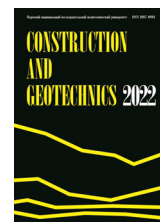




CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 13, № 2, 2022

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



DOI: 10.15593/2224-9826/2022.2.06

УДК 691.4

## ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ С УЧЕТОМ ПОРИСТОСТИ ЦЕМЕНТНОЙ ПОДЛОЖКИ

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

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия

### О СТАТЬЕ

Получена: 21 апреля 2022  
Одобрена: 12 июня 2022  
Принята к публикации:  
30 июня 2022

#### Ключевые слова:

напряжения, дискретный характер подложки, полимеризованное покрытие, толщина покрытия.

### АННОТАЦИЯ

Объект исследования – напряженно-деформированное состояние защитно-декоративных покрытий наружных ограждающих конструкций.

Цель – оценить напряженно-деформированное состояние защитно-декоративных покрытий при действии температуры в зависимости от пористости подложки, толщины покрытия.

Приведены результаты расчета напряжений в зависимости от толщины лакокрасочного покрытия, размера пор в зоне контакта «покрытие – подложка». Для оценки напряженного состояния покрытий использован программный модуль SCAD Office. Представлено сравнение напряжений в покрытии при заполнении пор разного радиуса красочным составом и при отсутствии заполнения пор. Установлено, что при действии знакопеременной температуры в покрытиях происходят смена деформированного состояния, характеризующаяся чередованием сжимающих и растягивающих напряжений. Величина внутренних напряжений уменьшается с уменьшением толщины покрытия. При уменьшении радиуса пор, заполненных красочным составом, напряжения в зоне контакта покрытия с подложкой уменьшаются, а в центре поры, заполненной красочным составом, – увеличиваются. При уменьшении радиуса пор разница между значениями напряжений на поверхности покрытия и в зоне контакта покрытия с подложкой уменьшается. Наблюдается смена знаков напряжений в зоне контакта покрытия с подложкой и в центре поры, заполненной красочным составом. Даны рекомендации по выбору вида краски.

© ПНИПУ

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

Valentina I. Loganina – Doctor of Technical Science, Professor, e-mail: loganin@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7532-0074  
Maxim V. Ariskin – Ph. D. in Technical Science, Associate Professor, e-mail: m.v.ariskin@mail.ru  
Maria A. Svetalkina – Ph. D. in Technical Science, Associate Professor, e-mail: adikaevka\_01@mail.ru

## EVALUATION OF THE TEMPERATURE IMPACT ON THE STRESS STATE OF PROTECTIVE AND DECORATIVE COATINGS TAKING INTO ACCOUNT THE POROSITY OF THE CEMENT SUBSTRATE

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

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

---

### ARTICLE INFO

Received: 21 April 2022  
Approved: 12 June 2022  
Accepted for publication:  
30 June 2022

#### Keywords:

stresses, discrete nature of the substrate, polymer-lime coating, coating thickness.

### ABSTRACT

The object of research is the stress-strain state of protective and decorative coatings of external enclosing structures. The purpose of the research is to evaluate the stress-strain state of protective and decorative coatings under the action of temperature, depending on the porosity of the substrate, the thickness of the coating. The article presents the results of the calculation of stresses depending on the thickness of the paint coating, the size of the pores in the contact zone "coating-substrate". The SCAD Office software module was used to assess the stress state of the coatings. A comparison is made of the stresses in the coating when pores of different radii are filled with a paint composition and in the absence of pore filling. It has been established that under the action of an alternating temperature in the coatings, a change in the deformed state occurs, characterized by alternation of compressive and tensile stresses. The magnitude of internal stresses decreases with decreasing coating thickness. With a decrease in the radius of the pores filled with the ink composition, the stresses in the zone of contact between the coating and the substrate decrease, and in the center of the pore filled with the ink composition they increase. As the pore radius decreases, the difference between the stress values on the coating surface and in the zone of contact between the coating and the substrate decreases. There is a change of signs of stresses in the zone of contact between the coating and the substrate and in the center of the pore filled with the ink composition. Recommendations are given for choosing the type of paint.

© PNRPU

---

## Введение

Одним из распространенных видов разрушения лакокрасочных покрытий цементных бетонов является растрескивание и отслаивание [1–3]. В работах [4–6] представлен анализ механизмов развития напряжений тонких покрытий для возможностей моделирования напряженного состояния полученных покрытий с последующим прогнозированием требуемых свойств. Авторами установлено, что величина и знак внутренних напряжений в покрытиях зависят от многих факторов, связанных с условиями и способом нанесения покрытия на подложку, а также характером их роста. Термические напряжения вносят важный вклад в общий уровень напряжений в тонких покрытиях.

