

Известия вузов. Строительство. 2023. № 2. С. 36–43.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2023; (2): 36–43.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 691.57:667.633:53

DOI: 10.32683/0536-1052-2023-770-2-36-43

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ШЕРОХОВАТОСТИ ИХ ПОВЕРХНОСТИ

**Валентина Ивановна Логанина, Мария Анатольевна Светалкина,
Максим Васильевич Арискин**

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
Пенза, Россия

Аннотация. Приведены сведения о влиянии шероховатости поверхности лакокрасочных покрытий на стойкость к растрескиванию и отслаиванию. Рассмотрено распределение внутренних напряжений от действия температуры. Расчет выполнен с помощью программного модуля SCAD Office. Установлена неравномерность распределения напряжений по сечению и простиранию поверхности покрытий. Выявлено, что шероховатость поверхности лакокрасочного покрытия способствует возникновению более напряженного состояния в зоне контакта и на поверхности покрытий. Даны эпюры нормальных и касательных напряжений по простиранию покрытия. Оценена вероятность растрескивания покрытий.

Ключевые слова: лакокрасочное покрытие, подложка, шероховатость поверхности, усадка, внутренние напряжения, стойкость

Для цитирования: Логанина В.И., Светалкина М.А., Арискин М.В. Оценка напряженного состояния лакокрасочных покрытий в зависимости от шероховатости их поверхности // Известия вузов. Строительство. 2023. № 2. С. 36–43. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-770-2-36-43.

Original article

EVALUATION OF THE STRESS STATE OF PAINT COATINGS DEPENDING ON THEIR SURFACE ROUGHNESS

Valentina I. Loganina, Maria A. Svetalkina, Maxim V. Ariskin
Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

Abstract. Information is given on the influence of the surface roughness of paint coatings on the resistance to cracking and peeling. The distribution of internal stresses from the action of temperature was considered. The calculation was performed using the SCAD Office software module. The uneven distribution of stresses over the cross section and strike of the surface of the coatings is established. It was revealed that the surface roughness of the paint coating contributes to the emergence of a more stressed state in the contact zone

and on the surface of the coatings. Diagrams of normal and shear stresses along the strike of the coating are given. The probability of coating cracking is estimated.

Keywords: paintwork, substrate, surface roughness, shrinkage, internal stresses, durability

For citation: Loganina V.I., Svetalkina M.A., Ariskin M.V. Evaluation of the stress state of paint coatings depending on their surface roughness. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2023; (2): 36–43. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2023-770-2-36-43.

Введение. Распространенным видом отделочных материалов фасадов зданий являются лакокрасочные покрытия и декоративные штукатурки [1–3]. Срок службы таких покрытий прогнозируется 5–7 лет. Однако результаты натурных обследований показывают, что нередко разрушение декоративных покрытий фасадов зданий наступает значительно раньше. Распространенными видами разрушения отделочных слоев фасадов зданий в процессе эксплуатации являются растрескивание и отслаивание [4–7]. Растрескивание покрытий происходит, когда внутренние растягивающие напряжения σ достигнут значения когезионной прочности $R_{\text{ког}}$ материала покрытия, т.е.

$$\sigma > R_{\text{ког}}. \quad (1)$$

Отслаивание покрытий наблюдается при соблюдении соотношения

$$\tau > R_{\text{сц}}, \quad (2)$$

где τ – касательные напряжения;

$R_{\text{сц}}$ – прочность сцепления.

Исследованию процессов, развивающихся в системе «подложка – покрытие», посвящены многочисленные публикации [8–11]. В работе [12] приведены результаты исследований методом голограммы напряженного состояния покрытий в зависимости от шероховатости поверхности покрытий. Установлено, что в покрытиях, характеризующихся большей шероховатостью, наблюдаются более высокие значения напряжений.

Представляет научный и практический интерес исследование распределения напряжений по простирианию покрытий.

Цель работы – оценка напряженного состояния лакокрасочных покрытий в зависимости от шероховатости их поверхности.

