ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЗОЛЬ-СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ

В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов

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

АННОТАЦИЯ: обоснованы предпосылки применения золь-силикатных красок для отделки наружных стен зданий. Рассмотрены золь-силикатные краски, полученные смешиванием золя кремниевой кислоты с жидким стеклом. Изучены особенности формирования структуры полисиликатных растворов.

Предмет исследования: долговечность покрытия на основе силикатных красок.

Цели: оценка длительной прочности покрытий на основе калиевого жидкого стекла и калиевого полисиликатного раствора.

Материалы и методы: силикатная и золь-силикатная краски. 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. Для определения длительной прочности образцы размером 10 × 30 мм вырезали из свободной лакокрасочной пленки. Для оценки параметров энергии активации проводили серии экспериментов измерения долговечности при различных постоянных температурах и напряжениях.

Результаты: более высокое значение энергии активации и меньшее значение структурно-чувствительного фактора для покрытий на основе полисиликатного раствора свидетельствует об их большой прочности и долговечности. При увлажнении наблюдается снижение энергии активации разрушения, более значительное у покрытий на основе калиевого жидкого стекла и увеличение структурно-чувствительного коэффициента.

Выводы: проведены исследования по оценке длительной прочности покрытий на основе силикатных красок. Установлено, что энергия активации разрушения покрытий на основе полисиликатных растворов выше по сравнению с энергией активации разрушения покрытий на основе жидкого стекла. Рассчитаны значения структурно-чувствительного фактора. Результаты проведенных исследований и расчетов свидетельствуют о более высокой стойкости покрытий на основе калиевого полисиликатного раствора.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: золь-силикатная краска, покрытия, длительная прочность, напряжения

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: 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

LONG-TERM STRENGTH OF COATINGS BASED ON SOL-SILICATE PAINT

V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, E.B. Mazhitov

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

ABSTRACT: Subject: durability of coating based on silicate paints. The article substantiates the prerequisites for using sol-silicate paints for finishing exterior walls of buildings. Sol-silicate paints obtained by mixing the sol of silicic acid with sodium liquid glass are considered. The features of formation of the structure of polysilicate solutions have been studied.

Materials and methods: silicate and sol silicate paints. Polysilicate solutions were obtained by the interaction of stabilized solutions of colloidal silica (sols) with aqueous solutions of alkaline silicates (liquid glasses). The sol of the silicic acid Nanosil 20 and Nanosil 30 was used. For determining the long-term strength, samples measuring 10 × 30 mm were cut from a free paint and varnish film. To evaluate the parameters of the activation energy, a series of experiments were performed to measure the longevity at various constant temperatures and stresses.

Results: a higher value of the activation energy and a lower value of the structure-sensitive factor for coatings based on a polysilicate solution indicate their great strength and durability. When coatings are wetted, a decrease in the activation energy of destruction is observed, and it is more significant in coatings based on potassium liquid glass, and an increase in the structure-sensitive coefficient is also observed.

Conclusions: studies have been carried out to evaluate the long-term strength of coatings based on silicate paints. It has been established that the activation energy of destruction of coatings based on polysilicate solutions is higher than the activation energy of destruction of coatings based on liquid glass. The values of the structure-sensitive factor are calculated. The results of the conducted studies and calculations indicate a higher resistance of coatings based on the potassium polysilicate solution.

KEY WORDS: sol-silicate paint, coatings, long-term strength, stresses

FOR CITATION: Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov E.B. Dlitel'naya prochnost' pokrytiy na osnove zol'-silikatnoy kraski [Long-term strength of coatings based on sol-silicate paint]. Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2018, vol. 13, issue 7 (118), pp. 877–884. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.877-884

ВВЕДЕНИЕ

Проблема надежности и долговечности защитно-декоративных покрытий наружных стен зданий — одна из актуальных научно-технических задач в области строительного материаловедения. Известно, что долговечность покрытий зависит от типа связующего, технологии нанесения красочного состава, условий эксплуатации и т.д. [1–3]. В практике отделочных работ хорошо зарекомендовали себя силикатные краски, представляющие собой суспензию пигментов и наполнителей в жидком стекле калия. Для повышения эксплуатационных характеристик покрытий на основе силикатных красок важна разработка методов модифицирования жидкого стекла. Анализ патентной и научно-технической литературы показывает, что одним из способов модификации является введение кремнийорганических соединений в состав связующего вещества. Представляет интерес использование в силикатных красках полисиликатов в качестве пленкообразующих веществ, которые обеспечивают более высокие эксплуатационные свойства покрытий. Полисиликаты характеризуются широким диапазоном степени полимеризации анионов и являются дисперсиями коллоидного кремнезема в водном растворе силикатов щелочных металлов. Однако в настоящее время не исследованы вопросы длительной прочности покрытий на основе золь-силикатных красок.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В настоящее время для отделки фасадов зданий большое применение получили вододисперсионные, алкидные, силикатные красочные составы. Силикатным покрытиям свойственна высокая паропроницаемость, они отличаются незначительным прилипанием пыли и грязи, огнезащитными свойствами, экологичностью, более широкой и насыщенной цветовой гаммой, устойчивостью к действию микроорганизмов [4–6]. Однако покрытиям на основе силикатных красок присуща низкая трещиностойкость. В работах [7–11] предложено использовать в качестве связующего в силикатных красках полисиликатные растворы, имеющие силикатный модуль от 4 до 25.