В природных условиях красочные составы фасадов зданий, кроме влияния влаги (в виде осадков) и различной относительной влажности воздуха, испытывают воздействие температурного фактора. При действии знакопеременной температуры в покрытиях происходят смены деформированного состояния, характеризующиеся чередованием сжимающих и растягивающих напряжений [7–10]. В зоне контакта «покрытие – подложка» имеются поры, не заполненные красочным составом. Ранее было установлено, что наличие пор в зоне контакта покрытия с цементной подложкой способствует возникновению более неоднородного напряженно-деформированного состояния по сравнению с гладкой беспористой подложкой [11–14].

В соответствии с теорией хрупкого разрушения растрескивание покрытий будет происходить, если внутренние растягивающие напряжения  $\sigma$  будут больше или равны когези-

онной прочности  $R_p$  [15–17]. Исходя из соотношения между длительной и кратковременной прочностью, условие растрескивания имеет вид [18–23].

$$\sigma_{\max} > 0,5R,$$

где  $R$  – кратковременная прочность.

Представляет интерес оценить влияние наличия пор, их размеров на напряженное состояние покрытий и дать оценку растрескивания покрытий.

### Методика эксперимента

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 полимеризованную краску. Значение КЛТР покрытия составляло  $8,3 \cdot 10^{-6}$  1/град.

Расчеты проводились для условий г. Москвы и Тюмени. Расчет был выполнен с помощью программного модуля SCAD Office. Исследования проводились по нескольким схемам. Тип схемы: *a* – толщина отделочного слоя 1 мм, пора заполнена; *б* – толщина отделочного слоя 1 мм, пора не заполнена; *в* – отсутствие пор (рис. 1). Для каждой модели были проведены расчеты и получены напряженно-деформируемые схемы, по которым проводился анализ, причем для каждого образца намечено по девять в которых более подробно рассматривались напряжения (см. рис. 1, *з*).

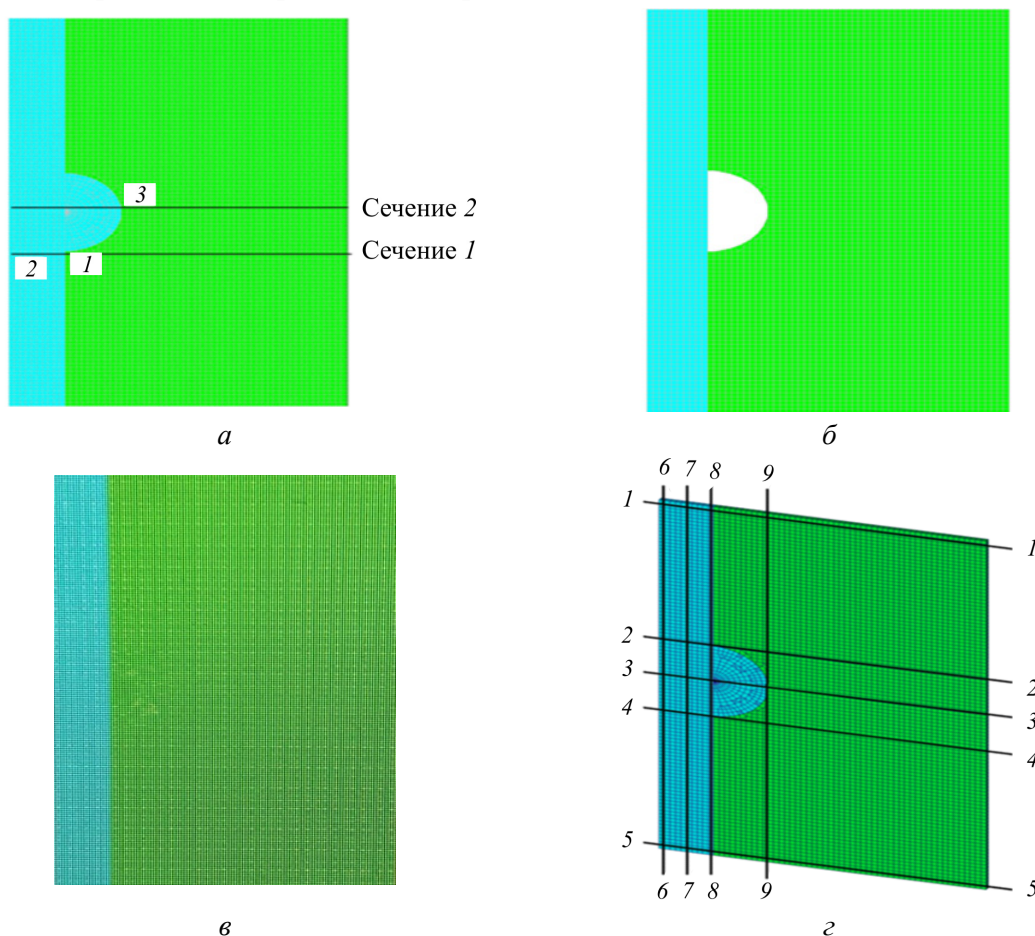


Рис. 1. Схемы расчета напряженного состояния покрытий  
Fig. 1. Schemes for calculating the stress state of coatings

## Результаты

Результаты расчета приведены в табл. 1–4 и на рис. 2–4.

