УДК 624.076.2

doi:10.31650/2707-3068-2019-23-11-17

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВТОРИЧНОЙ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ**Гибаленко А.Н.**, д.т.н., профессор

grin196102@gmail.com, ORCID:0000-0003-2979-5225

Трофимчук Т.С., ассистент*ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»*

taras.trofimchuk@gmail.com, ORCID:0000-0002-1051-4561

Аннотация. Исследования направлены на повышение качества мер вторичной защиты при подготовке производстве листовых металлоконструкций. Решается задача сохранения качества с гарантированными показателями долговечности при учете уровня коррозионной опасности в условиях приморского климата. Используются принципы процессного подхода для реализации задач управления сроком службы в коррозионных средах. Обеспечивается принцип надежности по уровню коррозионной опасности, который описывается последовательными этапами оценки живучести листовых металлоконструкций на основе стратегии DMAIC (define, measure, analyze, improve, control): определения, измерения, анализа, совершенствования и контроля мер первичной и вторичной защиты от коррозии..

Ключевые слова: металлические листовые конструкции; живучесть; процессный подход; обеспечение надежности.

Введение. Совершенствование нормативно-технических требований в области безопасности металлоконструкций при производстве, изготовлении, эксплуатации [1, 2] связано с обоснованным учетом уровня коррозионной опасности, который определяется критическими интервалами коэффициента готовности противокоррозионной защиты металлоконструкций при воздействии факторов коррозионных сред [3]. Особенности комбината АЗОВСТАЛЬ (Azovstal Iron & Steel Works) является производство и поставка стального листа со значительным периодом нахождения конструкций в условиях воздействия коррозионных сред приморской и морской среды. Такая среда относится к категориям С4...С5 с очень высокой коррозионной агрессивностью [4]. Это требует решения задачи обеспечения коррозионной защищенности с учетом уровня коррозионной опасности и требований первичной и вторичной защиты от коррозии [5].

Оценка качества и надежности металлоконструкций и временных покрытий является важным аспектом продления ресурса объектов основных фондов, формирования рационального инновационного развития производства новых материалов и использования ресурсосберегающих технологий. Прогнозируемый уровень коррозионной опасности позволяет сформировать требования к обеспечению мероприятий первичной и вторичной защиты от коррозии соответствующие условиям нормальной эксплуатации [6, 7]. Вместе с этим, неопределенность критериев оценки состояния поверхности металлопроката и коррозионного разрушения создает трудности для оперативного принятия решений с целью обеспечения технологической безопасности объектов [8].

Цель. Исследования направлены на обеспечение качества и надежности мер первичной и вторичной защиты листовых металлоконструкций по признакам коррозионной опасности.

Соблюдение условий надежности и конструктивной безопасности достигается за счет решения задачи обеспечения технологической безопасности на основе методологии всеобщего управления качеством [9].

Значительный уровень износа и предельные сроки нахождения в неблагоприятных условиях являются угрозами снижения качества продукции, что влечет повышение требований к улучшению эксплуатационных свойств конструкций, которые теряют качество [10].

Определение проектных показателей долговечности конструкций основано на разработанной методике учета коэффициентов надежности и готовности временной противокорро-

зионной защиты, установленных по результатам экспериментальных исследований свойств первичной и вторичной защиты при определительных (ускоренных или стендовых) испытаниях согласно классификационным признакам коррозионных сред [11].

В настоящее время оценка коррозионного состояния металлических конструкций выполняется в соответствии с требованиями отечественных норм [12].

Влияние коррозионных повреждений на долговечность в нормах предлагается учитывать путем изменения геометрических характеристик сечения на основе данных о величине равномерной коррозии и коэффициента слитности сечения, что делает невозможным учет особенностей неравномерного (местного) разрушения конструктивных элементов. Показатель глубины проникновения коррозии определяется без учета доверительного интервала статистической погрешности измерений. В то же время нормами [13] допускаются меры первичной защиты (увеличение толщины проката) с учетом уровня коррозионной опасности.

Материалы и методика исследования. Целью работы является обоснование состава и структуры параметров коррозионной стойкости конструкций для управления технологической безопасностью путем снижения рисков, что уменьшает вероятность коррозионного разрушения и ограничивает возможный ущерб при коррозионных разрушениях конструкций и сооружений.

