

Известия вузов. Строительство. 2022. № 10. С. 31–36.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (10): 31–36.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 691.55:666.9.03

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-31-36

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РАСТРЕСКИВАНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Валентина Ивановна Логанина

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
Пенза, Россия

Аннотация. Приведены сведения о вероятности растрескивания защитно-декоративных покрытий цементных бетонов в процессе эксплуатации. Старение рассматривается как случайный процесс изменения когезионной прочности покрытий, при этом математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение представляется как функция от какого-либо временного показателя. Оценена вероятность трещинообразования покрытий при термостарении и действии ультрафиолетового облучения. Выявлено, что в процессе старения происходит экспоненциальное снижение когезионной прочности покрытий и рост внутренних напряжений. Наблюдается тенденция к повышению вероятности растрескивания покрытий. Приведены рекомендации подбора рецептуры красок, покрытия на основе которых характеризуются повышенной трещиностойкостью.

Ключевые слова: покрытия, растрескивание, когезионная прочность, вероятность

Для цитирования: Логанина В.И. Оценка вероятности растрескивания лакокрасочных покрытий при воздействии климатических факторов // Известия вузов. Строительство. 2022. № 10. С. 31–36. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-31-36.

Original article

EVALUATION OF THE PROBABILITY OF CRACKING OF PAINT AND VARNISH COATINGS UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS

Valentina I. Loganina

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

Abstract. Information is given on the probability of cracking of protective and decorative coatings of cement concrete during operation. The aging process is considered as a random process of changing the cohesive strength of coatings, while the mathematical expectation and standard deviation are presented as a function of some time indicator. The probability of crack formation of coatings in the process of thermal aging and the action of ultraviolet irradiation is estimated. It was found that during the aging process, an exponential decrease in the cohesive strength of coatings and an increase in internal stresses

are observed. There is a tendency to increase the probability of coating cracking. Recommendations are given for the selection of paint formulations, coatings based on which are characterized by increased crack resistance.

Keywords: coatings, cracking, cohesive strength, probability

For citation: Loganina V.I. Evaluation of the probability of cracking of paint and varnish coatings under the influence of climatic factors. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2022; (10): 31–36. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-766-10-31-36.

Введение. Анализ научно-технической литературы и натурных обследований состояния окрашенной поверхности фасадов зданий свидетельствует, что наиболее распространенным видом разрушения защитно-декоративных покрытий являются их растрескивание и отслаивание [1–4]. В связи с этим прогнозирование трещиностойкости покрытий может быть одним из вариантов решения актуальной задачи – повышения срока службы защитно-декоративных покрытий.

Растрескивание покрытий происходит, когда внутренние растягивающие напряжения достигнут значения когезионной прочности материала покрытия, т.е. [5, 6]

$$\sigma = R_{\text{ког}}, \quad (1)$$

где σ – внутренние напряжения;

$R_{\text{ког}}$ – предел когезионной прочности.

Внутренние напряжения нарастают, а когезионная прочность снижается, в первую очередь, из-за воздействия на покрытие различных климатических факторов в процессе эксплуатации [7]. Рассмотрим процесс растрескивания покрытий с применением статистического анализа вероятности растрескивания. Снижение когезионной прочности покрытий в условиях эксплуатации можно представить как случайный процесс, математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение (СКО) которых являются функцией от какого-либо временного показателя (время термостарения, воздействия УФ-облучения, увлажнения и др.) [8].

Изменение величины $R_{\text{ког}}$ – случайный процесс, в каждый момент времени которого распределение случайной величины подчиняется нормальному закону с математическим ожиданием $M_{R_k}(t)$ и СКО $s_{R_k}(t)$. Величина внутренних напряжений σ рассматривается как функция времени $\sigma(t)$. Тогда вероятность растрескивания $P(R_{\text{ког}} < \sigma)$ также будет функцией времени и определяется как [9–11]

$$P(R_{\text{ког}} < \sigma) = \int_{-\infty}^{\sigma(t)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}s_{R_k}(t)} e^{-\frac{(R_k - M_{R_k}(t))^2}{2s_{R_k}^2(t)}}. \quad (2)$$

Цель работы – оценить вероятность растрескивания защитно-декоративных покрытий цементных бетонов в процессе эксплуатации и разработать рекомендации по повышению стойкости покрытий.

В работе применяли поливинилацетатцементную (ПВАЦ) и полимеризвестковую (ПИ) краски. Были проведены испытания окрашенных образцов на термостарение (выдержка образцов при температуре +50 °C) и воздейст-

вие ультрафиолетового облучения. Источником УФ-облучения служила ртутно-кварцевая лампа ПРК-2.

Предел прочности при растяжении (когезионную прочность) определяли по ГОСТ 18299–72* «Материалы лакокрасочные. Метод определения предела прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве и модуля упругости» на разрывной машине ИР 5057-50. Метод основан на растяжении испытуемого образца размером $0,7 \times 10 \times 50$ мм до разрыва при скорости деформирования 1 мм/мин. Испытания проводили при температуре воздуха $t = 20 \pm 2$ °С и относительной влажности воздуха $\varphi = 65\%$.

