



ЭКСПЕРТНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В КОРРОЗИОННЫХ СРЕДАХ

В. П. КОРОЛЕВ, И. А. ВОЛКОВА, Е. В. ШЕЛИХОВА

Показан методологический подход, используемый при определении остаточного ресурса строительных металлоконструкций, эксплуатируемых в коррозионных средах. Рассмотрены показатели диагностирования, оцениваемые путем статистического моделирования с учетом установленного уровня вероятности безотказной работы.

A procedural approach is demonstrated that is used to determine the residual life of building metal structures, operating in corrosion media. Considered are the diagnostic characteristics, evaluated by statistical simulation, taking into account the established level of probability of no-failure operation.

Снижение надежности и долговечности строительных металлоконструкций вследствие коррозионного разрушения является одной из важнейших причин возникновения предаварийных и аварийных состояний как самих конструкций, так и зданий и сооружений в целом [1, 2]. По данным экспертных оценок, на сегодняшний день в Украине эксплуатируется около 36 млн т несущих металлических конструкций, введенных в эксплуатацию в основном в 1960–1980 гг. Коррозионное разрушение является одним из основных недостатков строительных металлоконструкций, для устранения которого требуются дополнительные затраты материальных ресурсов. В Украине и других странах СНГ потери

от коррозии составляют 10...15 % всего производимого черного металла или 4...5 % национального дохода [3]. Проблема предотвращения коррозионного разрушения является важной составной частью комплексной задачи повышения надежности и долговечности строительных металлоконструкций. Вместе с этим отказы промышленного оборудования в результате коррозионного износа приводят к экономическим потерям, которые нередко соизмеримы со стоимостью основных фондов, а также необратимым экологическим последствиям.

Совершенствование методов экспертного диагностирования металлических конструкций [4], эк-

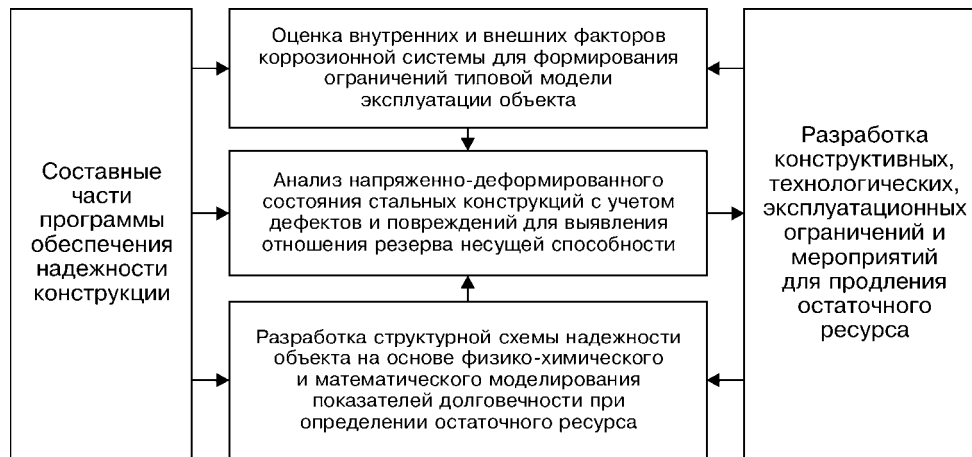


Рис. 1. Мониторинг технического состояния конструкций в коррозионных средах при продлении остаточного ресурса

Таблица 1. Степени коррозионной агрессивности режима эксплуатации

Степень агрессивности режима эксплуатации	Показатель коррозионной стойкости K , мм/год	Нормативное значение коррозионных потерь стали С235 $A_p(L, G, S)$, г/м ² -год	Степень агрессивности по СНиП 2.03.11-85
Неагрессивная	До 0,01	До 78,5	Неагрессивная
Слабоагрессивная	Св. 0,01 до 0,05	Св. 78,5 до 392,5	Слабоагрессивная
Низкоагрессивная	Св. 0,05 до 0,15	Св. 392,5 до 1177,5	Среднеагрессивная
Среднеагрессивная	Св. 0,15 до 0,30	Св. 1177,5 до 2355,0	» »
Высокоагрессивная	Св. 0,30 до 0,50	Св. 2355,0 до 3925,0	» »
Сильноагрессивная	Св. 0,50	Св. 3925,0	Сильноагрессивная



