

## Корреляция между методами климатических испытаний и прогнозирование срока службы лакокрасочных систем

Тьы Минь Тиен,<sup>1\*</sup> До Динь Чунг,<sup>1\*\*</sup> В.Н. Серeda<sup>2</sup> и В.А. Карпов<sup>2\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Институт тропического материаловедения, Совместный Российско-вьетнамский тропический центр, Кау Зай, Ханой 100000, Вьетнам.

<sup>2</sup>Институт экологии и эволюции им. Северцова РАН, 119071, Москва, Российская Федерация.

E-mails: [\\*tminbelo@gmail.com](mailto:*tminbelo@gmail.com);

[\\*\\*trungdodinh@mail.ru](mailto:**trungdodinh@mail.ru);

[\\*\\*\\*wtc-karpov@rambler.ru](mailto:***wtc-karpov@rambler.ru).

### Аннотация

Обеспечение стойкости лакокрасочных материалов (ЛКМ) к воздействию климатических факторов является актуальной проблемой, особенно при их применении в условиях тропиков. При этом испытания в атмосферных условиях (натурные испытания) являются главным методом подтверждения стойкости ЛКМ. Вместе с тем, ускоренные испытания ЛКМ в ряде случаев позволяют ускорить получение предварительных результатов для принятия решения на проведение натуральных испытаний. Поиск надежных корреляций результатов натуральных и ускоренных испытаний ЛКМ является предметом исследований на протяжении уже десятилетий. Выявление этих корреляций позволяет достаточно быстро оценивать стойкость систем лакокрасочных покрытий (ЛКП) к воздействию климатических факторов и прогнозировать деградацию их декоративных и защитных свойств.

В этой статье представлены результаты натуральных испытаний в течение 5 лет в условиях морской тропической атмосферы Вьетнама трех систем ЛКП для защиты металлов и результаты ускоренных испытаний этих же систем. Получена корреляция деградации свойств ЛКП по показателям блеск и цвет. Прогнозирование срока службы систем ЛКП осуществлялось с учетом рекомендаций ГОСТ 9.401-2018.

**Ключевые слова:** *стойкость к воздействию климатических факторов, испытания в атмосферных условиях, ускоренные испытания, системы лакокрасочных покрытий, тропический климат, корреляция, прогнозирование срока службы.*

Поступила в редакцию 29.09.2023 г.; После доработки 29.09.2023 г.; Принята к публикации 29.09.2023 г.

### Введение

Наиболее распространенным решением проблемы борьбы с коррозией металлических конструкций в атмосферных условиях является нанесение защитных

систем ЛКП. Поэтому задача установления эффективности применения ЛКП в различных климатических условиях (климатические исполнения [1]) является актуальной как производителей, так и потребителей лакокрасочной продукции.

Высокий температурно-влажностный фон, высокая радиация, протяженная береговая линия с морским аэрозолем – основные климатические факторы тропического климата Вьетнама, оказывающих влияние на долговечность ЛКП, особенно применяемых на наружном контуре изделий. Знания о тропической стойкости ЛКП является основой оптимизации эффективности их применения. Основным методом изучения тропической стойкости ЛКП являются климатические испытания, включающие натурные и ускоренные.

Исследования [2] показывают, что результаты испытаний в соленом тумане часто используют [3] при выборе системы покрытий для защиты конструкционной стали в коррозионной среде С2–С5. Однако этот режим далеко не всегда коррелирует с результатами испытаний в атмосферных условиях, так как механизмы старения ЛКП различные. Испытания на циклическое старение лучше коррелирует с испытаниями в атмосферных условиях. Авторы [2] также пришли к выводу, что увеличение коэффициента ускорения в испытаниях снижает коэффициент корреляции с результатами испытаний в атмосферных условиях.

Исследование О.О. Кнудсена и др. [4] показывает взаимосвязь между 4 ускоренными методами испытаний [5–8] и 5-летними испытаниями защитных покрытий в атмосферных условиях по показателю крип-коррозии. Все покрытия проходят испытания в атмосферных условиях в районе Снорре (Норвежское море) в течение 5 лет и одновременно в лаборатории SINTEF проводятся ускоренные испытания. Коэффициенты корреляции использовались для оценки связи между ускоренными и испытаниями в атмосферных условиях. Корреляция рассчитывается как для характеристик максимального крипа, так и для среднего крипа. Результаты показывают, что испытание NOROK [5] и испытание Volvo [8] дают лучшую корреляцию, чем испытание ISO в соляном тумане [6] и испытание Mebon Prohesion [7]. Таким образом, испытание влажным/сухим циклом хорошо коррелирует с испытаниями в атмосферных условиях.