Предел прочности при растяжении рассчитывали по результатам испытания не менее пяти образцов каждого состава. Предел прочности при растяжении $R_{\text{ког}}$, МПа ($\text{Н}/\text{мм}^2$), для каждого образца вычисляли по формуле

$$R_{\text{ког}} = \frac{F}{S}, \quad (3)$$

где F – растягивающая нагрузка в момент разрыва, Н;

S – начальная площадь поперечного сечения образца, м^2 .

Внутренние напряжения определяли консольным методом согласно ГОСТ 13036–67 «Лаки и краски. Метод определения внутренних напряжений в лакокрасочных покрытиях». Результаты исследований приведены в таблице.

Анализ полученных данных показывает, что для ПВАЦ и ПИ покрытий при термостарении в начальный момент времени (до 50 ч) наблюдается повышение когезионной прочности, вызванное процессами структурообразования. В последующем превалируют процессы деструкции и происходит снижение когезионной прочности. Однако визуальный осмотр окрашенных образцов свидетельствует об отсутствии каких-либо признаков разрушения.

Рост внутренних напряжений в ПВАЦ и ПИ покрытиях наблюдается как при термостарении, так и при УФ-облучении. Стабилизация внутренних напряжений происходит через 100 ч. Значения вероятности растрескивания покрытий, рассчитанные в соответствии с формулой (2), в процессе старения приведены на рисунке.

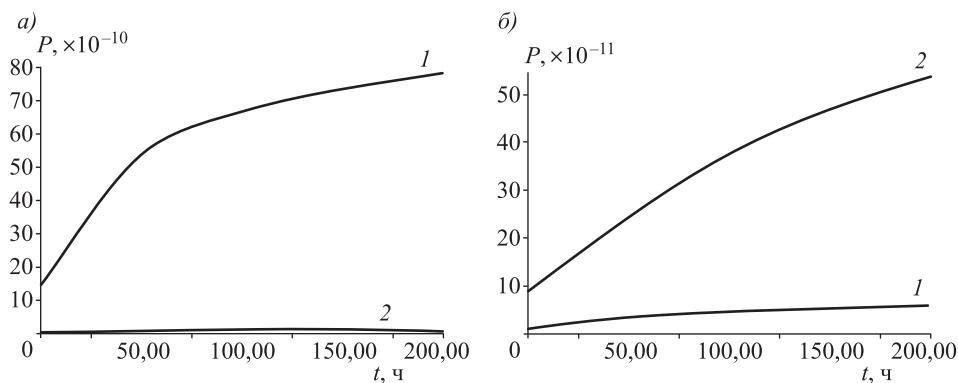
При термостарении вероятность растрескивания ПВАЦ покрытий значительно выше, чем ПИ покрытий, несмотря на более высокое среднее значение когезионной прочности. Это связано с более интенсивным нарастанием внутренних напряжений и большим разбросом наблюдаемых значений около среднего [12].

При УФ-облучении изменение вероятности растрескивания ПИ покрытий носит более плавный характер по сравнению с ПВАЦ покрытиями, что свидетельствует о большей трещиностойкости полимеризвестковых покрытий. Снижению вероятности растрескивания покрытия будет способствовать уменьшение вариабельности показателя когезионной прочности, что достигается снижением вариативности компонентов рецептуры красок [13].

Значения когезионной прочности $R_{\text{кор}}$, МПа, и внутренних напряжений в покрытиях

Values of cohesive strength and internal stresses in coatings

Показатель	Время t , ч			
	0	50	100	150
В процессе термостарения				
ПВАЦ покрытие				
среднее значение когезионной прочности $M_{R_k}(t)$	2,1	5,49	4,62	4,1
среднеквадратическое отклонение СКО $s_{R_k}(t)$	0,308	0,823	0,693	0,615
значения внутренних напряжений $\sigma(t)$, МПа	0,06	0,142	0,162	0,162
ПИ покрытие				
среднее значение когезионной прочности $M_{R_k}(t)$	1,87	2,75	2,11	2,04
среднеквадратическое отклонение СКО $s_{R_k}(t)$	0,292	0,412	0,317	0,306
значения внутренних напряжений $\sigma(t)$, МПа	0,025	0,03	0,07	0,07
При УФ-облучении				
ПВАЦ покрытие				
среднее значение когезионной прочности $M_{R_k}(t)$	2,1	4,62	4,4	4,36
среднеквадратическое отклонение СКО $s_{R_k}(t)$	0,308	0,647	0,660	0,621
значения внутренних напряжений $\sigma(t)$, МПа	0,05	0,065	0,093	0,097
ПИ покрытие				
среднее значение когезионной прочности $M_{R_k}(t)$	1,87	2,23	2,1	1,68
среднеквадратическое отклонение СКО $s_{R_k}(t)$	0,292	0,334	0,325	0,248
значения внутренних напряжений $\sigma(t)$, МПа	0,025	0,07	0,090	0,099



Изменение вероятности растрескивания при термостарении (a) и при УФ-облучении (б)

1 – ПВАЦ покрытие; 2 – ПИ покрытие

Change in the probability of cracking during thermal aging (a) and under UV-irradiation (b)

1 – PVAC coating; 2 – PI coating

Выводы. Установлена более низкая вероятность растрескивания полимерзвестковых покрытий по сравнению с поливинилэфирцементными. Снижению вероятности растрескивания покрытия будет способствовать подбор компонентов рецептуры красок, характеризующихся низкой вариабельностью показателей качества.

