

*Гибаленко А.Н., к.т.н., доцент
Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь*

МОНИТОРИНГ УРОВНЯ КОРРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Описаны условия обеспечения показателей качества и надежности средств и методов противокоррозионной защиты металлоконструкций на основе разработанной методики контроля определяющих параметров коррозионной стойкости. Выяснено, что выполненные исследования позволяют осуществлять оценку соответствия средств и методов противокоррозионной защиты на основе характеристик определяющих параметров коррозионной стойкости. Созданы предпосылки для конструктивного регулирования коррозионной защищенности строительных металлоконструкций; определен порядок научно-технического сопровождения выбора определяющих параметров коррозионной стойкости по уровню коррозионной опасности на основе проектной спецификации мер первичной и вторичной защиты от коррозии. Представлены характеристики коррозионной стойкости, долговечности, ремонтпригодности конструкций и их защитных покрытий.

Ключевые слова: *показатели качества, металлические конструкции, коррозионная опасность, определяющие параметры коррозионной стойкости, конструктивное решение, техническое состояние.*

*Гібаленко О.М., к.т.н., доцент
Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь*

МОНИТОРИНГ РІВНЯ КОРОЗІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ І УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Описано умови забезпечення показників якості та надійності засобів і методів протикорозійного захисту металлоконструкцій на основі розробленої методики контролю визначальних параметрів корозійної стійкості. Виявлено, що виконані дослідження дозволяють здійснювати оцінювання відповідності засобів і методів протикорозійного захисту на основі характеристик визначальних параметрів корозійної стійкості. Створено передумови для конструктивного регулювання корозійної захищеності будівельних металлоконструкцій; визначено порядок науково-технічного супроводу вибору визначальних параметрів корозійної стійкості за рівнем корозійної небезпеки на основі проектноі специфікації заходів первинного та вторинного захисту від корозії. Наведено характеристики корозійної стійкості, довговічності, ремонтпридатності конструкцій і їхніх захисних покриттів.

Ключеві слова: *показники якості, металеві конструкції, корозійна небезпека, визначальні параметри корозійної стійкості, конструктивне рішення, технічний стан.*

MONITORING OF STEEL STRUCTURES CORROSION THE RISK LEVEL REGARD FOR STRUCTURAL PARAMETERS AND CONDITIONS OF USE

The paper describes the conditions for ensuring quality performance and reliability of the corrosion protection methods on the basis of the developed method to determine the corrosion resistance control parameters.

Settlement and experimental evaluation of performance durability of protective coatings is made on the basis of physical and chemical effects modeling in the process of accelerated tests of samples with coatings designed for long-term protection against corrosion.

Permissible deflection of performance structural elements are taken into account by safety factors of corrosion protection, depending on the category of responsibility. There were defined the requirements for performance durability with specified service life of structures and the degree of aggressiveness of the environment impacts.

Parameters of structural and technological measures of primary and secondary protection are characterized by complex refractive maintainability of the coefficient of readiness.

Determination of design parameters of structure durability was made in accordance with the established procedure of accounting reliability and readiness factors of corrosion protection established by the results of experimental studies.

The studies allow an assessment of methods conformity of corrosion protection on the basis of values defining the parameters of corrosion resistance.

The prerequisites for constructive regulation corrosion protection of steel building structures was created, also the procedure for the scientific and technical support for the selection of parameters on the level of corrosion hazard was defined on the basis of the design specification of primary and secondary measures of protection against corrosion. The characteristics of corrosion resistance, durability, maintainability of structures and protective coatings.

The practical implementation of methodological approach was implemented during monitoring of the building steel structure state of the mining and metallurgical complex on the basis of the corrosion danger. The list of examined buildings includes construction of conveyor galleries, bridges and overpasses technology, pipe supports, constructional, sheet steel.

Keywords: *indicators of quality, metal construction, corrosion hazard, determining the parameters of corrosion resistance, structural solution, the technical condition.*

Введение. Совершенствование нормативно-технических требований в области безопасности металлоконструкций при эксплуатации зданий и сооружений [1, 2] связано с обоснованным учетом уровня коррозионной опасности строительных объектов, который определяется критическими интервалами коэффициента готовности противокоррозионной защиты металлоконструкций при воздействии факторов коррозионных сред [3].

Проектный уровень коррозионной опасности позволяет сформировать требования к долговечности и ремонтпригодности, подтверждение которых при техническом обслуживании соответствует условиям нормальной эксплуатации строительных конструкций [4].

