

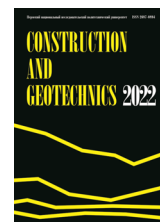


**пермский  
политех**

**CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS**

**Т. 14, № 3, 2023**

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



DOI: 10.15593/2224-9826/2023.3.05

УДК 691-408

## **ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ К ОТСЛАИВАНИЮ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ШЕРОХОВАТОСТИ ЦЕМЕНТНОЙ ПОДЛОЖКИ**

**М.В. Арискин, М.А. Светалкина, В.И. Логанина**

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия

### **О СТАТЬЕ**

Получена: 13 марта 2023

Одобрена: 22 июня 2023

Принята к публикации:  
24 июля 2023

#### **Ключевые слова:**

покрытия, напряжения,  
концентрация, шероховатость  
подложки, отслаивание.

### **АННОТАЦИЯ**

Объект исследования – лакокрасочные покрытия цементных бетонов. Цель – оценить напряженно-деформированное состояние покрытий при действии температуры в зависимости от геометрии рельефа шероховатости подложки. Приведены результаты расчета распределения напряжений по сечению покрытий и возможности их отслаивания. Для расчета применялся программный модуль SCAD Office. В качестве подложки рассматривался тяжелый бетон. В качестве красочного состава применяли поливинилацетатцементную краску. Расчеты проводились для условий г. Москвы. Приведено сравнение значений напряжений в покрытии на гладкой и шероховатой поверхности подложки. Выявлено, что увеличение угла рельефа шероховатости поверхности подложки не вызывает значительного изменения величины напряжений. Установлена концентрация напряжений в зоне контакта покрытия с шероховатой поверхностью цементной подложки. Приведена эпюра распределения напряжений в поливинилацетатцементном покрытии. Выявлено, что на некотором расстоянии от зоны микровпадины рельефа поверхности подложки наблюдается увеличение напряжений, составляющих в зависимости от угла наклона рельефа  $\sigma_x = (1,007–1,021)$  МПа. На пике рельефа значения напряжений в зоне контакта меньше и составляют 0,403–0,441 МПа. Влияние шероховатости подложки практически не сказывается на значениях нормальных напряжений на поверхности покрытия, составляющих 0,835–1,001 МПа. Оценена вероятность отслаивания покрытия. Установлена возможность отслаивания покрытия, так как значения напряжений меньше прочности сцепления, составляющей 0,9–1,1 МПа. Рекомендовано в целях повышения стойкости покрытий к отслаиванию стремиться к созданию равномерно распределенной шероховатости поверхности подложки.

© ПНИПУ

© **Арискин Максим Васильевич** – кандидат технических наук, доцент, e-mail: m.v.ariskin@mail.ru.

**Светалкина Мария Анатольевна** – кандидат технических наук, доцент, e-mail: adikaevka\_01@mail.ru.

**Логанина Валентина Ивановна** – доктор технических наук, профессор, e-mail: loganin@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7532-0074.

**Maxim V. Ariskin** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: m.v.ariskin@mail.ru.

**Maria A. Svetalkina** – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: adikaevka\_01@mail.ru.

**Valentina I. Loganina** – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: loganin@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7532-0074.

## EVALUATION OF PEEL RESISTANCE OF PAINT COATINGS DEPENDING ON THE ROUGHNESS OF THE CEMENT SUBSTRATE

M.V. Ariskin, M.A. Svetalkina, V.I. Loganina

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

---

### ARTICLE INFO

Received: 13 March 2023

Approved: 22 June 2023

Accepted for publication:  
24 July 2023

#### Keywords:

paint coatings, substrate roughness,  
internal stresses, crack resistance.

