

ЭЛЕКТРОКОРРОЗИЯ БЕТОНА И ЗАЩИТА ОТ НЕЕ

А. А. ПЛУГИН, Ал. А. ПЛУГИН, О. С. БОРЗЯК

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г. Харьков

Убытки от коррозии в мире по данным NACE (Национальной ассоциации инженеров-коррозионистов, США, Хьюстон) превышают 2 триллиона долларов в год, из которых 10 % приходится на долю электрокоррозии. Коррозионное воздействие разности потенциалов и электрического тока и на железобетонные конструкции в большинстве условий эксплуатации не отмечается. Однако в условиях обводнения конструкций обычные средства первичной и вторичной защиты часто не предотвращают электрокоррозии, а ее действительный механизм значительно отличается от представлений, положенных в основу защиты и действующих норм. Считается, что как постоянный, так и переменный ток не оказывают коррозионного воздействия на цементный камень и бетон, а причиной электрокоррозии железобетона является электрокоррозия арматуры в анодных участках, продукты которой, увеличиваясь в объеме в 2–2,5 раза, создают давление, приводящее к образованию в защитном слое бетона трещин и его отслоению. Наряду с этим некоторые исследователи отмечают в приарматурной зоне выщелачивание гидроксида кальция, фазовые превращения продуктов гидратации (в катодных зонах), не зависящую от коррозии арматуры деструкцию цементного камня, приводящие к снижению прочности бетона и ослаблению его сцепления с арматурой.

В результате проведенных исследований установлено, что износ зданий и сооружений на электрифицированных постоянным током участках железных дорог значительно выше, чем на электрифицированных переменным током или неэлектрифицированных участках. В обводненных, даже неармированных (бетонных, каменных) конструкциях сооружений и зданий (мостовых опорах, обделке водопропускных труб и тоннелей, фундаментах) на таких участках отмечаются повреждения цементного камня, раствора, бетона в виде выщелачивания, растрескивания. В результате натурных исследований установлено, что синхронно с прохождением поездов с электрической тягой постоянного тока на рельсах, поверхности грунта и конструкциях зданий и сооружений, расположенных вблизи пути, возникает пульсирующий однонаправленный электрический потенциал (ПОЭП). Его величина на конструкциях, а также степень их повреждения зависят от величины потенциала на рельсах, расстояния до них, состояния верхнего строения пути, грунта и покрытия на нем, их обводненности, наличия подвалов и заземлений.

В результате экспериментальных исследований установлено, что длительное воздействие на обводненный бетон ПОЭП вызывает в нем электрический ток, изменяющийся во времени. Сначала ток максимален, при 40 В, достигая 100 мА/дм², затем с каждым импульсом уменьшается, снижаясь через 1500 ч до 5 мА/дм², близких для различных напряжений. При снятии внешнего поля в бетоне остается вызванное поляризацией напряжение около 2,5 В, также постепенно уменьшающееся. Образцы бетона традиционного состава с различными прочностью и В/Ц, находившиеся в проточной воде и подвергнутые воздействию ПОЭП, характеризовались существенной потерей прочности и массы, увеличением пористости и безнапорной водопроницаемости. Потеря прочности и массы бетона разработанного в УкрГАЗТ оптимального состава (с оптимальными значениями коэффициентов раздвижки заполнителей $\alpha_{\text{опт}}$ и $\mu_{\text{опт}}$ и $V_{\text{Ц}_{\text{опт}}}$) не отмечалась. Потеря прочности и массы всеми образцами, находившимися в воде без электрического поля, не отмечалась.

Экспериментально установлено, что в результате длительного воздействия на бетон ПОЭП происходит растворение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и его вынос из бетона. Количество вынесенного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ за 90 сут воздействия при 40 В составило 52 % от его исходного количества. Скорость выноса $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при 15 В приблизительно в 2,5 раза, а при 5 В – в 7 раз меньше, чем при 40 В. Выведено теоретическое уравнение зависимости количества вынесенного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (по величине вынесенного заряда) от напряжения и времени воздействия, согласующееся с экспериментальными данными. Вынос $\text{Ca}(\text{OH})_2$ обуславливает снижение прочности и массы, увеличение пористости и безнапорной водопроницаемости бетона, а также потерю им защитных свойств относительно арматуры, ее коррозии и образованию трещин в защитном слое.