Таблица 2. Коэффициент надежности по воздействию коррозионных сред

Категория размещения конструкций	Коэффициент γ_{fk} при воздействии среды					
	Неагрессивной	Слабоагрессивной	Низкоагрессивной	Среднеагрессивной	Высокоагрессивной	Сильноагрессивной
На открытом воздухе	1,05	1,10	1,15	1,20	1,20	1,25
Под навесом	1,00	1,10	1,10	1,15	1,15	1,20
Внутри помещений						
неотапливаемых	1,00	1,05	1,10	1,10	1,15	1,15
отапливаемых	1,00	1,00	1,05	1,05	1,10	1,10

сплутуирующихся за нормативным сроком службы, связано с разработкой системы мониторинга технического состояния в коррозионных средах [5, 6] при продлении остаточного ресурса (рис. 1). Сбор и обработка информации о состоянии объекта в процессе эксплуатации, разработка расчетно-экспериментальных методов повышения надежности и долговечности ведет к корректировке программы обеспечения надежности (ПОН), определяющей расчетные ситуации при оценке резервов несущей способности конструкций. Оценка и обоснование продления остаточного ресурса требует качественного и количественного анализа параметров коррозионных воздействий в расчетах на коррозионную стойкость и долговечность.

Степень коррозионной агрессивности режима эксплуатации устанавливают для конкретных объектов в зависимости от макроклиматического района, категории размещения конструкций по ГОСТ 15150-69, характера технологических выделений и материала конструктивных элементов зданий и сооружений. По условиям эксплуатации конструкции различают следующие воздействия: ат-

мосферные климатологические; агрессивных газов; жидких неорганических и органических сред; твердых сред (грунтов, солей, аэрозолей, пыли).

Изменчивость коррозионных воздействий учитывается путем определения наиболее неблагоприятного сочетания экстремальных значений факторов окружающей среды. Состав и степень агрессивности воздействий следует принимать для однородных зон эксплуатации промышленных и гражданских объектов по данным технологической документации или результатам экспериментальных замеров на действующих объектах. Факторы коррозионной агрессивности классифицируются по шести степеням коррозионной агрессивности, приведенным в табл. 1.

Основной характеристикой агрессивных сред является нормативное значение коррозионных потерь $A_n(L, G, S)$ незащищенной малоуглеродистой стали класса С235 с учетом заданной продолжительности воздействий жидких (L), газообразных (G), твердых (S) сред.

Расчетное значение коррозионных потерь $A(L, G, S)$ определяют с помощью зависимости

$$A(L, G, S) = \gamma_q A_n(L, G, S) \gamma_{fk}, \quad (1)$$

где $\gamma_q = \tau(L, G, S) / \tau_0$ — коэффициент продолжительности воздействий, представляющий отношение продолжительности воздействия коррозионно-активных компонентов в часах $\tau(L, G, S)$ к среднему числу часов в году τ_0 ; γ_{fk} — коэффициент надежности по воздействиям, зависящий от степени агрессивности и категории размещения конструкций (табл. 2).

Таблица 3. Требования к показателям надежности противокоррозионной защиты по критериям предельных состояний для отношения резерва надежности $\Phi/N = 1$

Конструктивные и эксплуатационные характеристики по СНиП 2.03.11-85			Расчетные значения γ_{zn}/γ_{zk} при сроке службы T_n , год			
Степень коррозионной агрессивности среды (СКАС)	Способы первичной защиты конструкции	Методы вторичной защиты (МВЗ)	10	30	50	100
СКАС 1	Углеродистые и низколегированные стали без вторичной защиты	МВЗ 1	—	—	—	—
			0,99	0,99	0,98	0,95
СКАС 2	Атмосферостойкие без вторичной защиты	МВЗ 2	—	—	—	—
			0,99	0,96	0,94	0,91
СКАС 3	Углеродистые и низколегированные с ЛКП	МВЗ 1.2	0,97	0,86	0,77	0,74
			0,99	0,99	0,98	0,99
	Углеродистые и низколегированные оцинкованные	МВЗ 1.1	0,99	0,95	0,92	0,91
			0,99	0,99	0,98	0,95
Углеродистые и низколегированные с ЛКП	МВЗ 1.2	0,89	0,88	0,84	0,83	
		0,99	0,98	0,95	0,90	
СКАС 4	Углеродистые, низколегированные, оцинкованные с ЛКП	МВЗ 1.3	0,95	0,90	0,92	0,92
			0,99	0,98	0,95	0,90
Углеродистые и низколегированные с ЛКП	МВЗ 1.2	0,86	0,89	0,89	0,88	
		0,98	0,95	0,90	0,85	
СКАС 5	Углеродистые, низколегированные, оцинкованные с ЛКП	МВЗ 1.3	0,92	0,93	0,91	0,93
			0,98	0,95	0,90	0,85
Углеродистые и низколегированные с ЛКП	МВЗ 1.2	0,85	0,87	0,88	0,91	
		0,95	0,90	0,85	0,80	

