



CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 12, № 4, 2021

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2021.4.08

УДК 697.147, 699.86

ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЗОЛЬ-СИЛИКАТНЫХ КРАСОК НА ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ

В.И. Логанина¹, М.В. Фролов¹, Е.Б. Мажитов²

¹Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия

²Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан

О СТАТЬЕ

Получена: 24 октября 2021

Принята: 29 ноября 2021

Опубликована: 28 декабря 2021

Ключевые слова:

золе-силикатная краска, влажностный режим, конденсация влаги, газобетон, керамзитобетон, кирпич.

АННОТАЦИЯ

Объект исследования – влажностный режим в наружных ограждающих конструкциях, покрытых красками с различной паропрооницаемостью – золь-силикатными, силикатными, акриловыми и силиконовыми.

Цель исследования – оценить влияние лакокрасочного покрытия на основе разработанной золь-силикатной краски на изменение влажностного режима стены в зависимости от типа конструкции. Проведено сравнение эффективности применения различных лакокрасочных материалов.

Описаны свойства разработанной золь-силикатной краски для отделки стен зданий. Проведены результаты расчета влияния лакокрасочных материалов на влажностный режим в стенах. Для оценки влажностного режима использована методика, основанная на определении температуры наружного воздуха, при понижении до которой в стенах начинается выпадение конденсата. Данная методика позволяет с высокой точностью сравнивать влажностные режимы в различных ограждающих конструкциях. Представлено сравнение влажностного режима в стенах различной конструкции: газобетонных (из блоков марок D400, D600), кирпичных, керамзитобетонных. В кирпичных и керамзитобетонных ограждающих конструкциях оценивали также влияние вида утеплителя (маты минераловатные, пенополистирол) на влажностный режим в стенах. В ходе исследований толщина слоя краски варьировалась от 0,2 до 0,6 мм.

По результатам проведенных исследований показано, что при использовании золь-силикатной краски в ограждающих конструкциях снижается температура начала конденсации и вероятность выпадения конденсата по сравнению с акриловыми, силикатными и силиконовыми красками. Даны рекомендации по выбору вида фасадной краски с учетом влажностного режима внутри ограждений различной конструкции.

© ПНИПУ

© Логанина Валентина Ивановна – доктор технических наук, профессор, e-mail: loganin@mail.ru.

Фролов Михаил Владимирович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: mihail-frolovv@yandex.ru.

Мажитов Еркебулан Бисенгалиевич – старший преподаватель e-mail: mazhitov201090@gmail.com.

Valentina I. Loganina – Doctor of Technical Science, Professor, e-mail: loganin@mail.ru.

Mikhail V. Frolov – Ph. D. in Technical Science, Associate Professor, e-mail: mihail-frolovv@yandex.ru.

Erkebulan B. Mazhitov – Senior teacher, e-mail: mazhitov201090@gmail.com.

INFLUENCE OF PROTECTIVE AND DECORATIVE COATINGS BASED ON SOL-SILICATE PAINTS ON THE MOISTURE REGIME OF EXTERNAL WALLS OF BUILDINGS

V.I. Loganina¹, M.V. Frolov¹, E.B. Mazhitov²

¹Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation

²West Kazakhstan Agrarian Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan

ARTICLE INFO

Received: 24 October 2021
Accepted: 29 November 2021
Published: 28 December 2021

Keywords:

ash-silicate paint, humidity conditions, moisture condensation, aerated concrete, expanded clay concrete, brick.

ABSTRACT

The object of research is the humidity regime in external enclosing structures coated with paints with different vapor permeability: ash-silicate, silicate, acrylic and silicone.

The purpose of the research is to evaluate the effect of a paint-and-varnish coating based on the developed sol-silicate paint on the change in the moisture regime of the wall, depending on the type of construction. Comparison of the effectiveness of the use of various paints and varnishes is carried out.

The properties of the developed sol-silicate paint for finishing the walls of buildings are described. The results of calculating the influence of paints and varnishes on the humidity regime in the walls are carried out. To assess the humidity regime, a technique was used based on the determination of the outside air temperature, with a decrease to which condensation begins to fall out in the walls. This technique makes it possible to compare with high accuracy the humidity conditions in various enclosing structures. Comparison of the humidity regime in the walls of various designs is presented: aerated concrete (from blocks of grades D400, D600), brick, expanded clay concrete. In brick and expanded clay enclosing structures, the influence of the type of insulation (mineral wool mats, expanded polystyrene) on the humidity regime in the walls was also assessed. In the course of research, the thickness of the paint layer varied from 0.2 to 0.6 mm.

According to the results of the research carried out in the article, it is shown that when using sol-silicate paint in enclosing structures, the temperature of the onset of condensation and the likelihood of condensation are reduced in comparison with acrylic, silicate and silicone paints. Recommendations are given on the choice of the type of facade paint, taking into account the humidity regime inside the fences of various designs.

© PNRPU

Введение

В практике отделки фасадов зданий хорошо зарекомендовали себя силикатные краски, что показано в исследованиях О. Figovsky, D. Veilin [1], В.И. Корнеева, В.В. Данилова [2]. Срок службы покрытий на основе силикатных красок составляет 5–6 лет. Однако покрытия на основе силикатных красок обладают низкой трещиностойкостью, что приводит к дополнительным затратам на ремонт. В связи с этим актуальным является разработка способов повышения стойкости силикатных покрытий.

