной поверхности.

Литература:

1. Loganina V., Frolov M., Mazhitov E. Influence of protective and decorative coatings based on sol-silicate paints on the moisture regime of external walls of buildings. // *Construction and Geotechnics*. 2021. Vol. 12. No. 4, pp. 103-114.
2. Серебряков А.И., Абакумов А.Е., Лукьянчиков С.А. Защитно-декоративное полимерное покрытие стеновых материалов // *Строительные материалы*. 2006. № 4. С. 20-21.
3. Яковлев Г.И. Отделочная композиция на основе жидкого стекла / Г.И. Яковлев, А.В. Пислегина, Я. Керене, Бурьянов А.Ф. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2009, №7. – С. 42-44.
4. Яковлев Г.И., Шайбадуллина А.В., Полянских И.С., Гордина А.Ф., Пудов И.А., Грахов В.П., Первущин Г.Н., Бурьянов А.Ф. Многофункциональные декоративно-отделочные силикатные композиции: монография / Под общ. ред. А.В. Шайбадуллиной. Ижевск: Управление информационных ресурсов ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2021. 136 с.
5. Яковлев Г.И., Первущин Г.Н., Саидова З.С., Гинчицкая Ю.Н., Кузьмина Н.В., Бурьянов А.Ф., Трофимова Д.А. Сухая смесь для приготовления фасадной силикатной краски. *Строительные материалы*. 2023. № 3. С. 12-19.
6. Яковлев Г.И., Князева С.А., Гордина А.Ф., Полянских И.С., Бурьянов А.Ф., Дулесова И.Г. Декоративно-отделочная силикатная композиция, модифицированная керамзитовой пылью // *Техника и технология силикатов* – 2023. – Т. 30, № 2. – С. 178-186.
7. Яковлев Г.И., Князева С.А., Гордина А.Ф., Полянских И.С., Бурьянов А.Ф., Дулесова И.Г. Декоративно-отделочная силикатная композиция, модифицированная керамзитовой пылью // *Техника и технология силикатов* – 2023. – Т. 30, № 2. – С. 178-186.
8. Самченко С.В., Козлова И.В., Коршунов А.В., Земскова О.В., Дударева М.О., Агафонова Н.З. Исследование физико-механических и фотокаталитических свойств цементных композитов, модифицированных промышленным диоксидом титана // *Техника и технология силикатов*. – 2023. – Т. 30, № 2. – С. 152-161.
9. Kim H., Hong K. Evaluation of Nitrogen Oxide Reduction Performance in Permeable Concrete Surfaces Treated with a TiO₂ Photocatalyst // *Materials*. - 2023. – 16.5512. DOI: 10.3390/ma16165512.
10. Ahn H., Lee S. W., Kim J., Kim Y. K. (2023). Estimation of Nitrogen Oxides (NO_x) Removal Efficiency for TiO₂ Concrete // *Sustainability*. 2023. - №15. 9098. DOI: 10.3390/su15119098.
11. Хела Р., Боднарлова Л. Исследование возможности тестирования эффективности фотокатализатора TiO₂. *Строительные материалы*, 2015, № 3 – С. 77-81.
12. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. - М.: Высшая школа, 1981. - 334с.

intended to be produced as a dry mix that can be applied under construction area conditions using mixers. The introduction of chrysotile nanofibers into the basic composition of the paint allows it to be used for painting hot surfaces operating at temperatures up to 700 °C. The use of nanodispersed titanium dioxide in the composition of cement-silicate paint provides self-cleaning of the painted coating due to photocatalytic reactions on the contaminated surface.

References:

1. Loganina V., Frolov M., Mazhitov E. Influence of protective and decorative coatings based on sol-silicate paints on the moisture regime of external walls of buildings. // *Construction and Geotechnics*. 2021. Vol. 12. No. 4, pp. 103-114.
2. Serebryakov, A.I.; Abakumov, A.E.; Lukiyanichikov, S.A. Protective and decorative polymer coating of wall materials // *Building materials*. 2006. № 4. С. 20-21. (in Russian)
3. Yakovlev, G.I. Finishing composition on the basis of a liquid glass (in Russian) / G.I. Yakovlev, A.V. Pislegina, J. Kerene, Burjanov A.F. *Building materials, equipment, technologies of the XXI century*. - 2009, №7. - С. 42-44. (in Russian)
4. Yakovlev G.I., Shaibadullina A.V., Polyanskikh I.S., Gordina A.F., Pudov I.A., Grakhov V.P., Pervushin G.N., Buryanov A.F. Multifunctional decorative and finishing silicate compositions: monograph / Ed. ed. A.V. Shaibadullina. Izhevsk: Information Resources Department of Izhevsk State Technical University named after. M.T. Kalashnikova, 2021. 136 p. (in Russian)
5. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Saidova Z.S., Ginchitskaya Yu.N., Kuzmina N.V., Buryanov A.F., Trofimova D.A. Dry mixture for preparing façade silicate paint. *Construction Materials*. 2023. No. 3. P. 12-19. (in Russian)
6. Yakovlev G.I., Knyazeva S.A., Gordina A.F., Polyanskikh I.S., Buryanov A.F., Dulesova I.G. Decorative and finishing silicate composition modified with expanded clay dust concrete // *Technique and technology of silicates*. – 2023. Vol. – 30, No2. – Pp. 178 – 186.
7. Yakovlev G.I. Fiber reinforced single-component cement-silicate paint / Yakovlev G.I., Polyanskikh I.S., Pudov I.A., Saidova Z.S., Buryanov A.F. // *Technique and technology of silicates*. – 2023. Vol. – 31, No1. – Pp. 23 – 34.
8. Samchenko S.V., Kozlova I.V., Korshunov A.V., Zemskova O.V., Dudareva M.O., Agafonova N.Z. Investigation of physico-mechanical and photocatalytic properties of cement composites modified with industrial titanium dioxide // *Technique and technology of silicates*. – 2023. Vol. – 30, No2. – Pp. 152 – 161.
9. Kim H., Hong K. Evaluation of Nitrogen Oxide Reduction Performance in Permeable Concrete Surfaces Treated with a TiO₂ Photocatalyst // *Materials*. - 2023. – 16.5512. DOI: 10.3390/ma16165512.
10. Ahn H., Lee S. W., Kim J., Kim Y. K. (2023). Estimation of Nitrogen Oxides (NO_x) Removal Efficiency for TiO₂ Concrete // *Sustainability*. 2023. - №15. 9098. DOI: 10.3390/su15119098.
11. Hela R., Bodnarova L. Study of the possibility of testing the efficiency of the TiO₂ photocatalyst. *Construction materials*, 2015, no. 3 – pp. 77-81. (in Russian)
12. Gorshkov, V.S. Methods of physical and chemical analysis of binders. / V.S. Gorshkov, V.V. Timashev, V.G. Savelyev. - M.: Higher School, 1981. - 334s.

Яковлев Григорий Иванович – заведующий кафедрой СММиГ, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», Email: gyakov@istu.ru

Пудов Игорь Александрович – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», Email: pudovia@yandex.ru

Саидова Зарина Сироджиддиновна – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», Email: zarinasaidova@mail.ru

Первушин Григорий Николаевич – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», Email: pervushin61@yandex.ru

Бурьянов Александр Федорович – доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Email: rga-service@mail.ru

Дулесова Индира Габдрафиковна – заместитель начальника лаборатории по научной части ООО «Новый дом», Email: Dig@palitra.udm.ru

Вклад авторов: Яковлев Г.И. - идея, научное руководство, научное редактирование статьи; Первушин Г.Н., Пудов И.А., Саидова З.С. – разработка методик, обработка материала, написание статьи; Бурьянов А.Ф. – идея, научное руководство, обработка материала, написание статьи; Дулесова И.Г. – разработка методик, обработка материала, написание статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Yakovlev Grigory Ivanovich - Head of Department, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Email: gyakov@istu.ru

Pudov Igor Alexandrovich - Ass. Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Email: pudovia@yandex.ru

Saidova Zarina Sirodzhiddinovna – Ass. Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Email: zarinasaidova@mail.ru

Pervushin Grigory Nikolayevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Email: pervushin61@yandex.ru

Buryanov Aleksandr Fedorovich - Doctor of Technical Sciences, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Email: rga-service@mail.ru

Dulesova Indira Gabdrifikovna - Head Assistant of the Laboratory for the scientific part, «Novyj dom», Email: Dig@palitra.udm.ru

Contribution of the author: Yakovlev G.I.- idea, scientific leadership, scientific editing of the article; Pervushin G.N., Pudov I.A., Saidova Z.S. – development of methods, processing of material, writing an article; Buryanov A.F. – idea, scientific guidance, material processing, article writing; Dulesova I.G. – development of methods, processing of material, writing an article.

The authors declare that there is no conflict of interest.