Примечания: 1. Степень коррозионной агрессивности среды принимается по рекомендациям раздела СНиП 2.03.11-85.

2. Способы, средства и методы противокоррозионной защиты определять по рекомендациям приложений 14, 15 СНиП 2.03.11-85.

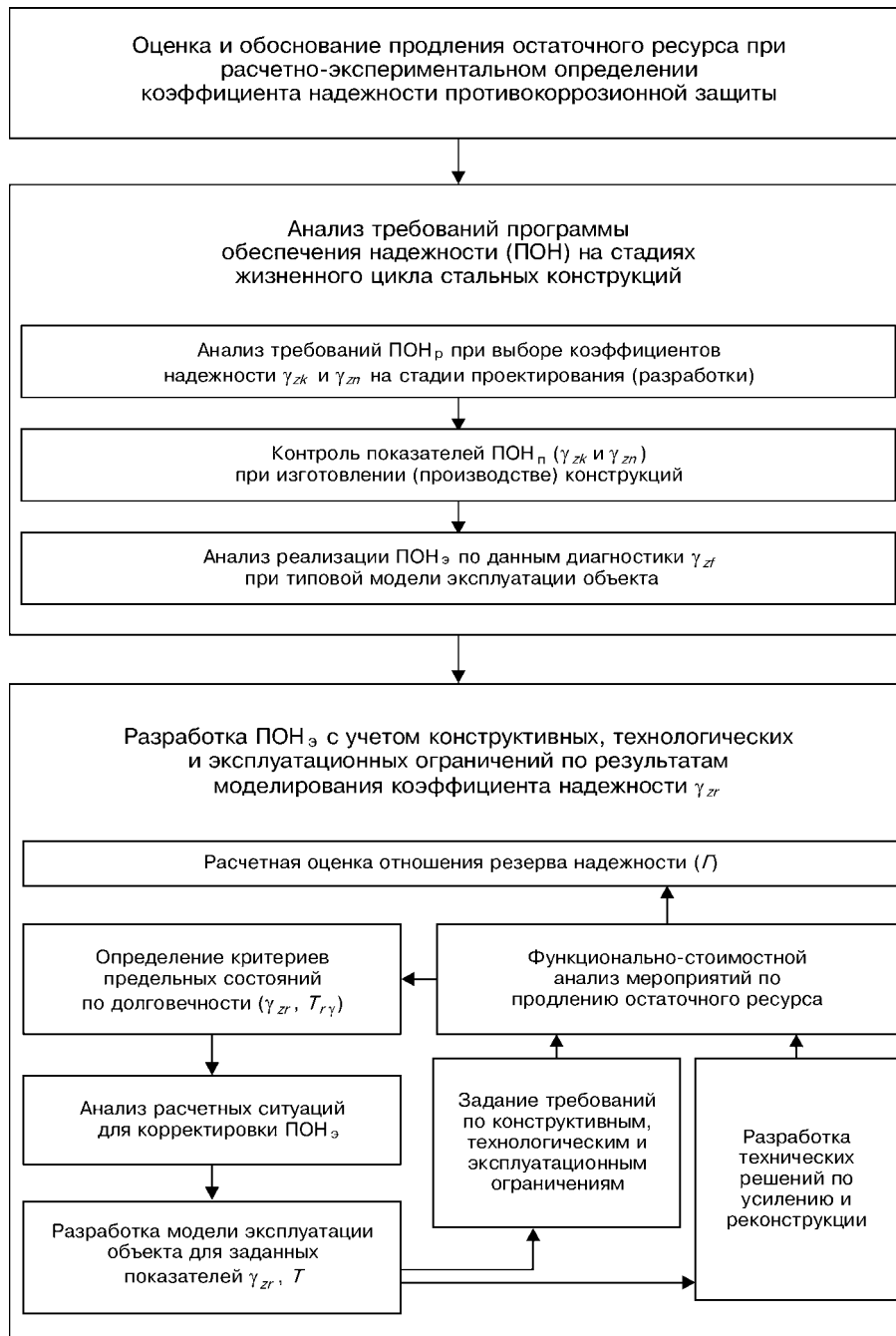


Рис. 2. Логическая схема определения остаточного ресурса на основе признаков предельных состояний

Параметры коррозионной агрессивности атмосферы и режима эксплуатации конструкции устанавливаются по следующим характеристикам: продолжительности общего увлажнения поверхности; продолжительности увлажнения поверхности фазовой пленкой влаги, а также адсорбционной пленкой влаги; концентрации коррозионно-активных компонентов.

Расчетное определение остаточного ресурса на основе признаков предельных состояний производится с целью установления срока службы $T_{r\gamma}$ при заданной доверительной вероятности в порядке, определенном на рис. 2. Требования к показателям долговечности первичной и вторичной противокоррозионной защиты устанавливаются в зависимости от срока эксплуатации по табл. 3. При этом ис-

пользуются заданные характеристики коэффициента надежности противокоррозионной защиты γ_{zk} по показателю коррозионной стойкости (первичная защита) и коэффициенту надежности противокоррозионной защиты γ_{zn} по гарантированной долговечности (вторичная защита).

Расчет на коррозионную стойкость с учетом мер первичной и вторичной защиты производится по первой и второй группам предельных состояний, связанных с потерей несущей способности и ограничением чрезмерных деформаций. Расчет показателей долговечности связан с ограничениями состояния вторичной защиты, затрудняющими нормальную эксплуатацию в агрессивных средах. Условия, определяющие показатели надежности:



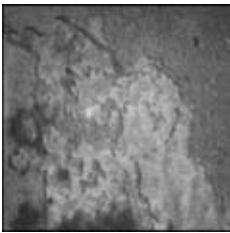



Таблица 4. Показатели диагностирования при продлении остаточного ресурса стальных конструкций в коррозионных средах

