Закономерности формирования адгезионного контакта «золь-силикатная краска – подложка»

В.И. Логанина, Е.Б. Мажитов

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС),
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрено использование в качестве связующего при изготовлении силикатных красок полисиликатных растворов, полученных смешением жидкого стекла и золя кремниевой кислоты. Для регулирования реологических свойств краски, улучшения розлива и предотвращения проседания пигментной части в лакокрасочный состав предложено вводить в состав связующего глицерин. Приведены результаты изучения межфазного взаимодействия между краской и подложкой.

Материалы и методы. При разработке рецептуры силикатных красок на основе полисиликатных растворов в качестве наполнителя использовали микрокальцит марки МК-2, маршалит, диатомит и тальк марки МТ-ГШМ, в качестве пигмента — диоксид титана 230. Полисиликатные растворы получали путем взаимодействия стабилизированных растворов коллоидного кремнезема (золей) с водными растворами щелочных силикатов (жидкими стеклами). Применяли золь кремниевой кислоты Nanosil 20 и Nanosil 30, выпускаемый ПК «Промстеклоцентр»; калиевое жидкое стекло с модулем $M = 3,29$. Оценку межфазного взаимодействия осуществляли с помощью термодинамического метода.

Результаты. Введение глицерина в рецептуру золь-силикатной краски способствует снижению межфазного поверхностного натяжения и лучшему смачиванию поверхности растворной подложки. Наблюдается увеличение коэффициента смачивания. Покрытия на основе золь-силикатной краски с добавкой глицерина характеризуются повышенной трещиностойкостью. Установлено увеличение прочности при растяжении, предельной растяжимости, снижение модуля упругости пленок краски на основе состава с глицерином. Приведены значения свободной поверхностной энергии покрытия на основе золь-силикатной краски и отношение полярной к дисперсионной составляющей свободной энергии поверхности. Покрытия на основе золь-силикатной краски с добавкой глицерина характеризуются большим значением свободной энергии поверхности. В процессе увлажнения наблюдается уменьшение свободной поверхностной энергии за счет уменьшения дисперсионной составляющей.

Выводы. Проведенные исследования доказывают, что введение глицерина в рецептуру золь-силикатной краски способствует повышению эксплуатационных свойств покрытий на ее основе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: жидкое стекло, полисиликатные растворы, краска, межфазное взаимодействие, свободная энергия поверхности

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Логанина В.И., Мажитов Е.Б. Закономерности формирования адгезионного контакта «золь-силикатная краска – подложка» // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 1. С. 94–101. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.94-101

Regularities of formation of adhesive contact “sol-silicate paint – substrate”

Valentina I. Loganina, Erkebulan B. Mazhitov

Penza State University of Architecture and Construction,
28 Germana Titova st., Penza, 440028, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The use as a binder in the manufacture of silicate paints polysilicate solutions obtained by mixing liquid glass and silica sol is considered. To regulate the rheological properties of the paint, improve the filling and prevent the pigment part from sagging, it has been proposed to introduce glycerin into the binder composition. The results of studying the interfacial interaction between the paint and the substrate are given.

Materials and methods. In developing the formulation of silicate paints based on polysilicate solutions, MK-2 microcalcite, marshalite, diatomite and talc of MT-GSM grade were used as a filler, and titanium dioxide as a pigment. Polysilicate solutions were obtained by reacting stabilized solutions of colloidal silica (sols) with aqueous solutions of alkali silicates (liquid glasses). Nanosil 20 and Nanosil 30 silicic acid sol were used, produced by the Promsteklocentr PC. Used potassium liquid glass with module $M = 3.29$. A thermodynamic method was used to assess the interfacial interaction.

Results. Shown that the introduction of glycerol into the formulation of a sol of silicate paint promotes a decrease in the interfacial surface tension and a better wetting of the surface of the mortar substrate. An increase in wetting coefficient is observed. Coatings based on sol silicate paints with the addition of glycerin are characterized by increased crack resistance. An increase in tensile strength, maximum tensile properties, and decrease in the elastic modulus of paint membranes based on the composition with glycerol has been established. The values of the free surface energy of the coating based on the sol of silicate paint and the ratio of the polar to the dispersion component of the free energy of the surface are given. Coatings based on sol of silicate paint with the addition of glycerin are characterized by a large value of the free energy of the surface. In the process of moistening a decrease in the free surface energy is observed due to a decrease in the dispersion component.