Нами разработан состав краски на основе полисиликатного связующего, полученного смешиванием жидкого стекла с золей кремниевой кислоты [12, 13]. Было установлено, что покрытия на

основе полисиликатных растворов характеризуются более быстрым отверждением, а пленки обладают более высокой когезионной прочностью. Прочность при растяжении пленки на основе калиевого жидкого стекла составляет $R_p = 0,392$ МПа, а прочность при растяжении пленки на основе полисиликатного раствора (15 % Nanosil 20) — 1,1345 МПа. Увеличение прочности, на наш взгляд, обусловлено увеличением доли высокополимерных фракций кремнекислородных анионов (ККА) в структуре полисиликатного связующего по сравнению с жидким стеклом. Для изучения структуры жидких стекол применяли молибдатный метод, основанный на различной скорости взаимодействия мономерных, олигомерных и полимерных ККА с молибденовой кислотой^{1,2} [–14, 15]. Нами установлено, что с увеличением содержания золя доля полимерной формы кремнезема возрастает. В калиевом полисиликатном растворе содержание полимерной формы кремнезема γ -SiO₂ составляет 19,93 % при содержании золя 15 %, а в калиевом жидком стекле — 2,511 %. В продолжении дальнейших исследований была проведена оценка температурно-временной зависимости прочности покрытий на основе золь-силикатной краски.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

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, выпускаемые ПК «Промстеклоцентр», и калиевое жидкое стекло с модулем $M = 3,29$. В качестве наполнителя использовали микрокальцит марки МК-2 (ТУ 5743-001-91892010-2011) и тальк марки МТ-ГШМ (ГОСТ 19284-79), в качестве пигмента — диоксид титана 230 рутильной формы (ТУ 2321-001-1754-7702-2014).

¹ РД 52.24.433-2005 от 30.06.2005. Массовая концентрация кремния в поверхностных водах суши. Методика выполнения измерений фотометрическим методом в виде желтой формы молибдокремниевой кислоты // ГУ ГХИ. 2005. 13 с.

² ПНД Ф 14.1: 2: 4.215-06. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации кремнекислоты (в пересчете на кремний) в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом в виде желтой кремнемолибденовой гетерополиокислоты. М., 2006.

Температурно-временная зависимость прочности лакокрасочных материалов может быть записана на уравнении Журкова [16–20]

$$\tau = \tau_0 \exp[(U_0 - \gamma\sigma)/RT], \quad (1)$$

где γ — структурно-чувствительный фактор, характеризующий перенапряжение связей в структуре материала; U_0 — энергия активации процесса разрушения; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Для определения длительной прочности образцы размером 10×30 мм вырезали из свободной

лакокрасочной пленки. Для оценки параметров U_0 , γ осуществляли серии экспериментов измерения долговечности при различных температурах и напряжениях.

Испытания проводились при температурах 20, 40 и 60 °С. Определение U_0 , γ , τ выполняли графическим методом. Взяв за основу веер прямых в координатах $\lg \tau - \sigma$, находили точку пересечения ординаты с графиком $\lg \tau(\sigma)$ и использовали их для построения второго веера прямых в координатах $\lg \tau - 1/T$ при фиксированных значениях σ . По наклону полученных прямых вычисляли энергию актива-

Рис. 1. Температурная зависимость $\lg \tau(\sigma)$: a — покрытие на основе калиевого жидкого стекла; b — покрытие на основе калиевого полисиликатного раствора; 1 — напряжение $\sigma = 0,14$ МПа; 2 — напряжение $\sigma = 0,28$ МПа; 3 — напряжение $\sigma = 0,42$ МПа; 4 — напряжение $\sigma = 0,56$ МПа

Figure 1. The temperature dependence of $\lg \tau(\sigma)$: a — coating based on potassium liquid glass; b — coating based on potassium polysilicate solution; 1 — stress $\sigma = 0,14$ МПа; 2 — stress $\sigma = 0,28$ МПа; 3 — stress $\sigma = 0,42$ МПа; 4 — stress $\sigma = 0,56$ МПа

ции процессов разрушения $U_\sigma - \sigma$. Экстраполируя к $\sigma = 0$, получали значение U_o и по наклону прямых определяли значение γ .