Наименование	Обозначение	Характеристики, необходимые для обоснования ПД				
		A_k	Γ	β	T_d	δ
Коэффициент надежности противокоррозионной защиты по данным контроля технического состояния	γ_{zf}	—	×	×	—	×
Коэффициент надежности противокоррозионной защиты при разработке ПОН _э	γ_{zr}	×	×	—	—	×
Остаточный ресурс объекта диагностирования	$T_{r\gamma}$	×	×	—	×	×
Вероятность безотказной работы	P_r	—	×	×	—	×

Примечание: β — индекс надежности; T_d — оптимальная периодичность диагностирования, год; δ — предельная экспериментальная ошибка оценки геометрических характеристик и механических свойств с учетом нормального закона распределения случайных величин.

Таблица 5. Результаты оценки показателей диагностирования стальных конструкций объектов Ясиновского КХЗ

Объект диагностирования	Общий вид	Характеристика степени агрессивности режима эксплуатации $A(L, G, S)$, г/м ² ·год	γ_{zr}	Остаточный ресурс конструкции $T_{r\gamma}$ год
Пролетное строение эстакады цеха сероочистки		5200... 6100	0,14	2,1... 1,7
Опора трубопроводов цеха ректификации		3400... 4000	0,22	20,1... 15,8
Листовые конструкции резервуара в цехе газопередачи		5600... 6200	0,09	1,4... 1,2
Опорный узел стропильной конструкции эстакады коксового цеха		4400... 5000	0,19	5,7... 4,8

I предельное состояние

$$\Phi/N + (1 - \gamma_{zk}) \leq \Gamma, \quad (2)$$

$$(1 - \gamma_{zn})A(L, G, S)T_n^c \leq mt \left(1 - \frac{1}{\Gamma}\right), \quad (3)$$

$$\gamma_{zf} - \frac{1}{\Gamma} = \gamma_{zr}. \quad (4)$$

II предельное состояние

$$T_{з\gamma} \geq \gamma_{zn}T_{з}, \quad (5)$$

$$T_{b\gamma} \geq (1 - \gamma_{zn})T_{з}, \quad (6)$$

$$T_{r\gamma} = \left(\frac{m t \gamma_{zr}}{A_k}\right)^{1/c}, \quad (7)$$

где Γ — отношение резерва надежности; Φ — предельное усилие, которое может воспринять рассчитываемый элемент, кН; N — наибольшее расчетное усилие в конструктивном элементе, кН; $A(L, G, S)$ — характеристика степени агрессивности режима эксплуатации, г/м²·год; c — коэф-



