

УДК 624.014:620.193

## **Диагностика коррозионного состояния и методы расчетно-экспериментальной оценки показателей ремонтпригодности сталежелезобетонных конструкций**

**Селютин Ю.В., Бондаренко А.В.**

Донбасский центр технологической безопасности  
ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского», Украина

**Анотація.** Наведені результати досліджень засобів і методів первинного та вторинного захисту сталежелезобетонних конструкцій для об'єктів у середньо- та сильноагресивних середовищах. Проведена систематизація параметрів корозійного стану бетонних, залізобетонних і сталевих конструкцій за нормованими ознаками граничних станів для порівняльної оцінки показників корозійної стійкості, довговічності та ремонтпридатності.

**Анотация.** Представлены результаты исследований средств и методов первичной и вторичной защиты сталежелезобетонных конструкций для объектов в средне- и сильноагрессивных средах. Проведена систематизация параметров коррозионного состояния бетонных, железобетонных и стальных конструкций по нормированным признакам предельных состояний для сравнительной оценки показателей коррозионной стойкости, долговечности и ремонтпригодности.

**Abstract.** The paper presents the results of researches of means and methods of primary and secondary protection of composite steel and concrete structures located in the environments of medium and high corrosiveness degrees. Systematization of parameters of concrete, reinforced-concrete and steel structure corrosion conditions is carried out by limiting state normalized attributes for comparative estimation of corrosion resistance indices, durability and maintainability.

**Ключевые слова:** сталежелезобетонные конструкции, первичная и вторичная защита от коррозии, ускоренные коррозионные испытания, коррозионная стойкость, долговечность, ремонтпригодность.

**Введение. Постановка проблемы.** Обеспечение надежности строительных конструкций на современном этапе связано с совершенствованием принципов формообразования, включающих использование материалов с заданными свойствами. Среди таких конструкций наибольшее распространение имеют композиционные материалы. За последнее десятилетие в строительной индустрии наметились тенденции к увеличению объемов использования сталежелезобетонных конструкций (СЖБК), которые находят широкое применение в промышленном, транспортном и гражданском строительстве. Формообразование сталежелезобетонных конструкций предполагает рациональное расположение в сечении элементов несущих конструкций полосовой, листовой арматуры, двутавровых балок, арматуры периодического профиля, благодаря чему достигается снижение

массы, уменьшение размеров сечения либо экономия металла при одинаковой высоте, по сравнению с железобетонными конструкциями. Вместе с этим, преимущества конструктивных решений сталежелезобетонных конструкций не обеспечивают существенного повышения долговечности, увеличения ресурса работы в условиях агрессивных сред. Сложность процессов коррозионного разрушения стальных и железобетонных конструкций требует комплексного подхода к разработке средств и методов первичной и вторичной защиты сталежелезобетонных конструкций.

**Цель работы.** Обоснование методики диагностики коррозионного состояния сталежелезобетонных конструкций с учетом показателей ремонтпригодности в условиях воздействий агрессивных сред.

**Основная часть.** За последние годы проблеме долговечности конструкций и сооружений из бетона и железобетона уделяется всё большее внимание. Огромные масштабы применения этих строительных материалов и ограничение сроков службы в различных средах обусловили нарастающие объёмы работ по ремонту и восстановлению конструкций из железобетона. Если учесть их малую ремонтпригодность, возникает необходимость гарантировать требуемые сроки службы железобетона при проектировании и возведении зданий и сооружений.

В системе международной организации CIB-RILEM разработана и действует система проектирования зданий и сооружений с учетом требуемой долговечности и условий эксплуатации. Одним из первых и важных моментов в этом аспекте является создание нормативного документа, определяющего проектный срок службы данного здания или сооружения, например (10 лет, 20 лет, 50 лет, 100 лет). Наличие заданного срока эксплуатации позволяет обоснованно выбирать материалы, изделия, назначать первичную или вторичную защиту, сроки межремонтного периода для выполнения мер по техническому обслуживанию и предупреждению аварийных ситуаций. При отсутствии контроля за эксплуатационными характеристиками конструкций в агрессивных средах происходит исчерпание несущей способности в результате развития коррозионных повреждений (рис. 1).

Задача прогноза и расчета сталежелезобетонных конструкций на заданный срок службы может быть решена только на основании исследования сложных процессов, протекающих между материалом конструкции и окружающей средой.