Анализ патентной и научно-технической литературы свидетельствует, что одним из способов повышения трещиностойкости силикатных покрытий является применение в качестве связующего полисиликатного раствора (P.G. Kudryavtsev [3], О. Figovsky, D. Veilin [4]). Полисиликаты характеризуются широким диапазоном степени полимеризации анионов и являются дисперсиями коллоидного кремнезёма в водном растворе силикатов щелочных металлов (F. Romm и др. [5]). Наличие кремнекислородных анионов кремнезема в полимерной форме в связующем растворе способствует повышению трещиностойкости силикатных покрытий (О.Л. Фиговский, Д.А. Бейлин, А.Н. Пономарев [6], О. Figovsky, Yu. Borisov, D. Veilin [7]).

На сегодняшний день одной из самых популярных золь-силикатных красок является Histolith Sol-Silikat производства компании Caparol (Германия), краска KEIM Soldalit (фирма

Германии Alligator), краска «Прочнинь» (Санкт-Петербург, фирма «Фридендерь») [8–11]. Однако стоимость таких красок составляет от 1550 до 3000 руб. за 1 л.

Анализ рынка лакокрасочных материалов (ЛКМ) свидетельствует, что удельный вес золь-силикатных красок в структуре лакокрасочных материалов невелик. На отечественном рынке лакокрасочных материалов в основном присутствуют зарубежные золь-силикатные краски, что вызывает дефицит таких красок и увеличивает стоимость выполнения отделочных работ.

В.И. Логаниной и др. [12–14] разработана рецептура и технология производства золь-силикатной краски. Покрытия на основе золь-силикатной краски характеризуются высокими эксплуатационными свойствами. 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 на 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 – $0,144 \cdot 10^4$ МПа.

Золь-силикатная краска лучше смачивает поверхность растворной подложки. Покрытия характеризуются высоким качеством внешнего вида. Установлено, что для покрытий на основе золь-силикатной краски характерно более равномерное распределение шероховатости. Шероховатость поверхности покрытия на основе силикатной краски составляет $R_a = 9,1$ мкм, а на основе золь-силикатной краски – 6,2 мкм.

Испытание эксплуатационной стойкости покрытий на основе золь-силикатной краски на попеременное замораживание / оттаивание показало, что марка по морозостойкости покрытий составляет F35, паропроницаемость покрытий (ГОСТ 33355-2015) – 155 г/(м²·сут), коэффициент паропроницаемости покрытий (ГОСТ 25898-2012) – 0,002 мг/(м·ч·Па). При сравнении свойств золь-силикатной краски и покрытий на ее основе с прототипами (в качестве прототипа выбрана золь-силикатная краска KEIM Sodsalit фирмы KeimFarben и Histolith Sol-Silikat, производимая компанией Caparol) установлено, что покрытия на основе предлагаемой золь-силикатной краски характеризуются большей когезионной прочностью, меньшим расходом краски на 1 м².

Для оценки возможности применения разработанной золь-силикатной краски для наружной отделки ограждающих конструкций различного типа следует оценить влажностный режим в стенах. Необходимость проведения данной оценки обоснована многочисленными отечественными и зарубежными исследованиями, в которых отмечается важность проектирования наружных ограждающих конструкций с учетом влажностного режима внутри ограждений [15–22]. При этом важно отметить, что наружные штукатурные покрытия и фасадные краски из-за своей сравнительно низкой паропроницаемости оказывают значительное влияние на влажностный режим наружных ограждений [23–26].

Методика эксперимента

Разрабатываемую краску сравнивали с красками четырех видов:

- краска ВАК «Цоколь», характеризующаяся повышенной адгезией и водостойкостью, коэффициент паропроницаемости $\mu = 0,00026$ мг/(м·ч·Па);
- краска ВАК «Акрил 1» на основе акрилат-стирольных латексов, коэффициент паропроницаемости $\mu = 0,00038$ мг/(м·ч·Па);

– краска ВАК «Силикон 1», на основе силиконовой эмульсии, коэффициент паропроницаемости $\mu = 0,00070$ мг/(м·ч·Па);

– краска силиконовая, коэффициент паропроницаемости $\mu = 0,00180$ мг/(м·ч·Па).

Также определялся влажностный режим в ограждающих конструкциях, не окрашенных краской.

Для оценки влажностного режима в наружных ограждениях определяли температуру начала конденсации $t_{нк}$. Температура начала конденсации – температура наружного воздуха, при понижении до которой в стене возникают условия для начала образования конденсата [27–30].

В работе проводили оценку влажностного режима в стенах различной конструкции для условий г. Пензы. Средняя температура наружного воздуха в г. Пензе для декабря, января и февраля составляет $t_{зима} = -8,4$ °С. В дальнейшем в ходе исследований будем сравнивать температуры начала конденсации $t_{нк}$ в исследуемых ограждениях с данным значением. В том случае, если температура начала $t_{нк}$ в стене будет ниже температуры $t_{зима}$ или незначительно выше, в ограждении не будет возникать условий для образования конденсата в течение большей части зимнего периода. Следовательно, данную конструкцию стены можно рекомендовать использовать в условиях г. Пензы.

