

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

МОНИТОРИНГ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В КОРРОЗИОННЫХ СРЕДАХ

Изложены возможности применения стратегии DMAIC при робастном (устойчивом) проектировании противокоррозионной защиты на всех стадиях послеремонтного жизненного цикла конструкций.

На основе анализа функциональных требований и технических характеристик объектов по данным экспертного диагностирования металлоконструкций определены возможности формирования программы обеспечения надежности при реконструкции для поддержания эксплуатационных параметров технологического оборудования предприятия металлургического комплекса.

Предложенной методикой расчетно-измерительного способа определения живучести учитывается изменчивость определяющих параметров коррозионной стойкости систем противокоррозионной защиты металлоконструкций при оценке уровня риска по критериям технологической безопасности.

Ключевые слова: ресурс металлоконструкций, коррозионная опасность, робастное проектирование, мониторинг, техническое состояние.

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

МОНИТОРИНГ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦІЙ У КОРОЗІЙНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Викладено можливості застосування стратегії DMAIC при робастному (стійкому) проектуванні протикорозійного захисту на всіх стадіях післяремонтного життєвого циклу конструкцій.

На основі аналізу функціональних вимог і технічних характеристик об'єктів за даними експертного діагностування металоконструкції визначено можливості формування програми забезпечення надійності при реконструкції для підтримання експлуатаційних параметрів технологічного обладнання підприємства металургійного комплексу.

Запропонованою методикою розрахунково-вимірального способу визначення живучості враховано мінливість визначальних параметрів корозійної стійкості систем протикорозійного захисту металоконструкцій при оцінюванні рівня ризику за критеріями технологічної безпеки.

Ключові слова: ресурс металоконструкцій, корозійна небезпека, робастне проектування, моніторинг, технічний стан.

MONITORING OF RESIDUAL RESOURCE STEEL IN CORROSIVE ENVIRONMENTS

This article describes the options of using DMAIC (define, measure, analyze, improve, control) strategy in robust (sustainable) projecting of corrosion protection at all stages of the life cycle of renovated designs.

Principles of robust projecting are based on the criteria of the corrosion hazards analysis.

Methods include requirements to quality of corrosion protection of steel structures and their layer.

The parameters of corrosion resistance are conforming correspondence to standards.

On the base of functional requirements and object's technical characteristics analysis, the possibility of forming programs that ensure reliability during reconstructions (PER) were determined.

It ensures good condition of technological equipment in metallurgical complex.

Suggested calculation-measurement method for determining the survivability includes changes in parameters of corrosion resistance during estimation of the risk level under technological safety criteria

Designed organizational measures (reliability program designs – RPD), have the assessment of the integral characteristics of structural adaptation, technological rationality and risk analysis of the danger signs of corrosion construction projects.

The economic aspect in the task of the resource formation of industrial facilities is associated with the process approach.

Risk assessment on the basis of technological safety of buildings and structures. Stability and continuity of the production process under the negative impacts are provided by technological security.

Logical modeling is used during the analysis of the potential dangers of building objects.

Development and construction of databases to systematize the causes of defects, damage and failure of structures allow to make decisions on the prevention of emergency situations on the basis of statistical conclusions.

Studies that were carried out in the course of diagnosing the state of corrosion of technological equipment metal structures, shows a significant impact of technological and structural factors, the nature and intensity of the flow of corrosion damage.

The audit results are presented in the form of indicators of expert diagnosis of the corrosion condition.

Ordering of the results of the technical audit is performed during the examination of bearing and enclosing structures of the ore yard metallurgical plant blast furnace shop and several coking enterprises.

Implementation of the results of the study will reduce the material costs of maintaining a healthy state of metal constructions of buildings and structures.

Keywords: *resource steel structures, the corrosion hazard, robust design, monitoring, technical condition.*

Введение. В настоящее время суммарный металлофонд строительных металлоконструкций в Украине превышает 36 млн. т, значительная часть которых эксплуатируется в условиях коррозионно-агрессивных сред промышленного производства, что требует привлечения дополнительных материально-технических ресурсов для обеспечения технологической безопасности объектов.

