

Keywords: sewer tunnel; destruction of supports; protective lining; renovation; components made of recycled polymer composite materials.

Булгаков В.В., Вороненко В. А., Убийвовк А. В., Гончаренко Д. Ф. ВІДНОВЛЕННЯ АВАРІЙНИХ ДІЛЯНОК КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ТУНЕЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ВТОРИННИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

В даний час каналізаційні мережі великих міст України мають істотний знос внаслідок тривалої експлуатації, неефективних рішень щодо захисту конструкцій від агресивного впливу середовища, низької якості матеріалів і будівельно-монтажних робіт при будівництві. Відновлення експлуатаційних характеристик, надійності і довговічності каналізаційних тунелів - дорога і технічно складне завдання, вирішення якої гостро необхідно для запобігання аварій, в тому числі що мають серйозні екологічні наслідки.

Існуючі сучасні технології виробництва робіт і застосовуються для відновлення матеріали з різною ефективністю дозволяють вирішувати зазначені завдання, разом з тим потреба зниження витрат на відновлення за рахунок використання вторинної полімерної сировини, а також вдосконалення технологічних рішень представляє актуальний напрямок досліджень. З урахуванням накопиченого досвіду відновлення каналізаційних тунелів розробити рішення по відновленню експлуатаційної придатності, надійності і довговічності каналізаційних тунелів. Застосування виробів з вторинних полімерних композитних матеріалів при відновленні каналізаційних тунелів має суттєві економічний і екологічний ефекти, а також забезпечує можливість проведення робіт по відновленню ділянок з обмеженим доступом.

Ключові слова: каналізаційний тунель; руйнування обделки; відновлення; вироби з вторинних композитних полімерних матеріалів.

УДК 691.714:620.169.1

Кушенко І.В.

*ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»
(ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, 87500, Украина;
orcid.org/0000-0002-3338-6793; e-mail: kigorvlad@gmail.com)*

МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ КВАНТИФИКАЦИИ КОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИЩЕННОСТИ

Изложен методический подход к управлению технологической безопасностью конструкций и сооружений по уровню коррозионной опасности промышленных объектов. Высокий уровень износа основных фондов и предельные сроки службы конструкций зданий и сооружений являются существенными угрозами технологической безопасности. Технологическая безопасность представляет важную структурную составляющую безопасности предприятия, характеризующую систему мер для поддержания работоспособности, повышения эксплуатационных свойств конструкций, которые полностью или в значительной степени исчерпали свой нормативный ресурс. Такие объекты рассматриваются как источники потенциальной опасности при модернизации (техническом переоснащении), реконструкции и продлении срока их эксплуатации.

В данном контексте понятие коррозионной опасности включает определяющие параметры коррозионного состояния (ОПКС) или ситуацию (угрозу), при которых увеличивается вероятность наступления ущерба. Таким образом, создаются условия для логистического менеджмента и анализа рисков конструктивных и технологических решений программ обеспечения надежности (ПОН) при продлении ресурса промышленных объектов.

Развитие положений работы позволило предложить классификацию признаков технико-технологических рисков для возобновления защиты от коррозии конструкций при техническом обслуживании по фактическому состоянию.

Сформирована логистическая система резервирования живучести конструкций на основе признаков коррозионной опасности промышленных объектов.

Ключевые слова: мониторинг коррозионной защищенности, риск-диагностика коррозионной опасности, защита от коррозии, управление технологической безопасностью, техническое обслуживание по фактическому состоянию.

Постановка проблемы. В последние годы все более очевидной становится тенденция совершенствования нормативно-технических требований в области безопас-

ности конструкций при эксплуатации зданий и сооружений [1-3]. Важным показателем механической прочности, устойчивости и экологической безопасности является

уровень коррозионной опасности строительного объекта, определяющий критические интервалы коэффициента готовности противокоррозионной защиты металлоконструкций проектного режима коррозионных воздействий [4]. Коррозионная опасность определяет техническое состояние или расчетную ситуацию (угрозу), когда увеличивается вероятность ущерба, вызванного коррозионным разрушением или отклонением от нормальной эксплуатации конструкций зданий и сооружений. Поэтому, идентификация уровня коррозионной опасности позволяет формировать требования к коррозионной защищенности для разработки ПОН при техническом обслуживании конструкций и их защитных покрытий по фактическому состоянию [5].