Расчетные параметры внутреннего воздуха принимали равными: температура $t_{в} = 20,0$ °С, относительная влажность внутреннего воздуха $\phi_{в} = 55$ %.

В работе исследовали влияние красок на влажностный режим в шести различных ограждающих конструкциях. Расчетные схемы исследуемых конструкций стен представлены на рис. 1.

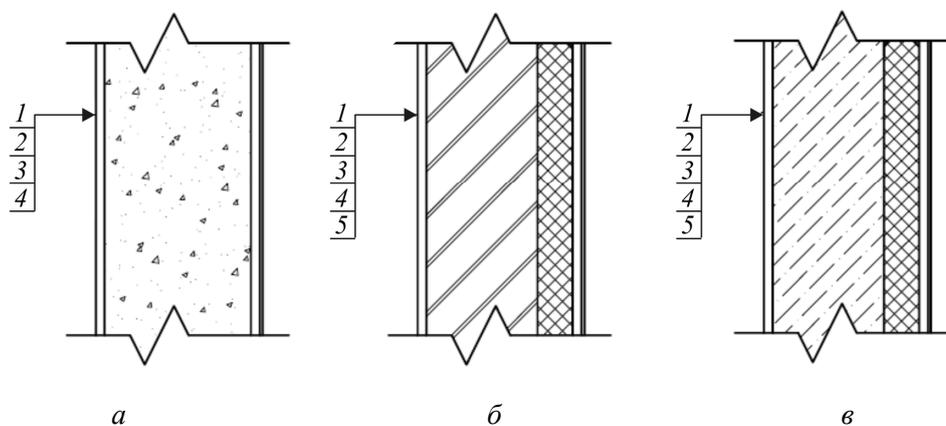


Рис. 1. Расчетные схемы ограждающих конструкций: *a* – стена из газобетона; *б* – стена из кирпича с утеплителем; *в* – стена из керамзитобетона с утеплителем
Fig. 1. Design schemes of enclosing structures: *a* – aerated concrete wall; *б* – brick wall with insulation; *в* – wall of expanded clay concrete with insulation

Данные об используемых в конструкциях материалах, их расчетных коэффициентах теплопроводности и коэффициентах паропроницаемости сведены в табл. 1–3.

Все исследуемые конструкции соответствуют требованиям «СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».

Таблица 1

Характеристики используемых материалов в стенах из газобетона (см. рис. 1, а)

Table 1

Characteristics of the materials used in aerated concrete walls

Номер слоя	Материал	Толщина слоя δ , м	Средняя плотность материала, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_A , Вт/(м·К)	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
1	Штукатурка цементно-шлаковая	0,01	1200	0,470	0,140
2	Газобетон D400 (вариант 1)	0,45	400	0,14	0,230
	Газобетон D600 (вариант 2)	0,65	600	0,22	0,170
3	Штукатурка цементно-вермикулитовая	0,02	600	0,13	0,25
4	Фасадная краска	0,0002 или 0,0006	В зависимости от вида краски		

Таблица 2

Характеристики используемых материалов в стенах из кирпича с утеплителем (см. рис. 1, б)

Table 2

Characteristics of the materials used in walls made of bricks with insulation

Номер слоя	Материал	Толщина слоя δ , м	Средняя плотность материала, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_A , Вт/(м·К)	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
1	Штукатурка цементно-песчаная	0,01	1800	0,76	0,09
2	Кирпич глиняный	0,51	1800	0,70	0,11
3	Пенополистирол (вариант 1)	0,10	40	0,04	0,05
	Маты минераловатные (вариант 2)	0,10	125	0,045	0,30
4	Штукатурка цементно-песчаная	0,01	1800	0,76	0,09
5	Фасадная краска	0,0002 или 0,0006	В зависимости от вида краски		

Таблица 3

Характеристики используемых материалов в стенах из керамзитобетона с утеплителем (см. рис. 1, в)

Table 3

Characteristics of the materials used in expanded clay concrete walls with insulation

Номер слоя	Материал	Толщина слоя δ , м	Средняя плотность материала, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_A , Вт/(м·К)	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
1	Штукатурка цементно-песчаная	0,01	1800	0,76	0,09
2	Керамзитобетон	0,51	1200	0,44	0,11
3	Пенополистирол (вариант 1)	0,10	40	0,04	0,05
	Маты минераловатные (вариант 2)	0,10	125	0,041	0,40
4	Штукатурка цементно-песчаная	0,01	1800	0,76	0,09
5	Фасадная краска	0,0002 или 0,0006	В зависимости от вида краски		

Результаты

Зависимости температуры начала конденсации $t_{н.к.}$ в ограждающих конструкциях из газобетона от вида фасадной краски представлены на рис. 2.