### ABSTRACT

The object of the study is paint and varnish coatings of cement concrete. The goal is to evaluate the stress-strain state of coatings under the action of temperature depending on the geometry of the substrate roughness relief. The results of calculating the distribution of stresses over the cross section of the coatings and the possibility of their peeling are presented. The SCAD Office software module was used for the calculation. Heavy concrete was considered as the substrate. Polyvinyl acetate cement PVAC paint was used as a paint composition. The calculations were carried out for the conditions of Moscow. A comparison is made of the stresses in the coating on a smooth and rough surface. It has been found that an increase in the relief angle of the substrate surface roughness does not cause a significant change in the magnitude of stresses. The stress concentration in the zone of contact between the coating and the rough surface of the cement substrate has been established. A diagram of the distribution of stresses in the PVAC coating is presented. It was revealed that at some distance from the zone of the microdepression of the substrate surface relief, an increase in stresses is observed, which, depending on the angle of inclination of the relief, are  $\sigma_x = (1.007-1.021)$  MPa. At the peak of the relief, the stress values in the contact zone are less and amount to 0.403–0.441 MPa. The influence of the substrate roughness has practically no effect on the values of normal stresses on the coating surface, which are 0.835–1.001 MPa. The probability of peeling off the coating is estimated. The possibility of peeling of the coating has been established, tk. stress values are less than the adhesion strength, which is 0.9–1.1 MPa. It is recommended that in order to increase the resistance of coatings to peeling, strive to create a uniformly distributed roughness of the substrate surface.

© PNRPU

---

## Введение

Одним из распространенных видов отделки фасадов зданий является окраска и отделка декоративными штукатурными смесями [1–4]. Срок службы отделочных покрытий фасадов зданий составляет в среднем 5–8 лет, однако разрушение наступает значительно раньше вследствие их растрескивания и отслаивания. Удельный вес таких дефектов составляет 22,6–66,6 %. В подавляющем большинстве случаев причиной самопроизвольного растрескивания или отслаивания покрытий являются внутренние напряжения, возникающие в них на стадии формирования и последующей эксплуатации [5–8]. Внутренние напряжения резко ослабляют когезионную и адгезионную прочность, ускоряя тем самым деструктивные физико-химические процессы, вызывающие преждевременное разрушение при эксплуатации [9–11]. Внутренние напряжения в значительной степени определяются характером шероховатости подложки [12–14]. Шероховатость твердой поверхности характеризуется ее микрорельефом, который обычно представляет сложное хаотичное чередование разнообразных выступов и впадин.

Исследованию процессов, развивающихся в системе «подложка – покрытие» в процессе эксплуатации, посвящены многочисленные публикации [15–17]. В работах [18–22] установлено, что адгезия покрытия основана на зависимости адгезии от интегральной площади контакта покрытия с основой и что зависимость площади отслаивания от шероховатости поверхности подложки носит экспоненциальный характер.

Параметры шероховатости поверхности  $R_a$  и  $R_z$  не дают полной картины формы микрорельефа и его влияния на напряженное состояние лакокрасочного материала. Для полной

оценки влияния микрорельефа подложки необходимо также изучение влияния угла наклона высоты пиков  $R_{pk}$  и впадин  $R_{vk}$ , которые характеризуют рельеф в локальной области, на равномерность распределения напряжения в лакокрасочном покрытии по сечению покрытия.

## Материалы и методика исследований

В качестве подложек рассматривался тяжелый бетон, характеризующийся значением коэффициента линейного температурного расширения (КЛТР), равным  $10,0 \cdot 10^{-6}$  1/град. В качестве красочного состава применяли поливинилацетатцементную (ПВАЦ) краску, значение коэффициента линейного температурного расширения КЛТР покрытия составляло  $17,0 \cdot 10^{-6}$  1/град. Толщина покрытия составляла 1 мм. Расчеты проводились для условий г. Москвы. Расчет был выполнен с помощью программного модуля SCAD Office. Расчетная модель представляет из себя конечные элементы оболочки с размером  $0,1 \times 0,1$  мм. Граничные условия прикладывались к противоположным краям подложки от лакокрасочного слоя и ограничивали перемещения по всем шести возможным направлениям. Для предотвращения влияния заделки на напряжённо-деформированное состояние (далее – НДС) в лакокрасочном слое и в области контакта с подложкой граничные условия располагались на расстоянии не менее чем пять толщин лакокрасочного состава. Моделирование рельефа в подложке выполнялось путем ведения дополнительных элементов треугольной формы. Исследования проводились по нескольким схемам, а именно: тип схемы *a* – угол при вершине рельефа шероховатости подложки составлял  $90^\circ$ ; тип схемы *б* – угол при вершине рельефа шероховатости подложки составлял  $120^\circ$  (рис. 1). Моделировалась равномерно распределенная шероховатость поверхности подложки, при этом высота пиков составляла 0,2–0,3 мм.

