

УДК 620.193+620.199+667.637.2

П.О. Ревин¹, e-mail: RevinPO@niitn.transneft.ru; А.В. Макаренко¹, e-mail: MakarenkoAV@niitn.transneft.ru; И.О. Осина¹, e-mail: OsinalO@niitn.transneft.ru
¹ ООО «НИИ «Транснефть» (Москва, Россия).

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К УСКОРЕННЫМ ЛАБОРАТОРНЫМ ИСПЫТАНИЯМ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Статья посвящена разработке обоснования требований нормативно-технической документации ПАО «Транснефть» к длительности проведения некоторых видов испытаний для прогнозирования срока службы антикоррозионных покрытий на 10 и 20 лет для различных категорий активности. Материалы статьи в качестве доклада были представлены на XIII Международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы применения защитных покрытий в оборудовании и сооружениях нефтегазовой отрасли».

Ключевые слова: краски, лаки, коррозия, предотвращение коррозии, защитные покрытия, лабораторные испытания, ускоренные испытания, искусственные испытания старения, срок службы антикоррозионных покрытий.

Объекты трубопроводной системы ПАО «Транснефть» расположены в 50 субъектах Российской Федерации, различающихся климатическими характеристиками. Прогнозирование срока службы антикоррозионных покрытий является очень сложной задачей, поскольку необходимо провести натурные испытания, краткосрочные ускоренные лабораторные испытания и по результатам сравнения выдать заключение о сроке службы покрытия на годы или даже десятилетия вперед.

Межгосударственный стандарт [1] устанавливает общие требования и методы ускоренных испытаний лакокрасочных покрытий (далее – покрытия) металлических и неметаллических поверхностей. Испытания подразумевают последовательную циклическую выдержку образцов с покрытием в различных условиях, таких как влажность, солнечная

радиация, соляной туман, сернистый газ, повышенные и пониженные температуры (табл. 1). Время выдержки образцов в каждой из испытательных сред составляет несколько часов. Последовательно проведенные испытания составляют один цикл. Количество и состав циклов зависят от требуемого срока службы и климатического района эксплуатации покрытия.

Согласно стандартам [2, 3] партия образцов подвергается долговременной выдержке в каждой из испытательных сред. По сравнению с [1] предлагается не последовательный ряд кратковременных испытаний, а несколько параллельных долговременных экспериментов. Согласно [2] длительность испытаний определяется не климатическим районом, а категорией коррозионной активности атмосферы. С одной стороны, в качестве определения атмосферно-коррозион-

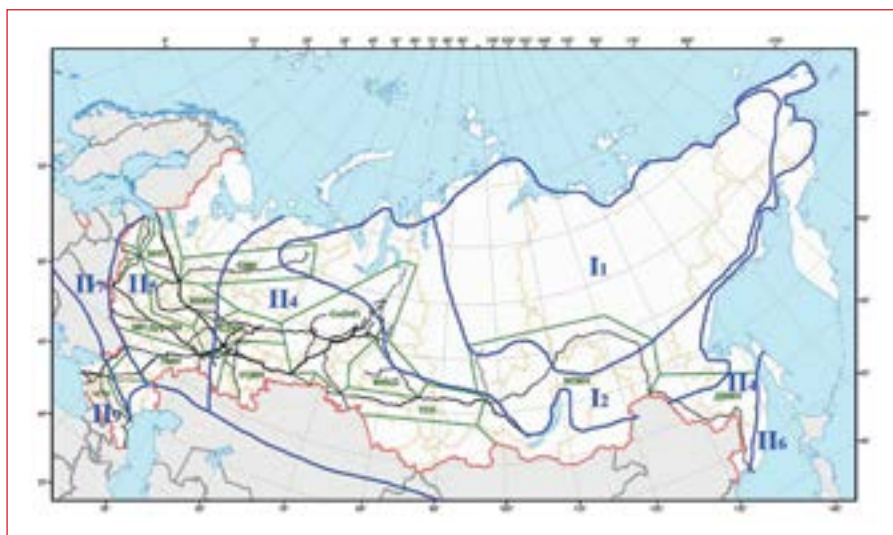
ной категории приведены скорости коррозии стали, основанные на потере массы (или потери толщины) [2, 4], а с другой стороны – описание определений категорий атмосферы дается на основе наличия коррозионных элементов и их концентрации [3].