Установлено, что при использовании различных видов фасадных красок при толщине слоя краски 0,6 мм в ограждающей конструкции из газобетона марки D400 конденсация влаги начинается при температурах наружного воздуха от 8 °С до –2 °С (рис. 2, кривая 1). В ограждающей конструкции из газобетона марки D400 при толщине слоя краски 0,2 мм температуры начала конденсации выше и варьируются в пределах от 4,6 °С до –8,7 °С (рис. 2, кривая 2). Силикатную и разработанную золь-силикатную краски можно рекомендовать использовать при нанесении слоем толщиной 0,2 мм для стен из газобетона марки D400. При использовании силикатной и разработанной золь-силикатной краски при нанесении слоем толщиной 0,6 мм и других видов краски при толщине слоя 0,2 и 0,6 мм температуры начала конденсации $t_{н.к.}$ значительно выше средней температуры зимнего периода $t_{зима}$ для условий г. Пензы.

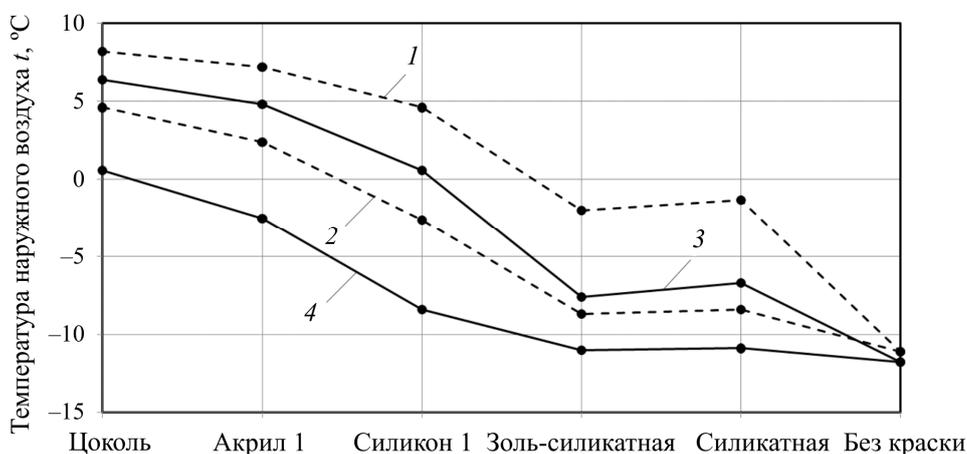


Рис. 2. Зависимость температуры начала конденсации $t_{н.к.}$ в ограждающих конструкциях из газобетона от вида фасадной краски: 1 – D400, толщина краски 0,6 мм; 2 – D400, толщина краски 0,2 мм; 3 – D600, толщина краски 0,6 мм; 4 – D600, толщина краски 0,2 мм
Fig. 1. Dependence of the temperature at which condensation starts $t_{н.к.}$ in aerated concrete shells on the type of façade paint: 1 – D400, paint thickness 0.6 mm; 2 – D400, paint thickness 0.2 mm; 3 – D600, paint thickness 0.6 mm; 4 – D600, paint thickness 0.2 mm

В ограждающих конструкциях из газобетона марок D600 температура начала конденсации значительно ниже (рис. 2, кривые 3, 4). Разработанную золь-силикатную и силикатную краски можно рекомендовать использовать для отделки стен из газобетона марки D600. Также можно рекомендовать использовать краску ВАК «Силикон 1», но только при толщине слоя краски 0,2 мм.

Зависимости температуры начала конденсации $t_{н.к.}$ в ограждающих конструкциях из керамзитобетона от вида фасадной краски представлены на рис. 3.

Установлено, что материал утеплителя оказывает существенное влияние на температуру начала конденсации (рис. 3, кривые 1–4). При использовании пенополистирола температура начала конденсации ниже на 1,5–4,6 °С по сравнению с температурой начала конденсации в ограждениях, в которых использована минеральная вата. Эта разница увеличивается с увеличением паропроницаемости краски.

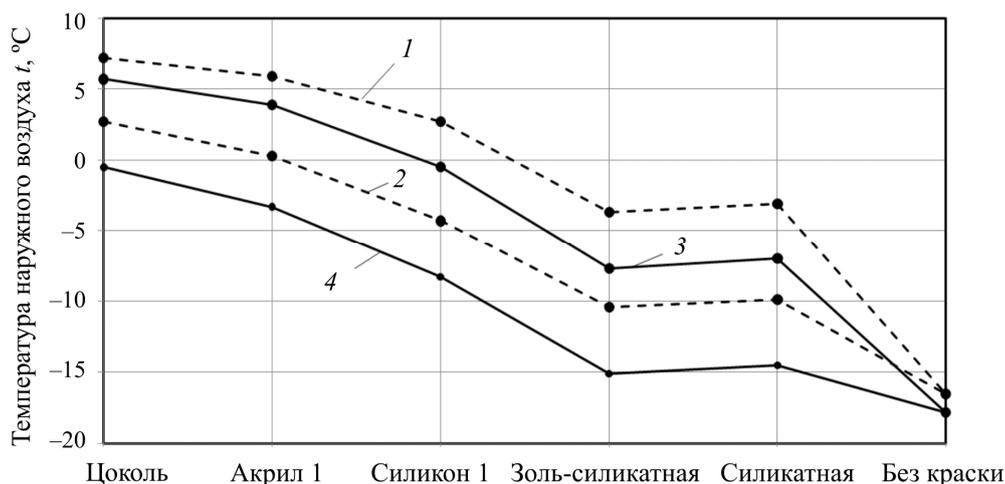


Рис. 3. Зависимость температуры начала конденсации $t_{нк}$ в ограждающих конструкциях из керамзитобетона от вида фасадной краски: 1 – утеплитель минеральная вата, толщина краски 0,6 мм; 2 – утеплитель минеральная вата, толщина краски 0,2 мм; 3 – утеплитель пенополистирол, толщина краски 0,6 мм; 4 – утеплитель пенополистирол, толщина краски 0,2 мм