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Были рассчитаны значения энергии активации процесса разрушения и структурно-чувствительного фактора для силикатных и золь-силикатных покрытий.

На рис. 1–3 в полулогарифмических координатах приведена экспериментальная зависимость длительной когезионной прочности покрытий от величины напряжений и температуры для исследуемых покрытий. Значения структурно-чувствительного фактора и энергии активации процесса разрушения покрытий приведены в табл. 1.

Анализ данных табл. 1 показывает, что энергия активации когезионного разрушения покрытий уменьшается при увеличении напряжений, дейс-

Рис. 2. Зависимость длительной прочности покрытий от напряжений: *a* — покрытие на основе калиевого жидкого стекла; *b* — покрытие на основе калиевого полисиликатного раствора; 1 — при температуре 20 °С; 2 — при температуре 40 °С; 3 — при температуре 60 °С

Figure 2. Dependence of the long-term strength of coatings on stresses: *a* — coating based on potassium liquid glass; *b* — coating based on potassium polysilicate solution; 1 — at temperature of 20 °C; 2 — at temperature of 40 °C; 3 — at temperature of 60 °C

Рис. 3. Значения энергии активации процесса разрушения покрытий в зависимости от напряжений: 1 — покрытие на основе калиевого жидкого стекла; 2 — покрытие на основе калиевого полисиликатного раствора

Figure 3. Values of the activation energy of the process of destruction of coatings depending on stresses: 1 — coating based on potassium liquid glass; 2 — coatings based on potassium polysilicate solution

Табл. 1. Значения U и γ силикатных и золь-силикатных покрытий

Table 1. Values of U and γ for silicate and sol-silicate coatings

Вид покрытия / Type of coating	U_o , кДж/моль / U_o , kJ/mol	γ
На основе силикатной краски / Based on silicate paint	84	11,14
На основе золь-силикатной краски / Based on sol-silicate paint	87	8,55

твующих на покрытия. Более высокое значение энергии активации и меньшее значение структурно-чувствительного фактора для покрытий на основе полисиликатного раствора свидетельствует об их большой прочности и долговечности.

Длительность сохранения когезионной прочности покрытий в процессе эксплуатации определяется также стойкостью к периодическому воздействию факторов среды: увлажнению — высушиванию, замораживанию — оттаиванию и т.д. В связи с этим было оценено влияние увлажнения на изменение длительности сохранения когезионной прочности. С этой целью увлажненные образцы пленок подвергались растяжению. Результаты исследований приведены на рис. 4. Как видно из

рис. 4, при увлажнении графическая зависимость логарифма времени сохранения когезионной прочности изображается двумя прямолинейными участками. В области напряжений $\sigma > \sigma_{кр}$ наблюдается участок, совпадающий с линейной зависимостью $\lg t(\sigma)$. При испытании покрытий, подвергающихся увлажнению, при $\sigma < \sigma_{кр}$ появляется другой участок, отклоняющийся от этой исходной кривой, что, видимо, обусловлено наложением двух процессов: термофлуктуационного накопления повреждений и действия влаги. Более высокое значение $\sigma_{кр}$, равное $\sigma_{кр} = 0,56$ МПа для покрытий на основе полисиликатного связующего, свидетельствует о большей стойкости покрытий на основе золь-силикатной краски к действию влаги.

Рис. 4. Зависимость длительной прочности покрытий от напряжений в увлажненном состоянии при температуре 20 °С: 1 — покрытие на основе калиевого жидкого стекла; 2 — покрытие на основе калиевого полисиликатного раствора

Figure 4. Dependence of the long-term strength of coatings on stresses in the moistened state at temperature of 20 °C: 1 — coating based on potassium liquid glass; 2 — coating based on potassium polysilicate solution

ВЫВОДЫ

Проведены исследования по оценке длительной прочности покрытий на основе силикатных красок. Установлено, что энергия активации разрушения покрытий на основе полисиликатных растворов

