

УДК 621.37:543.42

ЭКСПРЕССНЫЙ МОНИТОРИНГ КОРРОЗИИ МАТЕРИАЛА
БЕТОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

М.В. БЕЛЬКОВ, В.С. БУРАКОВ, В.В. КИРИС, С.Н. РАЙКОВ,
*А.П.ЛУЩИК, **В.Ю.ГУРИНОВИЧ

ГНУ «ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. Б.И.Степанова НАН Беларуси»

*НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций
МЧС Республики Беларусь

**УО «БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Минск, Беларусь

Коррозия бетона практически во всех случаях начинается с коррозии цементного камня, стойкость которого в целом значительно меньше, чем заполнителей. Коррозия, поражающая бетон, классифицируется следующим образом: (а) растворение и вымывание (выщелачивание) гидроксида кальция а затем гидросиликатов и гидроалюминатов из цементного камня водой; (б) образование растворимых или нерастворимых соединений при взаимодействии $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и других составляющих цементного камня с веществами окружающей среды, но не образующих упрочняющих структурных элементов; (в) образование в цементном камне (под влиянием проникающих в него веществ) твердофазных соединений, объем которых превышает объем основных частей камня, что приводит к деструкции бетона. Динамика коррозии зависит от воздействия внешних агрессивных факторов, так, к наиболее значимым относится карбонизация бетона. Также одной из основных причин имевших место на практике аварийных разрушений является локальная хлоридная коррозия. Ещё один агрессивный реагент – соединения серы, особенно в условиях повышенной влажности. Коррозию могут вызвать нитраты, фториды, роданиды и др. При этом локальная деструкция и/или разрыхление бетона приводит к ускоренной коррозии арматуры а, как следствие, повышение нагруженности бетона приводит к ускорению его коррозии и т.д.

Текущее обследование железобетонного сооружения заключается, главным образом, в определении механических дефектов *in situ* и прочностных характеристик при заборе кернов материала. Вне поля зрения остается такая важнейшая характеристика, как трансформация химсостава бетона, которая до определенного (порогового) уровня может не влиять на прочностные характеристики материала и конструкции в целом и даже способствовать псевдоуплотнению бетона. После превышения порогового уровня концентрации агрессивных компонентов в цементном камне наступают необратимые последствия (разрыхление, образование трещин, рас-

слоение, разрушение), при этом процессы деструкции могут протекать достаточно быстро (лавинообразно), минуя отдельные этапы.

Определение химсостава строительных материалов может осуществляться химическими методами с механическим отбором пробы и последующей пробоподготовкой, связанной с полным растворением анализируемого материала. Так, экспертиза цементов, клинкера, сырьевых смесей, минеральных добавок в соответствии с ГОСТ 5382-91 или СТБ ЕН 196-2-2007 требует значительных временных, трудовых и материальных затрат. Химические методы могут быть реализованы только в специальной лаборатории с качественной вентиляционной системой, электропитанием и водоснабжением, укомплектованной всем необходимым оборудованием и расходными материалами, в том числе при анализе цементных материалов – сверхагрессивными, горючими (взрывоопасными) и ядовитыми. Химический анализ готового цементного камня (эксплуатируемых бетонных конструкций) еще более усложнен.

Предложен и апробирован комбинированный лазерно-электроискровой спектральный метод экспрессного определения хлора, серы и углерода в материалах на основе цемента. Возбуждение спектров и существенное повышение их интенсивности проведено при наложении на лазерный абляционный факел импульсного электрического разряда.

Основные технические параметры спектрометра следующие: длина волны генерации лазера – 1064 нм, энергия в импульсе – 0,19 Дж, стабильность энергии – $\pm 3\%$, длительность импульсов – 7-8 нс, расходимость пучка < 0,8 мрад. Излучение лазера фокусировалось линзой ($f=50$ мм) на поверхность анализируемого образца. Над мишенью на расстоянии 1 мм располагались электроды из вольфрама диаметром сечения 0.8 мм. Иницируемый лазером плазменный факел замыкал электродный промежуток, что приводило к разряду низкоиндуктивного конденсатора емкостью 1 мкф, заряженного до 2,5 кВ. В оптической схеме использовался светосильный (относительное отверстие – 1:4,9, фокусное расстояние – 380 мм) полихроматор с дифракционной решеткой – 600 штр/мм, что обеспечивает обратную линейную дисперсию – 4,3 нм/мм и одновременную регистрацию спектрального интервала – 120 нм. Полихроматор оснащен ПЗС линейкой, имеющей 2048 светочувствительных пикселей и 12-ти разрядным аналого-цифровым преобразователем; область спектральной чувствительности линейки (по уровню 0,1) – 200-1060 нм.

Разработанный метод лазерного спектрального анализа бетонных конструкций апробирован при экспертизе железобетонных материалов двух объектов обрушения (водонапорные башни, Минский район), а также для контроля изменения компонентного состава материала бетона двух аварийных объектов (плавательный бассейн в гимназии, г. Минск; хранилище удобрений и химикатов, Смолевичский район).