

Научная статья

УДК 678.019; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-79-88

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Андрюшкин Александр Юрьевич.

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия.

Буцикин Евгений Борисович.

Академия машиностроения им. Ж.Я. Котина, Санкт-Петербург, Россия.

Кадочникова Елена Николаевна.

Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии

А.В. Хрулева, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Утечки жидких и газообразных углеводородов из трубопроводов и оборудования объектов транспортировки, хранения и переработки приводят к пожарам и взрывам. Часто причиной утечек углеводородов является коррозия металлических конструкций, приводящих к их разгерметизации. Для повышения долговечности металлических конструкций их защищают антикоррозионными покрытиями. Защитная способность антикоррозионного покрытия определяется его сплошностью (дефектностью). Прогнозирование сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия проводят с помощью эмпирических экспоненциальных или степенных выражений. Недостатком этих выражений является большое число трудноопределимых факторов и эмпирических коэффициентов. Приведено эмпирическое выражение для оценки дефектности антикоррозионного покрытия в текущий момент времени. Предложено эмпирическое выражение для прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия, учитывающее производственную (начальную) дефектность, допускаемый срок службы и агрессивность окружающей среды. Показано, что агрессивность окружающей среды существенно влияет на сплошность (дефектность) антикоррозионного покрытия. Проведено сравнение результатов прогнозирования сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия по применяемым в настоящее время выражениям и по предложенному выражению. Полученные результаты прогнозирования сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия близки. Предложенное для прогнозирования сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия эмпирическое выражение перспективно для практического применения.

Ключевые слова: покрытие, углеводороды, дефектность, сплошность, прогнозирование

Для цитирования: Андрюшкин А.Ю., Буцикин Е.Б., Кадочникова Е.Н. Прогнозирование срока службы антикоррозионных покрытий металлических конструкций объектов переработки, хранения и транспортировки углеводородов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 79–88. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-79-88.

Scientific article

FORECASTING THE SERVICE LIFE OF ANTICORROSIVE COATINGS OF METAL STRUCTURES OF OBJECTS OF PROCESSING, STORAGE AND TRANSPORTATION OF HYDROCARBONS

Andryushkin Aleksander Yu.**Baltic state technical university «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia.****Butsikin Evgeny B.****Zh.Ya. Kotin academy of mechanical engineering, Saint-Petersburg, Russia.****Kadochnikova Elena N.****Military educational institution of logistics named after general of the army****A.V. Khrulyov, Saint-Petersburg, Russia**

Abstract. Leaks of liquid and gaseous hydrocarbons from pipelines and equipment of transportation, storage and processing facilities lead to fires and explosions. Often the cause of hydrocarbon leaks is corrosion of metal structures, leading to their depressurization. To increase the durability of metal structures, they are protected with anticorrosive coatings. The protective ability of the anticorrosive coating is determined by its continuity (defect). The prediction of the continuity (defectiveness) of the anticorrosive coating is carried out using empirical exponential or power expressions. The disadvantage of these expressions is a large number of hard-to-determine factors and empirical coefficients. An empirical expression is given to assess the defectiveness of the anticorrosive coating at the current time. An empirical expression is proposed for predicting the operational continuity (defectiveness) of an anticorrosive coating, taking into account the production (initial) defectiveness, the permissible service life and the aggressiveness of the environment. It is shown that the aggressiveness of the environment significantly affects the continuity (defectiveness) anticorrosive coating. The results of forecasting the continuity (defectiveness) of the anticorrosive coating are compared according to the currently used expressions and according to the proposed expression. The obtained results of forecasting the continuity (defectiveness) of the anticorrosive coating are close. The empirical expression proposed for predicting the continuity (defectiveness) of the anticorrosive coating is promising for practical application.

Keywords: coating, hydrocarbons, defectiveness, continuity, forecasting

For citation: Andryushkin A.Yu., Butsikin E.B., Kadochnikova E.N. Forecasting the service life of anticorrosive coatings of metal structures of objects of processing, storage and transportation of hydrocarbons // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 79–88. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-79-88.

