

УДК 624.076.2

Диагностика коррозионной опасности металлоконструкций объектов долговременной эксплуатации

Гибаленко А.Н., к.т.н.

Приазовский государственный технический университет, Украина

Анотація. Виявлення залишкового ресурсу об'єктів довготривалої експлуатації в корозійних середовищах обумовлює необхідність використання розрахунків на корозійну стійкість і довговічність за вимогами методики граничних станів з урахуванням строків служби первинного та вторинного захисту металевих конструкцій від корозії. Запропонована методика дозволяє виконувати аналіз ризиків впровадження нових матеріалів і технологій, забезпечити заходи ресурсозбереження на підставі результатів корозійних випробувань. Викладено матеріали теоретичних і експериментальних досліджень, що включають обґрунтування допустимих граничних інтервалів визначення показників надійності при розгляді деградаційних процесів, зумовлених впливами корозійних середовищ; вдосконалення нормативно-технічного регулювання діяльності з захисту життя і здоров'я людей, майна та навколишнього середовища.

Аннотация. Выявление остаточного ресурса объектов долговременной эксплуатации в коррозионных средах обуславливает необходимость использования расчетов на коррозионную стойкость и долговечность по требованиям методики предельных состояний с учетом сроков службы первичной и вторичной защиты металлических конструкций от коррозии. Предложенная методика позволяет выполнять анализ рисков внедрения новых материалов и технологий, обеспечить мероприятия ресурсосбережения на основании результатов коррозионных испытаний. Изложены материалы теоретических и экспериментальных исследований, включающие обоснование допустимых интервальных значений показателей надежности при рассмотрении деградационных процессов, обусловленных воздействиями коррозионных сред; совершенствования нормативно-технического регулирования деятельности по защите жизни и здоровья людей, имущества и окружающей среды.

Abstract. Identification of the residual life of objects being in long-term operation in corrosive environments necessitates the use of analysis concerning the corrosion resistance and durability according to the requirements of the ultimate state procedure taking into account the service life of primary and secondary protection of metal structures from corrosion. The proposed method enables to analyze risks of application of new materials and technologies, to ensure resource conservation measures based on the results of corrosion tests. Materials concerning theoretical and experimental studies are presented, including the bases for admissible interval determination of the reliability limits when considering the degradation processes associated with exposure to corrosive environments, to improve the normative-technical regulation concerning the protection of the people's life and health, of the property and environment.

Ключевые слова: анализ рисков, безопасность эксплуатации, защита от коррозии, строительные металлические конструкции, метод предельных состояний, коррозионная опасность металлоконструкций.

Описание проблемы. Обеспечение безопасности и надежности металлоконструкций рассматривается на основании процессного подхода, в соответствии с определением международного стандарта ISO 9001/МЭК 300-1. Используемая расчетно-экспериментальная оценка сроков службы первичной и вторичной защиты металлических конструкций от коррозии позволяет выполнять анализ рисков внедрения новых материалов и технологий, назначать перечень мероприятий обеспечивающих ресурсосбережение на основании результатов коррозионных испытаний. Принципы управления коррозионной опасностью эксплуатируемых объектов включают управляющую, нормативную, контролируемую и инвестиционно-технологическую составляющие безаварийной эксплуатации зданий и сооружений в условиях агрессивных природных и производственных воздействий.

Использование рациональных мер противокоррозионной защиты металлоконструкций обеспечивает возможность снижения, примерно на четверть, ежегодных эксплуатационных затрат (связанных с обеспечением надежности и долговечности) только за счет совершенствования организации работ по защите от коррозии.

Постановка проблемы. Законодательной основой, связанной с проблемой сохранности основных фондов, являются: распоряжение КМУ № 100 р от 1 марта 2004 г. «Про заходи щодо посилення контролю за проектуванням, новим будівництвом, реконструкцією, капітальним ремонтом та експлуатацією будинків і споруд»; Постановление КМУ от 8 октября 2004 г. № 1331 «Про затвердження Державної науково-технічної програми «Ресурс»; Программа научно-технического развития Донецкой области на период до 2020 г. (постановление областного Совета от 22.03.2002 № 3/25-656) [1–3].

В решении «О состоянии защиты металлофонда Украины от коррозии» Межведомственной комиссии по вопросам научно-технологической безопасности при Совете национальной безопасности и обороны Украины от 13 октября 2009 признаны критическими последствия коррозионного разрушения основных фондов. Для создания нормативных требований технического регулирования уровня коррозионной опасности разработан проект стандарта ДСТУ Б В.2.6-XXX:201X «Конструкции зданий и сооружений. Защита металлических конструкций от коррозии», направленный на актуализацию национальной нормативной базы в соответствии с современными задачами строительной отрасли, гармонизацию этой базы с нормативными документами Европейского Союза, связанными с выполнением и внедрением Директивы 89/106/ЕС.