В Российской Федерации не проводилось комплексное районирование всей территории по скоростям коррозии, а описание определенных не является четким. Термины, такие как «маленькие города» или «значительная концентрация промышленности», не являются четкими и позволяют трактовать требования ИСО так, как удобно заинтересованным лицам.

В качестве основы для разработки требований ПАО «Транснефть» к ускоренным испытаниям было взято разделение территории Российской Федерации на климатические районы, на которые согласно

Таблица 1. Последовательность перемещения и продолжительность выдержки образцов при испытаниях покрытий, предназначенных для эксплуатации во всех макроклиматических районах на суше

Аппаратура	Режимы испытаний		Продолжительность выдержки образцов в одном цикле для методов испытаний в зависимости от макроклиматического района, ч														
	Температура, °С	Относительная влажность, %	Макроклиматический район														
			Умеренный (У)				Холодный (ХЛ, УХЛ)				Тропический (Т)				Общеклиматический (О)		
			2	5	12	15	3	6	13	16	4	7	14	17	1	8	18
Камера влаги	40 ± 2	97 ± 3	6	4	6	4	2	2	2	2	–	–	–	–	1	–	–
	55 ± 2	97 ± 3	–	–	–	–	–	–	–	–	10	8	10	8	–	7	7
Камера влаги с выключенным обогревом	Не нормируется	97 ± 3	2	2	2	2	2	–	2	–	2	2	2	2	2	1	1
Камера сернистого газа (концентрация SO ₂ (5 ± 1) мг/м ³)	40 ± 2	97 ± 3	–	2	–	2	–	2	–	2	–	2	–	2	–	2	2
Камера тепла и холода	– (30 ± 3)	Не нормируется	–	–	–	–	6	6	6	6	–	–	–	–	–	–	–
	– (45 ± 3)	То же	3	3	3	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	– (60 ± 3)	»	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3	3
Аппарат искусственной погоды: режим 4–16 режим 3–17	60 ± 3	»	–	–	–	–	–	–	–	–	10	10	–	–	–	10	–
	60 ± 3	»	7	7	–	–	5	5	–	–	–	–	–	–	2	–	–
Термокамера	60 ± 2	»	–	–	7	7	–	–	5	5	–	–	10	10	–	–	10
Камера тепла и холода	– (60 ± 3)	»	–	–	–	–	3	3	3	3	–	–	–	–	–	–	–
Выдержка на воздухе	15–30	Не должно быть более 80	6	6	6	6	6	6	6	6	2	2	2	2	19	1	1



Климатическое районирование территории Российской Федерации по воздействию климата и трубопроводной системы ПАО «Транснефть»

[5] разделена вся территория страны. Магистральные нефтепроводы, обозначенные на рисунке черным цветом, расположены практически во всех районах. Если привести основные климатические показатели районов, вид-

но, что районы очень холодного, холодного и умеренно холодного климатов имеют максимальные показатели по температуре, влажности и продолжительности выпадения осадков. Таким образом, предлагается ввести высокую ка-

тегорию коррозионной активности для холодных районов, среднюю – для районов с более мягким климатом и морскую – для объектов в любом климате на расстоянии не более 10 км от морского побережья. Безусловно, классификация, представленная в табл. 2, достаточно условна, и далее будет показано, как определяется длительность лабораторных испытаний в зависимости от климата в конкретном регионе страны. Для примера взят срок прогнозирования службы покрытия, равный 10 годам.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЯ К ПОСТОЯННОЙ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ

Для обоснования длительности испытаний на стойкость к постоянной конденсации влаги в качестве исходных данных были взяты сведения по максимальному количеству осадков в различных регионах. Так,

Таблица 2. Атмосферно-коррозионные категории и примеры типичной окружающей среды согласно [2]

Категория коррозионности	Массовая потеря или потеря толщины (после первого года воздействия)		Примеры среды в умеренном климате
	Низкоуглеродистая сталь		
	Потеря массы	Потеря толщины	
C1 – очень низкая	<10	<1,3	–
C2 – низкая	10–200	1,3–25,0	Атмосфера с низким уровнем загрязнения. В основном сельские районы
C3 – средняя	200–400	25–50	Городские или промышленные атмосферы, умеренно загрязненные сернистым ангидридом. Прибрежные территории с низким уровнем солености
C4 – высокая	400–650	50–80	Промышленные и прибрежные территории с умеренной соленостью
C5-I – очень высокая (промышленная)	650–1500	80–200	Промышленные зоны с высокой влажностью и агрессивной атмосферой
C5-M – очень высокая (морская)	650–1500	80–200	Прибрежные или морские территории с высокой соленостью