В настоящее время оценка коррозионного состояния стальных конструкций выполняется в соответствии с требованиями норм [6-8]. Следует отметить, что ограниченный состав определяющих параметров не позволяет производить техническое диагностирование признаков коррозионной опасности при оценке эксплуатационного состояния конструкций. В пособии [6] показатель глубины проникновения коррозии определяется без учета доверительного интервала статистической погрешности измерений. Влияние коррозионных повреждений на несущую способность в нормах [7] предлагается учитывать путем изменения геометрических характеристик сечений на основе данных равномерной коррозии и коэффициента слитности сечения, что делает невозможным учет особенностей неравномерного (местного) разрушения конструктивных элементов.

Цель статьи состоит в обосновании технико-технологических рисков коррозионной защищенности при восстановлении работоспособности корродирующих конструкций промышленных объектов.

Условия квантификации коррозионной защищенности. Необходимость привлечения дополнительных материально-технических ресурсов для обеспечения надежности и долговечности строительных объектов в условиях агрессивных

сред является основным недостатком металлических конструкций. Выбор стратегии предупреждения и контроля коррозионного разрушения на основе методов технической диагностики определяет эффективность управления и снижения затрат на всех стадиях жизненного цикла конструкций и сооружений. При отсутствии определяющих параметров коррозионной опасности необоснованные конструктивные и технологические решения вызывают преждевременное разрушение и рост эксплуатационных затрат на восстановление работоспособности или полную замену проблемных конструктивных элементов.

Не вызывает сомнений, что проблема обеспечения безопасности металлоконструкций в коррозионных средах имеет комплексный многоплановый и многофакторный характер [5]. Особым аспектом проблемы коррозионно-механического разрушения является управление эксплуатационным сроком службы конструкций и их защитных покрытий на основе методов технического диагностирования остаточного ресурса объектов.

Значительным шагом вперед на пути развития диагностического обеспечения является внесение изменений в нормы ДБН В.2.6-198 [8], допускающих меры первичной защиты (увеличение толщины проката) с учетом уровня коррозионной опасности. Отмечается необходимость разработки конструктивных решений, препятствующих развитию местной, щелевой, контактной, межкристаллитной коррозии и коррозионному растрескиванию. Вместе с этим, увеличение толщины металлопроката предусматривает оценку долговечности по мерам первичной защиты только при расчетном подтверждении соответствия по требованиям ДСТУ-Н Б А.1.2 [9]. Установлено также проектное требование, не учитывать изменения несущей способности в результате увеличения толщины конструктивных элементов по мерам первичной защиты. Таким образом, отсутствие критериев коррозионной защищенности создает трудности для мониторинга и диагностики работоспособности корродирующих конструкций [10].

Коррозионная защищенность определяет технологическую безопасность строительного объекта и характеризует комплекс признаков по прочности, ресурсу, надежности и живучести с учетом соответствующих расчетных ситуаций. Одновременно, коррозионная защищенность включает систему конструктивных и организационно-технических мер ПОН, направленных на противодействие выявленным угрозам. Количественное выражение (квантификация) коррозионной защищенности

имеет приоритетное значение для восстановления работоспособного состояния корродирующих конструкций наряду с идентификацией уровня коррозионной опасности. Поэтому, управление технологической безопасностью предполагает оценивание рисков коррозионной защищенности для нормального функционирования и соблюдения установленных режимов промышленных объектов (табл. 1).

Таблица 1 – Классификация признаков технико-технологических рисков восстановления работоспособности корродирующих конструкций

Состояние СПЗК	Класс риска	Наименование риска	Характеристика потерь	Показатель технологической безопасности (R_i , балл)	Размер потенциального ущерба, м.р.з.п.*
Коррозионная опасность	1	Катастрофичный	Частичное или полное разрушение конструкций и сооружений	9 – 10	> 72500
	2	Критичный	Потери превышают расчетные суммы валового дохода восстановления объектов	7 – 8	25000-72500
Коррозионная защищенность	3	Допустимый	Потери не превышают расчетные суммы прибыли при продлении ресурса и технологическом обновлении	5 – 6	2500 -25000
	4	Приемлемый	Потери не превышают затрат на поддержание качества в период срока эксплуатации объекта	1 – 4	< 2500

* м.р.з.п. – минимальный размер заработной платы

Под идентификацией уровня коррозионной опасности понимается процесс обнаружения и установления количественных, временных, пространственных характеристик, необходимых и достаточных для мониторинга интервальных значений дефектов и повреждений, допустимых при нормальном функционировании промышленных объектов [10, 11]. В процессе идентификации технического состояния систем противокоррозионной защиты конструкций (СПЗК) выявляются номенклатура опасностей, вероятность их проявления, пространственная локализация (координаты), возможный ущерб и другие параметры, необходимые для формализации задач диагностики живучести конструкций.