Проблемы, отраженные в исследовании. Проблема обеспечения технологической безопасности промышленных зданий и сооружений связана с регламентацией подходов предупреждения аварийных ситуаций при эксплуатации конструкций, сооружений по фактическому состоянию. При этом предполагается анализ возможностей нормативно-технического регулирования, внедрение управленческих мер по диагностике, мониторингу коррозионного состояния с целью обеспечения требований технологической безопасности и защиты от коррозии производственных объектов. Технологическая безопасность представляет важную структурную составляющую безопасности предприятия, характеризующая систему мер поддержания работоспособности, повышения эксплуатационных свойств конструкций зданий, сооружений и инженерных сетей, которые полностью или значительно исчерпали свой нормативный ресурс [2]. Такие объекты рассматриваются как источники потенциальной опасности при модернизации, техническом переоснащении, реконструкции и продлении срока их эксплуатации.

Анализ отечественных нормативных документов, европейских и международных стандартов подтверждает, что обеспечение безопасности и ремонтно-пригодности конструкций связано с развитием подходов к управлению надежностью и качеством на основе положений ISO 9001. Определение долговечности конструкций включает анализ наиболее неблагоприятных нагрузок и воздействий с целью определения расчетных ситуаций для моделирования напряженно-деформированного состояния конструкций. Оценка повреждений отдельных конструкций и сооружений в процессе эксплуатации выполняется путем сравнения признаков физического износа, выявленных в результате визуального и инструментального обследования, с их значениями, допускаемыми в нормативно-технических документах. Ресурс конструкций эксплуатируемых объектов зависит от соответствия конструкций заданным параметрам целевой технологической функции, соблюдения норм и правил технической эксплуатации и ремонтного обслуживания.

Предпосылками для продления сроков эксплуатации объекта является наличие резервов несущей способности и приспособленность конструктивных элементов к предотвращению, выявлению и устранению дефектов и повреждений путем проведения технического обслуживания и ремонта. Одним из направлений, которое связано с установлением обоснованных резервов несущей способности конструкций, является совершенствование теории и метода предельных состояний. Расчетные положения метода предельных состояний обеспечивают возможность безотказной работы конструкций и сооружений с учетом изменчивости свойств, грунтов, нагрузок и воздействий, геометрических характеристик, условий работы, а также степени ответственности промышленных объектов, обусловленной материальным и социальным ущербом при нарушении их работоспособности [2].

Цель публикации. Основной задачей исследования является создание научно-технического обоснования на базе экспериментально-теоретических исследований для определения и выявления: классификационных признаков агрессивных воздействий среды эксплуатации в соответствии с зонами размещения конструкций; показателей качества средств и методов первичной и вторичной защиты; ресурса металлических конструкций при наличии коррозионно-механических повреждений; технологических требований к техническому обслуживанию и ремонту; способов выполнения (восстановления) защиты от коррозии; мероприятий по охране здоровья и технике безопасности; требований по защите окружающей среды. Научное сопровождение и внедрение мероприятий технологической безопасности предусматривает использование мобильной лаборатории диагностики и мониторинга коррозионного состояния конструкций и сооружений.

Согласно нормативным положениям [2] устанавливаются требования выявления дефектов и повреждений, а также принятия необходимых мер по поддержанию работоспособного состояния конструкций. Разработанный подход предусматривает основные этапы оценки уровня риска по технологической безопасности: назначение методов контроля параметров конструкций по показателям повреждаемости и допустимым интервальным значениям ремонтпригодности; количественная оценка показателей на основании расчета конструкций на коррозионную стойкость и долговечность; анализ уровня уязвимости стальных конструкций в зависимости от степени критичности (категории дефектов и повреждений); оценка угроз (категории технического состояния) при эксплуатации по фактическому состоянию при установленных значениях ремонтпригодности; мероприятия восстановления эксплуатационных свойств, продления ресурса стальных конструкций и снижения риска при реализации мероприятий программ обеспечения надежности (ПОН) по фактическому состоянию.

На основании оценки показателей качества эксплуатации, регистрации дефектов и повреждений назначается режим непрерывного или выборочного контроля с учетом категории выявленных несовершенств. Основной характеристикой определения ресурса стальных конструкций при агрессивных воздействиях принимается характеристическое значение годовых коррозионных потерь [3]. При задании критериев предельных состояний продления ресурса по результатам оценки фактического состояния используется коэффициент обратной связи режима эксплуатации конструкций (ψ) на основе зависимости:

$$N = \Phi / (\Gamma - \psi), \quad (1)$$

где: N – наибольшее расчетное усилие в конструктивном элементе; Φ – предельное усилие, которое может воспринимать элемент с харак-

теристикой повреждаемости Θ ; Γ – отношение резерва надежности. Отношение резерва надежности (или коэффициент запаса), выражается через детерминированную величину, равную отношению математических ожиданий прочности и нагрузки:

$$\Gamma = R/S, \quad (2)$$

где R – обобщенная прочность конструкции; S – обобщенная нагрузка ($R - S > 0$).