Цзинь Гао и др. [9] представили результаты исследования методом одновременного многофакторного ускорения, имитирующего морскую атмосферу, на характеристики старения систем акрил-полиуретан/эпоксид/углеродистая сталь. Ускоренное испытание состоит из 3-х фаз. Фаза 1: УФ и солевой туман одновременно в течение 4 ч при  $t=55\pm 2^\circ\text{C}$ ; фаза 2: УФ в течение 2 ч при  $t=55\pm 2^\circ\text{C}$ ; 3-я фаза: солевой туман в течение 6 ч при  $t=35\pm 2^\circ\text{C}$ , где интенсивность УФ-излучения ( $\lambda=340\text{ нм}$ ) составляет  $1,05\text{ Вт/м}^2$ , а концентрация NaCl составляет 5%. Результаты сравнивались с испытаниями в атмосферных условиях [10] в Ваньнине, Хайнань (Китай) и циклическими ускоренными испытаниями [11]. Результаты испытаний показывают, что корреляция старения указанных систем ЛКП выше при

многофакторном одновременном ускоренном испытании, чем при циклическом ускоренном испытании.

Таким образом, процесс старения систем лакокрасочных покрытий в условиях многофакторного ускоренного испытания ближе к механизму старения покрытия в условиях натуральных испытаний.

М.И. Карякина [12] изучала влияние климатических факторов на старение систем ЛКП и пришла к выводу, что характеристики старения большинства систем покрытий сходны, то есть одинаковые системы покрытий, при испытаниях на разных испытательных станциях с разной атмосферой, будут иметь те же характеристики старения, хотя скорости старения будут отличаться. Это исследование также предполагает, что потеря блеска и меление на ранней стадии старения могут быть выбраны в качестве критериев оценки атмосферостойкости покрытий. Результаты исследования корреляции потери блеска между испытаниями в атмосферных условиях и ускоренным испытанием представлены в виде зависимости потери блеска от времени ускоренного испытания  $\tau_0$  и времени испытания в атмосферных условиях  $\tau$ . Исходя из этого, определены моменты времени  $\tau_{0i}$  и  $\tau_i$ , при которых потеря блеска достигает одинакового значения. По значениям  $\tau_{0i}$  и  $\tau_i$  можно построить график  $\tau = \varphi(\tau_0)$ , который представляется в виде аппроксимированной функции  $\tau = a \cdot \tau_0^b$ . Таким образом, для каждой конкретной системы ЛКП существует своя пара коэффициентов  $(a, b)$ , представляющих корреляцию потери блеска.

Целью настоящего исследования является установление корреляционных связей между испытаниями в атмосферных условиях и ускоренными лабораторными испытаниями, поиск надежных показателей оценки стойкости ЛКП к воздействию климатических факторов для прогнозирования срока их службы. Следует подчеркнуть, что степень корреляции зависит от того, какие материалы выбраны для испытаний, какие параметры выбраны для построения корреляций, какие методы выбраны для ускорения и в каких атмосферных условиях проводятся испытания.

## Эксперимент

### *Приготовление образцов*

Образец для испытаний представляет собой систему, состоящую из основного металла, грунтовки и покрытия. Испытывались три системы покрытий фирмы Jotun, в которых: алкидная система (АК) включает грунтовку (Jotun Alkyd Primer) и покрытие (Alkyd Jotun Pilot II); эпоксидная система (ЭП) включает грунтовку (Jotun Pengoard Primer) и покрытие (Jotun Pengoard FC); полиуретановая система (ПУ) включает грунтовку (Jotun Pengoard Primer) и покрытие (Hard Top ХРСОМРА).

Основной металл – сталь Ст3 с шероховатостью поверхности образцов от 0,5 до 1,14 мкм, размеры образцов 300×150×2 мм – для испытаний в атмосферных условиях и 150×75×2 мм – для ускоренных испытаний. После приготовления образцы

кондиционировались в лабораторных условиях в течение 7 суток. Затем измерялись исходные параметры ЛКП, в частности: толщина покрытия, блеск и цвет.

### *Метод испытания*

Испытания в атмосферных условиях проводились на испытательной станции ДамБай (109°29′ восточной долготы, 12°18′ северной широты), расположенной на острове Хонче, провинция Кхань Хоа (Вьетнам) с тропическим морским климатом. Образцы помещали на стенд под углом 45° к горизонтали обращенный на юг. Продолжительность испытаний в атмосферных условиях составляет пять лет (07.2016–07.2021). Оценка декоративных и защитных свойств покрытий проводилась каждые три месяца.