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 поливиниллацетатцементную (ПВАЦ) краску. Значение КЛТР покрытия составляло $6,63 \cdot 10^{-6}$ 1/град. Толщина покрытия 1 мм. Расчеты проводились для условий г. Москвы с помощью программного модуля SCAD Office. Расчетная модель представляет собой конечные элементы оболочки размером $0,1 \times 0,1$ мм. Границные условия для подложки не задавались.

Для предотвращения влияния заделки на напряженно-деформированное состояние в лакокрасочном слое и в области контакта с подложкой граничные условия располагались на расстоянии не менее 5 толщин лакокрасочного состава. Моделирование рельефа в подложке выполнялось путем введения дополнительных элементов треугольной формы. Исследования проводились

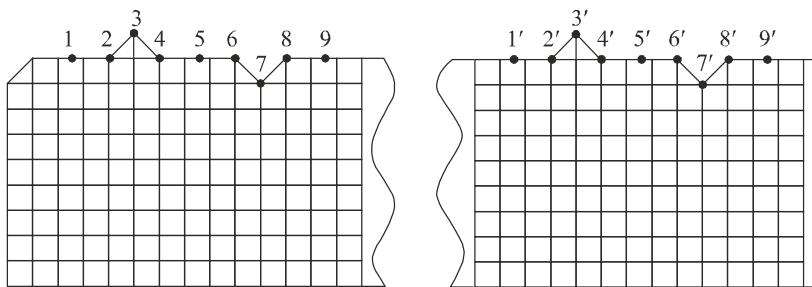


Рис. 1. Схема расчета напряженного состояния покрытия по простирианию
Fig. 1. Scheme for calculating the stress state of the coating along the strike

по нескольким схемам (рис. 1). Моделировалась равномерно распределенная шероховатость поверхности подложки, при этом высота пиков и впадин составляла 0,1 мм.

Выявлено уменьшение нормальных напряжений по простирианию покрытия (табл. 1). Максимальные нормальные напряжения возникают в центре

Таблица 1. Распределение нормальных напряжений по простирианию ПВАЦ покрытия (шероховатая поверхность покрытия), $\sigma_x \cdot 10^{-3}$, МПа

Table 1. Distribution of normal stresses along the strike of the PVAC coating (rough surface of the coating), $\sigma_x \cdot 10^{-3}$, MPa

Точка	Напряжение	Точка	Напряжение
Октябрь			
1	0,509	1'	0,282
2	0,535	2'	0,245
3	0,288	3'	0,052
4	0,511	4'	0,173
5	0,538	5'	0,153
6	0,422	6'	-0,064
7	1,114	7'	0,206
8	0,429	8'	-0,189
9	0,526	9'	-0,153
Март			
1	-0,680	1'	-0,310
2	-0,666	2'	-0,309
3	-0,371	3'	-0,080
4	-0,670	4'	-0,272
5	-0,768	5'	-0,223
6	-0,547	6'	0,061
7	-1,427	7'	-0,273
8	-0,548	8'	0,239
9	-0,646	9'	0,201

Таблица 2. Распределение касательных напряжений по простиранию ПВАЦ покрытия (шероховатая поверхность покрытия), $\tau \cdot 10^{-3}$, МПа

Table 2. Distribution of shear stresses along the strike of the PVAC coating (rough surface of the coating), $\tau \cdot 10^{-3}$, MPa

Точка	Напряжение	Точка	Напряжение
Октябрь			
1	-0,072	1'	-0,020
2	-0,027	2'	-0,011
3	0,010	3'	0,0042
4	0,006	4'	-0,017
5	0,061	5'	0,041
6	0,262	6'	0,081
7	1,012	7'	0,060
8	-0,249	8'	-0,020
9	-0,059	9'	0,009
Март			
1	0,087	1'	0,041
2	0,035	2'	-0,017
3	0,018	3'	-0,040
4	-0,009	4'	0,033
5	-0,063	5'	-0,043
6	-0,347	6'	-0,113
7	-0,022	7'	-0,076
8	0,350	8'	0,019
9	0,081	9'	0,006