Критическое состояние средств и методов противокоррозионной защиты (СМПЗ) снижает уровень коррозионной защищенности, надежности и долговечности, что повышает риски чрезвычайных техногенных ситуаций. Экономический аспект задачи обоснования продления ресурса связан с процессным подходом к оценке рисков по признакам коррозионной опасности.

Анализ последних источников исследований и публикаций причин возникновения техногенных аварий и чрезвычайных ситуаций показал, что в половине случаев они имеют технический характер, обусловленный физическим и коррозионным износом [1].

Совершенствование СМПЗ путем мониторинга и диагностики технического состояния способствует повышению надежности металлоконструкций на основе применения новых материалов и технологий при соблюдении соответствия затрат уровню коррозионной опасности и дает возможность снижения расходов за счет повышения качества [2]. Обеспечение качества и надежности коррозионной защищенности металлоконструкций отражает стратегию деятельности DMAIC (define, measure, analyze, improve, control): определение, измерение, анализ, совершенствование и контроль, определяет сущность робастного проектирования по критериям коррозионной опасности и отражает основные задачи концепции Тагути [3 – 5].

Постановка задания исследования определяется внедрением системы менеджмента качества для мониторинга технического состояния, выявления остаточного ресурса и показателей ремонтпригодности с целью модернизации и реконструкции объектов [6]. Величина запаса (резерва) определена от момента диагностики до перехода объекта в следующую (худшую) категорию технического состояния, требующую капитального ремонта по фактическому значению и допускаемым интервальным оценкам поврежденности.

Величина ущерба определяется при моделировании аварийных ситуаций, включает убытки от повреждения (обрушения) металлоконструкций, повреждения оборудования и убытков (потери прибыли) от остановки производства на период восстановительных и ремонтных работ на основе стратегии регулирования и предупреждения риска путем введением конструктивных, технологических или эксплуатационных ограничений [7, 8].

Основной материал и результаты. С целью оптимизации эксплуатационных затрат на проведение плановых ремонтных работ по поддержанию работоспособного состояния металлоконструкций технологического оборудования разработана методика проведения исследования и выполнялся мониторинг технического состояния [9].

Реализация задач технического диагностирования коррозионного состояния и обоснование расчетных ситуаций по признакам коррозионной опасности обеспечивают формирование эксплуатационных характеристик для выявления остаточного ресурса СПКЗ конструкций и разработку мер программы обеспечения надежности (ПОН) промышленных объектов. Обобщенная структурная модель расчетных ситуаций по признакам коррозионной опасности представлена на рис. 1. Структурные схемы показателей надежности представлены потоковыми графами, описывающими изменения коррозионного состояния стальных конструкций с учетом конструктивных и технологических вариантов противокоррозионной защиты при обслуживании объектов по фактическому состоянию в течение установленного срока службы.

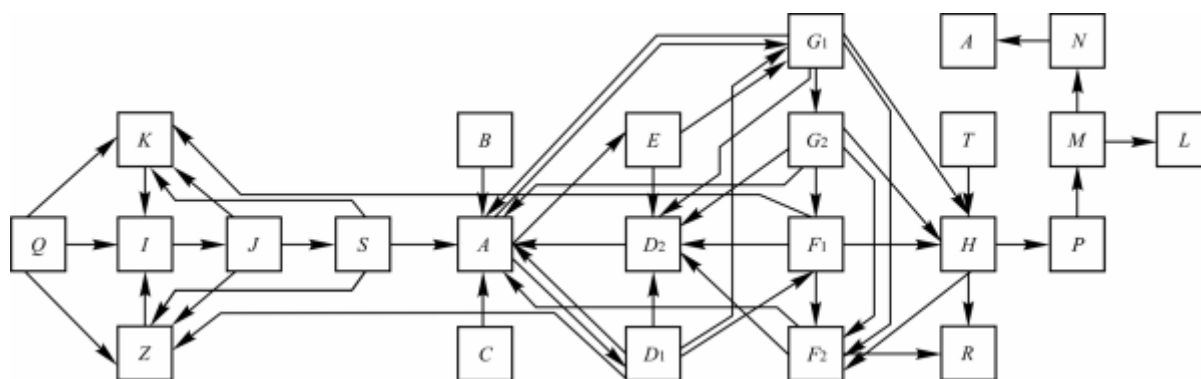


Рисунок 1 – Обобщенная структурная модель расчетных ситуаций по признакам коррозионной опасности