Технологическая безопасность может быть обеспечена при решении задач временного резервирования несущей способности стальных конструкций с учётом

функциональной живучести систем коррозионной защищённости при приемлемом риске последствий коррозионно-механического разрушения промышленных объектов.

Основной задачей диагностирования живучести является обеспечение безопасности, функциональной надёжности и эффективности мер противокоррозионной защиты конструкций зданий и сооружений [12]. В соответствии с разработанной методикой для диагностирования коррозионной защищенности выполняются следующие функции:

- обнаружение и определение однородных по локализации коррозионных поражений и повреждений конструктивных элементов;
- мониторинг допусковых значений определяющих параметров коррозионной опасности объекта;

- оценка коррозионного состояния и выявление предельных состояний (отказов) конструкций и их защитных покрытий;
- диагностика условий первичного (ПР) и вторичного резервирования, расчет остаточного ресурса объекта;
- корректировка определяющих параметров, анализ структурной схемы и

разработка программы обеспечения надежности (ПОН).

Определяющие параметры коррозионной опасности объекта включают допустимые отклонения показателей надежности, при превышении которых наступает предельное состояние (отказ). Требования к определяющим параметрам при проектировании мер защиты от коррозии по уровню коррозионной защищенности представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры работоспособности корродирующих конструкций по классам риска СПЗК

Обозначение категории ответственности	Требование соответствия категории ответственности	Класс риска	Интервальная оценка отказа по техническим критериям:		Коэффициент надежности	
			A_z	h_k , мкм	g_{zn}	g_{zk}
П1	Не допускает снижение декоративных свойств вторичной защиты	3	0,85	–	0,99	0,95
		4	0,90		1,00	0,99
П2	Не допускает снижение защитных свойств вторичной защиты	3	0,55		0,95	0,9
		4	0,60		0,99	0,95
П3	Допускает снижение защитных свойств вторичной защиты	3	0,40	50	0,90	0,85
		4	0,45	30	0,95	0,9
П4	Допускает снижение характеристик первичной защиты	3	0,30	100	0,85	0,8
		4	0,35	70	0,90	0,85

Условие соответствия категории ответственности защитных покрытий определяются интервальными значениями обобщенного показателя защитных свойств (A_z) или критической толщины подпленочной коррозии (h_k , мкм). Коэффициенты надежности противокоррозионной защиты (g_{zk} , g_{zn}) учитывают допустимые отклонения эксплуатационных характеристик конструктивных элементов в зависимости от категории ответственности конструкций и их защитных покрытий.

Методика мониторинга коррозионной защищенности при резервировании первичной защиты стальных конструкций. Для выполнения мониторинга определяющих параметров необходим показатель эксплуатационного состояния, позволяющий обеспечить достоверную оценку и классификацию уровня коррозионной защищенности при сопоставлении с проектными требованиями.

Известно, что диагностическая достоверность показателей коррозионного разрушения хорошо согласуется с нормаль-

ным законом распределения случайных величин [11]. Поэтому, статистическое обоснование коррозионно-механического разрушения однородных по конструктивным параметрам элементов выполняем путем расчетного определения коэффициента коррозионных потерь g_{zf} .

$$\gamma_{zf} = \alpha_k \cdot \alpha_p \cdot \gamma_k \cdot (1 - \delta),$$

где α_k – коэффициент изменения геометрических характеристик сечений элементов при равномерной коррозии; α_p – коэффициент изменения геометрических характеристик с учетом местной коррозии; γ_k – коэффициент изменения расчетного сопротивления стали при коррозионном растрескивании; δ – предельная относительная ошибка экспериментальной оценки геометрических характеристик и механических свойств с учетом нормального закона распределения случайных величин.

Коэффициент равномерной коррозии α_k , устанавливается согласно зависимости:

$$\alpha_k = \frac{\Omega_k}{\Omega},$$

где Ω_k – геометрические характеристики элемента с учетом равномерной коррозии; Ω – начальные геометрические характеристики элемента.

Определение геометрических характеристик элементов с учетом равномерной коррозии производится по данным замеров штангенциркулями и микрометрами.