Выбор метода ускоренных испытаний, подходящего к условиям станции ДамБай, осуществлялся следующим образом. Во-первых, исходя из климатического исполнения и категория размещения изделия ЛКП [1], был выбран вариант климатического исполнения “ТВ” и категория размещения “1”. Во-вторых, при выборе группы условий эксплуатации ЛКП в соответствии с [15], для варианта “ТВ” и “1” подходит группа условий эксплуатации–Т1. Наконец, группа условий эксплуатации “Т1” и тип атмосферы ДамБай III (морская), согласно стандарту [13], соответствует методу испытания номер 9.

Таким образом, ускоренное испытание было проведено по методике 9 стандарта [13]. Это метод циклического ускорения, который имитирует воздействие тропической морской атмосферы и условие эксплуатации изделия ЛКП на открытом воздухе. Цикл (24 часа) включает следующие фазы: фаза 1 – температура  $t=55\pm 2^{\circ}\text{C}$  и относительная влажность  $RH=97\pm 3\%$  в течение 5 часов; фаза 2 –  $t=35\pm 2^{\circ}\text{C}$  и концентрация NaCl 5% в течение 3 ч; фаза 3 –  $t=55\pm 2^{\circ}\text{C}$  и  $RH=97\pm 3\%$  в течение 5 ч; фаза 4 –  $t=60\pm 3^{\circ}\text{C}$ , УФ-излучение 290–400 нм,  $35\pm 5 \text{ Вт/м}^2$ , работа в режиме 4–16 (4 мин струя воды, 16 мин сушка). Это условие сохраняется в течение 10 часов; фаза 5 –  $t=15\text{–}30^{\circ}\text{C}$  и  $RH<80\%$  в течение 1 ч (при лабораторных условиях).

### *Методы измерения и оценки*

Цвет и блеск покрытий измеряли прибором CIELAB X-rite Ci 62 с цветовыми координатами ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) и прибором RHO-NGT 20/60/85 Trio, под углом 60°. Коррозию оценивали после каждого цикла визуально по 6-балльной шкале или, при необходимости, с помощью 10-кратной лупы, согласно рекомендаций [14].

Корреляция потери блеска определяли по периодам испытаний в атмосферных условиях (месяцы) и числу циклов ускоренным испытанием, при которых блеск достигал одинакового значения. Аналогичным образом определялась и корреляция цветов.

Степень коррозии испытуемых образцов определялась через каждый цикл испытаний, и фиксировался момент начала появления коррозии по баллам. Срок

службы покрытия был спрогнозирован в соответствии с рекомендациями [13], при этом ускоренные испытания проводились до тех пор, пока коррозионная стойкость не превысила балл-3 (суммарная площадь коррозии не более 1%) по [14]. Коэффициент ускорения был принят равным 18 для условий *T1*.

## Результаты и обсуждение

Результаты измерения исходных параметров систем ЛКП представлены в таблице 1. Статистика метео- и специальных параметров на станции ДамБай за 5 лет испытаний (с 07.2016 по 07.2021) представлена в таблице 2.

**Таблица 1.** Системы ЛКП и их параметры до проведения испытаний в атмосферных условиях и ускоренных испытаний.

Система покрытия	Общая толщина, мкм		Блеск		Цвет, (L*, a*, b*)					
	Поле-исп	Уск-исп	Поле-исп	Уск-исп	Испытания в атмосферных условиях			Ускоренные испытания		
					L*	a*	b*	L*	a*	b*
АК	42	40	80	76	89,34	-2,24	11,67	89,12	-1,99	10,22
ЭП	78	72	75	73	25,36	-3,61	-35,74	25,41	-3,59	-34,28
ПУ	78	83	89	86	92,37	-1,53	3,84	92,86	-1,39	4,52

**Таблица 2.** Средние за 5 лет значения метео- и специальных параметров на станции ДамБай.

Температура, °С	Отн. влажность, %	Солнечное излучение, МДж/м <sup>2</sup>	УФ, МДж/м <sup>2</sup>	Количество осадков, мм	Осаждение СГ, мг/м <sup>2</sup> ·сут	Осаждение SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>2</sup> ·сут
27,3	80	6722	309	1677	45–60	4,1–4,5

Данные по изменению цвета, потере блеска и степени коррозии для систем покрытий, испытанных в атмосферных условиях, представлены в таблице 3.