Данные контроля коррозионного состояния объектов (параметры «выхода» системы) позволили произвести анализ качества и надежности (параметры «входа») для обоснования требований к качеству с учетом показателей ремонтпригодности, живучести и послеремонтной несущей способности. Контроль коррозионного разрушения производился по приведенной характеристике потери качества (\bar{F}_e) в агрессивных средах. Показатель качества \bar{F}_e пропорционален квадрату отклонений значений контролируемого показателя γ_{zk} (γ_{zn}) от его номинального значения

$$\bar{F}_e = \left[\frac{2}{\gamma_{zk(n)}^{max} - \gamma_{zk(n)}^{min}} \left(\gamma_{zf} - \frac{\gamma_{zk(n)}^{max} + \gamma_{zk(n)}^{min}}{2} \right) \right]^2. \quad (1)$$

Проверочный расчет несущей способности при оценке эксплуатационного состояния выполняется для установленных групп однородных конструктивных элементов с учетом вида коррозионных повреждений на основе рекомендаций [10]. При этом в условие предельного неравенства вносится значение установленного на момент обследования коэффициента коррозионных потерь γ_{zf} (учитывающий качество эксплуатации, статистическую природу, характер и величину коррозионных повреждений). Основной характеристикой определения ресурса стальных конструкций при агрессивных воздействиях принимается характеристическое значение годовых коррозионных потерь [11].

При задании критериев предельных состояний продления ресурса по результатам оценки фактического состояния используется коэффициент обратной связи режима эксплуатации конструкций ψ на основе зависимости

$$N = \Phi / (\Gamma - \psi), \quad (2)$$

где N – наибольшее расчетное усилие в конструктивном элементе;

Φ – предельное усилие, которое может воспринимать элемент с характеристикой повреждаемости Θ_f ;

Γ – отношение резерва надежности.

Предложенная характеристика коэффициента обратной связи режима эксплуатации ψ обеспечивает реализацию информационно-аналитического подхода к управлению технологической безопасностью и формированию ПОН. При этом критерием технологической безопасности конструкций является характеристика живучести η , определяющая уменьшение пропускной способности регулирования ресурса

$$\eta = \Gamma - 1/(\Gamma - \psi). \quad (3)$$

При накоплении повреждений Θ коэффициент обратной связи ψ характеризует снижение эксплуатационных показателей конструкций при установленном проектном значении отношения резерва надежности Γ . Пропускная способность регулирования ресурса характеризует допустимую замену проектного значения отношения резерва надежности Γ для восстановления работоспособного состояния и продления ресурса за счет конструкторско-технологических ограничений и методов обеспечения необходимой послеремонтной несущей способности.

Конечноэлементное моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) стальных конструкций для оценки показателей ресурса выполняется с использованием интегрированного расчетного комплекса SCAD. Проверочный расчет несущей способности учитывал возможный характер коррозионно-механического разрушения в результате возможных динамических силовых воздействий (во время отрыва, подъема и перемещения грейфера, движения грузовой тележки).

Определение целесообразности продления остаточного ресурса или замены изношенных конструкций сводится к определению сравнительной экономической эффективности эксплуатации конструкций до выполнения ремонтно-восстановительных работ по отношению к конструкциям после капитального ремонта (реконструкции).