Влияние внешних факторов (агрессивная среда) и внутренних параметров (конструктивная форма) на показатели надежности строительных листового металлопроката рассматривается для зон расположения групп однородных конструктивных элементов (партии поставок) с учетом вида и интенсивности коррозионных воздействий. В соответствии с представленным подходом (табл. 1), основным показателем агрессивных сред является характеристическое значение годовых коррозионных потерь A_n , г/м²*год, условно приведенное к незащищенной поверхности стали класса С 235 [6].

Коррозионное разрушение стальных конструкций определяется внешними воздействиями режима эксплуатации и зависит в первую очередь от степени агрессивности среды. Учет электрохимической кинетики коррозионного разрушения в изменении прочности производится на основе физических моделей, характеризующих изменения геометрических параметров и свойств материала во времени при агрессивных воздействиях сред [14]. С позиций аппарата строительной механики, допустимое снижение несущей способности элементов для заданной системы противокоррозионной защиты конструкций (СПЗК) можно учитывать в расчетах по предельным состояниям с помощью фиктивных внешних нагрузок [3, 4]. Цель работы заключается в обосновании условий мониторинга и диагностики признаков коррозионной опасности при техническом обслуживании строительных металлоконструкций по фактическому состоянию.

Таблица 1 - Классификация коррозионных сред

Степень агрессивности по ДСТУ Б В.2.6-193:2013	Коррозионная стойкость стали К, мм/*год	Коррозионные потери стали С 235, A_n , г/м ² *год	Степень агрессивности по СНиП 2.03.11-85	Обозначение категории коррозии по ISO 12944-2 A_n , г/м ² *год
A4 высокоагрессивная	0,08...0,20 0,008...0,02	650...1500	B3 среднеагрессивная	C5-1 очень высокая (промышленная) 650...1500 C5-M очень высокая (морская) 650 ... 1500
A5 очень высокоагрессивная	0,20 ... 0,50 0,02.... 0,05	1500...3900		—

Допустимые отклонения эксплуатационных характеристик конструктивных элементов в зависимости от категории ответственности систем защиты от коррозии учитываются коэффициентами надежности противокоррозионной защиты ($\gamma_{зк}$, $\gamma_{зн}$). Требования к показателям долговечности вторичной защиты устанавливаются с учетом заданного срока подготовки T_{ny} металлических конструкций, индекса надежности β , степени агрессивности воздействий среды.

Комплексным показателем ремонтпригодности - коэффициентом готовности (K_g), характеризуются параметры конструктивных и технологических мер первичной и вторичной защиты:

$$K_g = \frac{T_{к\gamma} + T_{з\gamma}}{T_{к\gamma}}, \quad (1)$$

где $T_{к\gamma}$ - срок службы (год) стальных конструкций по показателю коррозионной стойкости (первичная защита);

$T_{з\gamma}$ - расчетный срок службы (год) временной защиты с доверительной вероятностью $\gamma=0,95$ по результатам ускоренных испытаний.

Расчет на коррозионную стойкость, долговечность и ремонтпригодность конструкций выполняется с учетом параметров коррозионной стойкости (табл.2) по предельным состояниям. Обеспечения надежности и конструктивной безопасности на стадии подготовки производства включает обоснование расчетных ситуаций исходя из условий условиям живучести систем защиты от коррозии. Задание срока службы конструкций по характеристикам первичной защиты (коррозионная стойкость конструкции) производится с учетом резерва несущей прочностных свойств и степени агрессивности воздействий на основе расчетов. Задание срока службы осуществляется на основе анализа показателей качества систем защиты.

Результаты исследований. В соответствии с изложенным подходом сформулированы требования к определению фактических значений коррозионной агрессивности воздействий по данным контроля контрольного норматива K_p эксплуатации объектов определяющего эффективность мер программы обеспечения надежности на основании мониторинга показателей качества СПЗК при техническом обслуживании по фактическому состоянию.

Таблица 2 - Условия соответствия мер защиты проектным требованиям качества.