Список источников

1. *Loganina V.I.* Maintenance of quality of paint and varnish coverings of building products and designs // Contemporary Engineering Sciences. 2014. Vol. 7, no. 33–36. P. 1943–1947.
2. Логанина В.И., Орентихер Л.П. Повышение качества лакокрасочных покрытий строительных изделий и конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2007. 144 с.
3. *Loganina V.I., Uchaeva T.V., Monastyr'ev P.V.* The method to estimate the surface appearance quality of the paint applied to the cement // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11. P. 2409–2410.
4. *Han L.X., Han J., Sun F.M., Huo Y.J.* The distinctive charm of coating-architecture in the modern urban development // Advanced Materials Research. 2011. Vol. 160–162. P. 880–885.
5. Карякина М.И. Физико-химические основы образования и старения покрытий. М.: Химия, 1980. 216 с.
6. Зубов П.И., Сухарева Л.А. Структура и свойства полимерных покрытий. М.: Химия, 1982. 256 с.
7. Сухарева Л.А. Прочность полимерных покрытий. М.: Химия, 1984. 240 с.
8. Андрющенко Е.А. Светостойкость покрытий. М.: Химия, 1986. 187 с.
9. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. для вузов. 12-е изд. М.: Юрайт, 2022. 479 с.
10. *Fernandez A.J., Perez-Gonzalez C.J., Kohansal A.* Improved time-censored reliability test plans for k-out-of-n gamma systems // Journal of computational and applied mathematics. 2019. Vol. 361. P. 42–54.
11. *Gazi H., Alhan C.* Reliability of elastomeric-isolated buildings under historical earthquakes with/without forward-directivity effects // Engineering structures. 2019. Vol. 195. P. 490–507.
12. *Song P.S., Wu J.C., Hwang S., Sheu B.C.* Assessment of statistical variations in impact resistance of high-strength concrete and high-strength steel fiber-reinforced concrete // Cement and Concrete Research. 2005. Vol. 35, no. 2. P. 393–399.
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.* Maintenance of quality of paint and varnish coverings of building products and designs. Contemporary Engineering Sciences. 2014; 7(33-36): 1943–1947.
2. *Loganina V.I., Orentlicher L.P.* Improving the quality of paint and varnish coatings of building products and structures. Moscow, 2007. 144 p. (In Russ.).
3. *Loganina V.I., Uchaeva T.V., Monastyr'ev P.V.* The method to estimate the surface appearance quality of the paint applied to the cement. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016; (11): 2409–2410.
4. *Han L.X., Han J., Sun F.M., Huo Y.J.* The distinctive charm of coating-architecture in the modern urban development. *Advanced Materials Research*. 2011; (160-162): 880–885.

5. Karyakina M.I. Physical and chemical bases of formation and aging of coatings. Moscow, 1980. 216 p. (In Russ.).
6. Zubov P.I., Sukhareva L.A. Structure and properties of polymer coatings. Moscow, 1982. 256 p. (In Russ.).
7. Sukhareva L.A. Strength of polymer coatings. Moscow, 1984. 240 p. (In Russ.).
8. Andryushchenko E.A. Lightfastness of coatings. Moscow, 1986. 187 p. (In Russ.).
9. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics: a textbook for universities. 12th ed. Moscow, 2022. 479 p. (In Russ.).
10. Fernandez A.J., Perez-Gonzalez C.J., Kohansal A. Improved time-censored reliability test plans for k-out-of-n gamma systems. *Journal of computational and applied mathematics*. 2019; (361): 42–54.
11. Gazi H., Alhan C. Reliability of elastomeric-isolated buildings under historical earthquakes with/without forward-directivity effects. *Engineering structures*. 2019; (195): 490–507.
12. Song P.S., Wu J.C., Hwang S., Sheu B.C. Assessment of statistical variations in impact resistance of high-strength concrete and high-strength steel fiber-reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*. 2005; 35(2): 393–399.
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 авторе

В.И. Логанина – доктор технических наук, профессор, loganin@mail.ru

Information about the author

V.I. Loganina – DSc, Professor, loganin@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.08.2022

Одобрена после рецензирования 20.09.2022

Принята к публикации 27.09.2022

The article was submitted 20.08.2022

Approved after reviewing 20.09.2022

Accepted for publication 27.09.2022