Conclusions. Studies have shown that the introduction of an additive of glycerin in the formulation of a silicate paint sol contributes to an increase in the performance properties of coatings based on it.

KEYWORDS: liquid glass, polysilicate solutions, paint, interfacial interaction, surface dry energy

FOR CITATION: Loganina V.I., Mazhitov E.B. Regularities of formation of adhesive contact “sol-silicate paint – substrate”. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14:1:94-101. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.94-101 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

При отделке стен зданий широкое распространение получили силикатные и полимерсиликатные краски [1–3]. Применение нанотехнологий при разработке композиционных строительных материалов, в том числе отделочных, позволило повысить их эксплуатационную стойкость, а также создать новый вид силикатной краски — золь-силикатную краску, которая применяется для отделки стен зданий и реставрации зданий исторической застройки [4–9]. Краска изготавливается на базе полисиликатных растворов, образующихся путем смешивания кизельзоля и жидкого стекла. Такая комбинация вяжущих позволяет наносить силикатные краски не только на минеральные, но и непосредственно на многочисленные органические основания без использования дополнительных адгезионных мостов сцепления. Золь-силикатная краска поставляется на российский рынок из Германии (фирма Keimfarben, Caparol Histolith).

Учитывая актуальность импортозамещения, нами разработан состав золь-силикатной краски для наружной отделки стен зданий [10–12]. Было установлено, что покрытия на основе полисиликатных растворов характеризуются более быстрым отверждением. Краска образует покрытие, которое представляет собой ровную однородную матовую поверхность. По своим свойствам краска и покрытие на ее основе соответствуют требованиям, предъявляемым к покрытиям для наружной отделки зданий, обладают более высокой адгезией, достаточной паропроницаемостью.

Для регулирования свойств золь-силикатной краски предложено вводить в рецептуру многоатомный спирт — глицерин. Выявлено, что в процессе испытания на морозостойкость путем попеременного замораживания — оттаивания окрашенных золь-силикатной краской растворных образцов состояние покрытия на основе разработанного состава после 40 циклов испытания оценено как АД1, АЗ1, что соответствует состоянию покрытия с отсутствием изменения цвета, меления, грязеудержания. «Отказ» покрытия на основе золь-силикатной краски наступил после 50 циклов испытаний.

Известно, что стойкость материалов в процессе эксплуатации определяется поверхностной энерги-

ей Гиббса, характеризующей энергию межмолекулярного взаимодействия частиц на поверхности раздела фаз. В связи с этим актуальным является исследование изменения энергетических свойств поверхности покрытий в процессе эксплуатации. В качестве рабочей гипотезы выдвинуто предположение о том, что введение глицерина в рецептуру золь-силикатной краски способствует снижению межфазного поверхностного натяжения, лучшему смачиванию поверхности подложки, повышению работы адгезии, а также повышению стойкости покрытий вследствие больших значений свободной поверхностной энергии покрытия на основе золь-силикатной краски с добавкой глицерина за счет увеличения значений полярной составляющей свободной энергии поверхности (СЭП).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При разработке рецептуры силикатных красок на основе полисиликатных растворов в качестве наполнителя применяли микрокальцит марки МК-2 (ТУ 5743-001-91892010-2011), маршалит, диатомит и тальк марки МТ-ГШМ (ГОСТ 19284-79), в качестве пигмента — диоксид титана 230 рутильной формы (ТУ 2321-001-1754-7702-2014) (табл. 1). Полисиликатные растворы получали путем взаимодействия стабилизированных растворов коллоидного кремнезема (золей) с водными растворами щелочных силикатов (жидкими стеклами). Использовали золь кремниевой кислоты Nanosil 20 и Nanosil 30, выпускаемые ПК «Промстеклоцентр», а также калиевое жидкое стекло с модулем $M = 3,29$. С целью улучшения розлива и предотвращения проседания пигментной части в лакокрасочный состав предлагается вводить добавки глицерина.