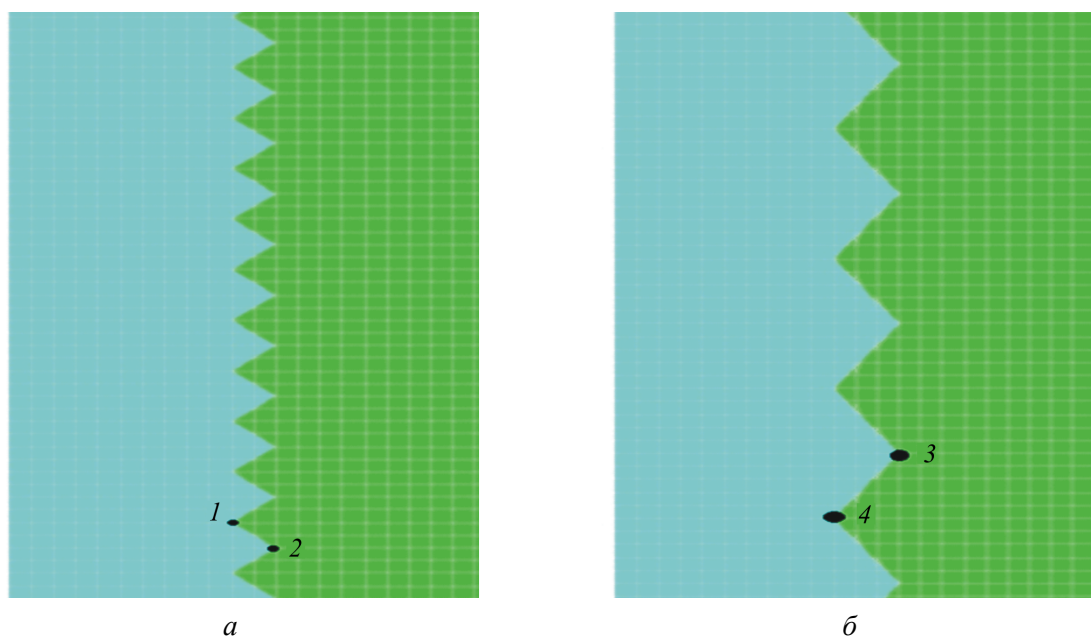


Рис. 1. Схемы расчета напряженного состояния покрытия: *a* – угол при вершине рельефа шероховатости подложки составляет  $90^\circ$ ; *б* – угол при вершине рельефа шероховатости подложки составляет  $120^\circ$ , 1, 2, 3, 4 – точки, в которых контролировалось изменение температурных напряжений

Fig. 1. Schemes for calculating the stress state of the coating: *a* – the angle at the top of the substrate roughness relief is  $90^\circ$ ; *б* – the angle at the top of the substrate roughness relief is  $120^\circ$ , 1, 2, 3, 4 – points where the change in temperature stresses was controlled

## Результаты исследований

Результаты расчета приведены на рис. 2 и 3.

Анализ данных, приведенных на рис. 3, свидетельствует, что наблюдается увеличение значений нормальных напряжений в зоне контакта покрытия с подложкой (микровпадина), составляющее в зависимости от угла наклона рельефа  $\sigma_x = (1,007-1,021)$  МПа. На пике рельефа значения напряжений в зоне контакта меньше и составляют 0,403–0,441 МПа. Увеличение угла рельефа не вызывает значительного изменения величины напряжений при данных значениях шероховатости и толщине покрытия. На гладкой поверхности напряжения в зоне контакта с подложкой составляют 1,366 МПа, что несколько больше, чем на шероховатой подложке. Влияние шероховатости подложки практически не сказывается на значениях нормальных напряжений на поверхности покрытия, составляющих 0,835–1,001 МПа.