**Таблица 3.** Данные испытаний в атмосферных условиях на станции ДамБай.

Время, месяц	Изменение цвета, ΔE			Потеря блеска			Степень коррозии		
	АК	ЭП	ПУ	АК	ЭП	ПУ	АК	ЭП	ПУ
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2,23	3,75	8,36	13	27	35	0	0	0

5	2,84	4,44	8,91	25	46	50	1	0	0
8	3,36	4,97	9,66	32	62	61	2	0	0
11	3,75	5,46	10,12	38	65,4	76	3	0	0
14	4,01	5,95	10,78	44	68,0	80,3	3	0	0
17	4,57	6,15	11,13	51	69,6	82,4	4	1	0
20	4,92	6,77	11,67	57	70,3	84,2	4	2	0
23	5,21	7,24	12,23	64	70,9	84,9	4	2	1
26	5,75	7,69	12,59	70	71,5	85,3	4	3	2
29	6,12	8,13	12,87	72,6	72,4	85,6	5	4	2
32	6,59	8,85	13,14	75,4	73,3	86,0	5	4	3
35	–	9,44	13,46	–	73,5	86,5	–	4	3
38	–	10,31	13,75	–	73,8	86,9	–	4	3
41	–	10,8	13,96	–	74,0	87,5	–	5	4
47	–	–	–	–	–	–	–	5	4
60	–	–	–	–	–	–	–	5	4

Результаты измерения изменения цвета, потери блеска и степень коррозии красок после ускоренных испытаниях представлены в таблицах 4 и 5.

**Таблица 4.** Данные замера декоративных свойств после ускоренных испытаний.

Количество циклов	Изменение цвета, $\Delta E$			Потеря блеска		
	АК	ЭП	ПУ	АК	ЭП	ПУ
0	0	0	0	0	0	0
2	1,73	0,74	1,33	3	3	1
5	3,55	1,93	1,87	8	6	3
9	4,12	3,15	7,70	14	11	6
16	4,78	4,26	9,13	26	14	8
23	5,78	5,05	11,77	34	19	11
30	6,26	6,3	12,67	41	39	32
37	6,68	7,14	13,34	46	52	50
44	–	7,78	13,96	–	58	62
51	–	–	–	–	65	72
58	–	–	–	–	68	74

Таблица 5. Данные по степени коррозии после ускоренных испытаний.

Система ЛКП	Момент начала появления коррозии (балл), количество циклов		
	Балл-1	Балл-2	Балл-3
АК	9	13	19
ЭП	28	33	39
ПУ	40	51	58

### Анализ изменения цвета

Из рисунка 1 видно, что при испытаниях в атмосферных условиях и ускоренных испытаниях на всех ЛКП наблюдаются аналогичные изменения кривых зависимости изменения цвета от времени испытаний, так как цвет значительно изменяется в течение начального периода испытаний, а затем замедляется.

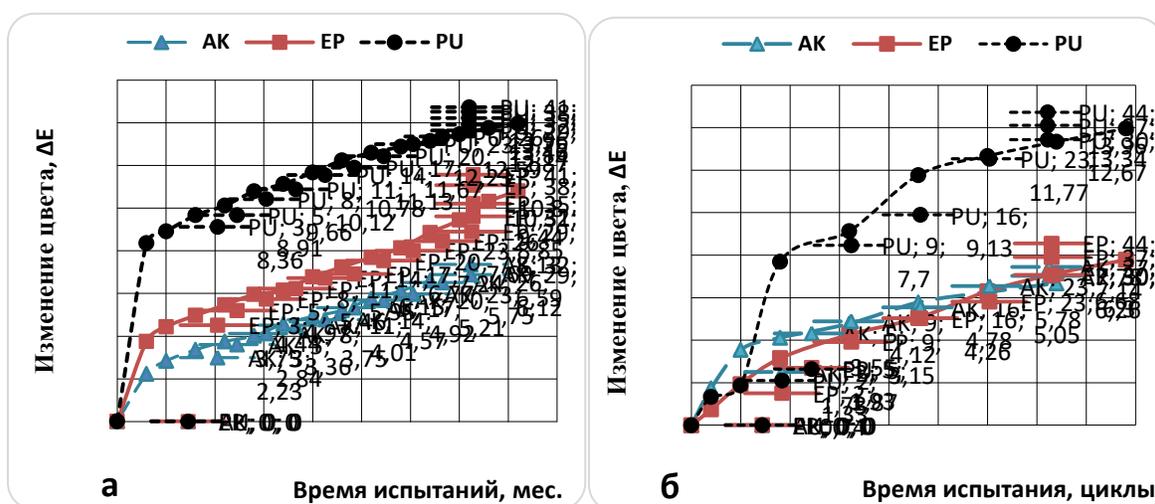


Рисунок 1. Изменение цвета лакокрасочных систем при испытаниях в атмосферных условиях (а) и ускоренных (б) испытаниях.