Коэффициент обратной связи режима эксплуатации (ψ) обеспечивает реализацию аналитического подхода к управлению технологической безопасностью – формирование ПОН на основе решения задач анализа причин, последствий отказов (FMEA) и оценки критичности отказов (FMESA). При этом критерием технологической безопасности конструкций остается характеристика (η), которая означает пропускную способность регулирования ресурса

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

При накоплении повреждений Θ коэффициент обратной связи (ψ) характеризует снижение эксплуатационных показателей стальных 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 продлении ресурса за счет конструкторско-технологических ограничений и методов обеспечения необходимой послеремонтной несущей способности. Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) стальных конструкций для оценки показателей ресурса выполняется с использованием интегрированного расчетного комплекса SCAD.

Определение критериев первичной и вторичной защиты выполняется на основе типовой модели эксплуатации, согласно которой разрабатывается номенклатура показателей надежности. Расчет на коррозионную стойкость связан с учетом мероприятий первичной и вторичной защиты на основе признаков предельных состояний первой и второй группы. Структурные схемы показателей надежности представлены потоковыми графами, описывающие изменения коррозионного состояния стальных конструкций с учетом вариантов противокоррозионной защиты при обслуживании объектов в течение установленного срока службы. Расчет показателей коррозионной стойкости, ремонтпригодности и долговечности выполняется на основании расчетных схем и данных спецификаций (установленных при мониторинге коррозионного состояния). Для сталь-

ных конструкций определены следующие характеристики долговечности: коррозионная стойкость K (степень воздействия среды), мм/год; срок службы защитных покрытий T_z , год. Обоснование эффективности защиты строительных конструкций и сооружений предполагается выполнять согласно разработанной методике с учетом коэффициента готовности стальных конструкций (K_g) – показателя качества.

$$K_g = \frac{T_{k\gamma} + T_{z\gamma}}{T_{k\gamma} + nT_{z\gamma}}; \quad (4)$$

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 возобновления противокоррозионной защиты при установленном сроке службы объекта.

Коэффициент готовности стальных конструкций является комплексным показателем ремонтпригодности, характеризующим параметры конструктивных и технологических мероприятий первичной и вторичной защиты (таблица). Задача определения K_g (при воздействии агрессивных сред A_n , г/м² год) сформулирована как расчет стальных конструкций по предельным состояниям на коррозионную стойкость и долговечность по результатам ускоренных коррозионных испытаний защитных покрытий для обоснования технико-экономических показателей продления ресурса. Применение методов контроля и подтверждения соответствия характеристик средств первичной и вторичной защиты происходит в стационарных и мобильных лабораториях, а также на коррозионных станциях согласно отработанным регламентам.

Использование критерия коррозионной опасности [4] позволяет осуществлять выбор мероприятий первичной и вторичной защиты, а также определять контрольные нормативы для обоснования системы технического обслуживания и научно-технического сопровождения объектов в зависимости от степени агрессивности воздействий и коэффициента готовности противокоррозионной защиты (табл. 1).

Обоснование эффективности проектных решений по защите от коррозии выполняется на основе показателя среднего риска (среднего убытка) [3] по зависимости:

$$R_c = \sum_{i=1}^{i=n} P_i X_i, \quad (5)$$

где: R_c – количественная мера риска (средний риск), выражаемая величиной ожидаемых потерь (в стоимостном выражении); P_i – вероятность получения убытка размера X_i в результате наступления какого-либо неблагоприятного события (группы событий); X_i – величина ущерба (в стоимостном выражении); n – число возможных вариантов убытков, которые могут иметь место при наступлении неблагоприятного события, включая и нулевой ущерб.

Таблица 1

Классификационные признаки уровня коррозионной опасности (КІ – КV)

Степень агрессивности воздействий, K мм/год	Интервальные оценки коэффициента готовности противокоррозионной защиты, K_g				
	$0 < K_g \leq 0,1$	$0,1 < K_g \leq 0,3$	$0,3 < K_g \leq 0,5$	$0,5 < K_g \leq 0,7$	$0,7 < K_g \leq 1,0$
Слабоагрессивная, $0,01 < K \leq 0,05$	КІ	*	*	*	*
Низкоагрессивная, $0,05 < K \leq 0,08$	КІІ	КІ	*	*	*
Высокоагрессивная, $0,08 < K \leq 0,20$	КІІІ	КІІ	КІ	*	*
Очень высокоагрессивная, $0,20 < K \leq 0,50$	КІV	КІІІ	КІІ	КІ	*
Сильноагрессивная, $K > 0,50$	КV	КІV	КІІІ	КІІ	КІ

* Для установленных интервальных значений признаков (K , K_g) уровень коррозионной опасности не нормируется.