Введение

Жидкие и газообразные углеводороды относятся к взрыво- и пожароопасным веществам. Как показывает практика, риск возникновения аварийной ситуации при транспортировке, хранении и переработке углеводородов весьма высок, так как многие технологические операции проходят при повышенном давлении и температуре. Высокие значения параметров технологических процессов обуславливают разгерметизацию оборудования и трубопроводов, что приводит к утечкам углеводородов, сопровождаемых взрывами и пожарами.

Трубопроводы и оборудование для транспортировки, хранения и переработки углеводородов чаще всего изготавливаются из хорошо свариваемых низкоуглеродистых сталей. Недостатком низкоуглеродистых сталей является низкая коррозионная стойкость, обусловленная воздействием окружающей среды. Коррозия контактирующих с окружающей средой элементов трубопроводов и оборудования проходит весьма интенсивно,

и за достаточно короткое время наблюдается уменьшение прочности этих элементов. При снижении прочности элемента металлической конструкции до критического значения происходит его разрушение и разгерметизация трубопровода или оборудования [1–4].

Металлические конструкции от воздействия окружающей среды защищают антикоррозионными покрытиями (АКП). Нанесение АКП на металлические конструкции является основной мерой по снижению коррозии и повышению долговечности трубопроводов и оборудования. Однако АКП не обеспечивают полной защиты металлической конструкции от коррозии, так как при его формировании возникают различные допускаемые производственные дефекты (трещины, поры, отслоения). Во время эксплуатации металлической конструкции дефекты развиваются, то есть увеличиваются в размерах, наблюдается старение материала АКП. Все эти явления уменьшают сплошность АКП, что приводит к интенсификации коррозионных процессов металлической конструкции [5–9].

Таким образом, защитная способность АКП непосредственно связана с его сплошностью (дефектностью), на которую существенное влияние оказывает агрессивность окружающей среды. Поэтому актуально прогнозирование срока службы АКП по его сплошности (дефектности) с учетом производственной дефектности и агрессивности окружающей среды.

Целью исследования является разработка учитывающего производственную дефектность, допускаемый срок службы и агрессивность окружающей среды выражения для прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия металлических конструкций.

Задачи исследования:

1. Проанализировать применяемые в настоящее время выражения для количественной оценки срока службы антикоррозионных покрытий металлической конструкции.
2. Предложить выражение для прогнозирования эксплуатационной дефектности антикоррозионного покрытия металлических конструкций с учетом производственной дефектности, допускаемого срока службы и агрессивности окружающей среды.
3. Провести сравнительный расчет эксплуатационной сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия по выражениям, применяемым в настоящее время, и по предложенному выражению.

Анализ выражений для количественной оценки срока службы антикоррозионных покрытий металлических конструкций

В реальных условиях эксплуатации АКП подвержено действию многих факторов, учесть которые в полном объеме практически невозможно. Поэтому при оценочных расчетах срока службы АКП используют экспоненциальные и степенные выражения, характеризующие изменение определенного показателя работоспособности АКП во времени [9–14]. В работе [13] приведен обзор эмпирических выражений, используемых для описания потери работоспособности АКП по характерным показателям: достижение сплошностью (дефектностью) АКП предельного значения; достижение напряжениями в АКП предельных значений; потеря адгезии между АКП и поверхностью металлической конструкции.

Эксплуатационная сплошность и дефектность АКП взаимосвязаны [14]:

$$\psi_{\text{экс}} + g_{\text{экс}} = 1, \quad (1)$$

где $\psi_{\text{экс}}$, $g_{\text{экс}}$ – эксплуатационная сплошность и дефектность.

Для обеспечения приемлемой долговечности металлической конструкции допускаемая эксплуатационная дефектность АКП обычно составляет $[g_{\text{экс}}]=25\text{--}30\%$, а допускаемая эксплуатационная сплошность соответственно $[\psi_{\text{экс}}]=70\text{--}75\%$, при достижении этого значения рекомендуется замена АКП.