Максимальные сдвигающие напряжения возникают по оси  $x$ . При действии знакопеременной температуры в покрытиях происходят смены деформированного состояния, характеризующиеся чередованием сжимающих и растягивающих напряжений. Анализ данных, приведенных на рис. 2, 3, свидетельствует, что величина внутренних напряжений уменьшается с уменьшением толщины покрытия, что обусловлено действием адсорбционных сил материала подложки.

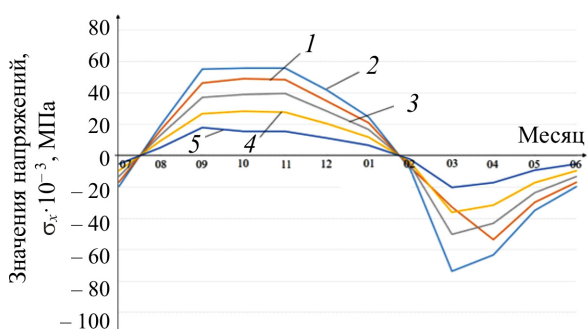


Рис. 2. Изменение температурных напряжений в полимеризвестковом покрытии в течение года в г. Москве. Толщина покрытия: 1 –  $h = 1$  мм; 2 –  $h = 0,8$  мм; 3 –  $h = 0,6$  мм; 4 –  $h = 0,4$  мм; 5 –  $h = 0,2$  мм

Fig. 2. Changes in temperature stresses in the polymer-lime coating during the year in Moscow. Coating thickness: 1 –  $h = 1$  mm; 2 –  $h = 0.8$  mm; 3 –  $h = 0.6$  mm; 4 –  $h = 0.4$  mm; 5 –  $h = 0.2$  mm

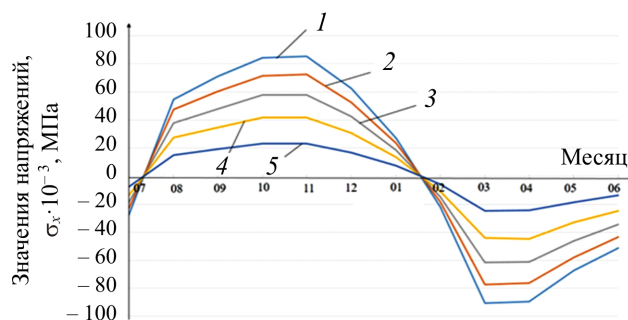


Рис. 3. Изменение температурных напряжений в полимеризвестковом покрытии в течение года в г. Тюмень. Толщина покрытия: 1 –  $h = 1$  мм; 2 –  $h = 0,8$  мм; 3 –  $h = 0,6$  мм; 4 –  $h = 0,4$  мм; 5 –  $h = 0,2$  мм

Fig. 3. Change in temperature stresses in the polymer-lime coating during the year in Tyumen. Coating thickness: 1 –  $h = 1$  mm; 2 –  $h = 0.8$  mm; 3 –  $h = 0.6$  mm; 4 –  $h = 0.4$  mm; 5 –  $h = 0.2$  mm

В табл. 1–4 приведены значения напряжений  $\sigma_x$  при наличии в зоне контакта «покрытие – подложка» пор, заполненных красочным составом. Установлено, что при уменьшении радиуса пор, заполненных красочным составом, напряжения в зоне контакта покрытия с подложкой уменьшаются, а в центре поры, заполненной красочным составом, – увеличиваются. Следует также отметить смену знаков напряжений в зоне контакта покрытия с подложкой и в центре поры, заполненной красочным составом. Так, при радиусе поры 1 мм в июле месяце для условий г. Тюмень (см. табл. 2) напряжения в зоне контакта покрытия с подложкой составляют  $\sigma_x = 10,64 \cdot 10^{-3}$  МПа, а в центре поры, заполненной красочным составом, равны  $-28,37 \cdot 10^{-3}$  МПа. Это свидетельствует о концентрации напряжений в области пор, которые, в свою очередь, могут приводить к растрескиванию и отслоению полимерного покрытия.

При уменьшении радиуса пор разница между значениями напряжений на поверхности покрытия и в зоне контакта покрытия с подложкой уменьшается. Так, для условий г. Москвы в октябре месяце разница между значениями напряжений на поверхности покрытия и в зоне контакта покрытия с подложкой при радиусе пор 1 мм составляет  $\Delta \sigma_x = -31,18 \cdot 10^{-3}$  МПа, а при радиусе пор 0,3 мм – минус  $18,22 \cdot 10^{-3}$  МПа.