Шкала стойкости металлов и покрытий				Категория ответственности конструкций	Коэффициенты надежности защиты	
Группа стойкости по ГОСТ 13819-68	Оценка стойкости, балл	Глубина поражений, мм/год	Класс первичной и вторичной защиты по СНиП (ДСТУ)		Первичной, γ_z	Вторичной, γ_z
Нестойкие (IV)	8	1 – 5	I	C4	От 0,80 до 0,85	От 0,85 до 0,90
	7	0,5 - 1				
Пониженно-стойкие (III)	6	0,1-0,5	II	C3	» 0,85 » 0,90	»0,90 »0,95
	5	0,05-0,1				
Удовлетворительно стойкие (II)	4	0,01-0,05	III	C2	»0,90 »0,95	»0,95 »0,99
	3	0,005-0,01				
Стойкие (I)	2	0,001-0,005	IV	C1	»0,95 »0,99	»0,99 »1,00
	1	Менее 0,001				

Репрезентативные значения показателей контрольного норматива K_p используются для расчетной оценки коэффициентов надежности по коррозионной стойкости материала (γ_{mk}) и характеристических значений годовых коррозионных потерь (A_n , г/м²год) - основного показателя агрессивности среды. Расчетно-экспериментальная оценка показателей долговечности защитных покрытий выполнена на основе моделирования физико-химических воздействий в процессе ускоренных испытаний образцов с защитными покрытиями, предназначенными для долговременной защиты от коррозии. Практическая реализация методического подхода осуществлена в период мониторинга выпуска продукции комбината АЗОВСТАЛЬ (Azovstal Iron & Steel Works) при производстве, хранении и транспортировке листовых металлоконструкций по признакам коррозионной опасности (Рис. 1).

Разработанная стратегия временной противокоррозионной защиты листовых металлоконструкций в условиях производственного предприятия при воздействии факторов среды морского климата. Мероприятия включают процессный подход к управлению ресурсами путем построения системы учета и функционального контроля, анализа рисков и регулирования технологической безопасности производственных фондов предприятий с учетом уровня коррозионной опасности. Реализация подхода к управлению технологической безопасностью на объектном уровне направлена на совершенствование СПЗК, продление ресурса с учетом показателей живучести и обоснование мер ПОН.

1 – участки нанесения; 2 - условия нанесения; 3 - места контроля. 4 – внешний вид контрольных участков (экспозиция 2 суток)

Рис. 1. Изучение коррозионной защищенности при натурных исследованиях.

Выводы. Назначение мер защиты от коррозии по критерию коррозионной опасности позволяет обеспечивать требования надежности и соответствия нормативным требованиям качества листовых металлоконструкций [15] на основе и решать задачи по управлению технологической безопасностью в течение установленного срока:

- выявлять отклонения от требований действующих нормативных документов по защите от коррозии;
- оценивать соответствие показателей качества, конструктивной приспособленности и технологической рациональности решений противокоррозионной защиты заданному уровню коррозионной опасности;

- определять требования к выбору материалов и систем защитных покрытий металлоконструкций согласно классификационным признакам нормативных требований;
- разрабатывать предложения по использованию решений противокоррозионной защиты на основании экспертизы новых материалов и технологий по условиям оценки соответствия требованиям надежности и эффективности.

Литература

1. Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин / Цільова комплексна програма НАН України. Зб. наук. ст. за результатами, отриманими в 2007 – 2009 рр. Наук. керівник – академік Б.Є. Патон. – К.: ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України, - 2009. – 709 с.
2. Шимановський О.В. Концептуальні основи системи технічного регулювання надійності й безпечності будівельних конструкцій / Шимановський О.В., Корольов В.П. // Промислове будівництво та інженерні споруди, №1, -2008, с. 4-9.
3. Гибаленко, А. Н. Мониторинг остаточного ресурса металлоконструкций в коррозионных средах / А. Н. Гибаленко // Зб. наук. пр. Серія: галузеве машинобудування, буд-во. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип. 3 (45). – С. 110– 116.
4. ISO 9223:2012 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation Number of pages: 15.
5. Королёв В.П., Филатов Ю.В., Селютин Ю.В. Развитие корпоративной системы менеджмента: технологическая безопасность производственных объектов / Королёв В.П., Филатов Ю.В., Селютин Ю.В. Зб. наук. праць Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського // Під заг. ред. засл. діяча науки і тех-ки України, д.т.н., проф. О.В. Шимановського. Вип.14. – К.: Вид-во «Сталь», -2014, с. 136 – 149.
6. Sumi Y, Strength and Deformability of Corroded Steel Plates Estimated by Replicated Specimens (Journal of Ship Production, 24(3), 2008), pp. 161–167.
7. Estimation of steel structure corrosion risk level / V. P. Korolov, Y. Vysotsky, O. M. Gibalenko, P. V. Korolov // Eurocorr-2010. The European Corrosion Congress (13.09-17.09.2010) / From the Earth's Depths to Space Heights. – Moscow, 2010. – Book of Abstracts. – 534 p.
8. Korolov V. Design criteria of reliability and safety in the design of corrosion protection of structural steel / V. Korolov, Y. Vysotsky, Y. Filatov / EUROCORR-2014. The European Corrosion Congress «Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications». – Pisa, Book of Abstracts. - 2014. – 88 p.
9. ДСТУ Б В.2.6-193:2013 Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування. – Мінрегіон України. – 74 с.
10. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування / Мінрегіон України. – Київ, 2014. – 199 с.
11. American Rust Standard Guide. New York: American Institute for Steel Classification. American rust standard guide. New York: American Institute for Steel Classification, c. 1968 (OCOLC)746104088, Media Type: Book. Publisher: American Institute for Steel Classification. Publish Date: 31/12/2002. Code ID: 24016. Pages: 12