Авторы статьи [13] выделяют три эмпирических степенных выражения, которые удовлетворительно описывают количественное изменение сплошности АКП во времени, с учетом различных условий эксплуатации:

$$\Psi_{\text{экс}}(t) = 1 - g_{\text{экс}}(t) = 1 - \alpha \cdot (1 + k \cdot \sigma^m) \cdot t, \quad (2)$$

$$\Psi_{\text{экс}}(t) = 1 - g_{\text{экс}}(t) = 1 - \frac{\alpha \cdot (1 + k \cdot \sigma^m) \cdot t^{b+1}}{b+1}, \quad (3)$$

$$\Psi_{\text{экс}}(t) = 1 - g_{\text{экс}}(t) = \frac{1}{1 + \alpha \cdot (1 + k \cdot \sigma^m) \cdot \frac{t^b}{b}}, \quad (4)$$

где α , k , m , b – эмпирические коэффициенты; σ – эквивалентное напряжение в АКП, МПа; $\Psi_{\text{экс}}(t)$ – эксплуатационная сплошность в момент времени t ; $g_{\text{экс}}(t)$ – эксплуатационная дефектность в момент времени t ; t – срок службы АКП, сутки.

Необходимо отметить, что в статье [13] для различных АКП определены эмпирические коэффициенты α , k , m , b для каждого из выражений (2–4).

Проведя анализ выражений (2–4), можно заметить, что при одинаковых эмпирических коэффициентах и эквивалентном напряжении в АКП выражение (1) соответствует окружающей среде с низкой агрессивностью, выражение (2) – со средней агрессивностью, а выражение (3) – с высокой агрессивностью.

К недостаткам выражений (2–4) относится необходимость определения эквивалентного напряжения в АКП, что весьма затруднительно, а также установление нескольких эмпирических коэффициентов.

В выражениях (2–4) отсутствует производственная дефектность АКП, то есть принято допущение, что в начале эксплуатации $g_{\text{экс}}(t=0)=0$ и $\Psi_{\text{экс}}(t=0)=1$. Также не введено значение допустимого срока службы или ресурса АКП и в явном виде не задан коэффициент, характеризующий агрессивность окружающей среды.

В статье [14] предложено эмпирическое выражение для определения эксплуатационной дефектности АКП в текущий момент времени с учетом опасности каждого вида дефекта:

$$g_{\text{экс}}(t) = 1 - \Psi_{\text{экс}}(t) = x_{\text{п}} \cdot \text{П} + x_{\text{ут}} \cdot \text{УТ} + x_{\text{н}} \cdot \text{Н} + x_{\text{т}} \cdot \text{Т} + x_{\text{р}} \cdot \text{Р} + x_{\text{ин}} \cdot \text{ИН}, \quad (5)$$

где x_i – коэффициент опасности определенного вида дефекта, зависящей от агрессивности окружающей среды ($x_i=0 \dots 1$); Т – доля трещин в дефектности; П – доля пор в дефектности; Р – доля расслоений в дефектности; Н – доля наплывов и локальных увеличений толщины покрытия в дефектности; УТ – доля локального уменьшения толщины покрытия в дефектности; ИН – доля инородных включений в дефектности; П+УТ+Н+Т+Р+ИН=1.

Определив эксплуатационную дефектность АКП в текущий момент времени по выражению (5), можно ее сравнить с прогнозируемым значением эксплуатационной дефектности по выражениям (2–4) и оценить правильность прогноза.

Таким образом, для практического применения желательно иметь одно выражение для прогнозирования срока службы АКП, учитывающее производственную дефектность и допустимый срок службы АКП, а также коэффициент, характеризующий агрессивность окружающей среды.