Полученные результаты свидетельствует о влиянии шероховатости поверхности подложки на значения нормальных напряжений в лакокрасочном покрытии в зоне контакта с поверхностью подложки и о неравномерности распределения напряжения по толщине покрытия.

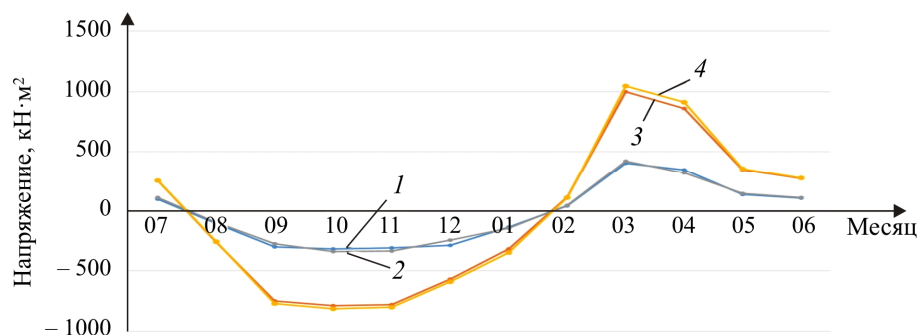


Рис. 2. Изменение температурных напряжений в ПВАЦ покрытии в течение года в г. Москве:  
 1 – в точке 1 (схема а); 2 – в точке 4 (схема б); 3 – в точке 2 (схема а); 4 – в точке 3 (схема б)

Fig. 2. Change in temperature stresses in PVAC coating during the year in Moscow:  
 1 – at point 1 (scheme a); 2 – at point 4 (scheme b); 3 – at point 2 (scheme a); 4 – at point 3 (scheme b)

Примечание: в рис. 2, 3 номера точек взяты из рис. 1, схемы а, б – также из рис. 1.

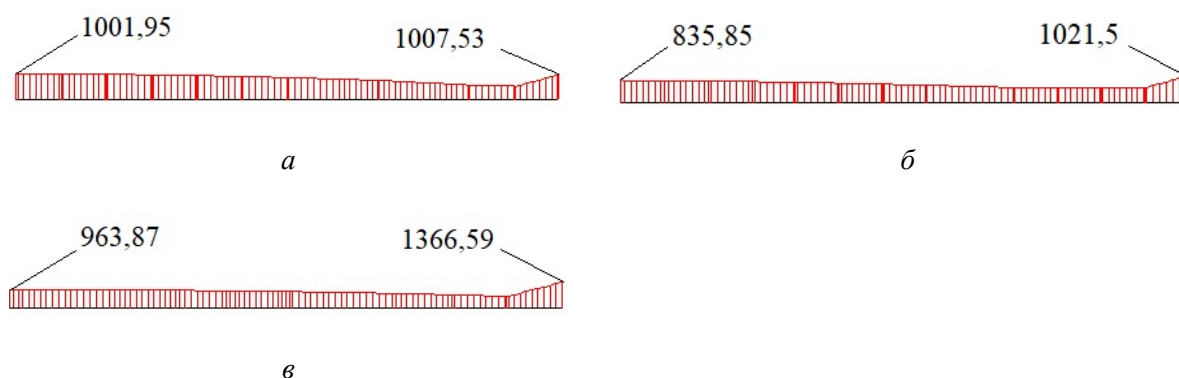


Рис. 3. Эпюра напряжений по сечению ПВАЦ покрытия в марте месяце (микровпадина) – значения напряжений приведены в  $\text{kN/m}^2$ : а – угол при вершине рельефа шероховатости подложки составляет  $90^\circ$ , точка 2; б – угол при вершине рельефа шероховатости подложки составляет  $120^\circ$ , точка 3; в – на гладкой поверхности

Fig. 3. Diagram of stresses over the section of the PVAC coating in March (microdepression) – stress values are given in  $\text{kN/m}^2$ : а – the angle at the top of the substrate roughness relief is  $90^\circ$ , point 2; б – the angle at the top of the substrate roughness relief is  $120^\circ$ , point 3; в – on a smooth surface