References

- [1] Problemi resursu i` bezpeki ekspluatacz`yi konstrukcz`j, sporud ta mashin / Czi`l`ova kompleksna programa NAN Ukrayini. Zb. nauk. st. za rezul`tatami, otrimanimi v 2007 – 2009 rr. Nauk. ker`vnik – akademi`k B.Ye. Paton. – K.: I`EZ i`m. Ye. O. Patona NAN Ukrayini, - 2009.
- [2] Shimanovs`kij O.V. Konceptual`ni` osnovi sistemi tekhn`chnogo reguluyvannya nadi`jnosti` j bezpechnosti` budi`vel`nikh konstrukcz`j / Shimanovs`kij O.V., Korol`ov V.P. // Promislove budi`vnicztvo ta i`nzhenerni` sporudi, #1, -2008.

- [3] Gibalenko, A. N. Monitoring ostatochnogo resursa metallokonstrukcij v korro-zionny`kh sredakh / A. N. Gibalenko // Zb. nauk. pr. Seri`ya: galuzeve mashinobuduvannya, bud-vo. – Poltava: PoltNTU, 2015.
- [4] ISO 9223:2012 Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Classification, determination and estimation, 2012.
- [5] Korolyov V.P., Filatov Yu.V., Selyutin Yu.V. Razvitie korporativnoj sistemy` menedzhmenta: tekhnologicheskaya bezopasnost` proizvodstvenny`kh ob`ektov / Korolyov V.P., Filatov Yu.V., Selyutin Yu.V. Zb. nauk. prac` Ukri`nstal`kon i`m. V.M. Shimanovs`kogo // Pi`d zag. red. zasl. di`yacha nauki i` tekhniki Ukraini, d.t.n., prof. O.V. Shimanovs`kogo. Vip.14. – K.: Vid-vo «Stal'», -2014.
- [6] Sumi Y, Strength and Deformability of Corroded Steel Plates Estimated by Replicated Specimens (Journal of Ship Production, 24(3), 2008.
- [7] Estimation of steel structure corrosion risk level / V. P. Korolov, Y. Vysotsky, O. M. Gibalenko, P. V. Korolov // Eurocorr-2010. The European Corrosion Congress (13.09-17.09.2010) / From the Earth's Depths to Space Heights. – Moscow, 2010.
- [8] Korolov V. Design criteria of reliability and safety in the design of corrosion protection of structural steel / V. Korolov, Y. Vysotsky, Y. Filatov / EUROCORR-2014. The European Corrosion Congress «Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications». – Pisa, Book of Abstracts. - 2014.
- [9] DSTU B V.2.6-193:2013 Zakhist metalevikh konstrukci`j vi`d korozi`yi. Vimogi do proektuvannya. – Mi`nregi`on Ukraini, 2013.
- [10] DBN V.2.6-198:2014 Stalevi` konstrukci`yi. Normi proektuvannya / Mi`nregi`on Ukraini. – Kiyiv, 2014.
- [11] American Rust Standard Guide. New York: American Institute for Steel Classification. American rust standard guide. New York: American Institute for Steel Classification, c. 1968 (OCOLC)746104088, Media Type: Book. Publisher: American Institute for Steel Classification. Publish Date: 31/12/2002. Code ID: 24016. Pages: 12