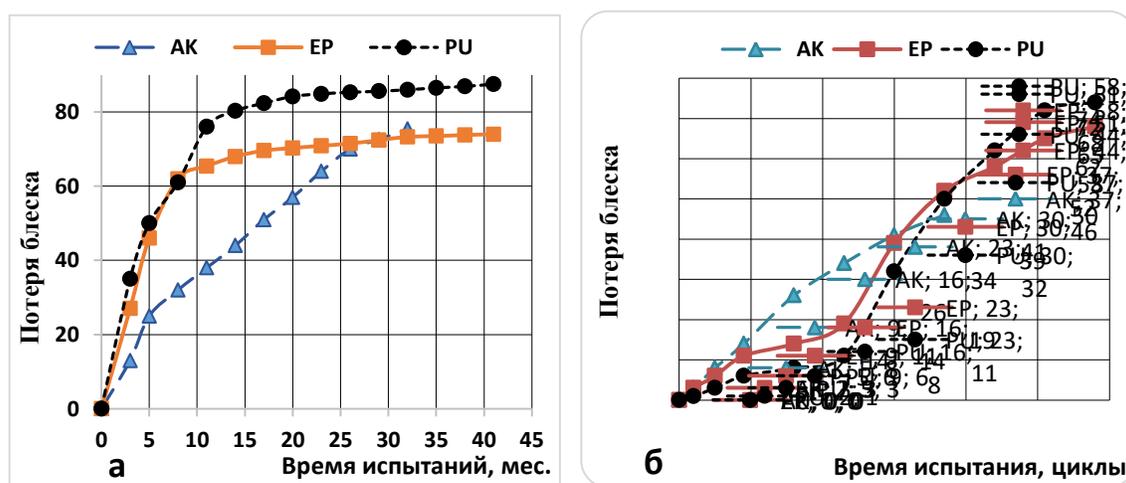
При испытаниях в атмосферных условиях после 3-х месяцев испытаний на всех системах ЛКП наблюдались точки, в которых происходило изменение наклона кривых. В то время как в ускоренном испытании точки, в которых происходило изменение наклона кривых, появляются на 5-м цикле испытаний для АК, на 9-м цикле для ЭП и ПУ; степень потери цвета ( $\Delta E$ ) за первые 5 циклов для АК – 3,55, для ЭП – 1,93 и для ПУ – 1,87. Таким образом, стойкость пленкообразователя продлевает время до появления точек, в которых происходит изменение наклона кривых и ограничивает степень изменения цвета на ранних стадиях.

Корреляция определялась по времени испытаний в атмосферных условиях (месяцы) и количеству циклов ускоренных испытаний (суток), когда изменение цвета

систем лакокрасочных покрытий достигало одинакового значения. Анализ полученных данных показывает, что метод ускорения дает линейную корреляцию с испытаниями в атмосферных условиях с коэффициентом  $R^2$  около 0,96 для всех трех испытываемых систем лакокрасочных покрытий.

### Анализ потери блеска

Из рисунка 2, для испытаний в атмосферных условиях, за исключением ЛКП АК, которая имеет регулярно меняющийся блеск, на двух других системах лакокрасочных покрытий сначала наблюдается сильный наклон кривых зависимости изменения потери блеска от времени испытаний, затем после достижения точки изгиба происходит уменьшение наклона кривой. Система ЭП имеет точку изгиба через 8 месяцев испытаний с потерей блеска 83%, система ЛКП ПУ имеет точку изгиба через 11 месяцев с потерей блеска 85%. Таким образом, основной блеск теряется после достижения точек изгиба. Для системы ЛКП ПУ, который имеет более высокую стойкость к воздействию климатических факторов, чем ЭП, изгиб происходит позже.



**Рисунок 2.** Потеря блеска лакокрасочных систем при испытаниях в атмосферных условиях (а) и ускоренных (б) испытаниях.

Для ускоренных испытаний, кроме системы АК с регулярно меняющимся блеском, на остальных двух системах наблюдалось медленное изменение степени блеска на первом этапе, затем после достижения первой точки изгиба (на цикле 23) наблюдалось более значительное изменение степени блеска и по достижении второй точки изгиба кривых (на цикле 51) опять наблюдалось замедление изменения степени блеска (аналогично испытаниям в атмосферных условиях). Степень потери блеска в точках изгиба 1 и 2 для системы ЭП составляет (26 и 89%), а для системы ПУ – 13 и 84%. Для первой точки изгиба потеря блеска системой ПУ, которая имеет более высокую стойкость к воздействию климатических факторов, чем ЭП, меньше.

