

УДК 624.076.2

## Менеджмент качества противокоррозионной защиты металлоконструкций

Гибаленко А.Н., к.т.н.

Приазовский Государственный технический университет, Украина

**Анотація.** Використання металевих конструкцій, залежно від призначення і конструктивної форми, передбачає застосування їх в промислових будівлях, кранових та інших рухомих конструкціях, що належать до гірничо-металургійного комплексу. Розроблена і обґрунтована методика застосування засобів первинного та вторинного захисту при заданні моделі експлуатації і терміну служби сталевих конструкцій в умовах корозійно-активних впливів. На основі сформульованих вимог конструктивної пристосованості і технологічної раціональності сталевих конструкцій та їхніх захисних покриттів визначено порядок розрахунків на корозійну стійкість, довговічність і ремонтпридатність по граничних станах на стадії конструкторської підготовки виготовлення металлоконструкцій.

**Аннотация.** Использование металлических конструкций, в зависимости от назначения и конструктивной формы, предусматривает применение их в промышленных зданиях, крановых и других подвижных конструкциях, относящихся к горно-металлургическому комплексу. Разработана и обоснована методика выбора средств первичной и вторичной защиты при задании модели эксплуатации и срока службы стальных конструкций в условиях коррозионно-активных воздействий. На основе сформулированных требований конструктивной приспособленности и технологической рациональности стальных конструкций и их защитных покрытий определен порядок расчетов на коррозионную стойкость, долговечность и ремонтпригодность по предельным состояниям на стадии конструкторской подготовки изготовления металлоконструкций.

**Abstract.** The use of metal structures, depending on the destination and constructive form, is foreseen for application in industrial buildings, crane and other movable structures related to the mining-metallurgical complex. The procedure is developed and well-founded for the choice of primary and secondary protection means when setting the model of operation and service life of steel constructions effected by corrosive conditions. According to the formulated requirements for constructive fitness and technological rationality of steel structures and their protective coatings the calculation procedure is defined on corrosion resistance, durability and serviceability on limit states at the stage of design study before the fabrication of steelwork.

**Ключевые слова:** мониторинг коррозионного состояния, первичная и вторичная защита от коррозии, строительные металлические конструкции, метод предельных состояний, менеджмента качества.

**Описание проблемы.** Надежная и безопасная эксплуатация зданий и сооружений на протяжении установленного срока эксплуатации  $T_{ef}$  определяется соблюдением требований нормативных положений, обуславливающих выполнение объектами технологических и эксплуатационных функций на протяжении заданного промежутка времени [1]. Следует

отметить, что особенности работы сооружений, изменение характеристик технологических процессов и закономерностей нагрузок, состава и характеристик воздействий агрессивной среды оказывают существенное влияние на показатели коррозионной стойкости и долговечности конструктивных элементов, их защитных противокоррозионных покрытий. Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует, что долговременная защита от коррозионного разрушения обеспечивается при условии согласования всеми заинтересованными сторонами состава спецификации по противокоррозионной защите в соответствии с требованиями [2]. Является актуальной необходимостью совершенствования требований к средствам и методам противокоррозионной защиты конструкций. Это обуславливает уменьшение уровней риска возможных потерь, причинённых случайными действиями, вызывающими разрушение конструкций при выходе из режима нормальной эксплуатации путем обеспечения первичной и вторичной противокоррозионной защиты.

Определено [3], что первичная защита от коррозии достигается за счет повышения коррозионной стойкости стали, рационального выбора конструктивных решений, увеличения концентрации материала в сечениях, снижения влияния внутренних факторов на появление и протекание коррозии (местной, питтинговой, контактной, щелевой, коррозионного растрескивания, коррозионной усталости и т.п.). Вторичная защита обеспечивает ограничение (отсутствие) действия среды на конструкцию, долговечность конструктивной формы при использовании защитных противокоррозионных покрытий. При этом надежность (долговечность, живучесть) будет характеризоваться следующими показателями – временем достижения отказа сооружений (конструктивных элементов, узловых соединений сопряжений металлоконструкций) и сроками службы защитных противокоррозионных покрытий. Номенклатура применения металлических конструкций в зависимости от назначения и конструктивной формы предусматривает использование их в промышленных зданиях, крановых и других подвижных конструкциях, относящихся к горно-металлургическому комплексу [4].