Коэффициент изменения геометрических характеристик с учетом местной коррозии α_p рассчитывается по формуле:

$$\alpha_p = 1 - 2\gamma_p \frac{P}{t_k},$$

где P – глубина коррозионного поражения, см; t_k – толщина элемента конструкции с учетом равномерной коррозии, см; γ_p – коэффициент плотности коррозионных поражений.

$$\gamma_p = \frac{F_k}{F},$$

где F_k – площадь локальной коррозии язв и питтингов, см²; F – площадь рассматриваемого участка j -го однородного элемента.

Статистическое обоснование характеристики δ производится с учетом объема экспериментальных измерений (N), заданной доверительной вероятности (γ), коэффициента вариации (V) показателей коррозионного износа (табл. 3).

Таблица 3 – Количество инструментальных замеров N конструктивных однородных элементов

δ	Γ	N при V				
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
0,05	0,80	4	6	13	20	25
	0,90	8	15	25	40	65
	0,95	13	25	40	66	100
	0,99	25	50	100	150	200
0,10	0,80	-	3	5	8	10
	0,90	3	5	8	13	15
	0,95	5	8	13	20	25
	0,99	8	15	25	32	50
0,15	0,80	-	-	3	4	5
	0,90	-	3	4	6	8
	0,95	3	5	6	10	13
	0,99	5	8	13	5	25
0,20	0,80	-	-	-	-	3
	0,90	-	-	4	5	6
	0,95	-	4	5	6	8
	0,99	4	6	8	10	15

Устранение неопределенности информации о коррозионной защищенности позволяет уменьшить риск возникновения аварийных ситуаций и создает условия для управления технологической безопасностью СПЗК. Результаты расчетной оценки коэффициента g_f и фактические значения определяющих параметров коррозионной опасности позволяют формировать условия для расчета остаточного ресурса и разработки мер ПОН с учетом требований технологической безопасности конструкций зданий и сооружений [12].

Регулирование технологической безопасности промышленных объектов. Проблемой обеспечения технологической безопасности является «человеческий фактор», связанный с принятием решений по результатам мониторинга и диагностики коррозионного состояния стальных конструкций. Действующие рекомендации Посobia по контролю и возобновлению противокоррозионной защиты не регламентируют условия коррозионной опасности и коррозионной защищенности промышленных объектов. Очевидно, что управление безопасностью должно осуществляться на основе оценивания риска, как комплексного показателя защищенности корродирующих конструкций. Для устранения неопределенности принятия решений при восстановлении работоспособного состояния объектов разработана методика оценки степени критичности дефектов и поврежденных конструкций согласно процедуры HAZOP по нормам менеджмента рисков ИЕС/ISO 31010.

Разработанная методика обеспечения надежности СПЗК с учетом резервирования несущей способности, включает четыре последовательные этапа: задание показателей надежности; выбор условий резервирования первичной и вторичной защиты; обоснование критерия единичного отказа для категорий ответственности СПЗК; разработку спецификации мер возобновления показателей надежности СПЗК.

Категории ответственности конструкций по коррозионной защищенности уста-

навливаються з урахуванням частинного (в межах допустимого) зниження параметрів робоспособності первичної захисти (коефіцієнт надійності g_{zk}) і вторичної захисти (коефіцієнт надійності g_{zn} , обобщенный показатель защитных свойств A_z) в залежності від класу ризику (см. табл. 2).

Таблиця 4 – Технологічна безпека (R_i , балл) в залежності від класу ризику СПЗК, рівня загроз і уязвимості конструкцій будівель і споруд

Уровень СПЗК	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
ZI	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7
ZII	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7
ZIII	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7
ZIV	2	2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8
KI	2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8
KII	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9
KIII	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9
KIV	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9	10
KV	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9	10	10

Выводы. Требуется пересмотр положений Пособия [6] для реализации требований ДСТУ Б В.2.6-193 при техническом обслуживании корродирующих конструкций по фактическому состоянию. В качестве методической основы управления коррозионной защищенностью в течение жизненного цикла конструкций предлагается квантификация условий коррозионной защищенности на основе оценки технико-технологических рисков восстановления работоспособности корродирующих конструкций. Такой подход позволяет минимизировать возможный ущерб при реализации ПОН, связанный с остаточным риском коррозионной опасности промышленных объектов.

ЛИТЕРАТУРА:

- 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.
- Шимановський О. В. Концептуальні основи системи технічного регулювання надійності й безпечності будівельних конструкцій. / О. В. Шимановський, В. П. Корольов // Промислове

Определение технологической безопасности (R_i , балл) предлагается производить по данным мониторинга в зависимости от класса риска СПЗК, уровня угроз и уязвимости корродирующих конструкций (табл. 4).