выше по сравнению с энергией активации разрушения покрытий на основе жидкого стекла. Рассчитаны значения структурно-чувствительного фактора. Результаты проведенных исследований и расчетов свидетельствуют о более высокой стойкости покрытий на основе калиевого полисиликатного раствора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухарева Л.А. Долговечность полимерных покрытий. М. : Химия, 1984. 234 с.
2. Рейбман А.И. Защитные лакокрасочные покрытия. 5-е изд. Л., 1982. 320 с.
3. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. Л. : Химия, 1981. 352 с.
4. Krizaj L. Application of silicate paints in the restoration of historical buildings: chapel of st. Anthony of padua in Hrsak Breg // Portal-Godisnjak hrvatskog restauratorskog zavoda. 2016. No. 7. Pp. 275–285. DOI: 10.17018/portal.2016.17.
5. Tryba B., Wrobel R.J., Homa P., Morawski A.W. Improvement of photocatalytic activity of silicate paints by removal of K₂SO₄ // Atmospheric Environment. 2015. No. 115. Pp. 47–52. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.05.047.
6. Goodarzi I.M., Farzam M., Shishesaz M.R., Zaa-rei D. Eco-Friendly, Acrylic Resin-Modified Potassium Silicate as Water-Based Vehicle for Anticorrosive Zinc-Rich Primers // Journal of Applied Polymer Science. 2014. No. 131 (12). DOI: 10.1002/app.40370.
7. Корнеев В.И., Данилов В.В. Производство и применение растворимого стекла. Жидкое стекло. Л. : Стройиздат, 1991. 176 с.
8. Получение и применение гидрозолей кремнезема: сб. статей / под ред. Ю.Г. Фролова. М. : МХТИ им. Д.И. Менделеева. 1979. 146 с.
9. Figovsky O.L., Beilin D.A. 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. DOI: 4334/IJCSM.2009.3.2.097.
10. Figovsky O.L., Borisov Yu., Beilin D.A. Nano-structured Binder for Acid-Resisting Building Materials // Journal Scientific Israel-Technological Advantages. 2012. Vol. 14. No. 1. Pp. 7–12.
11. Kudryavtsev P.G. Alkoxides of Chemical Elements — Promising Class of Chemical Compounds

which are Raw Materials for Hi-Tech industries // Journal Scientific Israel-Technological Advantages. 2014. Vol. 16. No. 1–2. Pp. 147–170.

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

13. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Демьянова В.С., Мажитов Е.Б. Свойства модифицированного связующего для силикатных красок // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 4 (33). С. 17–23.

14. Grasshoff K. On the determination of silica in sea water // Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts. 1964. Vol. 11. Issue 4. Pp. 597–604. DOI: 10.1016/0011-7471(64)90004-X.

15. Mullin J.B., Riley J.P. The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and

natural water // Analytica Chimica Acta. 1955. Vol. 12. Pp. 162–176. DOI: 10.1016/s0003-2670(00)87825-3.

16. Журков С.Н., Томашевский Э.Е. Исследование прочности твердых тел // Журнал технической физики. 1955. Т. 25. С. 66.

17. Журков С.Н., Нарзулаев Б.Н. Временная зависимость твердых тел // Журнал технической физики. 1953. Т. 23. Вып. 10. С. 1677–1688.

18. Журков С.Н., Санфирова Т.П. Температурно-временная зависимость прочности чистых металлов // Доклады Академии наук СССР. 1955. Т. 101. С. 237–240.

19. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности тел // Успехи физических наук. 1972. Т. 106. № 2. С. 193–228. DOI: 10.3367/UFNr.0106.197202a.0193.

20. Бокицкий М.Н. Длительная прочность полимеров. М.: Химия, 1978. 309 с.

Поступила в редакцию 4 января 2017 г.

Принята в доработанном виде 5 апреля 2018 г.

Одобрена для публикации 14 июня 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;

Кислицына Светлана Николаевна — кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительных материалов и деревообработки, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС), 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28, kislitsyna_sn@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. Sukhareva L.A. *Dolgovechnost' polimernykh pokrytiy* [Durability of polymer coatings]. Moscow, Chemistry Publ., 1984, 236 p. (In Russian)

2. Reibman A.I. *Zashchitnye lakokrasochnye pokrytiya* [Protective paint and varnish coatings]. 5 ed. Leningrad, 1982, 320 p. (In Russian)

3. Yakovlev A.D. *Khimiya i tekhnologiya lakokrasochnykh pokrytiy* [Chemistry and technology of paint coatings]. Leningrad, Chemistry Publ., 1981, 352 p. (In Russian)

4. Krizaj L. Application of silicate paints in the restoration of historical buildings: chapel of st. Anthony of padua in Hrsak Breg. *Portal-Godisnjak hrvatskog restoratorskog zavoda*. 2016, no. 7, pp. 275–285. DOI: 10.17018/portal.2016.17.