Для оценки закономерностей формирования контакта «покрытие – подложка» применен термодинамический метод. Были определены краевые углы смачивания рабочих жидкостей на поверхности подложки (цементно-песчаный раствор), по которому рассчитывалась величина поверхностного натяжения твердого тела (цементно-песчаный раствор) [13–20]. Рабочими жидкостями выбраны вода, этанол, глицерин, этиленгликоль. Исследования выполнены с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Краевой угол смачивания определяли на приборе KRUSS DSA-30. Поверхностное натяжение краски устанавливали сталагмометрическим методом. Определение энергетического состояния осуществлялось методом ОВРК (метод Оунса, Вендта, Рабеля и Кьельбле), при котором учитывалась полярная и дисперсионная составляющие материала

$$\frac{\sigma_{\text{рж}}(\cos \theta + 1)}{2\sqrt{\sigma_{\text{рж}}^D}} = \frac{\sqrt{\sigma_n^D} \cdot \sqrt{\sigma_{\text{рж}}^D}}{\sqrt{\sigma_{\text{рж}}^D}} + \sqrt{\sigma_n^D}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{рж}}$ — поверхностное натяжение рабочих жидкостей; $\sigma_{\text{рж}}^D$ — дисперсионная составляющая поверхностного натяжения рабочих жидкостей; $\sigma_{\text{рж}}^p$ — полярная составляющая поверхностного натяжения рабочих жидкостей; σ_n^D — дисперсионная составляющая поверхностного натяжения исследуемого материала; σ_n^p — полярная составляющая поверхностного натяжения исследуемого материала; θ — краевой угол смачивания исследуемого материала.

Была рассчитана работа адгезии между подложкой (цементно-песчаным раствором) и краской, количественно определяемая термодинамическим уравнением Дюпре — Юнга:

$$W_a = \sigma(1 + \cos \theta), \quad (2)$$

где W_a — работа адгезии; σ — поверхностное натяжение; θ — равновесный краевой угол смачивания.

Межфазная энергия поверхности определялась как сумма поверхностных энергий фаз за вычетом работы адгезии в соответствии с уравнением Дюпре

$$\sigma_{1,2} = \sigma_1 + \sigma_2 - W_a. \quad (3)$$

Связь между работой адгезии и работой смачивания определялась соотношением

$$W_a = W_{\text{см}} + \sigma_{\text{ж-г}}. \quad (4)$$

Смачивание характеризовалось коэффициентом смачивания S и определялось отношением адгезионной работы к когезионной работе (относительная адгезия):

$$S = \frac{W_a}{W_k}. \quad (5)$$

Качество внешнего вида покрытий оценивали по шероховатости поверхности R_a методом сканирующей зондовой микроскопии.

Для определения когезионной прочности образцы размером 10×30 мм вырезали из свободной лакокрасочной пленки. Определение когезионной прочности проводили по ГОСТ 18299-72* на разрывной машине ИР 5057-50 при скорости деформирования 1 мм/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Было установлено, что значение свободной поверхностной энергии растворной подложки равно 72,51 мН/м, в том числе дисперсионная составляющая — 17,64 мН/м, полярная составляющая — 54,87 мН/м. Анализ данных, приведенных в табл. 1, 2, свидетельствует, что введение глицерина в рецептуру золь-силикатной краски способствует снижению межфазного поверхностного натяжения и как результат лучшему смачиванию поверхности растворной подложки (табл. 1). Наблюдается увеличение коэффициента смачивания с 0,711 до 0,816 (табл. 2).

Однако экспериментально не удалось определить различие в прочности сцепления покрытия с подложкой, отрыв покрытия наблюдался по раствору.