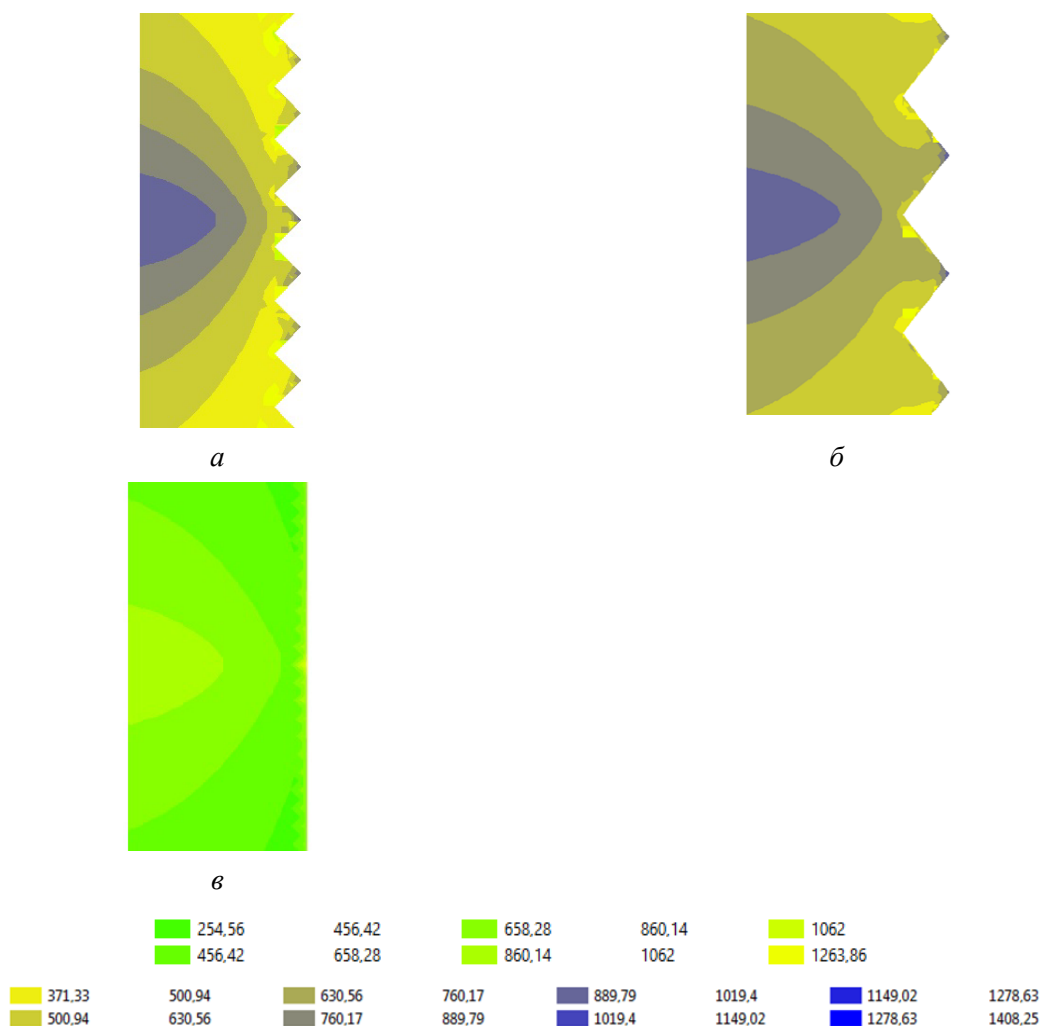


Рис. 4. Изополя распределения напряжений  $\sigma_x \cdot 10^{-3}$  МПа по сечению поливинилацетатцементного покрытия (март месяц): *a* – угол при вершине рельефа  $90^\circ$ ; *б* – угол при вершине рельефа  $120^\circ$ ; *в* – поверхность подложки гладкая

Fig. 4. Isofields stress distribution  $\sigma_x \cdot 10^{-3}$  MPa over the cross section of the polyvinyl acetate cement coating (March): *a* – angle at the top of the relief  $90^\circ$ ; *б* – angle at the top of the relief  $120^\circ$ ; *в* – the substrate surface is smooth