покрытия. Так, на гладкой ровной поверхности значение нормальных напряжений в центре покрытия в марте составляет $\sigma_x = -0,182$ МПа, а на краю покрытия – 0,009 МПа. Аналогичная картина наблюдается и на шероховатой поверхности покрытия. В точке 9 значения нормальных напряжений в марте составляют $\sigma_x = -0,646$ МПа, а в точке 9' – 0,201 МПа.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что для шероховатой поверхности ПВАЦ покрытия характерны более высокие значения нормальных напряжений по сравнению с гладкой ровной поверхностью (табл. 2, рис. 2). Так, значения нормальных напряжений на шероховатой поверхности ПВАЦ покрытия составляют в марте от 0,061 до 1,427 МПа в зависимости от протяженности контакта, а на ровной гладкой поверхности – от 0,00092 до -0,182 МПа. Аналогичные закономерности характерны и для октября. На шероховатой поверхности покрытия наблюдаются также и более высокие значения касательных напряжений в марте от -0,017 до -0,350 МПа, в то время как на ровной гладкой поверхности – от -0,023 до 0,075 МПа.

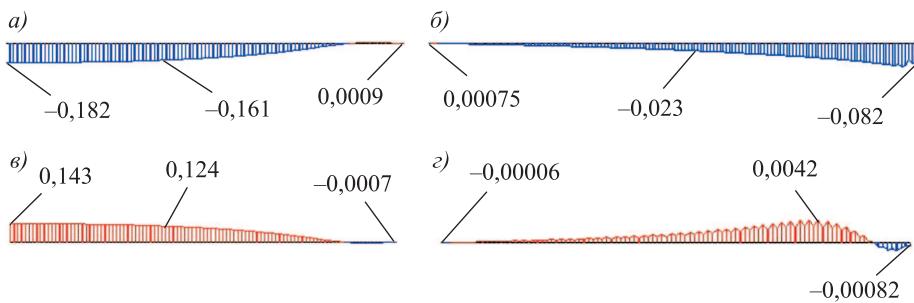


Рис. 2. Эпюра напряжений в поверхностном слое ПВАЦ покрытия (ровная поверхность)

a, в – нормальные напряжения; б, г – касательные напряжения; а, б – март; в, г – октябрь

Fig. 2. Diagram of stresses in the surface layer of the PVAC coating (smooth surface)

a, c – normal stresses; b, d – shear stresses; a, b – month of March; c, d – month of October

В зоне контакта покрытия с подложкой происходит увеличение касательных напряжений от центра к краю (рис. 3). Так, значения касательных напряжений в зоне контакта при ровной поверхности покрытия в центре составляют в марте $\tau = 0,075$, а на краю $\tau = -0,082$ МПа. При шероховатой поверхности покрытия значения касательных напряжений выше от $-0,0014$ до $0,525$ МПа. Аналогичные закономерности характерны и для нормальных напряжений в зоне контакта.

Анализ данных свидетельствует, что нормальные напряжения в зоне микропадины на шероховатой поверхности покрытия (точка 7) в марте близки к значению когезионной прочности, составляющей 1,8 МПа, что может привести к растрескиванию покрытия.