Вместе с этим неопределенность критериев оценки состояния защитных покрытий и коррозионного разрушения создает трудности для оперативного принятия решений для обеспечения технологической безопасности объектов [5].

Анализ последних источников исследований и публикаций. При проектировании строительных объектов обеспечение надежности и конструктивной безопасности достигается за счет совершенствования норм проектирования, включая соблюдение основ, принципов и методов расчета по предельным состояниям [6, 7].

Анализ состояния проблемы свидетельствует, что безаварийная эксплуатация конструкций зданий и сооружений связана с решением задач обеспечения технологической безопасности на основе методологии всеобщего управления качеством [8].

Высокий уровень износа основных фондов и предельные сроки службы конструкций зданий и сооружений являются существенными угрозами технологической безопасности – структурной составляющей безопасности предприятия, которая характеризует систему мер для поддержания работоспособности, повышения эксплуатационных свойств конструкций, которые полностью или в значительной степени исчерпали свой нормативный ресурс [9].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Определение проектных показателей долговечности конструкций основано на разработанной методике учета коэффициентов надежности и готовности противокоррозионной защиты, установленных по результатам экспериментальных исследований определяющих параметров коррозионной стойкости (ОПКС) первичной и вторичной защиты при определительных (ускоренных или стендовых) испытаниях согласно классификационным признакам коррозионных сред [10, 11]. В настоящее время оценка коррозионного состояния металлических конструкций выполняется в соответствии с требованиями норм [12, 13].

Влияние коррозионных повреждений на несущую способность в нормах предлагается учитывать путем изменения геометрических характеристик сечений 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 [7] допускаются меры первичной защиты (увеличение толщины проката) с учетом уровня коррозионной опасности.

Постановка задания исследования. Целью работы является обоснование состава и структуры ОПКС конструкций для управления технологической безопасностью путем снижения рисков, что уменьшает вероятность аварийных ситуаций и ограничивает возможный ущерб при коррозионных разрушениях конструкций и сооружений.

Влияние внешних факторов (агрессивная среда) и внутренних параметров (конструктивная форма) на показатели надежности строительных металлоконструкций рассматривается для групп однородных конструктивных элементов с учетом вида и интенсивности коррозионных повреждений. 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].

Таблица 1 – Классификационные признаки коррозионных сред

Обозначение степени агрессивности по ДСТУ Б В.2.6-193:2013	Показатель коррозионной стойкости: <u>стали</u> алюминия K , мм/год	Характеристическое значение годовых коррозионных потерь стали С 235 A_n , г/м ² ·год	Обозначение степени агрессивности по СНиП 2.03.11-85	Обозначение категории коррозии по ISO 12944-2 A_n , г/м ² ·год
А1 неагрессивная	до 0,01 до 0,001	до 80	В1 неагрессивная	С1 очень низкая ≤10
				С2 низкая 10... 80
А2 слабо-агрессивная	0,01 ... 0,05 0,001..0,005	80 ... 400	В2 слабо-агрессивная	С2 низкая 80 ... 200
				С3 низкая 200 ... 400
А3 низко-агрессивная	0,05 ... 0,08 0,005.. 0,008	400 ... 650	В3 средне-агрессивная	С4 высокая 400 ... 650
А4 высоко-агрессивная	0,08 ... 0,20 0,008...0,02	650 ... 1500,0		С5-1 очень высокая (промышленная) 650 ... 1500 С5-М очень высокая (морская) 650 ... 1500
А5 очень высоко-агрессивная	0,20 ... 0,50 0,02.... 0,05	1500 ... 3900,0		–
А6 сильно-агрессивная	свыше 0,50 свыше 0,05	свыше 3900,0	В4 сильно-агрессивная	–

Основной материал и результаты. Коррозионное разрушение стальных конструкций определяется внешними воздействиями режима эксплуатации и зависит в первую очередь от степени агрессивности среды. Учет электрохимической кинетики коррозионного разрушения в прочностных расчетах производится на основе физических моделей, характеризующих изменения геометрических параметров и свойств материала во времени при действии нагрузок и агрессивных воздействий [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.

Допустимые отклонения эксплуатационных характеристик конструктивных элементов в зависимости от категории ответственности СПЗК учитываются коэффициентами надежности противокоррозионной защиты (γ_{zk} , γ_{zn}). Требования к показателям долговечности первичной и вторичной защиты устанавливаются с учетом заданного срока службы $T_{п\gamma}$ металлических конструкций, индекса надежности β и степени агрессивности воздействий среды.