Использование норм [12], а также технических регламентов по противокоррозионной защите конструкций, внедренных на ряде предприятий горно-металлургического комплекса, создает условия для обоснованной экономической оценки и управления рисками, своевременной диагностики коррозионного состояния и восстановления противокоррозионной защиты конструкций [13,14].

На практике выявление признаков коррозионного разрушения на ранних стадиях послемонтажной готовности конструкций определяет условия соответствия требований СПЗК, эффективность и целесообразность реализации ПОН путем уменьшения затрат на реконструкцию (усиление) введением конструктивных, технологических и эксплуатационных ограничений, заменой из-за физического и морального износа (таблица 1). Это обеспечило предпосылки разработки и принятия технического решение замены устаревшего оборудования рудного двора на технологическую линию с использованием гидравлического перегружателя 880 EQ D35 на гусеничном ходу (рис. 2).

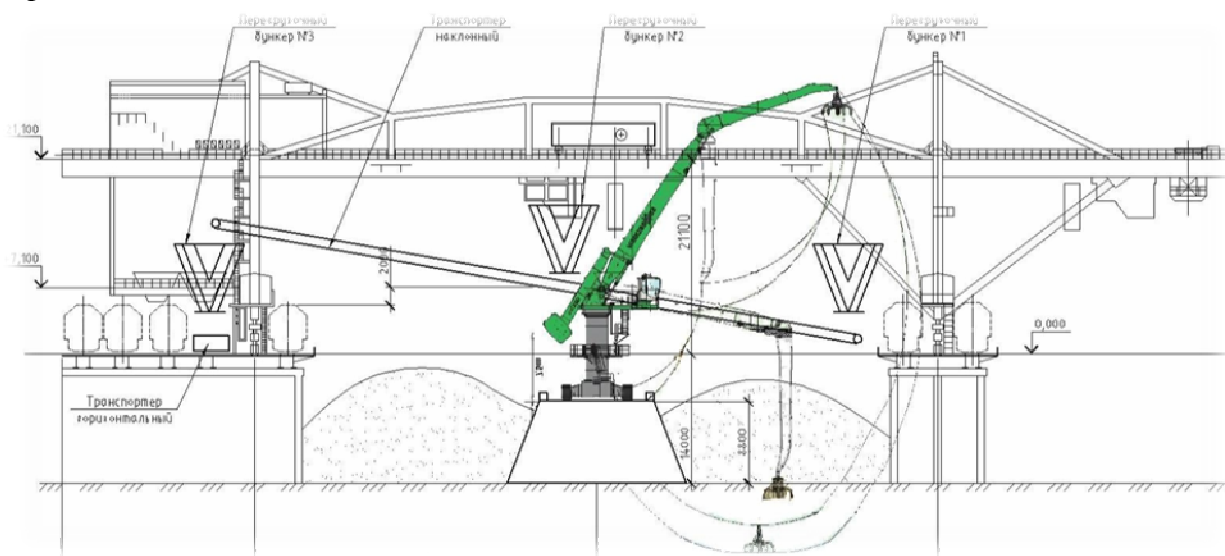


Рисунок 2 – Схема расположения металлоконструкций технологического оборудования рудного двора при реконструкции (разрез)

Таблица 1 – Уровни рисков по технологической безопасности R_i конструкций зданий и сооружений

Группы ответственности по технологической безопасности объектов с функциями:	Уровень угрозы (категория технического состояния)														
	Низкий (I)			Ограниченный (II)			Средний (III)			Высокий (IV)			Предельный (V)		
	Оценка уязвимости (категория ответственности)														
	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А
обслуживания непромышленного назначения ($R5$)	1	2	3	2	3	4	3	4	5	4	5	6	5	6	6
обслуживания производственного назначения ($R4$)	2	3	3	3	4	5	4	5	6	5	6	7	6	7	7
вспомогательного назначения ($R3$)	3	3	4	4	5	6	5	6	7	6	7	8	7	8	8
не допускающие ремонт и техническое обслуживание без регламентной остановки ($R2$)	4	4	5	5	5	7	6	7	8	7	8	9	8	9	9
для которых ремонт и техническое обслуживание выполняется при регламентной остановке ($R1$)	5	5	6	5	6	7	7	8	8	8	9	10	9	10	10

Выводы. Подтверждение соответствия показателей качества СМЗК требованиям конструктивной и технологической безопасности производится расчетным или расчетно-измерительным методами на основе данных проектной спецификации и определяет логистическую структуру постоянных, временных и аварийных расчетных ситуаций менеджмента качества противокоррозионной защиты.