Таким образом, системы с более стойкими к воздействию климатических факторов пленкообразователями меньше теряют блеск на ранних стадиях испытаний. Основной блеск теряется после достижения 2-й точки изгиба, что хорошо согласуется с состоянием ЛКП при испытаниях в атмосферных условиях после достижения точки изгиба. Таким образом, за исключением начального этапа испытаний, характер потери блеска при ускоренном испытании похож на испытания в атмосферных условиях, то есть резко увеличивается до достижения второй точки изгиба, а затем медленно увеличивается до тех пор, пока блеск почти не исчезнет.

Корреляцию определяли по времени испытаний в атмосферных условиях и количеству циклов ускоренных испытаний, когда потеря блеска системы ЛКП достигает одинакового значения. Анализ показывает, что метод ускорения дает линейную корреляцию с испытаниями в атмосферных условиях с коэффициентом  $R^2$  около 0,90 для систем ЛКП ЭП и ПУ и 0,98 для АК.

#### *Характеристики изменения цвета и потери блеска систем ЛКП*

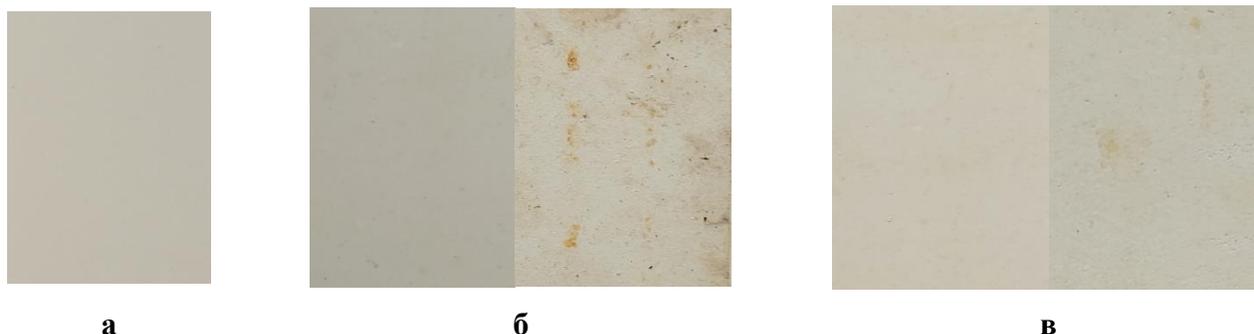
Характеристики потери блеска и изменения цвета на начальном этапе испытаний в атмосферных условиях отличаются от аналогичных характеристик при ускоренных испытаниях, так как в дополнение к погодным факторам (ультрафиолетовая составляющая солнечного излучения, температурно-влажностный фактор, наличие хлоридов и т. д.), которые также присутствуют при ускоренных испытаниях, существуют и другие факторы (механические и биологические), характерные для испытаний в атмосферных условиях, которые также существенно влияют на снижение блеска и изменение цвета.

К механическим факторам относятся физические воздействия частиц пыли, переносимых ветром с различной скоростью, которые могут повредить ЛКП, вызывая царапины и трещины и износ покрытия. Биологические факторы возникают в результате жизнедеятельности микроорганизмов, которые выделяют много активных веществ, способных нанести вред, создавая более агрессивную среду. Поэтому во многих случаях наблюдается на ранних стадиях испытаний в атмосферных условиях, что блеск и обесцвечивание исчезают быстрее, чем при ускоренных испытаниях, особенно когда испытания в атмосферных условиях начинаются в период (сезон) с высокой агрессивностью окружающей среды. Июль (время начала испытаний в атмосферных условиях) – время с наиболее суровой погодой на станции ДамБай из-за высокого температурно-влажностного фона, сильной радиации и сильного муссона.

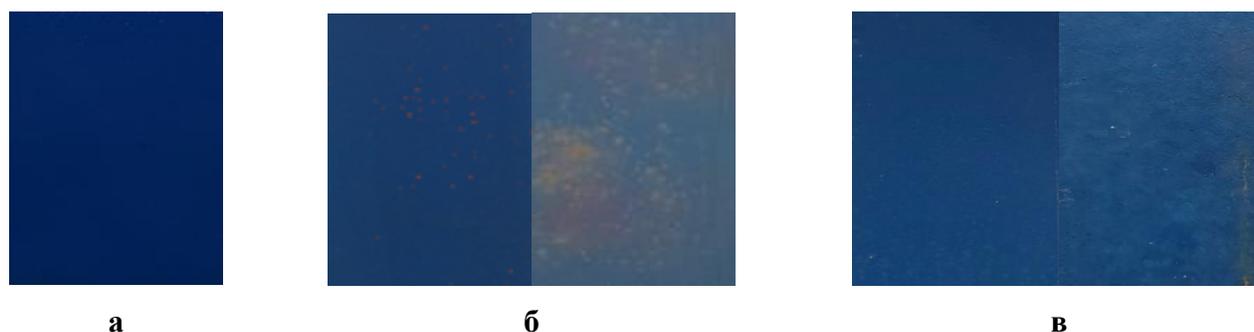
Природа пленкообразующего полимера оказывает основное влияние на стойкость цвета и блеска покрытия. Более стойкие к воздействию климатических факторов системы ЛКП замедляют процесс старения декоративных свойств. Это хорошо видно при оценке результатов первых этапов ускоренных испытаний.