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОГО ПРОТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ

Гібаленко О.М., д.т.н., професор,
grin196102@gmail.com, ORCID:0000-0003-2979-5225

Трофимчук Т.С., асистент
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»,
taras.trofimchuk@gmail.com, ORCID:0000-0002-1051-4561

Анотація. Дослідження спрямовані на підвищення якості заходів вторинного захисту при підготовці виробництва листових металоконструкцій. Вирішується завдання збереження якості з гарантованими показниками довговічності при врахуванні рівня корозійної небезпеки в умовах приморського клімату. Використано принципи процесного підходу для реалізації завдань управління терміном служби в корозійних середовищах. Забезпечується принцип надійності за рівнем корозійної небезпеки, який описується послідовними етапами оцінки живучості листових металоконструкцій на основі стратегії DMAIC (define, measure, analyze, improve, control): визначення, вимірювання, аналізу, вдосконалення та контролю заходів первинної та вторинного захисту від корозії. Розроблено заходи захисту від корозії за критерієм корозійної небезпеки, що забезпечує дотримання вимог надійності будівельних металоконструкцій на основі розрахункових показників. Вирішення завдань управління технологічної підготовленістю протягом встановленого терміну, що передуює зведенню будівельного об'єкта. Розроблено процедуру обслуговування листового металопрокату по фактичному стану,

яка заснована на процесному підході до управління ресурсами шляхом побудови системи обліку і функціонального контролю, аналізу ризиків та регулювання технологічної безпеки. Реалізація цих принципів на об'єктному рівні спрямована на вдосконалення засобів і методів протикорозійного захисту, продовження ресурсу з урахуванням показників живучості та обґрунтування заходів програми забезпечення надійності (ПЗН). На основі розробленого принципу узагальнені результати натурних і лабораторних досліджень. Ці дослідження спрямовані на обґрунтування первинного та вторинного захисту листових металоконструкцій при заданому рівні корозійної небезпеки, запропоновані організаційні заходи ПЗН. Заходи включають оцінку інтегральних характеристик конструктивної пристосованості, технологічної раціональності і ризик-аналіз ознак корозійної небезпеки об'єктів.

Ключові слова: металеві листові конструкції; живучість; процесний підхід; забезпечення надійності.

ENSURING LONG-TERM STORAGE OF METAL STRUCTURES WHEN USING SECONDARY ANTI-CORROSION PROTECTION

Gibalenko O. M., doctor of technical sciences, professor,
grin196102@gmail.com, ORCID:0000-0003-2979-5225

Trofymchuk T. S., assistant

State Higher Education Institution "Pryazovskyi State Technical University"
taras.trofimchuk@gmail.com, ORCID:0000-0002-1051-4561

Annotation. Research is aimed at improving the quality of secondary protection measures in preparation for the production of sheet metal structures. The problem of maintaining quality with guaranteed indicators of durability is taken into account, taking into account the level of corrosion hazard in a coastal climate. The principles of the process approach are used to implement the tasks of managing the service life in corrosive environments. The principle of reliability according to the level of corrosion hazard is provided, which is described by the successive stages of assessing the survivability of sheet metal structures based on the DMAIC strategy (define, measure, analyze, improve, control): determination, measurement, analysis, improvement and control of primary and secondary corrosion protection measures. Corrosion protection measures have been developed according to the criterion of corrosion hazard, which ensures compliance with the reliability requirements of building metal structures based on calculated indicators. The tasks of managing technological readiness for a specified period preceding the construction of a building object have been solved. A procedure has been developed for servicing sheet metal according to the actual state, which is based on a process approach to resource management by building a system of accounting and functional control, risk analysis and technological safety regulation. The implementation of these principles at the object level is aimed at improving the means and methods of anticorrosive protection, extending the resource taking into account survivability indicators and substantiating measures of the reliability assurance program (PON). Based on the developed principle, the results of field and laboratory studies are generalized. These studies are aimed at substantiating the primary and secondary protection of sheet metal structures at a given level of corrosion hazard, organizational measures of PON are proposed. Activities include the assessment of the integral characteristics of constructive fitness, technological rationality and risk analysis of signs of corrosion hazard of objects.

Key words: sheet metal structures; survivability; process approach; ensuring reliability.