- будівництво та інженерні споруди. – 2008. – № 1. – С. 4-9.
- ДСТУ Б В.2.6-193:2013 Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування. – К.: Мінрегіон України. – 74 с.
- Королев В.П., Рыженков А.А., Гибаленко А.Н. Современные подходы к менеджменту качества противокоррозионной защиты и коррозионному контролю металлоконструкций / В.П. Королев, А.А. Рыженков, А.Н. Гибаленко // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2009. – № 4. – С. 7-11.
- Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин / Цільова комплексна програма НАН України. 36. 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.
- 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.
- ДБН 362-92 Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації. – К.: Держбуд України. – 1995. – 44 с.
- ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування. – К.: Мінрегіон України. – 2014. – 199 с.
- ДСТУ-Н Б А.1.2-6:2010. ССПБ. Оцінювання відповідності у будівництві згідно з технічним

- регламентом будівельних виробів, будівель і споруд. Настанова з порядку проведення оцінки відповідності із застосування розрахункового методу підтвердження відповідності; від 2011-01-01. – К.: Мінрегіон України. – 19 с.
10. Гибаленко А.Н. Мониторинг остаточного ресурса металлоконструкций в коррозионных средах / А.Н. Гибаленко // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – 2015. – Вип. 3 (45). – С. 110-116.
 11. Королев В.П., Волкова И.А., Шелихова Е.В. 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.
 12. Кущенко И.В. Методика мониторинга живучести металлоконструкций с учетом уровня коррозионной опасности / И.В. Кущенко // Стале-залізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. – 2016. – № 12. – С. 161-168.

Кущенко І.В. МОНІТОРИНГ І ДІАГНОСТИКА РОБОТОЗДАТНОСТІ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ КВАНТОФІКАЦІЇ КОРОЗІЙНОЇ ЗАХИЩЕНОСТІ

Викладено методичний підхід до управління технологічною безпекою конструкцій та споруд за рівнем корозійної небезпеки. Високий рівень зносу основних фондів і граничні терміни служби конструкцій будівель і споруд є суттєвими загрозами технологічної безпеки. Технологічна безпека являє важливу структурну складову безпеки підприємства, що характеризує систему заходів для підтримки роботоздатності, підвищення експлуатаційних властивостей конструкцій, які повністю або суттєво вичерпали свій нормативний ресурс. Такі об'єкти розглядаються як джерела потенційної небезпеки при модернізації (технічному переоснащенні), реконструкції та продовженні терміну їхньої експлуатації.

В даному контексті поняття корозійної небезпеки включає визначальні параметри корозійного стану або ситуацію (загрозу), при яких збільшується ймовірність настання збитку. Таким чином, створюються умови для логістичного менеджменту і аналізу ризиків конструктивних і технологічних рішень

програм забезпечення надійності при продовженні ресурсу промислових об'єктів.

Розвиток положень роботи дозволило запропонувати класифікацію ознак техніко-технологічних ризиків для відновлення захисту від корозії конструкцій при технічному обслуговуванні за фактичним станом.

Сформована логістична система резервування живучості за ознаками корозійної небезпеки промислових об'єктів.

Ключові слова: моніторинг корозійної захищеності, ризик-діагностика корозійної небезпеки, захист від корозії, управління технологічною небезпекою, технічне обслуговування за фактичним станом.

Kuschenko I. V. MONITORING AND DIAGNOSTICS OF STRUCTURAL STEEL OPERABILITY BASED ON CORROSION PROTECTION QUANTIFICATION

Methodological approach has been developed to managing technological safety of structures and installations based on a level of an industrial facility corrosion hazard. A high level of depreciation of the fixed assets and limited life span of structures pose a significant threat to technological safety. Technological safety is an important structural component of the safety of an enterprise, which characterizes the system of measures for maintaining serviceability and improving performance of structures that have completely or largely exhausted their design life. Such facilities are viewed as a source of potential hazard in the course of their modernization (refurbishment), revamp, and service life extension.

As used here, the concept of corrosion hazard includes IDCS or situation (threat) at which the probability of damage increases. Thus, conditions are being created for logistical management and analysis of risks of structural solutions of PRA when extending industrial facility life.

Development of the provisions of work has allowed proposing a classification of signs of technical and process risks under restoration of structure corrosion protection while maintaining and repairing facilities in their actual state.

Logistical system has been generated for structural survivability reserve planning on the basis of signs of corrosion hazard.

Keywords: monitoring of corrosion protection, diagnostics of risk of corrosion hazard, corrosion protection, management of technological safety, actual condition-based maintenance (CBM).