Внешний вид образцов при испытаниях в атмосферных условиях и ускоренных

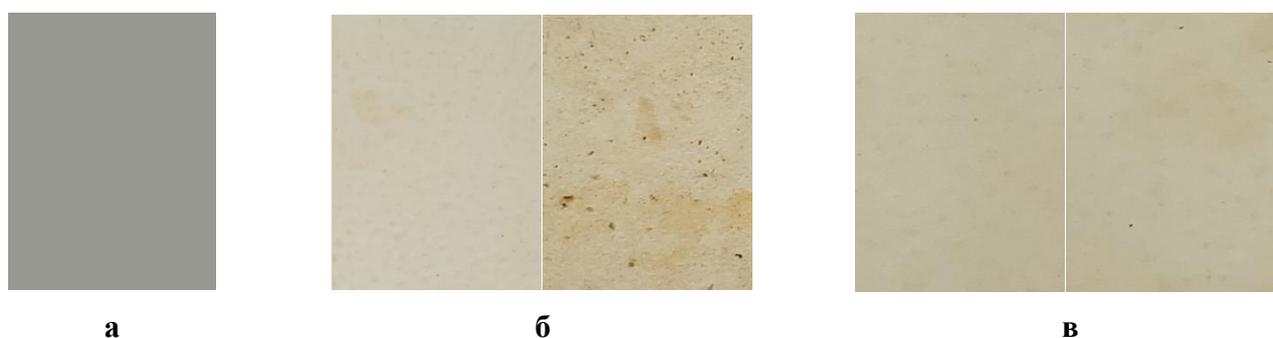
испытаниях показан на рисунках 3–5.



**Рисунок 3.** Процесс деградации системы ЛКП АК при испытаниях в атмосферных условиях и ускоренных испытаниях. (а) начало, (б) после 1 и 2 лет испытаний в атмосферных условиях, (в) после 11 и 19 циклов ускоренных испытаний.



**Рисунок 4.** Процесс деградации системы ЛКП ЭП при испытаниях в атмосферных условиях и ускоренных испытаниях. (а) начало, (б) после 2 и 4 лет испытаний в атмосферных условиях, (в) после 28 и 39 циклов ускоренных испытаний.



**Рисунок 5.** Процесс деградации системы ЛКП ПУ при испытаниях в атмосферных условиях и ускоренных испытаниях. (а) начало, (б) после 3 и 5 лет испытаний в атмосферных условиях, (в) после 43 и 58 циклов ускоренных испытаний.

### *Срок службы ЛКП*

Результаты ускоренных испытаний показывают, что время достижения коррозионной стойкости балла-3 для системы АК фиксируется через 19 циклов, для системы ЭП – через 39 циклов, а для системы ПУ – через 58 циклов.

При испытаниях в атмосферных условиях время, когда коррозионная стойкость достигала балла-3, для системы АК было зафиксировано через 11 месяцев, для покрытия ЭП – через 26 месяцев, а для системы ПУ – через 32 месяца. Согласно [13], коэффициент ускорения принимается равным 18 для условий *T1*, поэтому для системы АК прогнозируемое время достижения коррозией точки-3 составляет после  $19 \cdot 18 : 365 = 0,94$  года, при этом отклонение от результатов испытаний в атмосферных условиях составляет  $\sim 0\%$ . Так же и для системы ЭП  $39 \cdot 18 : 365 = 1,92$  года, отклонение 11,5%; для системы ПУ  $58 \cdot 18 : 30 = 2,86$  года, отклонение  $\sim 7\%$ .

С учетом ошибки прогнозирования метода ускоренного испытания по стандарту ( $\pm 10\%$ ) за хороший результат можно принять только систему АК. Объяснено это может быть тем, что для стандарта ГОСТ 9.401 корреляция между количеством циклов испытаний и сроком службы была сделана на основании исследований систем ЛКП с невысокими сроками службы (например, срок службы ЛКП систем в условиях эксплуатации морского тропического климата – до 1 года.) Увеличение количества циклов ускоренных испытаний (для системы ЭП – 39, для системы ПУ – 58) привело к большему отклонению результатов ускоренных от испытаний в атмосферных условиях.