Прогнозирование эксплуатационной сплошности (дефектности) антикоррозионного покрытия металлических конструкций с учетом производственной дефектности, допускаемого срока службы и агрессивности окружающей среды

Во время эксплуатации дефектность АКП металлической конструкции постепенно увеличивается. Рост эксплуатационной дефектности АКП хорошо описывается предложенной зависимостью [15]:

$$g_{\text{экс}}(t) = 1 - \psi_{\text{экс}}(t) = (g_{\text{пр}})^{(1 - (t/[t])^{K_{\text{ар}}})} \leq [g_{\text{экс}}], \quad (6)$$

где $K_{\text{ар}}$ – константа, характеризующая агрессивность окружающей среды ($K_{\text{ар}} > 0$); t – время, сутки; $[t]$ – допускаемый срок службы АКП, сутки; $[g_{\text{экс}}]$ – допускаемая эксплуатационная дефектность АКП; $g_{\text{пр}}$ – производственная (начальная) дефектность АКП.

Проведен расчет эксплуатационной дефектности АКП по выражению (6) при следующих исходных данных:

- производственная дефектность $g_{\text{пр}} = 0,05$;
- допустимый срок службы АКП $[t] = 700$ сут;
- константа, характеризующая агрессивность среды $K_{\text{ар}} = 0,8$; $K_{\text{ар}} = 2,0$; $K_{\text{ар}} = 5,0$;
- время эксплуатации АКП $t = 0 \dots 500$ сут.

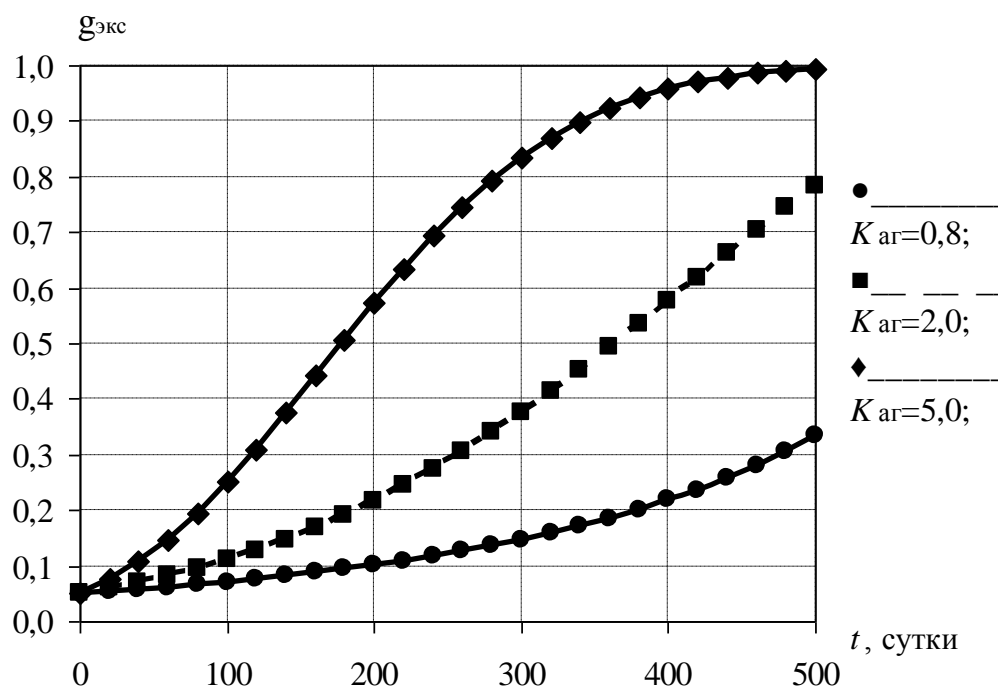


Рис. 1. Зависимость эксплуатационной дефектности $g_{\text{экс}}$ от времени t :
 $K_{\text{ар}}$ – константа, характеризующая агрессивность среды

Результаты расчета (рис. 1) показывают, что агрессивность окружающей среды оказывает существенное влияние на рост эксплуатационной дефектности. Чем выше значение константы $K_{\text{ар}}$, характеризующей агрессивность среды, тем интенсивнее растет эксплуатационная дефектность АКП.