При наличии в зоне контакта «покрытие – подложка» пор, не заполненных красочным составом, при уменьшении радиуса пор ( $r < 0,8$  мм) в покрытии возникает более равно-

мерное напряженное состояние одного знака. В крупных порах радиусом более 0,8 мм напряжения в зоне контакта покрытия с подложкой и на поверхности покрытия имеют разные знаки. Для условий г. Москвы в ноябре месяце при радиусе поры 1 мм напряжения в зоне контакта покрытия с подложкой составляют  $-2,77 \cdot 10^{-3}$  МПа, а на поверхности покрытия  $+9,08 \cdot 10^{-3}$  МПа.

Таблица 1

Напряжения в полимеризвестковом покрытии толщиной 1 мм  
 (условия эксплуатации: г. Москва, поры заполнены красочным составом)

Table 1

Stresses in a polymer-lime coating 1 mm thick  
 (operating conditions in Moscow, the holes are filled with a paint composition)

Месяц	Напряжения, $\sigma$ , МПа $\cdot 10^{-3}$														
	$r = 1$ мм			$r = 0,9$ мм			$r = 0,8$ мм			$r = 0,6$ мм			$r = 0,3$ мм		
	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3
07	7,4	-3,17	-21,07	6,34	-3,42	-21,37	5,57	-3,69	-22,1	3,41	-4,32	-23,05	0,83	-5,39	-26,9
08	-7,7	3,04	20,26	-6,18	3,28	20,49	-5,43	3,55	21,21	-3,35	4,14	22,52	-0,86	5,17	25,78
09	-20,77	3,68	58,54	-17,47	9,52	59,35	-15,66	10,29	61,36	-9,56	12,01	65,27	-2,32	15,01	74,79
10	-22,18	9,08	61,74	-18,69	10	62,44	-16,22	10,81	64,38	-10,11	12,59	68,51	-2,43	15,75	78,32
11	-22,06	3,94	60,89	-18,14	9,87	61,61	-16,07	10,67	63,72	-9,94	12,46	67,67	-2,54	15,53	77,4
12	-16,12	6,55	44,73	-13,28	7,26	45,09	-11,8	7,82	46,64	-7,37	9,1	49,52	-1,88	11,38	56,82
01	-9,42	3,85	26,27	-7,76	4,26	26,57	-6,88	4,6	27,45	-4,26	5,36	29,15	-1,05	6,71	33,33
02	3,33	-1,35	-9,15	2,83	-1,49	-9,27	2,52	-1,6	-9,59	1,53	-1,88	-10,14	0,39	-2,34	-11,63
03	28,42	-11,56	-79,04	23,44	-12,85	-79,93	20,82	-13,84	-82,67	12,99	-16,16	-87,7	3,29	-20,16	-100,44
04	25,13	-10	-68,77	20,32	-11,19	-69,34	18,32	-12,01	-71,81	10,99	-14,1	-76,33	2,81	-17,55	-87,43
05	13,32	-5,52	-37,34	11,28	-6,04	-37,78	9,9	-6,53	-39,07	5,95	-7,66	-41,49	1,52	-9,52	-47,6
06	7,47	-3,11	-21,23	6,32	-3,45	-21,37	5,41	-3,72	-22,13	3,34	-4,34	-23,44	0,84	-5,39	-26,88

Таблица 2

Напряжения в полимеризвестковом покрытии толщиной 1 мм  
 (условия эксплуатации: г. Тюмень, поры заполнены красочным составом)

Table 2

Stresses in a polymer-lime coating 1 mm thick  
 (operating conditions in Tyumen, the holes are filled with a paint composition)

Месяц	Напряжения, $\sigma$ , МПа $\cdot 10^{-3}$														
	$r = 1$ мм			$r = 0,9$ мм			$r = 0,8$ мм			$r = 0,6$ мм			$r = 0,3$ мм		
	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3
07	10,64	-4,32	-28,37	8,81	-4,77	-29,77	7,91	-5,15	-30,79	4,85	-6,03	-32,69	1,26	-7,53	-37,39
08	-21,49	8,76	59,94	-17,79	9,69	60,41	-15,8	10,44	62,41	-9,76	12,23	66,35	-2,44	15,28	76,05
09	-27,19	11,21	76,04	-22,58	12,36	76,91	-20,06	13,32	79,54	-12,39	15,59	84,48	-3,18	19,39	96,64
10	-32,27	13,5	90,88	-27,7	14,73	92,25	-24,32	15,93	95,31	-14,66	18,7	101,06	-3,71	23,3	115,71
11	-23,45	9,89	91,47	-27,07	14,79	92,31	-24,46	15,99	95,47	-14,63	18,71	101,07	-3,77	23,28	115,78
12	-10,45	4,34	66,61	-20,14	10,08	67,55	-17,34	11,75	69,87	-10,98	13,64	74,11	-2,77	17,05	84,81
01	8,19	-3,46	29,36	-8,81	4,77	29,8	-7,71	5,16	30,8	-4,85	6,03	32,69	-1,26	7,52	37,48
02	34,21	-14,41	-23,25	6,91	-3,77	-23,54	6,2	-4,06	-24,35	3,82	-4,75	-25,86	0,94	-5,95	-29,58
03	34,21	-14,43	-97,16	29,47	-15,69	-98,29	25,19	-17,08	-101,56	15,92	-19,87	-107,96	3,93	-24,82	-123,7
04	26,26	-10,74	-97,16	29,47	-15,69	-98,29	25,84	-17,02	-101,65	15,6	-19,87	-107,96	3,85	-24,78	-123,7
05	26,04	-10,72	-72,59	22,04	-11,77	-73,7	19,11	-12,76	-76,15	11,81	-14,9	-80,85	2,98	-18,55	-92,6
06	-19,3	-8,11	-54,68	16,58	-8,83	-55,31	14,39	-9,58	-57,22	8,97	8,97	-60,67	2,21	-13,95	-69,5