коэффициент кинетики коррозионного износа; t — приведенная толщина сечения элемента, см; $m = \rho \cdot 10^4$ — переводной коэффициент коррозионных потерь; γ_{zk} — коэффициент надежности, противокоррозионной защиты, устанавливаемый при обосновании методов первичной защиты; T_n — нормативный срок службы конструкции; γ_{zr} , γ_{zn} — коэффициент надежности, устанавливающий предельный уровень коррозионных потерь при дальнейшей нормальной эксплуатации с учетом результатов оценки коррозионного состояния и для заданной системы вторичной защиты при типовой модели эксплуатации; T_3 — нормативный срок службы защитных покрытий, год; $T_{3\gamma}$ — гарантированный срок службы защитных покрытий с доверительной вероятностью $\gamma = 0,95$, год; $T_{в\gamma}$ — гамма-процентный срок восстановления противокоррозионной защиты, год; $T_{r\gamma}$ — остаточный срок службы без дополнительных мер на противокоррозионную защиту и усиление; A_k — расчетное сопротивление коррозионному воздействию конструктивного элемента, $A_k = A(L, G, S)\alpha_f\gamma_{mk}$; γ_{mk} — коэффициент надежности по материалу при оценке степени агрессивности воздействий; α_f — конструктивный коэффициент, учитывающий неравномерность коррозионного разрушения; ρ — плотность металла, г/см³.

Возможные отклонения геометрических характеристик сечения и свойств материала в неблагоприятную сторону от их проектных значений, установленных способами и методами первичной и вторичной защиты, при нарушении условий нормальной эксплуатации учитываются коэффициентом надежности противокоррозионной защиты γ_{zf} [7].

Структура показателей диагностирования (ПД) и характеристик, необходимых для обоснования показателей диагностирования при экспертном определении остаточного ресурса, представлена в табл. 4.

Статистические характеристики изменения геометрических размеров сечений и расчетных свойств

материала с учетом характера и интенсивности коррозионных повреждений определяются с помощью визуального контроля и инструментальных методов (ультразвуковой толщинометрии, ультразвуковой и магнитопорошковой дефектоскопии, а также измерения твердости).

Указанный методический подход реализован для оценки остаточного ресурса стальных конструкций объектов Ясиновского КХЗ (табл. 5). Математические модели систем, характеризующих режим эксплуатации этих объектов, установлены по параметрам технического состояния конструкций и характеристикам внешних воздействий. Статистическое моделирование результатов экспертного диагностирования коррозионного состояния конструкций (γ_{zf}) позволяет производить оценку показателей диагностирования (γ_{zr} , $T_{r\gamma}$) с учетом установленного уровня вероятности безотказной работы P_r .

1. Проценко К. І. Попередження аварійного стану промислових та цивільних об'єктів і споруд // Тр. Першої Всеукр. науч.-техн. конф. «Аварії зданий і споруджень і їх предупредження». — Київ, 1997. — 266 с.
2. Шимановський В. М. Чи перетвориться Україна на новий Армагеддон? // Київські Відомості. — 1999. — 10 січня. — С. 8–9.
3. Горохов Е. В., Королев В. П. Диагностика и оценка остаточного ресурса строительных металлоконструкций в коррозионных средах // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1998. — № 3. — С. 57–59.
4. Недосека А. Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций. — Киев: Индпром, 1998. — 640 с.
5. Moran G. S. Corrosion monitoring in industrial plants using non-destructive testing and electrochemical methods. — Philadelphia: ASTM, 1986.
6. Parking R. N. Life prediction of corrodible structure. — Houston: NACE, 1994. — P. 1670.
7. Королев В. П., Толстяков Р. Г. Структура диагностических параметров в расчетах стальных конструкций на коррозионные воздействия // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1999. — № 3. — С. 56–59.