Более полное смачивание поверхности подложки в случае применения золь-силикатной краски с добавкой глицерина способствует формированию более плотной структуры покрытия и повышению физико-механических свойств. Об этом свидетельствуют данные значений СЭП. Установлено, что покрытия на основе золь-силикатной краски с добавкой глицерина характеризуются не-

Табл. 1. Межфазная энергия поверхности «золь-силикатная краска – подложка»

Table 1. Interfacial energy of surface “sol-silicate paint – substrate”

Краска на основе / Paint based	Поверхностное натяжение, мН/м / Surface tension mN/m	Угол смачивания, град. / Wetting angle, degree	Работа адгезии, мН/м / Work of adhesion, mN/m	Работа когезии, мН/м / Work of cohesion, mN/m	Межфазная энергия поверхности, мН/м / Interfacial energy of surface, mN/m
Полисиликатного раствора / of polysili- cate solution	60,66	65	86,29	121,32	46,88
Полисиликатного раствора с добавлением глицерина / of polysili- cate solution with the addition of glycerin	66,18	50,66	108,132	132,36	30,558

Табл. 2. Работа смачивания золь-силикатной краски – подложки

Table 2. Work of wetting sol-silicate paint – substrate

Краска на основе / Paint based	Коэффициент смачивания / Wetting coefficient	Работа смачивания, мН/м / Work of wetting, mN/m
Полисиликатного раствора / of polysilicate solution	0,711	25,63
Полисиликатного раствора с добавлением глицерина / of polysilicate solution with the addition of glycerin	0,816	41,95

сколько большим значением СЭП, составляющей 72,43 мН/м, в то время как значение СЭП покрытия на основе контрольного состава (без глицерина) — 68,44 мН/м (рис. 1, 2, табл. 3). В обоих случаях преобладает полярная составляющая СЭП.

В процессе старения наблюдается изменение СЭП и отношение полярной к дисперсионной составляющей СЭП покрытия. Так, после увлажнения в течение 7 сут СЭП покрытия на основе золь-силикатной краски составило 61,69 мН/м, а покрытия на основе золь-силикатной краски с добавкой глицерина — 67,88 мН/м. Анализ экспериментальных данных, приведенных в табл. 3, свидетельствует, что уменьшение СЭП происходит за счет в основном уменьшения дисперсионной составляющей. Так, уменьшение после 7 сут увлажнения СЭП покрытия на основе золь-силикатной краски составило

8,003 мН/м, в т.ч. дисперсионной составляющей — 6,61 мН/м, уменьшение СЭП покрытия на основе золь-силикатной краски с глицерином — 4,54 мН/м, в т.ч. дисперсионной составляющей — 2,43 мН/м.

Покрyтия на основе золь-силикатной краски с добавкой глицерина характеризуются повышенной трещиностойкостью. Прочность при растяжении пленок краски на основе состава с глицерином составляет $R_p = 2,296$ МПа, а без добавки глицерина — 2,062 МПа. Пленки на основе состава с глицерином отличаются большей растяжимостью, составляющей 0,026 мм/мм, в то время как на основе контрольного состава (без глицерина) — 0,018 мм/мм. Модуль упругости пленки краски на основе состава с глицерином составляет $E = 0,1739 \cdot 10^4$ МПа, а на основе состава без глицерина — $0,2105 \cdot 10^4$ МПа (рис. 3).

Рис. 1. Функциональная зависимость вида $\cos\theta - 1 = f(1/\sigma_{\text{ж}})$ до испытаний покрытий на основе золь-силикатной краски: 1 — до испытаний; 2 — после 7 сут увлажнения

Fig. 1. Functional dependence of the view $\cos\theta - 1 = f(1/\sigma_{\text{ж}})$ before testing coatings based on sol-silicate paint: 1 — before the test; 2 — after 7 days of moistening

Рис. 2. Функциональная зависимость вида $\cos\theta - 1 = f(1/\sigma_{\text{ж}})$ до испытаний покрытий на основе золь-силикатной краски с добавкой глицерина: 1 — до испытаний; 2 — после 7 сут увлажнения

Fig. 2. Functional dependence of the view $\cos\theta - 1 = f(1/\sigma_{\text{ж}})$ before testing coatings based on sol-silicate paint with the addition of glycerin: 1 — before the test; 2 — after 7 days of moisturizing