Таблица 3. Процедуры проверки систем, применяемых для окраски стали, согласно [3]

Коррозионная категория, определяемая в [2]	Срок службы	Стойкость к химическим веществам, ч	Погружение в воду, ч	Водный конденсат, ч	Солевой туман, ч
C2	Низкий*	–	–	48	–
	Средний**	–	–	48	–
	Высокий***	–	–	120	–
C3	Низкий	–	–	48	120
	Средний	–	–	120	240
	Высокий	–	–	240	480
C4	Низкий	–	–	120	240
	Средний	–	–	240	480
	Высокий	–	–	480	720
C5-I	Низкий	168	–	240	480
	Средний	168	–	480	720
	Высокий	168	–	720	1440
C5-M	Низкий	–	–	240	480
	Средний	–	–	480	720
	Высокий	–	–	720	1440

* – срок службы 1–5 лет;

** – срок службы 5–10 лет;

*** – срок службы более 10 лет.

по [6] количество осадков для городов России составляет:

- г. Боровичи (категория C3) – 463 мм/год;
- г. Благовещенск (категория C4) – 514 мм/год;
- г. Владивосток (категория C5-M) – 725 мм/год.

Для расчета длительности испытаний на десятилетний срок службы покрытия необходимо скорость выпадения осадков умножить на 10 (результат представлен в столбце 4 табл. 5). Однако в лабораторной камере влажности

скорость выпадения осадков выше (14,3 мм/ч), чем в натуральных условиях, поэтому количество осадков в натуральных условиях необходимо поделить на скорость выпадения осадков в лабораторной камере. Результаты расчета с округлением до 50 ч и коэффициентом запаса 1,25 приведены в столбце 5. В отличие от [3], согласно которому длительность испытаний пропорционально увеличивается при переходе от категории к категории, в нашем расчете прямой пропорциональности нет.

Следует отметить, что лабораторные испытания всегда заведомо жестче, чем природные воздействия, поскольку в лабораторной камере конденсация происходит непрерывно при температуре 40 °С, а в натуральных условиях конденсация происходит периодически при температуре от 0 °С. Также важно подчеркнуть, что представленный расчет основан на технических характеристиках камеры определенной модели. При использовании камеры с другими характеристиками необходимо проводить пересчет.

Таблица 4. Основные климатические показатели районов

№ п/п	Категория коррозионной активности	Обозначение климатического района по [5]	Климатический район по [5]	Среднегодовая температура, °С	Среднегодовая относительная влажность, %	Среднегодовая продолжительность выпадения атмосферных осадков, ч
1	C4	II1	Очень холодный	-16,6	71	1272
2	C4	II2	Холодный	-5,7	80	1835
3	C4	II4	Умеренно холодный	1,7	74	1258
4	C3	II5	Умеренный	4,6	76	1462
5	C3	II6	Умеренно влажный	4,5	73	869
6	C3	II7	Умеренно теплый	7,7	76	1089
7	C3	II9	Умеренно теплый с мягкой зимой	13,0	72	610
8	C3	II11	Жаркий сухой	13,5	58	573

Таблица 5. Сравнение воздействия осадков в натуральных и лабораторных испытаниях

№ п/п	Категория коррозионной активности	Срок службы, лет	Количество осадков в натуральных условиях, мм	Длительность лабораторных испытаний в ПАО «Транснефть», ч	Длительность лабораторных испытаний по требованиям [3], ч
1	C3	10	4630	400	120
2	C4	10	5140	450	240
3	C5-M	10	7250	650	480

КОНГРЕСС И ВЫСТАВКА ПО ПРОИЗВОДСТВУ И ПРИМЕНЕНИЮ АВТОМОБИЛЬНЫХ И КОТЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО СЫРЬЯ (биоэтанол, биоэтанол, бионефть, пеллеты, брикеты и другие биотоплива)

Би масса
ТОПЛИВО И ЭНЕРГИЯ

КОНГРЕСС И ВЫСТАВКА • 18 АПРЕЛЯ 2018 • МОСКВА

18 апреля 2018

Отель Холидей Инн Лесная

Тел: +7 (495) 585-5167
congress@biotoplivo.ru
www.biotoplivo.com

Темы конгресса:

- Состояние отрасли: развитие технологий и рынка первого и второго поколения биотоплив
- Биоэтанол (biorefinery) : компоновка, производимые продукты, экономика, капитальные вложения
- Гранты и другие финансовые возможности для разработки технологий биотоплива
- Конверсия заводов пищевого спирта на производство биотоплива
- Целлюлозный биоэтанол: технологии производства и возможность коммерциализации
- Топливный биоэтанол, бутанол и другие транспортные биотоплива
- Пиролиз и газификация: бионефть и сингаз
- Биодизель и биокеросин. Биотоплива для авиации
- Твердые биотоплива: пеллеты и брикеты
- Другие вопросы биотопливной отрасли

**Российская
Биотопливная
Ассоциация™**

Таблица 6. Сравнение воздействия УФ-излучения в натуральных и лабораторных испытаниях

№ п/п	Категория коррозионной активности	Срок службы, лет	Количество осадков в натуральных условиях, мм	Длительность лабораторных испытаний в ПАО «Транснефть», ч	Длительность лабораторных испытаний по требованиям [3], ч
1	C3	10	1920	800	120
2	C4	10	2100	850	240
3	C5-M	10	2310	950	480

Таблица 7. Сравнение воздействия перепада температур от -60 до 60 °С в натуральных и лабораторных испытаниях

№ п/п	Категория коррозионной активности	Срок службы, лет	Количество циклов перепадов температур в натуральных условиях	Разность перепада температур в натуральных условиях, °С	Разность перепада температур в лабораторных условиях, °С	Предполагаемая длительность лабораторных испытаний по НТД ПАО «Транснефть», кол-во циклов
1	C3	10	50	89	120	45
2	C4	10	50	96	120	50
3	C5-M	10	50	84	120	45

Таблица 8. Сравнение длительности воздействия повышенной температуры в натуральных условиях и лабораторных испытаниях

№ п/п	Категория коррозионной активности	Срок службы, лет	Длительность воздействия повышенной температуры в натуральных условиях, ч	Предполагаемая длительность воздействия температуры в лабораторных испытаниях в ПАО «Транснефть», ч
1	C3	10	870	1100
2	C4	10	270	350
3	C5-M	10	660	850

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЯ К ВОЗДЕЙСТВИЮ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Для обоснования длительности испытаний на стойкость к воздействию УФ-излучения влаги в качестве исходных данных были взяты сведения по количеству солнечных дней в году [5] в различных регионах:

- г. Волгоград (категория C3) – 64 дня;
- г. Оренбург (категория C4) – 70 дней;
- г. Владивосток (категория C5-M) – 77 дней.

Учитывая мощность ультрафиолета в солнечном излучении 0,5 Вт/м², мощность ультрафиолетовых ламп 1,5 Вт/м² и предполагая, что наибольшая интенсивность излучения приходится на три полуденных часа в день, получаем длительность солнечного излучения за 10 лет требуемого срока службы (табл. 6). Однако в лабораторной камере УФ-излучения мощность ламп выше, чем в натуральных условиях,

поэтому данные натуральных условий необходимо поделить на разницу в мощности излучения. Результаты расчета с округлением до 50 ч и коэффициентом запаса 1,25 приведены в столбце 5. Сравнение полученных данных с [3] также показывает, что реальные природные воздействия не подчиняются простым пропорциональным зависимостям. Также следует отменить, что лабораторные испытания жестче по нескольким параметрам, чем природные воздействия, а при использовании ламп с другой мощностью необходимо проводить пересчет.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЯ К ПЕРЕПАДУ ТЕМПЕРАТУР ОТ -60 ДО 60 °С

Для обоснования длительности испытаний на стойкость к воздействию перепада температур в качестве исходных данных были взяты сведения по городам с температурой наиболее холодной пятидневки по [6]:

- г. Москва (категория C3) – минус 29 °С;

- г. Тюмень (категория C4) – минус 36 °С;

- г. Владивосток (категория C5-M) – минус 24 °С.

Расчет приведен для покрытия резервуаров, поэтому в качестве исходных данных были приняты регламентное количество циклов нагружения (слива-налива) резервуара в год (350 циклов) и максимальная температура нагрева нефти на объектах ПАО «Транснефть».