Таблица 3

Напряжения в полимеризвестковом покрытии толщиной 1 мм  
 (условия эксплуатации: г. Москва, поры не заполнены красочным составом)

Table 3

Stresses in a polymer-lime coating 1 mm thick  
 (operating conditions in Moscow, the pores are not filled with a paint composition)

Месяц	Напряжения, $\sigma_x$ , МПа·10 <sup>-3</sup>														
	$r = 1$ мм			$r = 0,9$ мм			$r = 0,8$ мм			$r = 0,6$ мм			$r = 0,3$ мм		
	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3
07	0,81	-3,18	-8,76	0,26	-3,58	-8,49	-0,01	-3,98	-8,24	-1,1	-4,84	-7,59	-2,2	-5,96	-6,59
08	0,81	3,05	3,58	-0,34	3,43	3,15	0,1	3,82	7,91	1,35	4,63	7,25	2,07	5,73	6,34
09	-2,26	3,75	24,84	-1,04	10,01	23,59	0,47	11,12	22,83	2,89	13,45	21,06	6,12	16,6	18,33
10	-2,57	9,24	25,55	-0,87	10,37	25,28	0,54	11,69	24,08	3,1	14,12	22,14	6,4	17,4	19,25
11	-2,77	9,08	25,18	-1,15	10,38	24,48	0,35	11,46	23,74	2,96	13,84	21,8	6,4	17,25	18,99
12	-1,96	6,68	18,49	-0,88	7,6	17,88	0,28	3,35	17,39	2,14	10,14	16	4,64	12,61	13,87
01	-1,06	3,96	10,33	-0,42	4,48	10,46	0,25	4,97	10,24	1,3	5,99	9,4	2,74	7,42	8,19
02	0,48	-1,37	-3,8	0,23	-1,56	-3,68	0,04	-1,73	-3,54	-0,39	-2,08	-3,28	-1,12	-2,6	-2,85
03	3,51	-11,97	-32,74	1,45	-13,47	-31,67	-0,6	-14,79	-30,8	-3,87	-18,02	-28,37	-8,15	-22,28	-24,64
04	2,79	-10,25	-28,5	1,33	-11,81	-27,68	-0,56	-12,94	-26,81	-3,45	-15,68	-24,69	-7,16	-19,44	-21,45
05	1,55	-5,63	-15,46	0,57	-6,37	-15,01	-1,74	-6,99	-14,55	-1,79	-8,49	-13,42	-4,79	-10,15	-11,64
06	0,77	-3,18	-8,75	0,2	-3,57	-8,49	-0,26	-3,98	-8,23	-1,12	-4,8	-7,59	-2,21	-5,97	-6,58

Таблица 4

Напряжения в полимеризвестковом покрытии толщиной 1 мм  
 (условия эксплуатации: г. Тюмень, поры не заполнены красочным составом)

Table 4

Stresses in a polymer-lime coating 1 mm thick  
 (operating conditions in Tyumen, pores are not filled with a paint composition)