**Постановка проблемы.** Большое значение приобретают мероприятия по учету: условий эксплуатации и влияния окружающей среды; техногенных опасностей, приводящих к нарушению работоспособности; опасностей, вызванных неточностями проектирования и прогнозирования условий эксплуатации [5].

Учет потребностей заказчика при разработке и подготовке конструкторских, технологических мер первичной и вторичной защиты металлических конструкций от коррозии при заданном сроке службы обеспечивается методическим подходом на основе системы менеджмента

качества к оценке предельных состояний и требований обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций зданий и сооружений [6].

Экономическая эффективность дополнительных затрат на управление и функционирование гражданских и промышленных объектов, транспортной инфраструктуры во многом определяется правильным выбором конструктивных и технологических решений противокоррозионной защиты на основе принципов менеджмента качества ISO 9001:2008 [7]. Методология стандартов включает восемь принципов менеджмента качества, способствующих достижению целей для разработанной системы и организационной структуры управления при проектировании, изготовлении и эксплуатации строительных металлоконструкций [8]. Разработка средств и методов защиты от агрессивных воздействий для обеспечения заданных показателей надежности и безопасности должна предусматривать техническое регулирование по требованиям заказчика конструктивных и технологических мер первичной и вторичной защиты при изменении расчетной ситуации, устанавливающей эксплуатационные характеристики объекта.

Требования заказчика определяют цели менеджмента качества по показателям коррозионной стойкости и долговечности, излагаемые в техническом задании на проектирование конструкций зданий и сооружений. Расчетные модели преобразования требований надежности и безопасности в характеристики эксплуатационных свойств конструкций устанавливают методы контроля качества, диагностики коррозионного состояния, определяют целесообразность привлечения специализированных организаций, экспертов, обслуживающего персонала для выполнения процедур подтверждения качества. Важную роль играет наличие соответствующей профессиональной подготовки специалистов: знания о характере, степени влияния их деятельности на безопасность; осознание последствий несоблюдения правил и требований, документированных процедур производственных процессов и методов контроля; обозначение мер ответственности и взаимодействия исполнителей на протяжении установленного срока эксплуатации сооружений.

**Проблемы, отраженные в исследовании.** Гарантии качества, представленные спецификациями по ресурсу при проектировании и изготовлении, реализуются на основе процессного подхода, отражающего систему технического обслуживания (ремонта) конструкций в течение установленного срока службы объекта. Системный подход к управлению предполагает идентификацию и формализованное описание напряженно-деформированного состояния конструкций на основе зависимостей коррозионной системы «нагрузка-конструкция-среда». Разработанная процедура

мониторинга коррозийного состояния обеспечивает возможность оценки параметров регулирования ресурса конструкций для реализации политики постоянного улучшения, направленной на совершенствование мер первичной и вторичной защиты.

Преимущества регистрационного метода оценки показателей ремонт-пригодности металлоконструкций по фактическому состоянию позволяют сформулировать подход принятия решений для обеспечения технологической безопасности зданий и сооружений в коррозионных средах. Предполагаемая организационная структура взаимовыгодных отношений с поставщиками услуг и собственниками на основе принципов менеджмента качества противокоррозионной защиты является основой для обеспечения гарантированных показателей коррозионной стойкости и долговечности при изготовлении металлоконструкций.