Достижение необходимой долговечности конструкциям зданий и сооружений не менее важная задача, чем обеспечение конструктивной прочности. Последствия неправильной оценки воздействия внешней среды могут выявиться после достаточно длительного срока эксплуатации конструкции. Исследование совместного действия агрессивных сред и силовых

факторов проводятся, как правило, в составе краткосрочных программ при лабораторных и стендовых испытаниях. Широкие возможности для диагностики и мониторинга коррозионных повреждений представляют информационно-аналитические системы баз данных, позволяющие выполнять регистрационную оценку процессов накопления дефектов и повреждений конструкций производственных объектов.



Рис. 1. Обрушение силосов при потере устойчивости положения. Дефекты бетонирования и коррозионные поражения арматуры

Качество и долговечность зданий и сооружений могут быть обеспечены за счет новых технологий изготовления коррозионно-стойких конструкций. Создание таких конструкций охватывает несколько важнейших научных направлений:

- исследование стойкости арматуры, бетона стальных связей и железобетона на новых вяжущих, заполнителях с использованием отходов производства;
- разработка мер обеспечения долговечности железобетонных конструкций при одновременном воздействии агрессивной среды и нагрузки.

Коррозионная стойкость строительного материала устанавливает относительную способность строительного изделия или конструкции в течение определенного срока сопротивляться воздействию агрессивной среды. Нормативными положениями СТ СЭВ 4419-83 коррозия бетона определена как процесс ухудшения характеристик и свойств бетона в результате вымывания (выщелачивания) из него растворимых составных частей (коррозия первого вида); образования продуктов коррозии, не обладающих вяжущими свойствами (коррозия второго вида), и накопления малорастворимых кристаллизующихся солей, увеличивающих объем его твердой фазы (коррозия третьего вида). Коррозия железобетона соответственно включает разрушение материалов в результате коррозии бетона и (или) арматуры. Таким образом, коррозионная стойкость СЖБК характе-

ризуется относительной способностью конструктивных элементов внешнего армирования, бетона и (или) арматуры.

Повышение долговечности СЖБК в агрессивных средах достигается за счет средств и методов, уменьшающих или предотвращающих коррозию строительных материалов и элементов конструкций. Первичная защита связана с выбором материалов, изменением состава или структуры строительных материалов до изготовления или в процессе изготовления конструкции. Вторичная защита предполагает использование мер, ограничивающих или исключающих действия среды на конструкцию после изготовления.

Правильный выбор средств и методов первичной и вторичной защиты во многом зависит от выявления основных источников коррозионных воздействий, зонирования и классификации эксплуатационных сред по степени агрессивности воздействий.

Стойкость бетона к различного рода воздействиям в значительной мере определяет долговечность выполненных из него изделий и конструкций и срок их службы. Долговечность характеризует способность объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. За предельное состояние объекта принимается состояние, при котором дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого снижения эффективности либо нарушений требований безопасности, либо неустранимого ухода заданных параметров за установленные пределы, либо необходимости проведения среднего или капитального ремонта.

Рассмотрение деградационных процессов, протекающих при воздействии агрессивных сред с различной степенью интенсивности воздействий, а также необходимость расчетного определения совокупности показателей, характеризующих надежность сталежелезобетонных конструкций, определили требования комплексного подхода к моделированию показателей коррозионной стойкости и долговечности средств первичной и вторичной защиты. Последовательность этапов оценки долговечности сталежелезобетонных конструкций при техническом обслуживании конструкций по фактическому состоянию представлена на рис. 2.

Методологической основой для обоснования долговечности сталежелезобетонных конструкций при воздействиях агрессивных сред является системный анализ эксплуатационных характеристик конструкций, расчетно-экспериментальная оценка коэффициентов надежности первичной ( $\gamma_{zk}$ ,  $\gamma_{zb}$ ) и вторичной ( $\gamma_{zn}$ ) защиты по условиям, определяющим расчетные требования к предельным состояниям.