Fig. 3. Dependence of the temperature of the beginning of condensation $t_{нк}$ in keramzite-concrete envelopes on the type of façade paint: 1 – mineral wool insulation, paint thickness 0.6 mm; 2 – mineral wool insulation, paint thickness 0.2 mm; 3 – polystyrene foam insulation, paint thickness 0.6 mm; 4 – polystyrene foam insulation, paint thickness 0.2 mm

Обсуждение

Золь-силикатную и силикатную краски при толщине слоя краски 0,2 мм можно рекомендовать использовать для окраски стен из керамзитобетона независимо от вида используемого утеплителя. При толщине слоя краски 0,6 мм данные краски можно рекомендовать использовать для окраски стен из керамзитобетона при использовании в качестве утеплителя пенополистирола. Краску марки ВАК «Силикон 1» можно рекомендовать использовать для окраски стен из керамзитобетона при использовании в качестве утеплителя пенополистирола при нанесении слоем толщиной 0,2 мм. При использовании других видов красок температура начала конденсации $t_{нк}$ выше -5 °С, поэтому при их использовании в зимний период в ограждении высокая вероятность образования значительного количества конденсата.

Зависимости температуры начала конденсации $t_{нк}$ в ограждающих конструкциях из керамзитобетона от вида фасадной краски представлены на рис. 4.

Температура начала конденсации в ограждениях из кирпича ниже температуры начала конденсации в ограждениях из керамзитобетона при использовании одинаковых фасадных красок. Это связано с большей по сравнению с керамзитобетоном теплопроводностью кирпича. Также можно отметить, что вид используемого утеплителя в ограждающих конструкциях из кирпича менее значительно влияет на температуру начала конденсации по сравнению с ограждениями из керамзитобетона. При использовании пенополистирола температура начала конденсации ниже на 1,4–3,1 °С по сравнению с температурой начала конденсации в ограждениях, в которых использована минеральная вата.

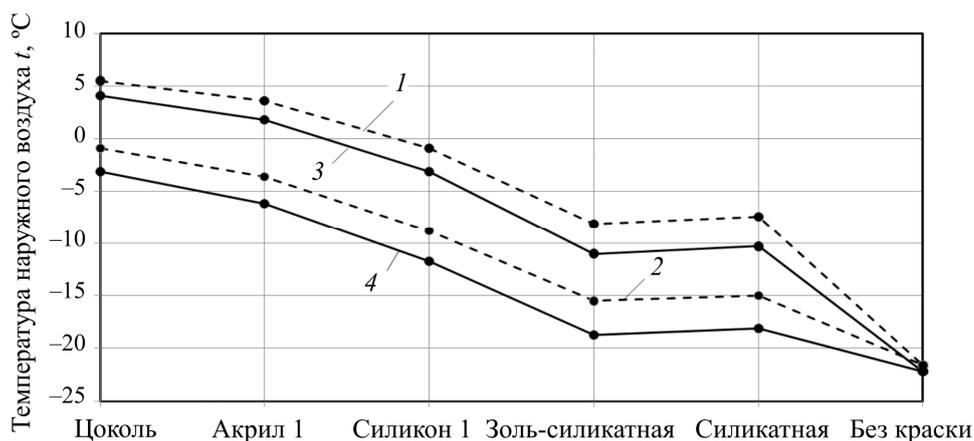


Рис. 4. Зависимость температуры начала конденсации $t_{нк}$ в ограждающих конструкциях из кирпича от вида фасадной краски: 1 – утеплитель минеральная вата, толщина краски 0,6 мм; 2 – утеплитель минеральная вата, толщина краски 0,2 мм; 3 – утеплитель пенополистирол, толщина краски 0,6 мм; 4 – утеплитель пенополистирол, толщина краски 0,2 мм

Fig. 4. Dependence of the temperature at the beginning of condensation $t_{нк}$ in brick envelopes on the type of façade paint: 1 – mineral wool insulation, paint thickness 0.6 mm; 2 – mineral wool insulation, paint thickness 0.2 mm; 3 – polystyrene foam insulation, paint thickness 0.6 mm; 4 – polystyrene foam insulation, paint thickness 0.2 mm

Золь-силикатную и силикатную краски можно рекомендовать использовать для покраски стен из кирпича независимо от вида используемого утеплителя. Краску ВАК «Силикон 1» можно рекомендовать использовать только при нанесении слоем толщиной 0,2 мм.