Расчет на коррозионную стойкость связан с учетом мер первичной и вторичной защиты на основе признаков предельных состояний первой и второй группы. Расчет показателей коррозионной стойкости, ремонт-пригодности и долговечности выполняется по расчетным схемам и данным таблиц ведомости элементов чертежей КМ. Расчетные зависимости для обоснования конструктивных решений первичной и вторичной защиты на стадии КМД имеют вид:

I предельное состояние:

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

$$(1 - \gamma_{zn}) \cdot A \cdot T_n^c \leq m \cdot \delta (1 - 1/\Gamma). \quad (2)$$

II предельное состояние:

$$F_e = \left( \frac{\Gamma}{\gamma_{zf}} - \frac{\Gamma/\gamma_{zk} + 1/\Gamma}{2} \right)^2; \quad (3)$$

$$T_{zy} \geq \gamma_{zn} \cdot T_z; \quad (4)$$

$$T_{By} \leq (1 - \gamma_{zn}) T_3; \quad (5)$$

$$T_{my} \geq \gamma_{zn} T_m. \quad (6)$$

где  $\Phi$  – предельное усилие, которое может воспринять рассчитываемый элемент;  $N$  – наибольшее расчетное усилие в конструктивном элементе;  $\Gamma$  – отношение резерва надежности;  $\gamma_{zk}$  – коэффициент надежности противокоррозионной защиты, устанавливаемый при обосновании методов первичной защиты;  $\gamma_{zn}$  – коэффициент надежности противокоррозионной защиты, устанавливаемый при обосновании методов вторичной защиты;  $\gamma_{zf}$  – коэффициент надежности противокоррозионной защиты, определя-

емый по данным контроля коррозионного состояния в период эксплуатации;  $A$  – характеристика степени агрессивности режима эксплуатации,  $г/(м^2 \text{ год})$ ;  $T_n$  – назначенный срок службы защитного покрытия с учетом коэффициента кинетики коррозионного износа  $c$ ;  $m$  – переводной коэффициент коррозионных потерь;  $\delta$  – приведенная толщина сечения элемента;  $T_m$  – нормативный срок службы защитных металлических покрытий;  $T_{z\gamma}$  ( $T_{m\gamma}$ ) – гарантированный срок службы защитных (металлических) покрытий с доверительной вероятностью  $\gamma=0,95$ ;  $T_{в\gamma}$  – гамма-процентный срок восстановления противокоррозионной защиты.

На основании зависимостей (1...6) производится описание расчетных ситуаций по коррозионной стойкости и долговечности для решения задачи аналитического определения временных характеристик табличной модели заданного срока службы конструкций и их защитных покрытий ( $T_{п\gamma}$ ) при установленных показателях расчетного сопротивления коррозионному воздействию конструктивного элемента ( $A$ ,  $г/м^2 \text{ год}$ ), коэффициентов надежности первичной защиты  $\gamma_{zk}$  и вторичной защиты от коррозии  $\gamma_{zn}$  (табл. 1). Для анализа коррозионной опасности рассматривается расчетная ситуация постоянного типа, при которой учитывается опасное явление – изменение (ухудшение) качества конструкций по причине коррозионного износа.

Таблица 1

**Табличная модель срока службы стальных конструкций по показателям коррозионной стойкости, долговечности и ремонтпригодности**

Обозначение расчетной ситуации	Состояние объекта противокоррозионной защиты по данным менеджмента показателей качества <sup>1)</sup>																
	Q	K	Z	I	J	S	A	B	C	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	E	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	H
S(R1)	*		*	*	*		*			*	*		*	*			
S(R2)		*	*	*	*		*			*	*						

<sup>1)</sup>Примечание. Знак \* указывает на этапы задания и контроля требований первичной и вторичной защиты для установленной расчетной ситуации.

Для расчета конструкций используется расчетная модель, учитывающая факторы, оказывающие существенное влияние на напряженное и деформированное состояние конструкции с учетом изменчивости процессов. Предельные состояния относятся ко всей конструкции, отдельным элементам, соединениям или поперечным сечениям. Исходными данными для расчета являются параметры среды эксплуатации и свойства материалов. Опосредовано учитывается влияние агрессивной среды. Коэффициент готовности стальных конструкций ( $K_g$ ) является комплексным показателем ремонтпригодности, характеризующим параметры конструктивных и технологических мер первичной и вторичной защиты (табл. 2).