Месяц	Напряжения, $\sigma_x$ , МПа·10 <sup>-3</sup>														
	$r = 1$ мм			$r = 0,9$ мм			$r = 0,8$ мм			$r = 0,6$ мм			$r = 0,3$ мм		
	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3	Сечение 1, точка 1	Сечение 1, точка 2	Сечение 2, точка 3
07	1,41	-4,44	-12,21	0,72	-5,06	-11,83	0,02	-5,52	-11,48	-1,37	-6,75	-10,58	-2,94	-8,31	-9,19
08	-2,69	3,95	24,69	-1,14	10,11	23,91	0,35	11,25	23,24	2,9	13,59	21,44	6,1	16,85	18,68
09	-3,43	11,39	31,43	-1,21	12,86	30,47	0,44	14,31	29,63	5,09	17,34	27,26	7,62	21,43	23,71
10	-4,24	13,73	37,7	-1,68	15,55	36,62	0,56	17,16	35,55	4,44	20,8	32,69	9,47	25,77	28,39
11	-4	13,66	37,72	-1,62	15,43	36,69	0,73	17,17	35,59	4,49	20,81	32,6	9,32	25,73	28,35
12	-3,08	10,13	27,71	-1,21	11,39	26,85	0,44	12,58	26,08	3,27	15,24	23,97	8,45	18,93	20,84
01	-1,41	4,44	12,22	-0,65	4,95	11,83	0,13	5,52	11,49	1,92	6,7	10,56	3,04	8,33	9,17
02	1,02	-3,49	-9,62	0,34	-3,91	-9,33	-0,25	-4,36	-9,07	-1,14	-5,33	-8,35	-2,41	-6,56	-7,26
03	4,08	-14,63	-40,21	1,44	-16,31	-38,85	-0,79	-18,18	-37,87	-4,78	-22,16	-34,84	-9,93	-27,59	-30,33
04	4,45	-14,63	-40,25	1,79	-16,31	-38,93	-0,79	-18,18	-37,87	-4,78	-22,16	-34,84	-9,95	-27,45	-30,3
05	3,1	-10,85	-30,18	1,25	-12,32	-29,26	-0,59	-13,71	-28,4	-3,65	-16,68	-26,15	-7,58	-20,53	-22,67
06	2,29	-8,23	-22,6	1,01	-9,18	-21,98	-0,38	-10,29	-21,33	-2,71	-12,52	-19,61	-6,97	-15,41	-17,02

Результаты проведенных расчетов свидетельствуют о том, что растрескивание покрытий будет наблюдаться в зоне крупных пор. Кратковременная когезионная прочность полимеризвестковых покрытий составляет  $R_{длт} = 0,13$  МПа, длительная когезионная проч-

ность – 0,065 МПа. Сопоставляя значения напряжений с длительной когезионной прочностью, можно констатировать, что в ряде случаев будет наблюдаться растрескивание покрытий в результате действия термических напряжений.

