

только ионный, но и озоновый слой обладает электрическими свойствами за счет поляризации дипольных молекул озона O_3 . Электрополе этих слоев находится во взаимосвязи с электрополем Земли. Ранее нами показано возникновение гигантских избыточных зарядов на границе суши с большими водотоками (реками), морями и океанами, которые являются основной движущей силой гигантских

катастроф на Земле. В результате на поверхности Земли возникают локальные зоны с избыточными как отрицательными, так и положительными электрическими зарядами.

Дается обоснование, что эти избыточные заряды способствуют внезапному разрушению и namного усиливают электрокоррозию строительных конструкций зданий и сооружений.

УДК 691.32

*А.А. Плугин, О.С. Борзяк, А.А. Плугин
O.A. Plugin, O.S. Borziak, A.A. Plugin*

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БЕТОН: ЭЛЕКТРОКОРРОЗИЯ БЕТОНА И ЗАЩИТА ОТ НЕЕ

ELECTRICAL EFFECTS ON CONCRETE: ELECTROCORROSION OF CONCRETE AND GALVANIC PROTECTION FROM IT

Бетон и железобетон с конца XIX–начала XX в. по настоящее время являются основными конструкционными материалами. Не ожидаются радикальные перемены и в обозримом будущем. Более того, в связи с совершенствованием свойств бетона, появлением его новых видов – самоуплотняющегося, высокофункционального, реакционно-порошкового, его область применения продолжает расширяться. Так, несущие конструкции всех небоскребов 1920–70-х гг., включая знаменитые Chrysler Building, Empire State Building, World Trade Center, Sears Tower, – металлические. Современные рекордные небоскребы Азии, такие как Петронас, Бурдж-Халифа, возведены уже из железобетона. Практически синхронно с началом и расширением применения бетона происходила электрификация всех сфер деятельности человечества. Электричество стало обеспечивать быт, работу промышленных предприятий, стройки, движение транспорта. При этом часть тока, теряясь, начала протекать через строительные конструкции, здания,

сооружения. В конструкциях, через которые протекал такой ток, особенно металлических, начали отмечать повреждения. Ухудшение свойств материала под воздействием электрического тока назвали электрокоррозией, относя ее преимущественно к металлическим конструкциям. Несколько позднее, заметив способность электрического тока ускорять твердение, его начали целенаправленно использовать при изготовлении конструкций, воздействуя им на твердеющий бетон.

Таким образом, электрический ток может оказывать на бетонную смесь и бетон как деструктивное, так и конструктивное воздействие. Однако бетонная смесь и бетон являются сложными полидисперсными системами, между фазами которых имеются развитые границы раздела, определяющие свойства бетона и процессы его твердения и разрушения. Хотя о воздействии электрического тока на бетонную смесь и бетон уже накоплены определенные

данные, в основном экспериментальные, написаны статьи и книги, это воздействие остается недостаточно изученным.

Такие исследования активно проводятся в последние годы: воздействия электрического тока на бетон с разработкой мер по защите от электрокоррозии – в Украинской государственной академии железнодорожного транспорта на кафедре строительных материалов, конструкций и сооружений; воздействия электрического тока на бетонную смесь с целью интенсификации твердения бетона – в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры на кафедре технологий строительных материалов и изделий.

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 натуральных 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/дм^2 , затем с каждым импульсом уменьшается, снижаясь через 1500 ч до 5 мА/дм^2 , 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 V/C , 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 $V/C_{\text{опт}}$) 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 $Ca(OH)_2$ и его вынос из бетона. Количество вынесенного $Ca(OH)_2$ за 90 сут воздействия при 40 В составило 52 % от его исходного количества. Скорость выноса $Ca(OH)_2$ 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 $Ca(OH)_2$ (по величине вынесенного заряда) от напряжения и времени воздействия, согласующееся с экспериментальными данными. Вынос $Ca(OH)_2$ обуславливает снижение прочности и массы, увеличение пористости и безнапорной водопроницаемости бетона, а также потерю им защитных свойств относительно арматуры, ее коррозию и образование трещин в защитном слое.

Дано описание механизма растворения и выноса $Ca(OH)_2$ 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 $Ca(OH)_2$ 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 меньше 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.