Выводы

Получены закономерности, отражающие зависимость влажностного режима в стенах различной конструкции от паропроницаемости фасадных красок, наносимых слоями толщиной 0,2 и 0,6 мм. Проведена оценка влияния покрытий на основе разработанной золь-силикатной краски на изменение влажностного режима в стенах различной конструкции. Установлено, что при использовании золь-силикатной краски в ограждающих конструкциях снижается температура начала конденсации $t_{нк}$ и вероятность выпадения конденсата по сравнению с акриловыми, силикатными и силиконовыми красками.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Библиографический список

1. Figovsky O., Beilin D. Advanced Polymer Concretes and Compounds. – Boca Raton, 2013. – 267 p. DOI: 10.1201/b16237
2. Корнеев В.И, Данилов В.В. Растворимое и жидкое стекло. – СПб.: Стройиздат, 1996. – 216 с.
3. Kudryavtsev P.G. Alkoxides of chemical elements – promising class of chemical compounds which are raw materials for Hi-Tech industries // Scientific Israel – Technological Advantages. – 2014. – Vol. 16, № 2. – P. 147–170.

4. Figovsky O., Beilin D. Improvement of Strength and Chemical Resistance of Silicate Polymer Concrete // *International Journal of Concrete Structures and Materials*. – 2009. – Vol. 3, № 2. – P. 97–101. DOI: 10.4334/IJCSM.2009.3.2.097
5. Coatings Based on Quarternary Ammonium Silicates / F. Romm, V. Karchevsky, O. Axenov, R. Potashnikov, O.L. Figovsky // *Preparation, Properties and Application Scientific Israel – Technological Advantages*. – 2002. – Vol. 4, № 4. – P. 75–81.
6. Фиговский О.Л., Бейлин Д.А., Пономарев А.Н. Успехи применения нанотехнологий в строительных материалах // *Нанотехнологии в строительстве*. – 2012. – № 3. – С. 6–21.
7. Figovsky O., Borisov Yu., Beilin D. Nanostructured Binder for Acid-Resisting Building Materials // *J. Scientific Israel-Technological Advantages*. – 2012. – Vol. 14, № 1. – P. 7–12.
8. Кайман: золь-силикатная краска: сайт. – URL: <http://www.alligator.spb.ru/catalog/materialy-tm-kayman/zol-silikatnaya-kraska-tm-kayman> (дата обращения: 23.10.2021).
9. Histolith Sol-Silikat. Золь-силикатная: сайт. – URL: <https://www.caparol.ru/produkty/materialy-dlja-restavracii-panjratnikov-arkhitektury/histolith/histolith-silikatnaja-programma/histolith-sol-silikat> (дата обращения: 23.10.2021).
10. KEIM Soldalit. Золь-силикатная фасадная краска для универсального применения: сайт. – URL: <https://www.keim.com/ru-ru/produkcija/fasadnye-kraski/soldalit/> (дата обращения: 23.10.2021).
11. Прочнинъ. Золь-силикатная краска: сайт. – URL: <https://fridlender.ru/products/silicate/dispersionnaya-silikatnaya-kraska-prochnin/> (дата обращения: 23.10.2021).
12. Свойства модифицированного связующего для силикатных красок / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, В.С. Демьянова, Е.Б. Мажитов // *Региональная архитектура и строительство*. – 2017. – № 4 (33). – С. 17–23.
13. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Мажитов Е.Б. Свойства жидкого стекла с добавкой золя кремниевой кислоты // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2017. – № 8 (704). – С. 74–79.
14. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov Y.B. Development of sol-silicate composition for decoration of building walls // *Case Studies in Construction Materials*. – 2018. – № 9. DOI: 10.1016/j.cscm.2018.e00173
15. Numerical analysis on the hygrothermal behavior of building envelope according to CLT wall assembly considering the hygrothermal-environmental zone in Korea / S.J. Cang, J. Yoo, S. Wi, S. Kim // *Environmental Research*. – December 2020. art. no. 110198. – № 191. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110198
16. Mello Ayres L. de, Moura L.M., Mendes N. A model for assessment of heat and moisture transfer through hollow porous buildings elements // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2019. – № 14. – art. № 100446. DOI: 10.1016/j.csite.2019.100446
17. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле / С.В. Корниенко, Н.И. Ватин, М.Р. Петриченко, А.С. Горшков // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. – 2015. – № 6. – С. 19–33.
18. Improving the thermal performance of concrete-sandwich envelopes in relation to the moisture behaviour of building structures in boreal conditions / F. Fedorik, M. Malaska, R. Hannila, A. Naapala // *Energy and Buildings*. – 2015. – № 107. – P. 226–233. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.08.020
19. Interface influence on moisture transport in buildings / A.S. Guimarães, J.M.P.Q. Delgado, A.C. Azevedo, V.P. de Freitas // *Construction and Building Materials*. – 2018. – № 162. – P. 480–488. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.040