Проведем сравнительный расчет эксплуатационной сплошности АКП по выражениям (2–4) и по предложенному выражению (6).

Исходные данные для расчета по выражениям (2–4):

– эмпирические коэффициенты: $\alpha=0,0001$; $k=0,01$; $m=4,0$; $b=0,18$ (для выражения (3));
 $b=2,0$ (для выражения (4));

– эквивалентная прочность АКП $\sigma=5$ МПа;

– время эксплуатации АКП $t=0 \dots 500$ сут.

Исходные данные для расчета по выражению (6):

– производственная дефектность $g_{пр}=0,01$;

– допустимый срок службы АКП $[t]=700$ сут;

– константа, характеризующая агрессивность среды $K_{ар}=1,5$; $K_{ар}=3,6$; $K_{ар}=14,0$;

– время эксплуатации АКП $t=0 \dots 500$ сут.

Также примем, что допускаемая сплошность АКП $[\psi_{экс}]=0,7$.

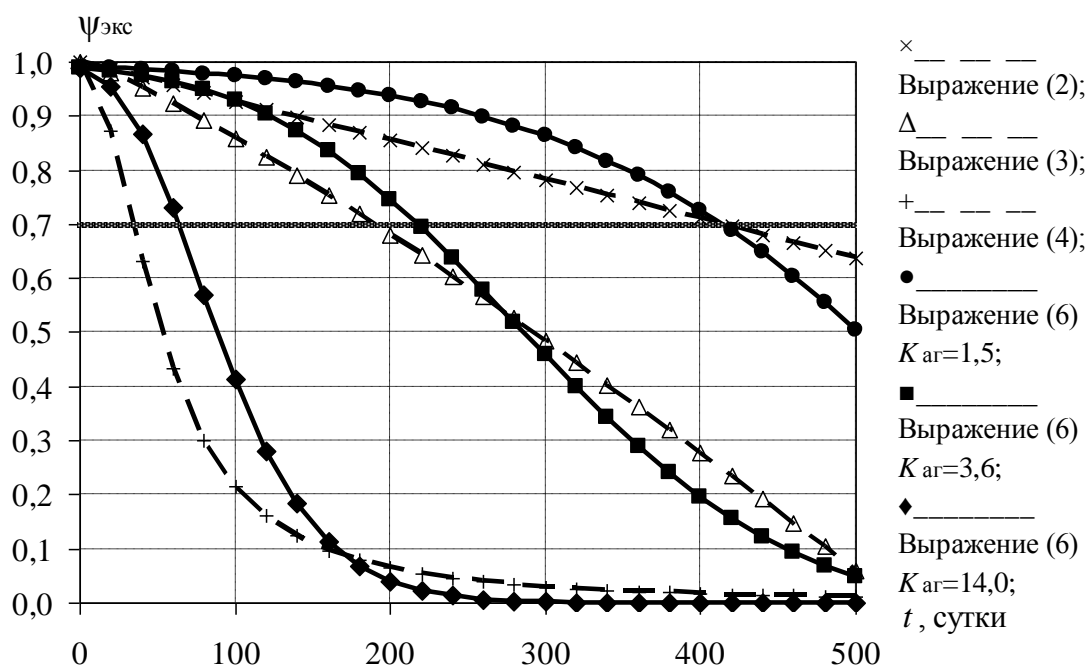


Рис. 2. Зависимость эксплуатационной сплошности $\psi_{экс}$ от времени t по выражениям (2–4) и (6):
 $K_{ар}$ – константа, характеризующая агрессивность среды

Результаты расчета показывают, что предложенное выражение (6) при соответствующем значении константы $K_{ар}$ хорошо описывает изменение сплошности АКП, вычисленное по выражениям (2–4) (рис. 2). При этом полученные значения сплошности АКП по выражениям (2–4) и выражению (6) весьма близки.