Таблиця 2

**Классификационные признаки уровня коррозионной опасности (КІ - КV)**

Степень агрессивности воздействий, К, мм/год	Интервальные оценки коэффициента готовности противокоррозионной защиты, $K_g$				
	$0 < K_g \leq 0,1$	$0,1 < K_g \leq 0,3$	$0,3 < K_g \leq 0,5$	$0,5 < K_g \leq 0,7$	$0,7 < K_g \leq 1,0$
Слабоагрессивных, $0,01 < K \leq 0,05$	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	*
Сильноагрессивной, $K > 0,50$	КV	КІV	КІІІ	КІІ	КІ

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

$$K_g = \frac{T_{k\gamma} + T_{z\gamma}}{T_{k\gamma} + nT_{z\gamma}}; \quad (7)$$

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.

**Цель публикации.** Последовательность этапов менеджмента средств и методов защиты от коррозии конструкций по требованиям технологической безопасности представлена на рис. 1.

Разработанный подход определяет область применения материалов и рациональность их выбора в зависимости от назначения конструкций зданий и сооружений. С учетом последствий, вызванных действием агрессивных сред, предлагается использовать следующие четыре категории ответственности стальных конструкций и их защитных покрытий: П1 – категория ответственности, не допускающая появления коррозионных поражений для первичной защиты и признаков нарушения декоративных и защитных свойств вторичной защиты; П2 – категория ответственности, не допускающая появления коррозионных поражений для первичной защиты и характеризуется снижением декоративных и защитных свойств вторичного защиты; П3 – категория ответственности, допускающая появление коррозионных поражений для первичной защиты и снижение декоративных и защитных свойств вторичной защиты; П4 – категория ответственности, допускающая снижение показателей первичной защиты.



Рис. 1. Последовательность конструкторских и технологических мер первичной и вторичной защиты при изготовлении конструкций с гарантированной долговечностью

Подтверждение соответствия класса материала, средств первичной и вторичной защиты по категориям ответственности стальных конструкций и их защитных покрытий производится в соответствии с требованиями табл. 3.

Таблица 3  
Категории ответственности и требования к способам первичной и вторичной защиты от коррозии

Класс материала средств первичной и вторичной защиты	Категория ответственности конструкций и их защитных покрытий	Коэффициенты надежности защиты	
		первичной, $\gamma_{зк}$	вторичной, $\gamma_{zn}$
I	П3, П4	0,95	0,8
II	П3	0,99	0,9
III	П2	-	0,95
IV	П1	-	0,99

Последовательность обработки мероприятий первичной, вторичной защиты конструкций по требованиям рациональности и обобщенная логистическая модель для выбора способов защиты приведена на рис. 2.

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. Структура показателей долговечности стальных конструкций в коррозионных средах включает расчетно-экспериментальную оценку, технический контроль и диагностику эксплуатационных свойств на протяжении жизненного цикла стальных конструкций:

*A* – сохранение объектом исправного состояния в период нормальной эксплуатации; *B* – нарушение исправного состояния технологического оборудования и изменение степени агрессивности воздействий; *C* – нарушение работоспособного состояния ограждающих конструкций и изменение степени агрессивности воздействий; *D1* – нарушение работоспособного состояния противокоррозионной защиты и появление коррозионных поражений; *D2* – восстановление работоспособного состояния противокоррозионной защиты; *E* – нарушение исправного состояния противокоррозионной защиты; *F1* – нарушение исправного состояния при коррозионном повреждении; *F2* – восстановление исправного состояния в процессе усиления конструктивного элемента; *G1* – нарушение исправного состояния в результате отклонения фактического состояния конструкции от предусмотренного проектом; *G2* – восстановление исправного состояния в процессе усиления конструктивного элемента; *H* – нарушение работоспособности состояния стальных конструкций; *T* – введение конструктивно-технологических ограничений для восстановления работоспособного состояния; *R* – продление ресурса за установленным сроком службы объекта после восстановления работоспособного состояния; *P* – переход объекта в предельное состояние (аварийный режим); *M* – вывод из эксплуатации; *L* – ликвидация (демонтаж) объекта; *N* – замена (монтаж) новой конструкции или сооружения.