Табл. 3. СЭП покрытий на основе золь-силикатной краски

Table 3. Free energy of surface of coatings based on sol-silicate paint

Покрытие на основе / Coverage based	СЭП, мН/м / Free energy of surface, mN/m	Дисперсионная составляющая СЭП, мН/м / Disper- sion component free energy of surface, mN/m	Полярная составляющая СЭП, мН/м / Polar component free energy of surface, mN/m	Отношение полярной к дисперсионной составляющей СЭП / Attitude of polar to dispersive component free energy of surface
Полисиликатного раствора / of polysili- cate solution	$\frac{69,69}{61,69}$	$\frac{28,7}{22,09}$	$\frac{40,99}{39,60}$	$\frac{1,42}{1,79}$
Полисиликатного раствора с добавлением глицерина / of polysili- cate solution with the addition of glycerin	$\frac{72,43}{67,88}$	$\frac{17,64}{15,21}$	$\frac{54,79}{52,67}$	$\frac{3,1}{3,46}$

Примечание: над чертой приведены значения СЭП до увлажнения, под чертой — после увлажнения

Note: above the line are the values of the free energy of the surface before moistening, below the line — after moistening

Рис. 3. Диаграмма «напряжение – деформация» для пленок на основе золь-силикатной краски: 1 — с добавкой глицерина; 2 — без добавки глицерина

Fig. 3. Diagram “stress – strain” for films based on sol-silicate paint: 1 — with the addition of glycerin; 2 — without glycerin additive

Было определено, что введение глицерина в рецептуру краски улучшает розлив краски и способствует повышению качества внешнего вида покрытий. Так, время розлива золь-силикатной краски на растворной подложке составляет 7 мин 20 сек, а при введении глицерина — 6 мин 15 сек. Уменьшается шероховатость поверхности покрытия. Шероховатость поверхности покрытия на основе золь-силикатной краски $R_a = 9,125$ мкм, а на основе золь-силикатной краски с добавкой глицерина — 6,207 мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют, что введение добав-

ки глицерина в рецептуру золь-силикатной краски способствует повышению качества внешнего вида и эксплуатационных свойств покрытий на ее основе. Установлено, что покрытия на основе золь-силикатной краски с добавкой глицерина характеризуются большим значением СЭП с преобладанием полярной составляющей СЭП. В процессе воздействия среды наблюдается уменьшение СЭП за счет в основном уменьшения дисперсионной составляющей. Введение глицерина в рецептуру золь-силикатной краски способствует снижению межфазного поверхностного натяжения, лучшему смачиванию поверхности растворной подложки и повышению работы адгезии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнеев В.И., Данилов В.В. Производство и применение растворимого стекла : Жидкое стекло. Л. : Стройиздат, Ленинградское отделение, 1991. 176 с.
2. Figovsky O., Beilin D. Improvement of strength and chemical resistance of silicate polymer concrete // International Journal of Concrete Structures and Materials. 2009. Vol. 3. Issue 2. Pp. 97–101. DOI: 10.4334/IJCSM.2009.3.2.097
3. Figovsky O., Borisov Yu., Beilin D. Nanostructured binder for acid-resisting building materials // Journal Scientific Israel-Technological advantages. 2012. Vol. 14. No. 1. Pp. 7–12.

4. Greenwood P. Modified silica sols: titania dispersants and co-binders for silicate paints // *Pigment & Resin Technology*. 2010. Vol. 39. Issue 6. Pp. 315–321. DOI: 10.1108/03699421011085803

5. Fediuk R.S., Garmashov I.S., Kuzmin D.E., Stoyushko N.Yu., Gladkova N.A. Processing of building binder materials to increase their activation // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 115 (1). P. 012045. DOI: 10.1088/1755-1315/115/1/012045

6. Akat'eva L.V., Ivanov V.K., Gladun V.D., Khol'kin A.I. Preparation of nanosized powders of calcium hydrosilicates for the use in composite materials // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2014. Vol. 48. Issue 4. Pp. 468–476. DOI: 10.1134/S0040579514040034

7. Kudina E.F., Barkanov E., Vinidiktova N.S. Use of nano-structured modifiers to improve the operational characteristics of pipelines' protective coatings // *Glass Physics and Chemistry*. 2016. Vol. 42. Issue 5. Pp. 512–517. DOI: 10.1134/S1087659616050072

8. Получение и применение гидрозолей кремнезема / под ред. Ю.Г. Фролова. М.: Труды МХТИ им. Д.И. Менделеева. 1979. 146 с.

9. Айлер Р. Химия кремнезема: в 2-х ч. М.: Мир, 1982. 416 с.

10. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Мажитов Е.Б. Разработка рецептуры золь-силикатной краски // *Региональная архитектура и строительство*. 2017. № 3 (32). С. 51–53.

11. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Мажитов Е.Б. Длительная прочность покрытий на основе золь-силикатной краски // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. Вып. 7 (118). С. 877–884. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.877-884

12. 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.

13. Строчкова В.В., Айзеница А.М., Сивальнева М.Н., Кобзев В.А., Нелубова В.В. Оценка активности наноструктурированных вяжущих термо-

динамическим методом // *Строительные материалы*. 2015. № 2. С. 3–9.

14. Kapusta M.N., Kobzev V.A., Nelubova V.V. Kinetics of mechanical activation during the manufacturing process of nanostructured binders // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 670–671. Pp. 412–416. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.670-671.412

15. Strokova V.V., Nelubova V.V., Sivalneva M.N., Kobzev V.A. Phytotoxicity analysis of different compositions of nanostructured binder // *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 761. Pp. 189–192. DOI: 10.4028/www.scientific.net/kem.761.189

16. Schuster J.M., Schvezov C.E., Rosenberger M.R. Construction and calibration of a goniometer to measure contact angles and calculate the surface free energy in solids with uncertainty analysis // *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2018. Vol. 87. Pp. 205–215. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2018.10.012

17. Tong J., Liu C.-H., Jing L.-Q., Liu H.-C., Zhang D. The molar surface Gibbs energy and its application 3: The aqueous solution of ionic liquids [C₃mim][OAc] (n = 3, 5) // *The Journal of Chemical Thermodynamics*. 2018. Vol. 127. Pp. 1–7. DOI: 10.1016/j.jct.2018.07.012

18. Sun X.X., Mei C.T., French A.D., Lee S., Wang Y., Wu Q.L. Surface wetting behavior of nanocellulose-based composite films // *Cellulose*. 2018. Vol. 25. Issue 9. Pp. 5071–5087. DOI: 10.1007/s10570-018-1927-8

19. Ferreira D.J.S., Bezerra B.N., Collyer M.N., Garcia A., Ferreira I.L. The use of computational thermodynamics for the determination of surface tension and Gibbs-Thomson coefficient of multicomponent alloys // *Continuum Mechanics and Thermodynamics*. 2018. Vol. 30. Issue 5. Pp. 1145–1154. DOI: 10.1007/s00161-018-0670-6

20. Wiącek A.E., Gozdecka A., Jurak M., Przykaza K., Terpilowski K. Wettability of plasma modified glass surface with bioglass layer in polysaccharide solution // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2018. Vol. 551. Pp. 185–194. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2018.04.061

Поступила в редакцию 12 сентября 2018 г.

Принята в доработанном виде 11 декабря 2018 г.

Одобрена для публикации 25 декабря 2018 г.

ОБ АВТОРАХ: Логанина Валентина Ивановна — доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой управления качеством и технологии строительного производства, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС), 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28, loganin@mail.ru;

Мажитов Еркебулан Бисенгалиевич — аспирант кафедры управления качеством и технологии строительного производства, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС), 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28, mazhitov201090@gmail.com.