Допускаемая сплошность АКП $\psi_{экс}=[\psi_{экс}]=0,7$ при окружающей среде малой агрессивности достигается за 410 сут, средней агрессивности – 200 сут, высокой агрессивности – 50 сут.

Результаты расчета эксплуатационной сплошности АКП по выражению (6) близки к результатам расчета по выражениям (2–4), применяемым в настоящее время для прогнозирования эксплуатационной сплошности АКП.

Предложенное выражение (6) перспективно для практического применения при прогнозировании эксплуатационной сплошности (дефектности) АКП металлических конструкций, так как учитывает производственную дефектность, допускаемый срок службы и агрессивность окружающей среды.

Результаты исследования и их обсуждение

Часто причиной аварий трубопроводов или оборудования, служащего для транспортировки, хранения и переработки углеводородов, является коррозия, снижающая прочность элементов металлических конструкций и приводящая к разгерметизации. Для защиты металлических конструкций применяют АКП, уменьшающие воздействие агрессивной окружающей среды на металл. Защитная способность АКП обусловлена их сплошностью (дефектностью).

Проведен анализ применяемых в настоящее время эмпирических выражений для количественной оценки срока службы АКП металлических конструкций. Рассмотрены эмпирические выражения для прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) АКП. Представлено эмпирическое выражение для оценки дефектности АКП в текущий момент времени.

Предложено эмпирическое выражение для прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) АКП металлических конструкций, учитывающее производственную дефектность, допускаемый срок службы и агрессивность окружающей среды. Это выражение перспективно для практического использования, так как заменяет несколько эмпирических выражений, используемых в настоящее время. Расчеты прогнозируемой сплошности (дефектности) АКП по используемым в настоящее время выражениям и по предложенному выражению дают близкие результаты.

Цель исследования можно считать достигнутой – предложено учитывающее производственную дефектность, допускаемый срок службы и агрессивность окружающей среды выражение для прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) АКП металлических конструкций.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Долговечность металлических конструкций объектов переработки, хранения и транспортировки углеводородов обусловлена сплошностью (дефектностью) применяемых АКП.

2. В настоящее время для прогнозирования сплошности (дефектности) АКП применяют большое число эмпирических экспоненциальных и степенных выражений, практическое применение которых затруднено из-за большого числа учитываемых в них факторов и эмпирических коэффициентов.

3. Предложено эмпирическое выражение для прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) АКП металлических конструкций, учитывающее производственную дефектность, допускаемый срок службы и агрессивность окружающей среды.

4. Результаты прогнозирования эксплуатационной сплошности (дефектности) АКП по предложенному выражению и по применяемым в настоящее время выражениям близки.

Таким образом, предложенное для прогнозирования сплошности (дефектности) АКП выражение перспективно для практического применения.

Список источников

1. Оперативный контроль состояния антикоррозионной защиты как фактор безопасности технической эксплуатации морских судов / О.А. Белов [и др.] // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2020. № 1 (29). С. 152–159.

2. Павлова З.Х., Павлова А.Д., Азметов Х.А. Расчет на прочность и обеспечение безопасности эксплуатации трубопроводов с наружной коррозией // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. № 1 (129). С. 92–99.

3. Защита от коррозии магистрального трубопровода в области переходов «грунт-воздух» / О.Р. Латыпов [и др.] // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 4. С. 151–157.