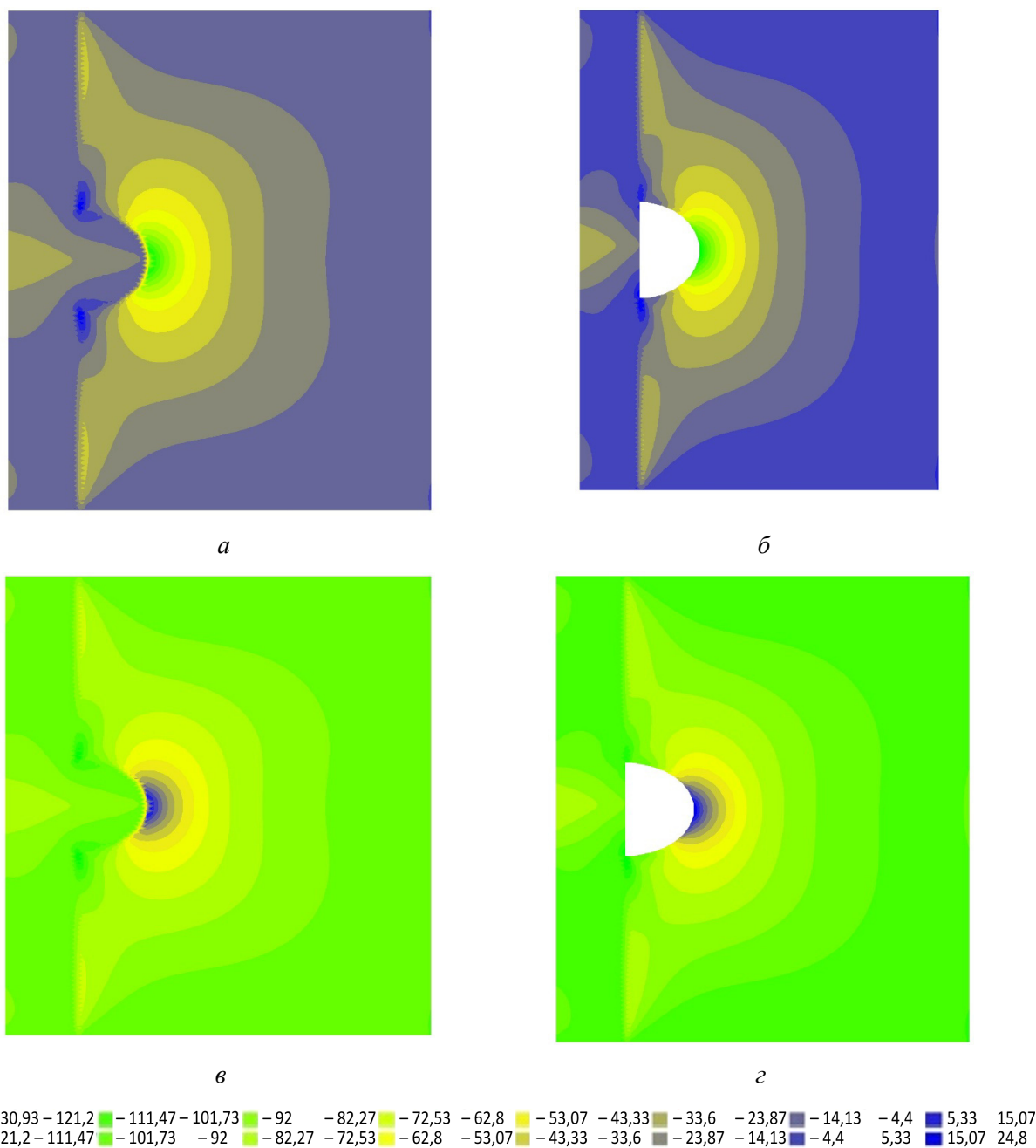


Рис. 4. Распределение напряжений  $\sigma_x$  в покрытии над порой: *a* – заполненной красочным составом; *б* – не заполненной красочным составом; *в* – при отсутствии пор. Толщина покрытия 1 мм, радиус пор 1 мм для условий г. Москвы: *a, б* – в марте месяце; *в, г* – в октябре месяце. (Значения напряжений указаны в МПа · 10<sup>-3</sup>)

Fig. 4. Distribution of stresses  $\sigma_x$  in the coating over the pore: *a* – filled with a paint composition; *б* – unfilled with a colorful composition; *в* – with in the absence of pores. The coating thickness is 1 mm, the pore radius is 1 mm for the conditions of Moscow: *a, б* – in March; *в, г* – in the month of October. (Stress values are in МПа · 10<sup>-3</sup>)

## Выводы

Установлено влияние пористой цементной подложки на напряженное состояние защитно-декоративных покрытий на цементной подложке. Выявлено, что при наличии крупных пор в зоне контакта «покрытие – подложка» напряжения в зоне контакта покрытия с подложкой и на поверхности покрытия имеют разные знаки, что свидетельствует о концентрации напряжений в области пор, которые, в свою очередь, могут приводить к растрескиванию и отслоению полимерного покрытия.

**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. Логанина В.И., Орентлихер Л.П. Повышение качества лакокрасочных покрытий строительных изделий и конструкций. – М.: АСВ, 2007.
2. 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.
3. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения / Е.Н. Каблов, О.В. Старцев, А.С. Кротов, В.Н. Кириллов // Деформация и разрушение материалов. – 2011. – № 1. – С. 34–40.
4. 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
5. 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
6. Loganina V.I. The influence of surface quality of coatings on their deformation properties // Contemporary Engineering Sciences. – 2014. – Vol. 7, № 33–36. – P. 1935–1941. DOI: 10.12988/ces.2014.411241
7. 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)
8. Bern D.L., Grant F.F. High-performance cement plaster (stucco) systems. – AEI 2008: Building Integration Solutions. Denver, Colorado, US, 2008. DOI: 10.1061/41002(328)14
9. Meschke G., Grasberger S. Numerical Modeling of Coupled Hygromechanical Degradation of Cementitious Materials // Journal of Engineering Mechanics. – 2003. – Vol. 129, no. 4. – P. 383–392. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9399(2003)129:4(383)
10. Карякина М.И., Майорова Н.В. Лакокрасочные материалы: технические требования и контроль качества. Справочное пособие. – М.: Химия, 1985.
11. Зубов П.И., Сухарева Л.А. Структура и свойства полимерных покрытий. – М.: Химия, 1982.
12. Состав, структура и свойства цементных бетонов / Г.И. Горчаков, Л.П. Орентлихер, В.И. Савин и др. – М.: Стройиздат 1976. – 144 с.



13. Оценка напряженного состояния отделочного слоя на основе состава с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, М.В. Арискин, З.Н. Родионова, М.А. Садовникова // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2014. – № 2. – С. 77–79.

14. Логанина В.И., Волков И.В., Голубев В.В. Оценка напряженно-деформированного состояния лакокрасочного покрытия в зависимости от качества его внешнего вида // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2008. – № 7 (595). – С. 26–30.

15. Оценка напряженного состояния клеевого слоя на основе сухих строительных смесей с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, М.В. Арискин, О.В. Карпова, К.В. Жегера // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 3 (50). – С. 163–166.

16. Работа штукатурных покрытий в составе современных теплоэффективных наружных стен зданий / В.В. Бабков, Д.А. Сеницын, А.Е. Чуйкин, Р.С. Кильдибаев, О.А. Резвов // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 8. – С. 22–29.