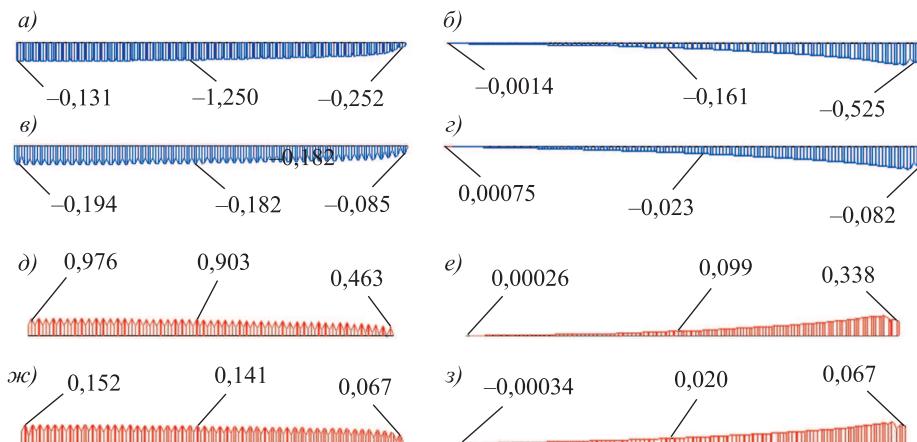


Рис. 3. Эпюра напряжений в зоне контакта ПВАЦ покрытия с подложкой

а, в, д, з – нормальные напряжения; б, г, ж, е – касательные напряжения; а, б, в, г – март;

д, ж, з, е – октябрь; а, б, д, ж – шероховатая поверхность покрытия; в, г, з, е – ровная

гладкая поверхность покрытия

Fig. 3. Diagram of stresses in the zone of contact of the PVAC coating with the substrate

a, c, e, h – normal stresses; b, d, g, f – are shear stresses; a, b, c, d – month of March; e, g, h, f – the month of October; a, b, e, g – rough surface of the coating; c, d, h, f – smooth smooth surface of the coating

Таким образом, исследования и расчеты свидетельствуют, что напряжения в поверхностном слое покрытия и в зоне контакта с подложкой определяются в числе других факторов шероховатостью поверхности покрытия. Из этого следует важность настройки технологического процесса окраски с целью создания защитно-декоративного покрытия, характеризующегося высоким качеством внешнего вида с минимальной шероховатостью поверхности [13].

Выводы. Установлено, что в лакокрасочных покрытиях с шероховатой поверхностью возникает более напряженное состояние по сравнению с покрытием с ровной гладкой поверхностью. Выявлено, что максимальные нормальные напряжения возникают в зоне микропадины на шероховатой поверхности покрытия, близкие к значению когезионной прочности, что может приводить к растрескиванию покрытия.

Список источников

1. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Макарова Л.В., Садовникова М.А. Реологические свойства композиционного известкового вяжущего с применением синтетических цеолитов // Известия вузов. Строительство. 2013. № 4. С. 37–42.
2. Лысенко Е.И., Юдин А.Н., Котлярова Л.В., Ткаченко Г.А., Триценко И.В. Современные отделочные и облицовочные материалы. Учеб.-справ. пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2003. 448 с.
3. Ильин А.А., Кальгин А.А., Качаев Р.И., Скок О.М. Отделочные строительные работы: Учеб. пособие. М.: РГ-Пресс, 2018. 416 с.
4. Медяник Ю.В. Классификация и анализ дефектов и повреждений штукатурных покрытий фасадов зданий // Известия КГАСУ. 2018. № 2. С. 231.
5. Карякина М.И. Физико-химические основы процессов формирования и старения покрытий. М.: Химия, 1980. 216 с.
6. Loganina V., Fediuk R., Taranov D. and Amran Y.H. Mugahed. Estimation of the probability of cracking of facade coatings // Materials Science Forum. 2021. Vol. 1037. P. 675–683.
7. Воронин И.В., Кондратов Э.К. Долговечность адгезионных связей полимерных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. 1991. № 1. С. 25.
8. Loganina V.I. Influence of the porous structure of a cement substrate on the stressstate of coatings // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2021.1079 062012.
9. Бартенев Г.М., Зуев Ю.С. Прочность и разрушение высокоэластичных материалов. М.; Л.: Химия, 1964. 388 с.
10. Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смилга В.П. Адгезия твердых тел. М.: Наука, 1973. 263 с.
11. Сухарева Л.А., Иванова С.С., Зубов П.И. Влияние условий формирования покрытий на механизм кратерообразования // Коллоидный журнал. 1973. Т. 35, № 1. С. 69.
12. Loganina V.I., Skachkov Yu.P. The application of the holographic method for evaluation of a stress deformation state of Cement paint coatings // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11, no. 14. P. 8377–8378.
13. Логанина В.И. К вопросу о регулировании технологических процессов производства бетона // Известия вузов. Строительство. 2009. № 3-4. С. 42–45.