20. Ilomets S., Kalamees T., Vinha J. Indoor hygrothermal loads for the deterministic and stochastic design of the building envelope for dwellings in cold climates // *Journal of Building Physics*. – 2018. – № 41 (6). – P. 547–577. DOI: 10.1177/1744259117718442
21. Johansson P., Ekstrand-Tobin A., Bok G. An innovative test method for evaluating the critical moisture level for mould growth on building materials // *Building and Environment*. – 2014. – № 81. – P. 404–409. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.07.002
22. Jerman M., Černý R. Effect of moisture content on heat and moisture transport and storage properties of thermal insulation materials // *Energy and Buildings*. – 2012. – № 53. – P. 39–46. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.07.002
23. Логанина В.И., Фролов М.В., Скачков Ю.П. Оценка влияния отделочных покрытий на изменение влажностного режима газобетонной ограждающей конструкции // *Вестник МГСУ*. – 2018. – Т. 13, № 11. – С. 1349–1356. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.11.1349-1356
24. Евдокимов А.В., Сергуненков Б.Б., Котельников Д.В. Выбор фасадных покрытий с учетом паропроницаемости и водопоглощения // *Строительные материалы*. – 2002. – № 11. – С. 30–31.
25. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Методика определения суммарного сопротивления паропроницанию наружных отделочных слоев фасадных теплоизоляционных композиционных систем с наружными штукатурными слоями // *Вестник МГСУ*. – 2012. – № 11. – С. 140–143.
26. Ватин Н.И., Горшков А.С., Глумов А.В. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков // *Инженерно-строительный журнал*. – 2011. – № 1. – С. 28–33.
27. Фролов М.В. Оценка влажностного режима в стенах из газобетона в зависимости от характеристик наружного отделочного покрытия // *Региональная архитектура и строительство*. – 2020. – № 1. – С. 90–97.
28. Куприянов В.Н., Сафин И.Ш., Шамсутдинов М.Р. Влияние конструкции ограждения на конденсацию парообразной влаги // *Жилищное строительство*. – 2012. – № 6. – С. 29–31.
29. Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е. Применение метода безразмерных характеристик к расчету влажностного режима многослойных строительных ограждающих конструкций // *Градостроительство и архитектура*. – 2020. – Т. 10, № 2 (39). – С. 10–15.
30. Куприянов В.Н. Основные принципы конструирования наружных стен с ограничением конденсации в них парообразной влаги // *Строительство и реконструкция*. – 2015. – № 2 (58). – С. 120–126.

References

1. Figovsky O., Beilin D. *Advanced polymer concretes and compounds*. Boca Raton, 2013, 267 p. <https://doi.org/10.1201/b16237>
2. Korneev V.I., Danilov V.V. *Soluble and liquid glass*. Saint Petersburg, Stroyizdat, 1996, 216 p.
3. Kudryavtsev P.G. Alkoxides of chemical elements – promising class of chemical compounds which are raw materials for Hi-Tech industries. *Scientific Israel – Technological Advantages*, 2014, vol. 16, no. 2, pp. 147–170.
4. Figovsky O., Beilin D. Improvement of strength and chemical resistance of silicate polymer concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2009, vol. 3, no. 2, pp. 97–101. <https://doi.org/10.4334/IJCSM.2009.3.2.097>

5. Romm F., Karchevsky V., Axenov O., Potashnikov R., Figovsky O.L. coatings based on quarternary ammonium silicates. *Preparation, Properties and Application Scientific Israel – Technological Advantages*, vol. 4, no. 4, pp. 75–81.

6. Figovskiy O.L., Beilin D.A., Ponomarev A.N. Uspekhi primeneniya nanotekhnologiy v stroitel'nykh materialakh [Success in the use of nanotechnology in building materials]. *Nanotechnology in construction*, 2012, no. 3, pp. 6–21.

7. Figovsky O., Borisov Yu., Beilin D. Nanostructured binder for acid-resisting building materials. *J. Scientific Israel-Technological Advantages*, 2012, vol. 14, no 1, pp. 7–12.

8. Cayman: Sol-silicate paint: website. Available at: <http://www.alligator.spb.ru/catalog/materialy-tm-kayman/zol-silikatnaya-kraska-tm-kayman>. (accessed 23 October 2021).

9. Histolith Sol-Silikat. Sol-silicate: website. Available at: <https://www.caparol.ru/produkty/materialy-dlja-restavracii-pamjatnikov-arkhitektury/histolith/histolith-silikatnaja-programma/histolith-sol-silikat> (accessed 23 October 2021).

10. KEIM Soldalit. Sol silicate facade paint for universal use: website. Available at: <https://www.keim.com/ru-ru/produkcija/fasadnye-kraski/soldalit/> (accessed 23 October 2021).

11. Prochnin. Sol silicate paint: website. Available at: <https://fridlender.ru/products/silicate/dispersionnaya-silikatnaya-kraska-prochnin/> (accessed 23 October 2021).

12. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Demyanova V.S., Mazhitov E.B. Svoystva modifitsirovannogo svyazuyushchego dlya silikatnykh krasok [Properties of a modified binder for silicate paints]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*, 2017, no. 4 (33), pp. 17–23.

13. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov E.B. Svoystva zhidkogo stekla s dobavkoy zolya kremniyevoy kisloty [Properties of liquid glass with the addition of silicic acid sol]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*, 2017, no. 8 (704), pp. 74–79.

14. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov Y.B. Development of sol-silicate composition for decoration of building walls. *Case Studies in Construction Materials*, 2018, no. 9, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00173>

15. Cang S.J., Yoo J., Wi S., Kim S. Numerical analysis on the hygrothermal behavior of building envelope according to CLT wall assembly considering the hygrothermal-environmental zone in Korea. *Environmental Research*, December 2020, vol. 191, art. no. 110198, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110198>

16. Mello de Ayres L., Moura L.M., Mendes N. A model for assessment of heat and moisture transfer through hollow porous buildings elements. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2019, vol. 14, art. no. 100446. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100446>

17. Kornienko S.V., Vatin N.I., Petrychenko M.R., Gorshkov A.S. Otsenka vlazhnostnogo rezhima mnogosloynnoy stenovoy konstruksii v godovom tsikle [Evaluation humidity conditions multilayer wall structure in the annual cycle]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*, 2015, no. 6, pp. 19–33.

18. Fedorik, F., Malaska, M., Hannila, R., Haapala, A. Improving the thermal performance of concrete-sandwich envelopes in relation to the moisture behaviour of building structures in boreal conditions. *Energy and Buildings*, 2015, no. 107, pp. 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.020>

19. Guimarães A.S., Delgado J.M.P.Q., Azevedo A.C., Freitas de V.P. Interface influence on moisture transport in buildings. *Construction and Building Materials*, 2018, no. 162, pp. 480–488. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.040>

20. Ilomets S., Kalamees T., Vinha J. Indoor hygrothermal loads for the deterministic and stochastic design of the building envelope for dwellings in cold climates. *Journal of Building Physics*, 2018, no. 41 (6), pp. 547–577. <https://doi.org/10.1177/1744259117718442>
21. Johansson P., Ekstrand-Tobin A., Bok G. An innovative test method for evaluating the critical moisture level for mould growth on building materials. *Building and Environment*, 2014, no. 81, pp. 404–409. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.07.002>
22. Jerman M., Černý R. Effect of moisture content on heat and moisture transport and storage properties of thermal insulation materials. *Energy and Buildings*, no. 53, pp. 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.002>
23. Loganina V.I., Frolov M.V., Skachkov Yu.P. Otsenka vliyaniya otdelochnykh pokrytiy na izmeneniye vlazhnostnogo rezhima gazobetonnoy ograzhdayushchey konstruktsii [Assessment of the effect of finishing coatings on the change in the moisture regime of aerated concrete enclosing structures]. *Vestnik MGSU*, 2018, vol. 13, no. 11, pp. 1349–1356. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.11.1349-1356>
24. Evdokimov A.V., Sergunenko B.B., Kotelnikov D.V. Vybór fasadnykh pokrytiy s uchetom paropronitsayemosti i vodopogloshcheniya [The choice of facade coatings taking into account vapor permeability and water absorption]. *Stroitel'nyye materialy*, 2002, no. 11, pp. 30–31.
25. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Metodika opredeleniya summarnogo soprotivleniya paropronitsaniyu naruzhnykh otdelochnykh sloyev fasadnykh teploizolyatsionnykh kompozitsionnykh sistem s naruzhnymi shtukaturnymi sloyami [Methods for determining the total resistance to vapor permeation of external finishing layers of facade heat-insulating composite systems with external plaster layers]. *Vestnik MGSU*, 2012, no. 11, pp. 140–143.
26. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Glumov A.V. Vliyaniye fiziko-tekhnicheskikh i geometricheskikh kharakteristik shtukaturnykh pokrytiy na vlazhnostnyy rezhim odnorodnykh sten iz gazobetonnykh blokov [Effect of physical, technical and geometrical characteristics of plasters on the walls of homogeneous humidity conditions of concrete blocks]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*, 2011, no. 1, pp. 28–33.
27. Frolov M.V. Otsenka vlazhnostnogo rezhima v stenakh iz gazobetona v zavisimosti ot kharakteristik naruzhnogo otdelochnogo pokrytiya [Assessment of the humidity regime in the walls made of aerated concrete, depending on the characteristics of the external finishing coating], *Regional architecture and construction*, 2020, no. 1, pp. 90–97.
28. Kupriyanov V.N., Safin I.Sh., Shamsutdinov M.R. Vliyaniye konstruktsii ograzhdeniya na kondensatsiyu paroobraznoy vlagi [The influence of the design of the fence on the condensation of vaporous moisture]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*, 2012, no. 6, pp. 29–31.
29. Vytchikov Yu.S., Saparev M.E. Primeneniye metoda bezrazmernykh kharakteristik k raschetu vlazhnostnogo rezhima mnogoslonykh stroitel'nykh ograzhdayushchikh konstruktsiy [Application of the method of dimensionless characteristics to the calculation of the moisture regime of multilayer building enclosing structures]. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura*, 2020, vol. 10, no. 2 (39), pp. 10–15.
30. Kupriyanov V.N. Osnovnyye printsipy konstruirovaniya naruzhnykh sten s ogranicheniyem kondensatsii v nikh paroobraznoy vlagi [The basic principles of the design of external walls with limited condensation of vaporous moisture in them]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*, 2015, no. 2 (58), pp. 120–126.