Определение требований к первичной и вторичной защите производится при согласовании с заказчиком типовой модели эксплуатации, применительно к которой разрабатывается номенклатура показателей надежности (стадия технического задания *Q*). Установлены основные этапы конструкторской подготовки производства (*I*), связанные с анализом возможностей первичной защиты (*K*) на стадии КМ и требований по коррозионной стойкости в рабочих чертежах КМД. При выборе средств вторичной защиты учитываются показатели технологической рациональности, свя-



занные с условиями изготовления (*J*), монтажа (*S*) и эксплуатации (*A*). Обобщенная структурная модель расчетных ситуаций выбора средств первичной и вторичной защиты при заданном сроке службы конструкций, представлена на рис. 2.

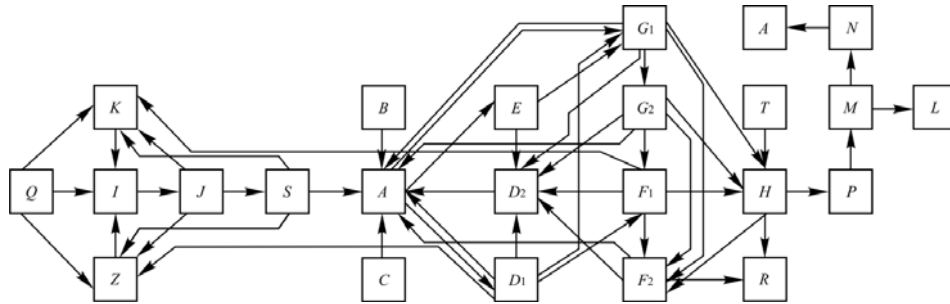


Рис. 2. Обобщенная структурная модель расчетных требований по коррозионной стойкости, долговечности и ремонтпригодности при изготовлении стальных конструкций

Обоснование эффективности проектных решений первичной и вторичной защиты от коррозии разрабатывается на основе показателя среднего риска (среднего убытка) согласно зависимости:

$$R_c = \sum_{i=1}^{i=n} P_i X_i, \quad (8)$$

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

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

$$R_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_{ij}(V) P_j P_i(j, z_j) X_i, \quad (9)$$

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 характеризуется вероятностью наступления неблагоприятного события  $P_j$  и законом распределения ущерба  $P_j(j, z_j)$ , который зависит от

принятых мер по защите  $z_j$ . Особенность подхода к определению риска на основе зависимости (10) приведена графически на рис. 3.

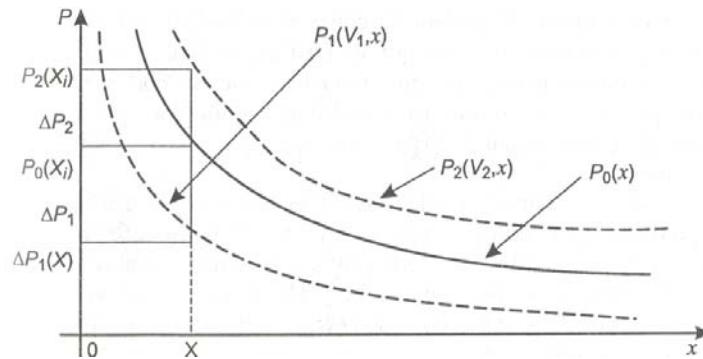


Рис. 3. Распределение убытков при возможности и невозможности выбора способов защиты от коррозии

Определены требования к оценке качества противокоррозионной защиты и менеджмента показателей долговечности стальных конструкций, которые применены для регламентных процедур обеспечения технологической безопасности зданий и сооружений горно-металлургического комплекса.

Разработанный подход использован при обосновании противокоррозионной защиты стальных конструкций строений обогатительной фабрики «Свято-Варваринская» ПрАО «Донецксталь».