4. Королев В.П. Требования качества, надежности и безопасности для управления коррозионной защищенностью металлоконструкций и сооружений // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2018. Т. 4. № 3. С. 24–32.
5. Новоселова И.В., Патютко А.П. Обобщенная оценка свойств лакокрасочного покрытия // Лесотехнический журнал. 2013. № 3 (11). С. 99–103.
6. Scully J., Hensley S. Life time prediction for organic coating on steel and a magnesium alloy using electrochemical impedance methods // Corrosion. 1994. № 50. P. 705–716. DOI: 10.5006/1.3293547.
7. Service life prediction of organic coatings: electrochemical impedance spectroscopy vs actual service life / S. Shreepathi [et al.] // Journal of coatings technology and research. 2011. № 8 (2). P. 191–200. DOI: 10.1007/s11998-010-9299-5.
8. Кравцов В.В. Защита от коррозии внутренней поверхности стальных резервуаров: учеб. пособие. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. 111 с.
9. Лапшин В.Ф., Буткин М.Г. Прогнозирование долговечности противокоррозионных покрытий // Железнодорожный транспорт. 2003. № 1. С. 48–49.
10. Суходоля А.В., Одиноква И.В., Птицын Д.А. Прогнозирование долговечности лакокрасочных покрытий при эксплуатации транспортных машин // Строительные и дорожные машины. 2015. № 3. С. 35–37.
11. Потапчик А.Н., Егорова А.Л. Разработка метода прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий // Труды БГТУ. Сер. 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2021. № 2 (247). С. 175–186.
12. Макаренко О.А., Кравцов В.В., Ибрагимов И.Г. Количественная оценка срока службы лакокрасочных покрытий на внутренних поверхностях стальных резервуаров // Нефтегазовое дело. 2009. Т. 7. № 2. С. 112–114.
13. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Еллала Фаузи бен Абделаиз. Оценка долговечности защитных покрытий на металлических мостовых конструкциях // Транспортные сооружения. 2017. Т. 4. № 3. DOI: 10.15862/03TS317.
14. Оценка остаточной защитной способности лакокрасочных покрытий на внутренней поверхности стальных резервуаров / В.В. Кравцов [и др.] // Территория Нефтегаз. 2012. № 3. С. 36–39.
15. Андрюшкин А.Ю. Применение сверхзвукового газодинамического напыления при многоструйной подаче газа для снижения вероятности отказа многослойных функциональных покрытий: монография. СПб.: БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2021. 258 с.

References:

1. Operativnyj kontrol' sostoyaniya antikorrozionnoj zashchity kak faktor bezopasnosti tekhnicheskoy ekspluatatsii morskikh sudov / O.A. Belov [i dr.] // Innovatika i ekspertiza: nauchnye trudy. 2020. № 1 (29). S. 152–159.
2. Pavlova Z.H., Pavlova A.D., Azmetov H.A. Raschet na prochnost' i obespechenie bezopasnosti ekspluatatsii truboprovodov s naruzhnoj korroziej // Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov. 2021. № 1 (129). S. 92–99.
3. Zashchita ot korrozii magistral'nogo truboprovoda v oblasti perekhodov «grunt-vozduh» / O.R. Latypov [i dr.] // Neftegazovoe delo. 2016. Т. 14. № 4. S. 151–157.
4. Korolev V.P. Trebovaniya kachestva, nadezhnosti i bezopasnosti dlya upravleniya korrozionnoj zashchishchennost'yu metallokonstrukcij i sooruzhenij // Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. 2018. Т. 4. № 3. S. 24–32.
5. Novoselova I.V., Patyut'ko A.P. Obobshchennaya ocenka svojstv lakokrasochnogo pokrytiya // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2013. № 3 (11). S. 99–103.
6. Scully J., Hensley S. Life time prediction for organic coating on steel and a magnesium alloy using electrochemical impedance methods // Corrosion. 1994. № 50. P. 705–716. DOI: 10.5006/1.3293547.