Дано описание механизма растворения и выноса $\text{Ca}(\text{OH})_2$ под воздействием ПОЭП. Такое поле вызывает одновременное растворение сразу всех блоков портландита в цементном камне, так что общая продолжительность их растворения соответствует времени растворения одного блока. При каждом импульсе поля происходит вынос потенциалопределяющих ионов Ca^{2+} в сторону отрицательного полюса и далее из конструкции. Получено уравнение стационарного потока ионов Ca^{2+} , обусловленного равнодействующей электромиграционной силы, выталкивающей их с ребер блоков кристаллов, и силы вязкостного трения адсорбционного слоя воды на поверхности граней блоков, из которого получены уравнения скорости переноса $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и продолжительности растворения портландита. Физико-химические исследования (рН-метрия, рентгенофазовый анализ, инфракрасная спектроскопия, световая и сканирующая электронная микроскопия) бетонов различного состава, подвергнутых воздействию исследуемого поля, подтвердили корректность представленного механизма электрокоррозии

бетона, а также электрокоррозионную стойкость бетона оптимального состава.

Разработаны комплексные способы защиты от электрокоррозии бетонных, железобетонных и каменных конструкций, в т. ч.: с помощью металлоинъекционной рубашки с поляризованным заземлением; с помощью сталебетонной обоймы, погруженной в дно водотока на глубину, при которой плотность тока, стекающего через нее в грунт, намного менее опасной величины $0,6 \text{ мА/дм}^2$; с помощью железобетонной рубашки из бетона оптимального состава. Комплексные способы защиты от электрокоррозии внедрены при капитальном ремонте сооружений Южной железной дороги.

УДК 624.046.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

С. А. САЗОН

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Республика Беларусь

Безопасность – это вероятность того, что в любой произвольный момент времени в течение срока эксплуатации состояния конструкции принадлежат к системе допустимых состояний. Исходя из этого и строится концепция надежности [2].

Вероятностная трактовка понятий надежности строительных конструкций является в настоящее время общепризнанной, однако на объяснение некоторых аспектов использования вероятностных моделей обращается недостаточное внимание, что затрудняет их осознанное использование в практике инженерных расчетов [1].

Система качества изделий из сборного железобетона, которые производятся на заводах, применяемая на предприятиях стройиндустрии и установленная в соответствии с ГОСТ 13015, предполагает контроль единичных показателей качества без увязки с принятой концепцией надежности при проектировании. Необходимость выполнения сертификационных испытаний, установленная рядом нормативно-правовых актов, предполагает испытание изделий нагружением. Такой подход, с одной стороны, не позволяет достаточно обоснованно характеризовать генеральную совокупность производимых изделий по результатам испытаний единичных образцов, а с другой стороны, является экономически затратным. Это утверждение вытекает из того, что контрольные коэффициенты, используемые для анализа результатов статических испытаний, назначены без учета изменчивости основных переменных (характеристики свойств материалов, геометрических размеров конструкции), свойственных для одного производства. Это приводит к тому, что при трактовке результатов могут быть не выявлены дефекты конструкции, сделаны ошибочные выводы или, наоборот, не выявлены избыточные запасы прочности.

Вероятностный подход обусловлен тем, что прочностные, деформационные характеристики конструкций, а также все воздействия на них представляют собой случайные величины или случайные процессы.

Вероятностные методы можно использовать при условии, что определены все базисные переменные (F_{sd} – нормально распределенные переменные для предела текучести арматуры; F_{cd} – нормально распределенные переменные для прочности бетона; H_d – нормально распределенные переменные для рабочей высоты сечения).

Тем не менее, на сегодняшний день вероятностные методы расчета надежности первого и второго уровня используются именно для установления так называемых частных коэффициентов безопасности, которые используются в детерминистических методах.

Если оценивать текущее состояние, то представляется целесообразным оперировать некоторой функцией состояния. Это функция ряда базисных переменных, которая определяет наступление или ненаступление того неблагоприятного состояния, которое мы ожидаем. Интегрируя эту функцию, мы определяем вероятность отказа для заданных значений базисных переменных. Тем не менее, этот метод, который базируется на вероятностных статистических оценках.

Функция прочности конструкции в общем виде представляется, как

$$R = g(f_s, f_c, h) = f_s A_s h \left(1 - k_2 \frac{f_s A_s}{\omega_c \alpha f_c b h} \right), \quad (1)$$

где f_s – предел текучести арматуры; f_c – прочность бетона; h – высота сечения образца;

При условии, что несущая способность конструкции имеет нормальное распределение, нижняя квантиль при заданном уровне надежности рассчитывается по зависимости

*Работа выполняется под руководством Тура В. В., д. т. н., профессора БрГТУ