References

1. Loganina V.I., Kislytsyna S.N., Makarova L.V., Sadovnikova M.A. Rheological properties of a composite lime binder with the use of synthetic zeolites. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2013; (4): 37–42. (In Russ.).
2. Lysenko E.I., Yudin A.N., Kotlyarova L.V., Tkachenko G.A., Trishchenko I.V. Modern finishing and facing materials. Study guide. Rostov-on-Don, 2003. 448 p. (In Russ.).
3. Ivliev A.A., Kalgin A.A., Kachaev R.I., Skok O.M. Finishing construction work: a textbook. Moscow: RG-Press, 2018. 416 p. (In Russ.).
4. Medyanik Yu.V. Classification and analysis of defects and damages of plaster coatings of facades of buildings. *Izvestiya KGASU = News of KSUAE.* 2018; (2): 231. (In Russ.).
5. Karyakina M.I. Physico-chemical foundations of the processes of formation and aging of coatings. Moscow: Chemistry, 1980. 216 p. (In Russ.).
6. Loganina V., Fediuk R., Taranov D. and Amran Y.H. Mugahed. Estimation of the probability of cracking of facade coatings. *Materials Science Forum.* 2021; (1037): 675–683.
7. Voronin I.V., Kondratov E.K. Durability of adhesive bonds of polymer coatings. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye = Coating materials and their application.* 1991; (1): 25. (In Russ.).
8. Loganina V.I. Influence of the porous structure of a cement substrate on the stressstate of coatings. IOP Conf. Ser.: Mater. sci. Eng. 2021; 1079 062012.
9. Bartenev G.M., Zuev Yu.S. Strength and fracture of highly elastic materials. Moscow; Leningrad: Chemistry, 1964. 388 p. (In Russ.).
10. Deryagin B.V., Krotova N.A., Smilga V.P. Adhesion of Solids. Moscow: Nauka, 1973. 263 p. (In Russ.).
11. Sukhareva L.A., Ivanova S.S., Zubov P.I. Influence of coating formation conditions on the mechanism of cratering. *Kolloidnyy zhurnal = Colloid journal.* 1973; 35(1): 69. (In Russ.).
12. Loganina V.I., Skachkov Yu.P. The application of the holographic method for evaluation of a stress deformation state of cement paint coatings. *International Journal of Applied Engineering Research.* 2016; 11(14): 8377–8378.
13. Loganina V.I. On the issue of regulating the technological processes of concrete production. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2009; (3-4): 42–45. (In Russ.).

Информация об авторах

В.И. Логанина – доктор технических наук, профессор, loganin@mail.ru
Orcid <https://orcid.org/0000-0001-7532-0074>

М.А. Светалкина – кандидат технических наук, доцент, adikaevka_01@mail.ru
Orcid <https://orcid.org/0000-0002-99769-4378>

М.В. Арискин – кандидат технических наук, доцент, m.v.ariskin@mail.ru
Orcid <https://orcid.org/0000-0002-1714-1585>

Information about the authors

V.I. Loganina – DSc, Professor, loganin@mail.ru
Orcid <https://orcid.org/0000-0001-7532-0074>

M.A. Svetalkina – PhD, Ass. Professor, adikaevka_01@mail.ru
Orcid <https://orcid.org/0000-0002-99769-4378>

M.V. Ariskin – PhD, Ass. Professor, m.v.ariskin@mail.ru
Orcid <https://orcid.org/0000-0002-1714-1585>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.01.2023
Одобрена после рецензирования 13.02.2023
Принята к публикации 20.02.2023

The article was submitted 13.01.2023
Approved after reviewing 13.02.2023
Accepted for publication 20.02.2023