Средний риск производственной деятельности при реализации защитных мер по предупреждению коррозионного разрушения можно определить на основании выражения:

$$R_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_{ij}(V) P_j P_i(j, z_j) X_i, \quad (6)$$

где: $P_i(j, z_j)$ – условная вероятность возникновения ущерба X_i при наступлении неблагоприятного события j -го типа и осуществления защитных мер от него с затратами z_j ; $g_{ij}(V)$ – вероятность выбора объектом ситуации, характеризующаяся вероятностью наступления неблагоприятного события P_j и законом распределения ущерба $P_j(j, z_j)$, который зависит от принятых мер по защите z_j .

Требования стандартизации противокоррозионной защиты основываются на разработке новых государственных норм с учетом мировой тенденции развития нормативной базы защиты от коррозии с целью подтверждения соответствия качества строительных материалов и изделий на основе технической диагностики и мониторинга коррозионного состояния. Для усовершенствования нормативно-технического регулирования деятель-

ности и защиты жизни, здоровья людей, имущества и окружающей среды решаются задачи актуализации нормативного обеспечения по направлениям: ДБН «Захист від корозії в будівництві. Захист металевих конструкцій від корозії» взамен разделов СНиП 2.03.11-85* в части требований к защите от коррозии металлоконструкций в соответствии с ISO 12944:1998 «Лаки и краски – защита от коррозии стальных конструкций»; ДБН «Захист від корозії в будівництві. Діагностика корозійного стану та продовження нормативного ресурсу металевих конструкцій» взамен пособия к СНиП 2.03.11-85; ДБН «Технічне регулювання безпеки експлуатації будівельних конструкцій, будівель і споруд об'єктів підвищеної небезпеки у корозійних середовищах»; ДСТУ «Моніторинг технологічної безпеки промислових будівель і споруд. Загальні положення».

Выводы

Проблема нормативно-технического обеспечения защиты от коррозии обостряется необходимостью возобновления защитных покрытий металлических конструкций, продления остаточного ресурса строительных конструкций и сооружений предприятий с различным составом и степенью агрессивности воздействий. Совершенствование нормативно-методической базы по защите от коррозии конструкций, сооружений и инженерных сетей обеспечит принятие организационных мер по учету коррозионных потерь и создание эффективной системы менеджмента технологической безопасности в промышленности [5].

Внедрены механизмы экономического управления противокоррозионной защитой объектов металлургического комплекса по критериям коррозионной опасности [6]. Это позволило: создать условия: функционирования системы управления технологической безопасностью объектов промышленного предприятия на основе нормативных документов диагностики и мониторинга коррозионной опасности; снизить уровни рисков техногенных аварийных ситуации и улучшить экологическую ситуацию; осуществить сокращения (до 10–15 %) затрат на защиту от коррозии за счет мер обеспечения ресурсосбережения; создать информационные продукты для совершенствования коррозионностойких конструкций и сооружений; использовать базы данных технических решений первичной и вторичной защиты от коррозии.

Литература

- [1] Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека експлуатації : ДБН В.1.2-9-2008. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2008. – 21 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).

- [2] Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ : ДБН В.1.2-14-2008. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 43 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).
- [3] Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу : ДБН В.2.6-163:2010. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 202 с. – (Конструкції будівель і споруд. Державні будівельні норми України).
- [4] Корольов В. П. Методика ризику-аналізу показників довговічності металоконструкцій при виборі мір первинного та вторинного захисту від корозії / [В. П. Корольов та ін.] // Зб. наук. праць Українського інституту сталевих конструкцій ім. В. М. Шимановського. – К. : Вид-во «Сталь», 2012. – Вип. 9. – С. 232–244.
- [5] Королев В. П. Оценка соответствия качества противокоррозионной защиты требованиям надежности стальных конструкций / [В. П. Королев и др.] // Зб. наук. праць Українського інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського. – К. : Вид-во «Сталь», 2012. – Вип. 10. – С.261–271.
- [6] Обеспечение технологической безопасности при эксплуатации строительных конструкций зданий и сооружений : СТП 101С-6.3-05.2007. – Донецк : Изд-во ПрАО «Донецксталь-МЗ», 2007. – 56 с.

Надійшла до редколегії 20.03.2013 р.