REFERENCES

1. Korneev V.I., Danilov V.V. *Production and use of soluble glass: Liquid glass*. Leningrad, Stroyizdat, Leningrad Branch Publ., 1991; 176. (rus.).
2. Figovsky O., Beilin D. Improvement of strength and chemical resistance concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2009; 3(2):97-101. DOI: 10.4334 / IJCSM.2009.3.2.097
3. Figovsky O., Borisov Yu., Beilin D. Nanostructured binder for acid-resisting building materials. *Journal Scientific Israel-Technological advantages*. 2012; 14(1):7-12.
4. Greenwood P. Modified silica sols: titania dispersants and co-binders for silicate paints. *Pigment & Resin Technology*. 2010; 39(6):315-321. DOI: 10.1108 / 03699421011085803
5. Fediuk R.S., Garmashov I.S., Kuzmin D.E., Stoyushko N. Yu., Gladkova N.A. Processing of building binder materials to increase their activation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018; 115(1):012045. DOI: 10.1088/1755-1315/115/1/012045
6. Akat'eva L.V., Ivanov V.K., Gladun V.D., Khol'kin A.I. Preparation of nanosized powders of calcium hydrosilicates for the use in composite materials. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2014; 48(4):468-476. DOI: 10.1134 / S0040579514040034
7. Kudina E.F., Barkanov E., Vinidiktova N.S. Use of nano-structured modifiers to improve the operational characteristics of pipelines' protective coatings. *Glass Physics and Chemistry*. 2016; 42(5):512-517. DOI: 10.1134 / S1087659616050072
8. *Preparation and use of silica hydrosols* / ed. Yu.G. Frolova. Moscow, Proceedings of the Moscow Institute of Chemical Technology named after D.I. Mendeleev Publ., 1979; 146. (rus.).
9. Ailer P. *Chemistry of silica*. In 2 parts. Moscow, Mir Publ., 1982; 416. (rus.).
10. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov E.B. Development of formulation zolsilicate paint. *Regional architecture and engineering*. 2017; 3(32):51-53. (rus.).
11. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov E.B. Long-term strength of coatings based on sol-silicate paint. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2018; 13(7):877-884. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.877-884 (rus.).
12. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov E.B. Structure and properties of liquid glass with silicic acid sol. *Journal of Higher Educational Institutions. Building*. 2017; 8(704):74-79. (rus.).
13. Strokova V.V., Aizenshtadt A.M., Sival'neva M.N., Kobzev V.A., Nelubova V.V. Activity evaluation of nanostructured binders with using thermodynamic method. *Building materials*. 2015; 2:3-9. (rus.).
14. Kapusta M.N., Kobzev V.A., Nelubova V.V. Kinetics of mechanical activation during the manufacturing process of nanostructured binders. *Applied Mechanics and Materials*. 2014; 670-671:412-416. DOI: 10.4028 / www.scientific.net/amm.670-671.412
15. Strokova V.V., Nelubova V.V., Sivalneva M.N., Kobzev V.A. Phytotoxicity analysis of different compositions of nanostructured binder. *Key Engineering Materials*. 2018; 761:189-192. DOI: 10.4028 / www.scientific.net/kem.761.189
16. Schuster J.M., Schvezov C.E., Rosenberger M.R. Construction and calibration of a goniometer to measure contact angles and calculate the surface free energy in solids with uncertainty analysis. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2018; 87:205-215. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2018.10.012
17. Tong J., Liu C.-H., Jing L.-Q., Liu H.-C., Zhang D. The molar surface Gibbs energy and its application 3: The aqueous solution of ionic liquids [C mim] [OAc](n = 3, 5). *The Journal of Chemical Thermodynamics*. 2018; 127:1-7. DOI: 10.1016/j.jct.2018.07.012
18. Sun X.X., Mei C.T., French A.D., Lee S., Wang Y., Wu Q.L. Surface wetting behavior of nanocellulose-based composite films. *Cellulose*. 2018; 25(9):5071-5087. DOI: 10.1007/s10570-018-1927-8
19. Ferreira D.J.S., Bezerra B.N., Collyer M.N., Garcia A., Ferreira I.L. The use of computational thermodynamics for the determination of surface tension and Gibbs-Thomson coefficient of multicomponent alloys. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*. 2018; 30(5):1145-1154. DOI: 10.1007/s00161-018-0670-6
20. Wiącek A.E., Gozdecka A., Jurak M., Przykaza K., Terpiłowski K. Wettability of plasma modified glass surface with bioglass layer in polysaccharide solution. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2018; 551:185-194. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2018.04.061

Received September 12, 2018.

Adopted in a modified form on December 11, 2018.

Approved for publication December 25, 2018.

ABOUT THE AUTHORS: **Valentina I. Loganina** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Quality Management and Technology of Construction Production, **Penza State University of Architecture and Construction**, 28 Germana Titova st., Penza, 440028, Russian Federation, loganin@mail.ru;

Erkebulan B. Mazhitov — postgraduate student of the Department of Quality Management and Technology of Construction Production, **Penza State University of Architecture and Construction**, 28 Germana Titova st., Penza, 440028, Russian Federation, mazhitov201090@gmail.com.