Выбор систем защитных покрытий включал анализ показателей технологической рациональности противокоррозионной защиты  $B_{oz}$  по данным экспертной оценки конструкторской и технологической подготовки производства согласно выражению (10):

$$B_{oz} = \sum_{i=1}^{i=N} B_i = \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1}^{j=P} m_i b_{ij} \left( \sum_{c=1}^{c=Q} q_{ij} / 100 \cdot Q \right), \quad (10)$$

Усовершенствованная методика определения базовых показателей технологичности противокоррозионной защиты позволяет учитывать показатели надежности стальных конструкций и их защитных покрытий на всех стадиях жизненного цикла в соответствии с требованиями стандарта ISO 12944. Результатом экспертной оценки показателя технологической рациональности по вариантам выполнения вторичной защиты является определение коэффициента надежности  $z_{ny}$  с помощью формулы (11) или с использованием графической зависимости на рис. 4:

$$\gamma_{zn} = \frac{1}{1 + b \exp(-cB_{oz})} \quad (11)$$

где  $b=300$ ;  $c=2,2$  – безразмерные коэффициенты.

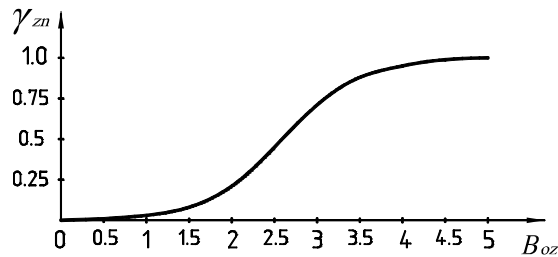


Рис. 4. Графическая зависимость коэффициента надежности вторичной защиты  $\gamma_{zn}$  от показателя технологической рациональности  $B_{oz}$

Выполненные испытания более пятидесяти систем защитных покрытий обеспечило возможность использования материалов и технологий долгосрочной защиты, которая разрешает снизить эксплуатационные затраты за счет увеличения заводской стоимости противокоррозионной защиты конструкций в процессе изготовления [9]. Учет нормативных требований по защите от коррозии [10] выполняется при определении требуемого коэффициента первичной защиты  $\gamma_{zk}$  по условиям, представленным в табл. 4.

Обоснование эффективности защиты строительных конструкций и сооружений от коррозии с учетом положений действующих норм [10, 11] предлагается производить согласно разработанной методике с учетом коэффициента готовности стальных конструкций ( $K_g$ ). Использование коэффициента готовности стальных конструкций направлено на обеспечение недопустимости возрастания уровней риска при эксплуатации объекта и обоснование мероприятий проведения ремонтного обслуживания.

Задача определения коэффициента готовности при воздействиях агрессивных сред ( $A_n$ , г/м<sup>2</sup> год) сформулирована как расчет стальных конструкций по предельным состояниям на коррозионную стойкость и долговечность по результатам ускоренных коррозионных испытаний защитных покрытий. При этом реализуется принцип эшелонированной защиты при использовании последовательных барьеров предотвращения достижения предельных состояний при коррозионном износе способов первичной и вторичной защиты.

Таблиця 4

<b>Требования к показателям надежности противокоррозионной защиты</b>						
Степень коррозионной стойкости	Группа средств и методов защиты	Способ защиты конструкции	Расчетные значения $\gamma_{zn} / \gamma_{zk}$ , при сроке службы $T_{пр}$ , год			
			10	30	50	100
СКС 1	СМЗ 1	Углеродистые и низколегированные стали без защиты	----- 0,99	----- 0,99	----- 0,98	----- 0,95
СКС 2	СМЗ 2	Атмосферостойкие стали без защиты	----- 0,99	----- 0,96	----- 0,94	----- 0,91
	СМЗ 1.2	Углеродистые и низколегированные стали с ЛКП	0,97 0,999	0,86 0,99	0,77 0,975	0,74 0,99
СКС 3	СМЗ 1.1	Стали углеродистые и низколегированные, оцинкованные	0,99 0,999	0,95 0,99	0,92 0,975	0,91 0,95
	СМЗ 1.2	Углеродистые и низколегированные стали с ЛКП	0,89 0,99	0,88 0,975	0,84 0,95	0,83 0,90
СКС 4	СМЗ 1.3	Углеродистые, низколегированные, оцинкованные стали с ЛКП	0,95 0,99	0,90 0,975	0,92 0,95	0,92 0,90
	СМЗ 1.2	Углеродистые и низколегированные стали с ЛКП	0,86 0,975	0,89 0,95	0,89 0,90	0,88 0,85
СКС 5	СМЗ 1.3	Стали углеродистые, низколегированные, оцинкованные с ЛКП	0,92 0,975	0,93 0,95	0,91 0,90	0,93 0,85
	СМЗ 1.2	Углеродистые и низколегированные стали с ЛКП	0,85 0,95	0,87 0,90	0,88 0,85	0,91 0,80