## Выводы

1. Воздействие агрессивных климатических и биологических факторов в своей совокупности определяют интенсивность деградации декоративных и защитных свойств систем ЛКП различной химической природы.
2. Для системы ЛКП АК результаты исследований по методикам ГОСТ 9.401 с учетом условий применения покрытия регламентированных ГОСТ 9.104 дают хорошую корреляцию между ускоренными и натурными испытаниями в условиях морского тропического климата.
3. Взаимосвязь между испытаниями в атмосферных условиях и ускоренными испытаниями можно установить только в том случае, если известен химический состав ЛКП, влияние на него ряда важных факторов, например, состав загрязняющего вещества, спектрального распределения потока солнечного излучения, температуры нагрева образца, тип и циклы увлажнения поверхности образца и относительной влажности окружающего воздуха и т.д. Все это требует проведения дальнейших комплексных исследований.

## Подтверждение

Это исследование было поддержано Совместным Российско-Вьетнамским Тропическим научно-исследовательским и технологическим центром в рамках проекта «Исследование по поискам моделей для прогнозирования срока службы некоторых защитных для металлов красок в условиях тропического климата Вьетнама».

---

## Литература

1. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
2. O.O. Knudsen, A.W.B. Skilbred, A. Loken, B. Daneshian and D. Hoche. Correlations between standard accelerated tests for protective organic coatings and field performance. *Mater. Today Commun.*, 2022, 31, 103729. Doi: [10.1016/j.mtcomm.2022.103729](https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103729)
3. ISO 12944–6 : 2018. Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 6: Laboratory performance test methods.
4. O.O. Knudsen, U. Steinsmo, M. Bjordal, and S. Nijjer. Accelerated testing: Correlation between four accelerated tests and five years of offshore field testing, *J. Prot. Coat. Linings.*, 2001, 18(12), 52–56.
5. NORSOK M501, Surface Preparation and Protective Coatings
6. ISO 7253, Paints and Varnishes–Determination of Resistance to Neutral Salt Spray, 1984.
7. NORDTEST NT BUILD 228 Building Materials, Coating Systems on Materials: Resistance and Protective Value (1990).
8. Volvo 1375 Procedure 2A, Volvo Corporate Standard 1027.
9. Jin Gao, Wei Hu, Rui Wang and Xiaogang Li. Study on a multifactor coupling accelerated test method for anticorrosive coatings in marine atmospheric environments, *Polym. Test.*, 2021, 100, 107259. doi: [10.1016/j.polymertesting.2021.107259](https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107259)
10. GB/T 9276-1996. Natural Weather Exposure Test Method for Coatings.
11. ASTM D5894-05. Standard Practice For Cyclic Salt Fog/UV Exposure Of Painted Metal.
12. М. И. Карякина. *Испытание лакокрасочных материалов и покрытий*. Москва – Химия, 1988.
13. ГОСТ 9.401-2018. Покрытия Лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов.
14. ГОСТ 9.407-2015. Покрытия Лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида.
15. ГОСТ 9.104-79. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации

---

## Correlation between climate testing methods and service life prediction for paint systems

Chu Minh Tien,<sup>1</sup> Do Dinh Trung,<sup>1</sup> V.N. Sereda<sup>2</sup> and V.A. Karpov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Tropical Durability, Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Cau Giay, Hanoi 100000, Vietnam.*

<sup>2</sup>*Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, 119071, Moscow, Russian Federation*

E-mails: \*[tminbelo@gmail.com](mailto:tminbelo@gmail.com);

\*\*[trungdodinh@mail.ru](mailto:trungdodinh@mail.ru);

\*\*\*[wtc-karpov@rambler.ru](mailto:wtc-karpov@rambler.ru).

### Annotation

Ensuring the durability of paintwork materials (PWM) to the effects of climatic factors is a necessary problem, especially when they are used in tropical conditions. Wherein, tests in atmospheric conditions (field test) are the main method for confirming the durability of PWM. With that, accelerated testings of PWM in many cases allow to accelerate the receipt of preliminary results for making a decision to conduct field tests. The search for reliable correlations between the results of field and accelerated tests of PWM has been the subject of research for decades. The identification of these correlations allows to quickly assess the durability of paint coating systems (PCS) to the effects of climatic factors and predict the degradation of their decorative and protective properties.

This article presents the results of field tests for 5 years in the marine tropical atmosphere of Vietnam of three PCS for the protection of metals and the results of accelerated tests of the same systems. A correlation was obtained for the degradation of PCS properties in terms of gloss and color. Predicting the service life of PCS was carried out taking into account the recommendations of GOST 9.401-2018.

**Keywords:** *durability to climatic factors, atmospheric testing, accelerated testing, paint coating systems, tropical climate, correlation, service life prediction.*