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

$$K_g = \frac{T_{k\gamma} + T_{z\gamma}}{T_{k\gamma} + nT_{z\gamma}}, \quad (1)$$

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

$T_{z\gamma}$ – расчетный срок службы (год) защитных покрытий с доверительной вероятностью $\gamma = 0,95$ по результатам ускоренных испытаний;

n – количество ремонтных циклов восстановления противокоррозионной защиты при установленном сроке службы объекта.

Расчет на коррозионную стойкость, долговечность и ремонтпригодность конструкций выполняется с учетом ОПКС (табл. 2) по предельным состояниям первой и второй групп.

Таблица 2 – Проектные условия соответствия мер защиты требованиям качества (коррозионная защищенность) и надежности (уровень коррозионной опасности)

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_{zk}	вторичной, γ_{zn}
Нестойкие (IV)	8	1 – 5	I	C4	от 0,80 до 0,85	от 0,85 до 0,90
	7	0,5 – 1				
Пониженностойкие (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				

Обеспечение надежности и конструктивной безопасности на стадии проектирования включает обоснование расчетных ситуаций, исходя из условий живучести СПЗК. Задание срока службы конструкций по характеристикам первичной защиты (коррозионная стойкость конструкции) производится с учетом резерва несущей способности и степени агрессивности воздействий на основе прочностных расчетов. Задание срока службы по характеристикам вторичной защиты (долговечность защитных покрытий) осуществляется на основе анализа показателей качества СПЗК.

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.

Выводы. 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.

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.

Практическая реализация методического подхода осуществлена при мониторинге состояния металлоконструкций объектов горно-металлургического комплекса по признакам коррозионной опасности для основных конструктивных элементов зданий и сооружений, пролетных строений транспортных галерей, технологических эстакад, опор трубопроводов, листовых конструкций.

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: 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 безпеки будівельних конструкцій / О. В. Шимановський, В. П. Корольов // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2008. – № 1. – С. 4 – 9.*
- 3. Королёв В. П. Развитие корпоративной системы менеджмента: технологическая безопасность производственных объектов / В. П. Королёв, Ю. В. Филатов, Ю. В. Селютин // Зб. наук. праць Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського. – К. : Видавництво «Сталь», 2014. – Вип.14. – С. 136 – 149.*
- 4. Yamamoto N. A study on the degradation of coating and corrosion of ship's hull based on the probabilistic approach / N. Yamamoto, K. Ikegami // J. of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. – 1998. – № 120. – P. 121 – 128.*
- 5. Guedes S. Reliability of maintained, corrosion protected plates subjected to non-linear corrosion and compressive loads / S. Guedes, Y. Garbatov // Marine Structures. – 1999. – № 12. – P. 425 – 445.*
- 6. ДСТУ Б В.2.6-193:2013. Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 74 с.*
- 7. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 199 с.*

8. Исаенко Д. В. Механизмы обеспечения безопасности зданий и сооружений в контексте положений Закона Украины «О регулировании градостроительной деятельности» / Д. В. Исаенко // *Промислове будівництво та інженерні споруди*. – 2012. – № 4. – С. 2 – 7.
9. Гибаленко А. Н. Мониторинг остаточного ресурса металлоконструкций в коррозионных средах / А. Н. Гибаленко // *Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип. 3 (45). – С.110 – 116.
10. Королев В. П. Экспертное диагностирование коррозионного разрушения при определении остаточного ресурса строительных металлоконструкций в коррозионных средах / В. П. Королев, И. А. Волкова, Е. В. Шелихова // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. – 2002. – №1. – С. 6 – 11.
11. 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. – P. 88.
12. ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації. – К. : Держбуд України, 1995. – 44 с.
13. *Пособие по контролю состояния строительных металлических конструкций зданий и сооружений в агрессивных средах, проведению обследований и проектированию восстановления защиты конструкций от коррозии (к СНиП 2.03.11-85)* / А. И. Голубев, Е. В. Горохов, В. П. Королев и др. – М. : Стройиздат, 1989. – С. 51.
14. Field Investigation of Corrosion-Protection Performance of Bridge Decks Constructed With Epoxy-Coated Reinforcing Steel in Virginia / R. Weyers, W. Pys, J. Zemajtis, Y. Liu, D. Mokarem, M. Sprinkel // *Transportation Research Record*. – 1997. – № 1597. – P. 82 – 90.
15. Zienkiewicz O. C. *The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics Sixth edition* / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor // Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 30 Corporate Drive, Burlington, MA 01803. – 2005. – 648 p.

© Гибаленко А.Н.
Надійшла до редакції 07.03.2016