Для расчета было принято, что шок-температурное воздействие на покрытие происходит, когда резервуар опорожняется и на стенку, нагретую до температуры 60 °С, воздействует низкая температура окружающей среды. Количество циклов с максимальным перепадом температуры за 10 лет составляет 50, а разность температур определяется температурой нагрева нефти 60 °С и наиболее холодной пятидневки. Количество циклов термоциклирования можно уменьшить, учитывая, что в лабораторных испытаниях разность перепада температур определяется температурой термошкафа (60 °С)

и криокамеры ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$) и составляет $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в натуральных испытаниях несколько меньше. Таким образом, предлагаемое количество циклов испытаний приведено в столбце 7 (табл. 7). Также следует отметить, что лабораторные испытания жестче по ряду параметров, чем природные воздействия, а при расчете длительности испытаний для покрытий не резервуаров, а другого оборудования следует учитывать температурные условия эксплуатации данного типа оборудования.



МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЯ К ТЕРМОСТАРЕНИЮ

Для обоснования длительности испытаний на стойкость к термостарению в качестве исходных данных были взяты сведения по городам с максимальной продолжительностью повышенной температуры $30\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$, по данным ФГБУ «Гидрометцентр России»:

- г. Волгоград (категория С3) – 29 дней;
- г. Омск (категория С4) – 9 дней;
- г. Владивосток (категория С5М) – 22 дня.

Количество часов в день с наибольшим воздействием повышенной температуры – 3 ч. Предполагая, что наибольшая температура при-

ходит на три полуденных часа в день, получаем следующую длительность воздействия повышенной температуры за 10 лет требуемого срока службы. Длительность лабораторных испытаний на термостарение с коэффициентом запаса 1,25 приведена в столбце 5 (табл. 8). Условия лабораторных испытаний здесь также жестче, чем природные воздействия.

В заключение следует отметить, что прогнозирование срока службы антикоррозионных покрытий является очень сложной задачей. Поскольку на покрытие одновременно воздействует множество факторов, создание единого нормативно-технического документа

(стандарта) с абсолютной гарантией определения срока службы становится невозможным. В связи с этим при разработке требований к ускоренным лабораторным испытаниям необходимо не только применять требования действующих российских и международных стандартов, но и учитывать природные воздействия, характерные для конкретного региона, а также особенности работы конкретных типов стальных конструкций. Экспериментальные исследования и испытания, необходимые для решения поставленных задач, выполняются в лабораториях ООО «НИИ Транснефть» [7] и АО «Транснефть – Диаскан» [8].

Литература:

1. ГОСТ 9.401-91. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов (с изм. № 1, 2) [Электронный источник]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200005040> (дата обращения: 07.03.2018).
2. ISO 12944-2. Лаки и краски. Защита от коррозии стальных конструкций системами защитных покрытий. Ч. 2. Классификация условий окружающей среды [Электронный источник]. Режим доступа: http://inspector.pro/wp-content/uploads/2016/01/12944_2Лаки-и-краски.-Защита-от-коррозии-стальных-конструкций-системами-защитных-покрытий.Классификация-условий-среды.pdf (дата обращения: 07.03.2018).
3. ISO 12944-6. Лаки и краски. Защита от коррозии стальных конструкций системами защитных покрытий. Ч. 6. Лабораторные методы тестирования [Электронный источник]. Режим доступа: http://inspector.pro/wp-content/uploads/2016/01/12944_6Лаки-и-краски.-Защита-от-коррозии-стальных-конструкций-системами-защитных-покрытий.Лабораторные-методы-тестирования.pdf (дата обращения: 07.03.2018).
4. Ефремов А.М., Макаренко А.В., Осина И.О. Исследование свойств антикоррозионных покрытий, нанесенных при отрицательных температурах // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. № 2. С. 78–81.
5. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей [Электронный источник]. Режим доступа: www.cius-ees.ru/uploaded/document_files/60/GOST_16350.pdf (дата обращения: 07.03.2018).
6. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с изм. № 2) [Электронный источник]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (дата обращения: 07.03.2018).
7. Центр науки о трубопроводном транспорте: достижения и перспективы развития ООО «НИИ Транснефть» // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 4. С. 14–23.
8. Эрмиш С.В., Соловьев В.А. 15 лет лаборатории испытаний АО «Транснефть – Диаскан» // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 1. С. 68–71.