5. Tryba B., Wrobel R.J., Homa P., Morawski A.W. Improvement of photocatalytic activity of silicate paints by removal of K₂SO₄. *Atmospheric Environment*. 2015, no. 115, pp. 47–52. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.05.047.

6. Goodarzi I.M., Farzam M., Shishesaz M.R., Zaarei D. Eco-friendly, acrylic resin-modified potassium silicate as water-based vehicle for anticorrosive zinc-rich primers. *Journal of Applied Polymer Science*. 2014, no. 131 (12). DOI: 10.1002/app.40370.

7. Korneev V.I., Danilov V.V. *Proizvodstvo i primeneniye rastvorimogo stekla: Zhidkoe ste* [Production and application of soluble glass. Liquid glass]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1991, 176 p. (In Russian)

8. Frolova Yu.G. ed. *Poluchenie i primeneniye gidrozoley kremnezema* [Preparation and use of silica hydrosols]. *Moskovskiy khimiko-tekhnologicheskii institut (MKhTI) imeni D.I. Mendeleeva* [Moscow Institute of chemical technology (MKhTI) named after D.I. Mendeleev]. Moscow, 1979, 146 p. (In Russian)

9. Figovsky O.L., Beilin D.A. 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. DOI: 4334/IJCSM.2009.3.2.097.

10. Figovsky O.L., Borisov Yu., Beilin D.A. Nano-structured binder for acid-resisting building materials. *Journal Scientific Israel-Technological Advantages*. 2012, vol. 14, no. 1, pp. 7–12.

11. Kudryavtsev P.G. Alkoxides of Chemical Elements — Promising Class of Chemical Compounds which are Raw Materials for Hi-Tech industries. *Journal Scientific Israel-Technological Advantages*. 2014, vol. 16, no. 1–2, pp. 147–170.

12. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov E.B. Razrabotka retseptury zol'-silikatnoy kraski [Development of formulation of silicate paint]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional architecture and engineering]. 2017, no. 3 (32), pp. 51–53. (In Russian)

13. 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* [Regional architecture and engineering]. 2017, no. 4 (33), pp. 17–23. (In Russian)

14. Grasshoff K. On the determination of silica in sea water. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*. 1964, vol. 11, issue 4, pp. 597–604. DOI: 10.1016/0011-7471(64)90004-X.

15. Mullin J.B., Riley J.P. The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and

natural water. *Analytica Chimica Acta*. 1955, vol. 12, pp. 162–176. DOI: 10.1016/s0003-2670(00)87825-3.

16. Zhurkov S.N., Tomashevsky E.E. Issledovanie prochnosti tverdykh tel [Investigation of the strength of solid bodies]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki* [Journal of Technical Physics]. 1955, vol. 25, pp. 66. (In Russian)

17. Zhurkov S.N., Narzulaev B.N. Vremennaya zavisimost' tverdykh tel [Time dependence of solids]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki* [Journal of Technical Physics]. 1953, vol. 23, issue 10, pp. 1677–1688. (In Russian)

18. Zhurkov S.N., Sanfirova T.P. Temperaturno-vremennaya zavisimost' prochnosti chistyykh metall-ov [Temperature-time dependence of the strength of pure metals]. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Reports of the Academy of Sciences of the USSR]. 1955, vol. 101, pp. 237–240. (In Russian)

19. Regel V.R., Slutsker A.I., Tomashevsky E.E. Kineticheskaya priroda prochnosti tel [The kinetic nature of the strength of solids]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)]. 1972, vol. 106, no. 2, pp. 193–228. DOI: 10.3367/UfNr.0106.197202a.0193. (In Russian)

20. Bokshitsky M.N. *Dlitel'naya prochnost' polimerov* [Long-term strength of polymers]. Moscow, Chemistry Publ., 1978, 309 p. (In Russian)

Received January 4, 2017.

Adopted in final form on April 5, 2018.

Approved for publication on June 14, 2018.

ABOUT THE AUTHORS: **Loganina Valentina Ivanovna** — Doctor of technical Sciences, professor, head. Department “Quality Management and construction production technologies”, **Penza State University of architecture and construction**, 28 st. Germana Titova, Penza, 440028, Russian Federation, loganin@mail.ru;

Kislitsyna Svetlana Nikolaevna — Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department “Technology of building materials and wood processing”, **Penza State University of architecture and construction**, 28 st. Germana Titova, Penza, 440028, Russian Federation, kislitsyna_sn@mail.ru;

Mazhitov Erkebulan Bisengalieva — Postgraduate Student of the Department “Quality Management and construction technologies”, **Penza State University of architecture and construction**, 28 st. Germana Titova, Penza, 440028, Russian Federation, mazhitov201090@gmail.com.