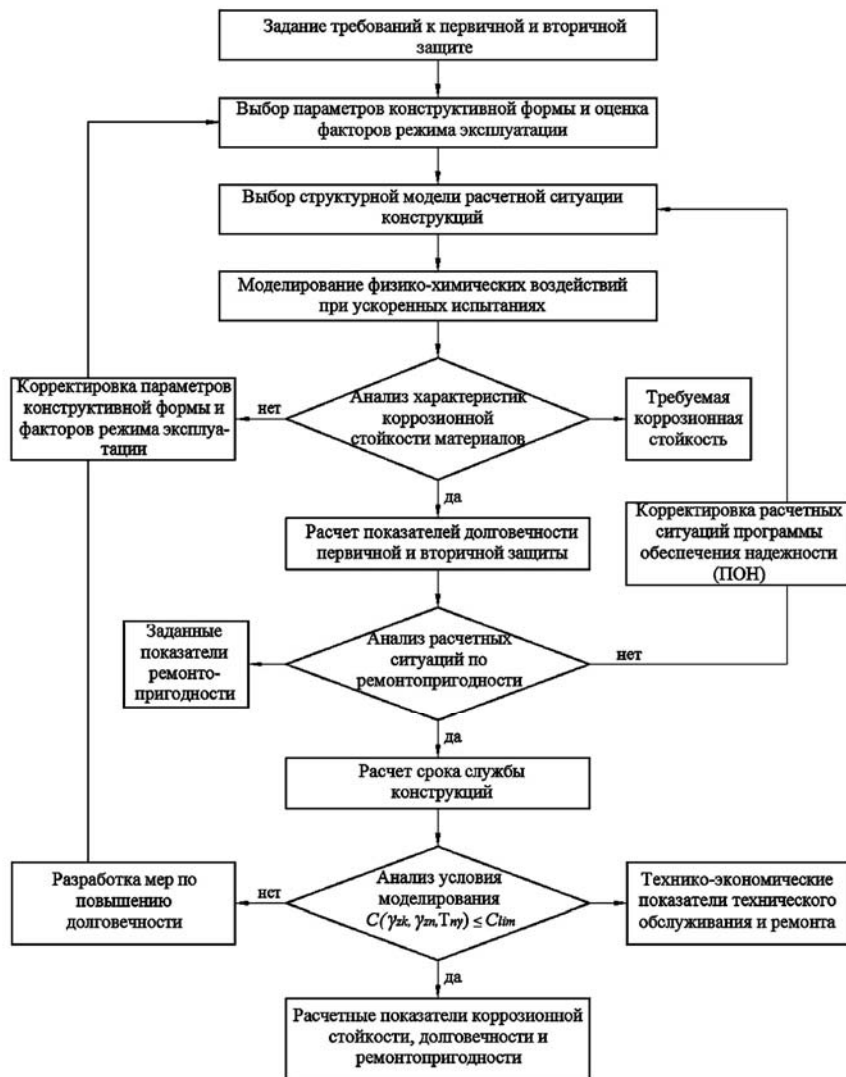


Рис. 2. Блок-схема расчетно-экспериментальной оценки долговечности сталежелезобетонных конструкций для управления эксплуатационным сроком службы

На основе анализа теоретических и экспериментальных исследований по проблеме определены задачи анализа коррозионной стойкости и защитных функций строительных материалов, предназначенных для регулирования эксплуатационных свойств по результатам ускоренных, стендовых и

натурных коррозионных испытаний при проектировании, изготовлении, а также в процессе технического обслуживания строительных объектов с заданной надежностью.

Разработанная методика определения нормативных и расчетных характеристик гарантированной долговечности основана на учете экстремальных значений наиболее невыгодных сочетаний агрессивных воздействий, данных диагностики и мониторинга признаков коррозионной опасности (рис. 3). Учет опасности коррозионного разрушения выполняется на основе критериев вероятностных методов 1-го уровня при отдельном рассмотрении нагрузок, воздействий и несущей способности конструктивных элементов.

Расчетные зависимости определения коррозионной стойкости, долговечности и ремонтпригодности сталежелезобетонных конструкций с элементами стекловолоконного армирования при степени агрессивности воздействий ( $A$ , г/м<sup>2</sup>год) имеют вид:

$$R(\gamma_{zb}, \gamma_{zk}, T_{zy}) \geq S(A); \quad (1)$$

$$\gamma_{zk} = 1 - AT_{zk}^c / mt; \quad (2)$$

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

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

где:  $R(\gamma_{zb}, \gamma_{zk}, T_{zy})$  – расчетная характеристика несущей способности конструкции с учетом мер первичной и вторичной защиты, МПа;  $S(A)$  – расчетное усилие от нагрузки и коррозионных воздействий, МПа;  $\Gamma$  – отношение резерва надежности;  $\gamma_{zb}$  – коэффициент надежности первичной защиты бетона;  $\gamma_{zk}$  – коэффициент надежности противокоррозионной защиты внешнего армирования;  $T_{zk}$  – назначенный срок службы первичной защиты внешнего армирования, год;  $c$  – коэффициент кинетики коррозионного износа в зависимости от группы коррозионной стойкости стали;  $m=7,85 \cdot 10^4$  – переводной коэффициент коррозионных потерь, (г/см<sup>3</sup>);  $\delta$  – приведенная толщина сечения элемента, см;  $F_e$  – показатель качества эксплуатации первичной и вторичной противокоррозионной защиты;  $T_z$  – нормативный срок службы защитных покрытий по данным ускоренных испытаний;  $T_{zy}$  – гарантированный срок службы вторичной защиты с доверительной вероятностью  $\gamma=0,95$ .