Оценивалась вероятность отслаивания покрытия. Значения напряжений сравнивались с величиной прочности сцепления покрытий. Прочность сцепления ПВАЦ покрытия с гладкой поверхностью, определяемая методом отрыва шайб, составляет  $R_{сц} = 1,3$  МПа, а на шероховатой поверхности – 1,5 МПа (отрыв по подложке). Установлено, что в марте месяце возможно отслаивание покрытия на гладкой поверхности от действия температурных напряжений, так как значения напряжений равны прочности сцепления. На шероховатой поверхности значения напряжений значительно меньше прочности сцепления. Таким образом, в целях повышения стойкости покрытий к отслаиванию необходимо стремиться к созданию равномерно распределенной шероховатости поверхности подложки.

**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. Орентлихер Л.П., Логанина В.И. Прогнозирование эксплуатационной стойкости защитно-декоративных покрытий // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1988. – № 8. – С. 63.
2. Логанина В.И., Петухова Н.А., Акжигитова Э.Р. Разработка органоминеральной добавки для сухих строительных смесей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 8–12.
3. Мжачих Е.И., Сухарева Л.В., Яковлев В.С. Долговечность полимерных покрытий // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2006. – Т. 49, вып. 2. – С. 108–112.
4. Логанина В.И., Фролов М.В., Мажитов Е.Б. Влияние защитно-декоративных покрытий на основе золь-силикатных красок на влажностный режим наружных стен зданий // Construction and Geotechnics. – 2021. – № 12 (4). – С. 103–114. DOI: <https://doi.org/10.15593/cg.v12i4>
5. Volkov A. Analysis of Stress Development Mechanisms in the Coating/Substrate System // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – 367 LNNS. – P. 78–88. DOI: [10.1007/978-3-030-94259-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_8)
6. Xu M., Guo L., Wang H. Crack evolution and oxidation failure mechanism of a sic-ceramic coating reactively sintered on carbon/carbon composites // Materials. – 2021. – Vol. 14 (24). – P. 7780. DOI: [10.3390/ma14247780](https://doi.org/10.3390/ma14247780)
7. Sinclair G.B. Stress singularities in classic elasticity. I: Removal, interpretation, and analysis // Appl. Mech. Revs. – 2004. – Vol. 57, № 4. – P. 251–297. DOI: [10.1115/1.1762503](https://doi.org/10.1115/1.1762503)
8. Углов А.А., Анищенко Л.М., Кузнецов С.Е. Адгезионная способность пленок. – М.: Радио и связь, 1987. – С. 28–32.
9. Kub E.G., Cartwright L.G., Oppenheim I.J. Cracking in Exterior Insulation and Finish Systems // Journal of Performance of Constructed Facilities. – 1993. – Vol. 7, no. 1. – P. 60–66. DOI: [10.1061/\(asce\)0887-3828\(1993\)7:1\(60\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0887-3828(1993)7:1(60))
10. Бондарев Б.А., Черноусов Н.Н., Стурова В.А. Определение параметров деформативности бетонных образцов по формулам механики разрушения // Construction and Geotechnics. – 2020. – № 11 (2). – С. 88–98.
11. Шугуров А.Р., Панин А.В. Механизмы периодической деформации системы «пленка – подложка» под действием сжимающих напряжений // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т. 12, № 3. – С. 23–32.
12. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
13. Воронин И.В., Кондрашов Э.К. Долговечность полимерных связей // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1991. – № 1. – С. 25–26.
14. Зиновьев В.Е., Харламов П.В. Влияние микротрещин, скрытых дефектов и остаточных напряжений полимерного клеевого слоя на его разрушение // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12–1. – С. 37–42.
15. Логанина В.И., Арискин М.В., Светалкина М.А. Оценка температурного воздействия на напряженное состояние защитно-декоративных покрытий с учетом пористости цементной подложки // Construction and Geotechnics. – 2022. – Т. 13, № 2. – С. 67–76. DOI: [10.15593/2224-9826/2022.2.06](https://doi.org/10.15593/2224-9826/2022.2.06)

16. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. – М.: Химия, 1977. – 352 с.
17. Пяткин П.А., Скибин Е.Г. Учет влияния деформаций от подработки территории на напряженно-деформированное состояние конструкции зданий // *Construction and Geotechnics*. – 2021. – Т. 12, № 3. – С. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.15593/cg.v12i3>
18. Song M.S., Hu G.X., Hu L.J. Prediction of long-term mechanical behaviour and lifetime of polymeric materials // *Polym. Test.* – 1998. – Vol. 17, no 5. – P. 311–332. DOI: [10.1016/S0142-9418\(97\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(97)00060-3)
19. Memduh Nas, Sirin Kurbetci. Mechanical, durability and microstructure properties of concrete containing natural zeolite // *Comput. Concr.* – 2018. – Vol. 22 (5). – P. 449–459.
20. Wei Hong, Fangwei Guo and Jianwei Chen. Bioactive glass-chitosan composite coatings on PEEK: Effects of surface wettability and roughness on the interfacial fracture resistance and in vitro cell response // *Applied surface science*. – 2018. – Vol. 440. – P. 514–518. DOI: [10.1016/j.apsusc.2018.01.183](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.01.183)
21. Sung-Nam Pak, Zhongping Yao and Kyong-Sik Ju. Effect of organic additives on structure and corrosion resistance of MAO coating // *VACUUM*. – 2018. – Vol. 151. – P. 8–12.
22. Estimation of the Probability of Cracking of Facade Coatings / V. Loganina, R. Fediuk D. Taranov, Y.H. Mugahed Amran // *Materials Science Forum*. – 2021. – Vol. 1037. – P. 675–683. DOI: [10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.675](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.675)

## References

1. Orentliher L.P., Loganina V.I. Prognozirovanie ekspluatacionnoj stojkosti zashchitno-dekorativnyh pokrytij [Forecasting the operational durability of protective and decorative coatings] *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo i arhitektura*, 1988, no. 8, pp. 63.
2. Loganina V.I., Petuhova N.A., Akzhigitova E.R. Razrabotka organomineral'noj dobavki dlya suhikh stroitel'nyh smesey [Development of an organomineral additive for dry building mixes]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. SHuhova*, 2011, no. 3, pp. 8-12.
3. Mzhachih E.I., Suhareva L.B., YAKovlev B.C. Dolgovechnost' polimernyh pokrytij. [Durability of polymer coatings]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Himiya i himicheskaya tekhnologiya*, 2006, vol. 49, iss. 2, pp. 108-112.
4. Loganina V.I., Frolov M.V., Majitov E.B. Vliyanie zashchitno\_ dekorativnih pokrytij na osnove zol\_ silikatnih krasok na vlajnostnii rejim narujnih sten zdaniy [Influence of protective and decorative coatings based on sol-silicate paints on the moisture regime of the outer walls of buildings]. *Construction and Geotechnics*, 2021, vol. 12, iss. 4, pp.103-114/ DOI: [10.15593/2224-9826/2021.4.08](https://doi.org/10.15593/2224-9826/2021.4.08).
5. Volkov A. Analysis of stress development mechanisms in the coating/substrate system. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, 367 LNNS, pp. 78-88. DOI: [10.1007/978-3-030-94259-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_8).
6. Xu M., Guo L., Wang H. Crack evolution and oxidation failure mechanism of a sic-ceramic coating reactively sintered on carbon/carbon composites. *Materials*, 2021, vol. 14 (24), pp. 7780. DOI: [10.3390/ma14247780](https://doi.org/10.3390/ma14247780).
7. Sinclair G.B. Stress singularities in classic elasticity. I: Removal, interpretation, and analysis. *Appl. Mech. Revs.*, 2004, vol. 57, no. 4, pp. 251-297. DOI: [10.1115/1.1762503](https://doi.org/10.1115/1.1762503).
8. Uglov A.A., Anishchenko L.M., Kuznetsov S.E. Film adhesiveness. Moscow, Radio i svyaz, 1987, pp. 28-32.