Установленные принципы обеспечивают возможность нормирования коэффициента надежности первичной и вторичной защиты ( $\gamma_{zk}$ ,  $\gamma_{zn}$ ) от коррозии для расчета строительных металлоконструкций на коррозионную стойкость и долговечность на стадии проектирования. Коэффициенты надежности противокоррозионной защиты ( $\gamma_{zk}$ ,  $\gamma_{zn}$ ) устанавливают возможные отклонения прочностных, деформационных, эксплуатационных характеристик конструктивных элементов, определенные для типовой модели эксплуатации объекта и заданного срока службы ( $T_{ef}$ , год), от расчетных значений параметров, полученных по критериям предельных состояний I и II группы без учета показателей гарантированной долговечности. Требования к показателям долговечности первичной и вторичной противокоррозионной защиты стальных конструкций допускается устанавливать в зависимости от срока эксплуатации по табл. 5.

В расчете используются заданные характеристики коэффициента надежности противокоррозионной защиты  $\gamma_{zk}$  по показателю коррозионной стойкости (первичная защита) и коэффициенту надежности противокоррозионной защиты  $\gamma_{zn}$  по гарантированной долговечности (вторичная защита). Разработка рабочих чертежей антикоррозионной защиты (стадия

А3) производится с учетом требований [12] к первичной защите (повышение коррозионной стойкости конструктивной формы) и вторичной защите (повышение долговечности средств и методов противокоррозионной защиты). В проектных решениях необходимо приводить данные о зонировании режима эксплуатации по составу и интенсивности агрессивных воздействий, классификации коррозионных сред, требования к срокам службы и возобновления защитных покрытий.

Таблица 5

**Требования к показателям надежности противокоррозионной защиты по критериям предельных состояний**

Конструктивные и эксплуатационные характеристики по СНиП 2.03.11-85			Расчетные значения $\gamma_{zn}/\gamma_{zk}$ , при сроке службы $T_n$ , год			
Степень $K$ 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 стали без вторичной защиты	МВЗ 2	----- 0,99	----- 0,96	----- 0,94	----- 0,91
	Углеродистые и низколегированные стали с ЛКП	МВЗ 1.2	0,97 0,99	0,86 0,99	0,77 0,98	0,74 0,99
СКАС 3	Углеродистые и низколегированные оцинкованные стали	МВЗ 1.1	0,99 0,99	0,95 0,99	0,92 0,98	0,91 0,95
	Углеродистые и низколегированные стали с ЛКП	МВЗ 1.2	0,89 0,99	0,88 0,98	0,84 0,95	0,83 0,90
СКАС 4	Углеродистые, низколегированные, оцинкованные стали с ЛКП	МВЗ 1.3	0,95 0,99	0,90 0,98	0,92 0,95	0,92 0,90
	Углеродистые и низколегированные стали с ЛКП	МВЗ 1.2	0,86 0,98	0,89 0,95	0,89 0,90	0,88 0,85
СКАС 5	Углеродистые и низколегированные стали с ЛКП	МВЗ 1.2	0,85 0,95	0,87 0,90	0,88 0,85	0,91 0,80
	Углеродистые, низколегированные, оцинкованные стали с ЛКП	МВЗ 1.3	0,92 0,98	0,93 0,95	0,91 0,90	0,93 0,85

**Выводы**

1. Установлено, что низкая культура технической эксплуатации основных фондов промышленных предприятий в условиях агрессивных действий связана с отсутствием системы принятия решений относительно рационального выбора мер первичной и вторичной защиты от коррозии.