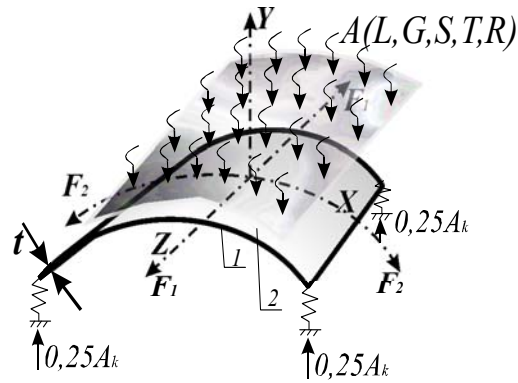


Рис. 3. Расчетная схема характеристических параметров воздействий режима эксплуатации коррозионной системы «Нагрузка-Конструкция-Среда»

На рис. 3:  $A$  – расчетное значение годовых коррозионных потерь;  $A_k$  – реакция сопротивления поверхностному разрушению однородного конструктивного элемента,  $\text{г}/\text{м}^2\text{год}$ ;  $A(L, G, S, T, R)$  – характеристические параметры воздействий, вызывающие ухудшение свойств строительного материала в конструкции;  $F_1, F_2$  – силовые факторы напряженно-деформированного состояния элемента; 1 – поверхность конструктивного элемента с признаками коррозионных разрушений первичной защиты; 2 – поверхность с признаками ограничения или исключения действия среды при вторичной защите.

При диагностике СЖБК в процессе обследований устанавливают следующие параметры, характеризующие коррозионное состояние конструкций:

- уточненная прочность бетона (нормативное сопротивление сжатию);
- проницаемость, толщина защитного слоя, однородность и сплошность, вид, степень и глубина коррозии (карбонизация, сульфатизация, проникновение хлоридов, химический состав связанных цементным камнем агрессивных веществ), ширина раскрытия и глубина трещин в бетоне;
- вид и степень коррозии арматуры;
- коррозия стальных элементов и сварных швов узловых соединений;
- фактические и ожидаемые после усиления или реконструкции нагрузки и другие эксплуатационные воздействия.

Для оценки прочности бетона используются неразрушающие методы контроля с помощью универсального измерителя прочности строительных материалов ОНИКС-2.5. Оценка эксплуатационного состояния бетона выполняется с учетом пороговых значений параметров прочностных свойств, сорбционного влагонасыщения ( $W_c=7\%$ ), показателя водной вытяжки ( $pH=11,5$ ), количества негидратированных цементных остат-

ков ( $V=20\%$ ), установлених по результатам исследований, представленных в работе [50].

Степень коррозии арматуры оценивается комплексом характеристик, включающих:

- характер коррозии (сплошная, язвенная, пятнами, тонким налетом, слоистая);
- площадь поражения поверхности (в процентах общей вскрытой поверхности);
- глубину коррозионных поражений.

Для измерения толщины стальных конструкций, подвергшихся коррозии, при одностороннем доступе использован ультразвуковой толщиномер УТ-31 МЦ.

### **Выводы**

Разработана методика регистрационной оценки уровня риска, которая предусматривает учет опасности коррозионного разрушения средств первичной и вторичной защиты стальных профилей, арматуры и бетона путем введения в основное неравенство метода предельных состояний коэффициентов надежности противокоррозионной защиты.

Сравнительная оценка коррозионной стойкости производится на основе диагностики и расчетной оценки мер первичной защиты:

- $\gamma_{zk}$  – коэффициента надежности противокоррозионной защиты стального профиля;
- $\gamma_{zs}$  – коэффициента надежности противокоррозионной защиты стальной арматуры периодического профиля;
- $\gamma_{zc}$  – коэффициента надежности противокоррозионной защиты стальной гладкой арматуры;
- $\gamma_{zb}$  – коэффициента надежности противокоррозионной защиты бетона;
- $C_{bs}$  – коэффициента надежности по прочности сцепления между арматурой и бетоном при коррозионном разрушении.

Расчетной характеристикой долговечности вторичной защиты сталежелезобетонных конструкций является коэффициент  $\gamma_{zn}$ , который устанавливает вероятностную характеристику работоспособности защитного покрытия в течение гарантированного срока службы  $T_{zy}$  противокоррозионной защиты.

*Надійшла до редколегії 09.07.2009 р.*