7. Service life prediction of organic coatings: electrochemical impedance spectroscopy vs actual service life / S. Shreepathi [et al.] // Journal of coatings technology and research. 2011. № 8 (2). P. 191–200. DOI: 10.1007/s11998-010-9299-5.
8. Kravcov V.V. Zashchita ot korrozii vnutrennej poverhnosti stal'nyh rezervuarov: ucheb. posobie. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2003. 111 s.
9. Lapshin V.F., Butkin M.G. Prognozirovanie dolgovechnosti protivokorroziionnyh pokrytij // Zheleznodorozhnyj transport. 2003. № 1. S. 48–49.
10. Suhodolya A.V., Odinkova I.V., Pticya D.A. Prognozirovanie dolgovechnosti lakokrasochnykh pokrytij pri ekspluatatsii transportnykh mashin // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2015. № 3. S. 35–37.
11. Potapchik A.N., Egorova A.L. Razrabotka metoda prognozirovaniya dolgovechnosti antikorrozionnykh lakokrasochnykh pokrytij // Trudy BGTU. Ser. 2: Himicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geokologiya. 2021. № 2 (247). S. 175–186.
12. Makarenko O.A., Kravcov V.V., Ibragimov I.G. Kolichestvennaya ocenka sroka sluzhby lakokrasochnykh pokrytij na vnutrennih poverhnostyakh stal'nykh rezervuarov // Neftegazovoe delo. 2009. T. 7. № 2. S. 112–114.
13. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Ellala Fauzi ben Abdelaziz. Ocenka dolgovechnosti zashchitnykh pokrytij na metallicheskih mostovykh konstrukciyakh // Transportnye sooruzheniya. 2017. T. 4. № 3. DOI: 10.15862/03TS317.
14. Ocenka ostatochnoj zashchitnoj sposobnosti lakokrasochnykh pokrytij na vnutrennej poverhnosti stal'nykh rezervuarov / V.V. Kravcov [i dr.] // Territoriya Neftegaz. 2012. № 3. S. 36–39.
15. Andryushkin A.Yu. Primenenie sverhzvukovogo gazodinamicheskogo napyleniya pri mnogostrujnoj podache gaza dlya snizheniya veroyatnosti otkaza mnogostojnykh funkcional'nykh pokrytij: monografiya. SPb.: BGTU «VOENMEKH», 2021. 258 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 30.05.2023; одобрена после рецензирования: 29.08.2023;
принята к публикации: 01.09.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 30.05.2023; approved after review: 29.08.2023;
accepted for publication: 01.09.2023

Сведения об авторах:

Андрюшкин Александр Юрьевич, заведующий кафедрой А2 «Технологии конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1), доцент, кандидат технических наук, e-mail: Sascha1a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7812-069X>, SPIN-код: 7905-9345

Буцикин Евгений Борисович, заместитель декана по воспитательной и административно хозяйственной работе учебно-производственного факультета Академии машиностроения им. Ж.Я. Котина (192012, ул. Прогонная, д. 11, лит Б), e-mail: bucikin@academykotin.ru, <https://orcid.org/0000-003-3189-0627>, SPIN-код: 7027-2432

Кадочникова Елена Николаевна, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института (военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева (191123, Санкт-Петербург, Воскресенская набережная, д. 10 А), доцент, кандидат технических наук, e-mail: vf10@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4577-390X>, SPIN-код: 9778-4011

Information about the authors:

Andryushkin Alexander Yu., head of the A2 department «Technologies of structural materials and production of rocket and space technology» of the D.F. Ustinov baltic state technical university «VOENMEH» (190005, Saint-Petersburg, 1st Krasnoarmeyskaya str., 1), associate professor, candidate of technical sciences, e-mail: Sascha1a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7812-069X>, SPIN: 7905-9345

Bucikin Evgeny B., deputy dean for educational and administrative work of the educational and production faculty of the Academy of mechanical engineering named after Zh.Ya. Kotin (192012, Progonnaya str., 11, lit. B), e-mail: bucikin@academykotin.ru, <https://orcid.org/0000-003-3189-0627>, SPIN: 7027-2432

Kadochnikova Elena N., senior researcher at the Research institute (military system research of logistics of the Armed Forces of the Russian Federation) of Military academy of logistics named after general of the army A.V. Khrulev (191123, Saint-Petersburg, Voskresenskaya Embankment, 10 A), associate professor, candidate of technical sciences, e-mail: vf10@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4577-390X>, SPIN: 9778-4011