Сформулирована задача управления уровнем коррозионной опасности, позволяющая снижать уровень риска объекта за счет обеспечения работоспособности с учетом заданного ресурса при минимальных затратах (таблица 1).

Разработанный методический подход предусматривает формализацию основных задач по показателям: анализ уровня уязвимости стальных конструкций в зависимости от степени критичности (категории) дефектов и повреждений; оценка угроз (категории состояния) при эксплуатации по фактическому состоянию для установленных значений ремонтпригодности стальных конструкций.

Литература

1. Королёв В. П. Оценка риска при техническом регулировании безопасности производственных зданий и сооружений / В. П. Королёв, Ю. В. Филатов // V Міжн. наук.-техн. конф. «Будівельні металеві конструкції: сьогодення та перспективи розвитку»; 19 – 22 вересня 2006 р., м. Київ. – К. : Видавництво «Сталь», 2006. – С. 287 – 290.
2. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с.
3. Ефимов В. В. Методы Тагути: практика применения / В. В. Ефимов // Методы менеджмента качества. – 2005. – № 6. – С. 28 – 35.
4. Ealey L. A. Quality by Design: Taguchi Methods and U.S. / Ealey L. A. // Industry 2nd ed., ASI Press and Irwin Professional Publishing, 1994.
5. Karnal S. K. Application of Taguchi Method in Indian Industry / S. K. Karnal, R. V. Singh, R. Sahai // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering (ISSN 2250-2459. November 2012). – Volume 2, Issue 11.
6. Филатов Ю. В. Программа обеспечения надежности зданий и сооружений ОАО «Донецкий металлургический завод» на основе аудита коррозионного состояния строительных металлоконструкций / Ю. В. Филатов, А. Н. Гибаленко, Ю. В. Селютин // Матеріали наук.-практ. конф. «Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж» (9 – 12 червня 2003 р., м. Донецьк,). – Донецьк : УАМК, 2003. – С. 402 – 407.
7. Семко О. В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій: монографія / О. В. Семко, О. П. Воскобійник. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – 514 с.
8. Пичугин С. Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий: монография / С. Ф. Пичугин. – М. : АСВ, 2011. – 456 с.
9. Строев Р. Л. Технологические особенности комплексной противокоррозионной защиты конструкций рудного перегружателя / Р. Л. Строев, А. Н. Гибаленко // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава : ПолтНТУ, 2009. – Вип. 25, т. 2. – С. 209 – 213.
10. 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) / сост.: Голубев А. И., Горохов Е. В., Королев В. П. и др. – М. : Стройиздат, 1989. – 51 с.
11. Королёв В. П. Теоретические основы инженерных расчётов стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность / В. П. Королёв // Сб. науч. трудов. – Вып. 1-95. – Донецк : Донеччина, 1995. – С. 24 – 25.
12. ДСТУ Б В.2.6-193:2013. Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування. – К. : Мінрегіон України. – 74 с.
13. Korolov V. Design criteria of reliability and safety in the design of corrosion protection of structural steel / V. Korolov, Y. Vysotskyu, Y. Filatov / EUROCORR-2014. The European Corrosion Congress «Improving materials durability: from cultural heritage to industrial applications». – Pisa, Book of Abstracts, 2014. – 88 p.
14. Hradesky J. L. Total quality management handbook USA / J. L. Hradesky // McGraw-Hill, Inc. – 1995. – 712 p.

© Гибаленко А.Н.
Надійшла до редакції 19.12.2015 р.