2. Для снижения ущерба от коррозии предложен организационно-экономический механизм, позволяющий на основе методов риск-анализа управлять инвестиционными и инновационными проектами внедрения новых материалов и технологий противокоррозионной защиты стальных конструкций по критерию коррозионной опасности.

3. В результате теоретических и экспериментальных исследований, выполненных при обосновании мер первичной и вторичной защиты от коррозии, разработан процессный подход к обеспечению требований качества стальных конструкций по показателям коррозионной стойкости, долговечности и ремонтпригодности при научно-техническом сопровождении проблемы ресурса строительных объектов в коррозионных средах.

4. Обоснована методика выбора средств первичной и вторичной защиты при задании модели эксплуатации и срока службы стальных конструкций в условиях коррозионно-активных воздействий. На основе сформулированных требований конструктивной приспособленности и технологической рациональности стальных конструкций и их защитных покрытий определен порядок расчетов на коррозионную стойкость, долговечность и ремонтпригодность по предельным состояниям на стадии конструкторской подготовки производства металлоконструкций.

5. Для решения задачи мониторинга гарантированных показателей качества противокоррозионной защиты стальных конструкций использована обобщенная структурная модель расчетных ситуаций режима эксплуатации строительного объекта. Исходными данными для сравнительной оценки эффективности технических решений по защите от коррозии являлись характеристика степени агрессивности режима эксплуатации ( $A_n$ ), обобщенный показатель технологической рациональности  $B_{0z}$ , а также коэффициенты надежности первичной ( $\gamma_{zk}$ ) и вторичной защиты ( $\gamma_{zn}$ ), устанавливаемые в зависимости от заданного срока службы объекта ( $T_{ny}$ ).

#### Литература

- [1] 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).
- [2] Лаки и краски – защита от коррозии стальных конструкций системами защитных покрытий : ISO 12944-8:1998. – М. : Издательство ИСО/МЭК, 2005. – 171 с. – (Международный стандарт; перевод на русский язык ©Компании «Технорматив», Москва, 2007).

- [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] Беленя Е. И. Металлические конструкции. Общий курс : учебник для вузов / [Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Веденников и др.] ; под общ. ред. Е. И. Беленя. – М. : Стройиздат, 1986. – 590 с.
- [5] Пособие по контролю состояния строительных металлических конструкций зданий и сооружений в агрессивных средах, проведению обследований и проектированию восстановления защиты конструкций от коррозии : пособие к СНиП 2.03.11-85) / [сост. Голубев А. И., Горохов Е. В., Королев В. П. и др.] – М. : Стройиздат, 1989. – 51 с.
- [6] 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.
- [7] Системи управління якістю. Вимоги : ДСТУ ISO 9001:2009 (ISO 9001:2008, IDT). – Офіц. вид. – К. : Держспоживстандарт України, 2009 – 43 с. – (Національний стандарт України).
- [8] 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).
- [9] Королев В. П. Прогнозирование и повышение долговечности стальных конструкций в коррозионных средах промышленных предприятий : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Владимир Петрович Королев. – Макеевка, 1984. – 226 с.
- [10] Защита строительных конструкций от коррозии : СНиП 2.03.11-85. – Офиц. изд. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с. – (Строительные нормы и правила).
- [11] Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии : СНиП 3.04.03-86. – Офиц. изд. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 32 с. – (Строительные нормы и правила).
- [12] Основні вимоги до проектної та робочої документації : ДСТУ Б А.2.4-4:2009. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 57 с. – (Система проектної документації для будівництва. Національний стандарт України).

*Надійшла до редколегії 14.04.2013 р.*