17. Эксплуатационная надежность систем фасадной теплоизоляции / В.В. Бабков [и др.] // Строительные материалы. – 2008. – № 2. – С. 20–27.

18. Злепко В.Ф., Бугай Н.В. О связи длительных и кратковременных свойств прочности трубных сталей // Энергетик. – 1970. – № 11. – С. 4.

19. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. – М.: Наука, 1974.

20. Brown R.P. Durability of polymers – material property data // *Polym. Test.* – 1993. – Vol. 12, N 5. – P. 423–428. DOI: 10.1016/0142-9418(93)90014-G

21. Algorithmic methods of reference-line construction for estimating long-term strength of plastic pipe system / J. Moon, H. Bae, J. Song, S. Choi // *Polym. Test.* – 2016. – Vol. 56. – 58–64. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2016.09.011

22. Sinclair G.B. Stress singularities in classic elasticity. I: Removal, interpretation, and analysis // *Appl. Mech. Revs.* – 2004. – Vol. 57, N 4. – P. 251–297. DOI: 10.1115/1.1762503

23. 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, N 5. – P. 311–332. DOI: 10.1016/S0142-9418(97)00060-3

## References

1. Loganina V.I., Orentlicher L.P. Improving the quality of paint and varnish coatings of building products and structures. Moscow, DIA, 2007.

2. Mzhachikh E.I., Sukhareva L.V., Yakovlev B.C. Durability of polymer coatings // News of higher educational institutions. *Chemistry and chemical technology*, 2006, vol. 49, iss. 2, pp. 108-112.

3. Kablov E.N., Startsev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Climatic aging of aviation composite materials. III. Significant factors of aging. *Deformation and destruction of materials*, 2011, no. 1, pp. 34-40.

4. 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

5. 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

6. Loganina V.I. The influence of surface quality of coatings on their deformation properties. *Contemporary Engineering Sciences*, 2014, vol. 7, no. 33-36, pp. 1935-1941. DOI: 10.12988/ces.2014.411241
7. 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)
8. Bern D.L., Grant F.F. High-performance cement plaster (stucco) systems. *AEI 2008: Building Integration Solutions*. Denver, Colorado, US, 2008. DOI: 10.1061/41002(328)14
9. Meschke G., Grasberger S. Numerical modeling of coupled hygromechanical degradation of cementitious materials. *Journal of Engineering Mechanics*, 2003, vol. 129, no. 4, pp. 383-392. DOI: 10.1061/(ASCE) 0733-9399(2003)129:4(383)
10. Karyakina M.I., Mayorova N.V. Paints and varnishes: technical requirements and quality control. Reference manual. Moscow, Chemistry, 1985.
11. Zubov P.I., Sukhareva L.A. The structure and properties of polymer coatings. Moscow, 1982.
12. Gorchakov G.I., Orentlikher L.P., Savin V.I. et al. Composition, structure and properties of cement concretes. Moscow, Stroyizdat, 1976, 144 p.
13. Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Ariskin M.V., Rodionova Z.N., Sadovnikova M.A. Evaluation of the stress state of the finishing layer based on the composition with the use of synthesized aluminosilicates. *Academic Bulletin UralNIIproekt RAASN*, 2014, no. 2, pp. 77-79.
14. Loganina V.I., Volkov I.V., Golubev V.V. Evaluation of the stress-strain state of the paintwork depending on the quality of its appearance. *News of higher educational institutions. Construction*, 2008, no. 7 (595), pp. 26-30.
15. Loganina V.I., Ariskin M.V., Karpova O.V., Zhegera K.V. Assessment of the stress state of the adhesive layer based on dry building mixtures using synthesized aluminosilicates. *Bulletin of civil engineers*, 2015, no. 3 (50), pp. 163-166.
16. Babkov V.V., Sinityn D.A., Chuikin A.E., Kildibaev R.S., Rezvov O.A. Work of plaster coatings as part of modern heat-efficient exterior walls of buildings. *Journal of Civil Engineering*, 2012, no. 8, pp. 22-29.
17. Babkov V.V. et al. Operational reliability of facade thermal insulation systems. *Building materials*, 2008, no. 2, pp. 20-27.
18. Zlepko V.F., Bugay N.V. On the relationship between long-term and short-term strength properties of pipe steels. *Energetik*, 1970, no. 11, pp. 4.
19. Regel V.R., Slutsker A.I., Tomashevsky E.E. Kinetic nature of the strength of solids. Moscow, Nauka, 1974.
20. Brown R.P. Durability of polymers – material property data. *Polym. Test*, 1993, vol. 12, no. 5, pp. 423-428. DOI: 10.1016/0142-9418 (93) 90014-G
21. Moon J., Bae H., Song J., Choi S. Algorithmic methods of reference-line construction for estimating long-term strength of plastic pipe system. *Polym. Test*, 2016, vol. 56, pp. 58-64. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2016.09.011
22. 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
23. 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