9. Kub E.G., Cartwright L.G., Oppenheim I.J. Cracking in exterior insulation and finish systems. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 1993, vol. 7, no. 1, pp. 60-66. DOI: 10.1061/(asce)0887-3828(1993)7:1(60)

10. Bondarev B.A., Chernousov N.N., Sturova V.A. Opredelenie parametrov deformativnosti betonnih obrazcov po formulam mehaniki razrusheniya [Determination of the parameters of the deformability of concrete samples according to the formulas of fracture mechanics]. *Construction and Geotechnics*, 2020, vol. 11, iss. 2, pp.88-98. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.2.08.

11. Shugurov A.R., Panin A.V. Mehanizmi periodicheskoi deformacii sistemi «plenka\_podlojka» pod deistviem sjimayuschih napryazhenii [Mechanisms of periodic deformation of the "film-substrate" system under the action of compressive stresses]. *Fizicheskaya mezomehanika*, 2009, vol. 12, no. 3, pp. 23-32.

12. Dzhonson K. Mekhanika kontaktnogo vzaimodejstviya [Mechanics of contact interaction]. Moscow, Mir, 1989, 510 p.

13. Voronin I.V., Kondrashov E.K. Dolgovechnost' adgezionnyh svyazey polimernyh pokrytij [Durability of adhesive bonds of polymer coatings]. *Lakokrasochnye materialy i ih primeneniye*, 1991, no. 1, pp. 25-26.

14. Zinovev V.E., Harlamov P.V. Vliyanie mikrotreschin\_ skritih defektov i ostatochnih napryazhenii polimernogo kleevoogo sloya na ego razrusheniye [Influence of microcracks, hidden defects and residual stresses of the polymer adhesive layer on its destruction]. *Fundamentalnie issledovaniya*, 2015, no. 12 (1), pp. 37-42.

15. Loganina V.I., Ariskin M.V., Svetalkina M.A. Ocenka temperaturnogo vozdejstviya na napryazhennoe sostoyanie zashchitno-dekorativnyh pokrytij s uchedom poristosti cementnoj podlozhki [ Evaluation of the temperature effect on the stress state of protective and decorative coatings, taking into account the porosity of the cement substrate]. *Construction and Geotechnics*, 2022, vol. 13, iss. 2, pp. 67-76. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.2.06.

16. Zimon A.D. Adgeziya plenok i pokrytij [Adhesion of films and coatings]. Moscow, Chemistry, 1977, 352 p.

17. Pyatkin P.A., Skibin E.G. Uchet vliyaniya deformacii ot podrabotki territorii na napryazhenno\_deformirovannoe sostoyanie konstrukcii zdaniy [Accounting for the influence of deformations\_ from undermining the territory on the stress-strain state of the building structure]. *Construction and Geotechnics*, 2021, vol. 12, iss. 3, pp. 46-52. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.3.06.

18. Song M.S., Hu G.X., Hu L.J. Prediction of long-term mechanical behaviour and lifetime of polymeric materials. *Polym. Test.*, 1998, vol. 17, no. 5, pp. 311-332. DOI: 10.1016/S0142-9418(97)00060-3.

19. Memduh Nas, Sirin Kurbetci. Mechanical, durability and microstructure properties of concrete containing natural zeolite. *Comput. Concr.*, 2018, no. 22 (5), pp. 449-459.

20. Wei Hong, Fangwei Guo and Jianwei Chen. Bioactive glass-chitosan composite coatings on PEEK: Effects of surface wettability and roughness on the interfacial fracture resistance and in vitro cell response. *Applied surface science*, 2018, no. 440, pp. 514-518. DOI: 10.1016/j.apsusc.2018.01.183/

21. Sung-Nam Pak, Zhongping Yao and Kyong-Sik Ju. Effect of organic additives on structure and corrosion resistance of MAO coating. *VACUUM*, 2018, no. 151, pp. 8-12.

22. Loganina V., Fediuk R., Taranov D., Mugahed Amran Y.H. Estimation of the probability of cracking of facade coatings. *Materials Science Forum*, 2021, vol. 1037, pp. 675-683. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.675.