

В глубине бетона уровень влажности был выше, чем в наружном слое. Можно предположить, что такое различие будет возрастать с дальнейшим углублением в тело бетона. Поэтому процесс массопередачи при испарении, адсорбции и десорбции, водонасыщении капилляров и пор будет происходить преимущественно в поверхностном слое (до 5 см) при сравнительно коротких сменах влажностного режима (для насыщения парами – до 8 суток, а при водонасыщении – до 3 суток). Это подтверждается изучением кинетики адсорбции и десорбции паров воды как бетонами, так и растворами.

В большинстве изученных образцов полное водонасыщение достигается через трое суток. Сравнение показателей  $R_s$  водонасыщенного состояния для всех образцов со значениями начальных  $R_s$  (когда происходил переход смесей из суспензий в гелеобразное состояние) позволило судить о влиянии скорости испарения на завершенность процессов гидратации и образования кристаллической структуры в растворах и бетонах на цементной основе. Чем больше разность  $R_s^b - R_s^h$  (водонасыщенного и начального), тем глубже прошел процесс гидратации и выше закристаллизованность цементного камня.

Рассмотренные физико-химические процессы будут происходить с достаточно высокой скоростью в поверхностных слоях бетонов и растворов толщиной до 3 см, а по мере углубления скорость будет снижаться.

Проведенные эксперименты показали, что в начальный период времени скорость испарения поровой влаги из поверхностных слоев бетона выше, чем в глубине. При смене влажности адсорбция бетонами влаги протекает медленней, чем десорбция; испарение поровой влаги влияет на полноту гидратации цемента и прочность бетона; смена влажности и дождевые осадки вызывают периодическое изменение влажностного состояния бетона и нарушение диффузионных процессов в поровой структуре, что приводит к неподчинению законам диффузии в газовых средах.

УДК 624.012.45

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*А. А. ВАСИЛЬЕВ, В. П. БОГДАНОВ, С. В. ДЗИРКО, О. Г. КАНАРСКАЯ*  
*Белорусский государственный университет транспорта*

Железобетонные конструкции (ЖБК) составляют основную долю конструкций капитальных зданий и сооружений, поэтому от их состояния зависят эксплуатационная надежность и долговечность большинства объектов народного хозяйства.

В процессе эксплуатации ЖБК подвержены воздействию различных сред, которые оказывают определенное влияние на их долговечность. Все ЖБК, эксплуатирующиеся в воздушной среде, подвержены влиянию находящихся в ней кислотных газов. Поскольку концентрация углекислого газа в воздухе в  $10-10^4$  раз выше концентрации других кислотных газов, основным процессом его нейтрализации является карбонизация бетона. При карбонизации бетона изменяется содержание карбонатной составляющей, по мере накопления которой происходят структурные изменения цементного камня, приводящие к перерождению цементного камня бетона, снижению его защитных свойств по отношению к арматуре, что способствует развитию коррозии арматуры с последующим разрушением защитного слоя. Дальнейшее развитие этих процессов приводит к потере конструкцией несущей способности и возникновению аварийной ситуации.

Оценка карбонизации бетона основана на определении толщины нейтрализованного слоя бетона под воздействием фенолфталеиновой пробы. При этом считается, что бетон в неокрашенной зоне карбонизируется на всю глубину, а в окрашенной – сохраняет свои защитные свойства по отношению к арматуре. Это вытекает из существующей теории, согласно которой карбонизация происходит в тонком (порядка 1 мм) слое. Многолетние исследования ЖБК по глубине бетона, выполненные НИЛ «СКО-ИФ», показывают, что карбонизация бетона не заканчивается на определенном этапе, а продолжает-ся все время эксплуатации конструкций. При этом значение толщины слоя бетона, в которой он по-

терял защитные свойства по отношению к арматуре, определенные фенолфталеиновой пробой и физико-химическим методом, отличаются до двух раз, а коррозионные процессы различной интенсивности в арматуре присутствуют в зоне, в которой по индикаторному методу бетон сохраняет свои защитные свойства по отношению к арматуре.

На сегодняшний день основой определения состояния железобетонных конструкций на момент обследования для оценки их несущей способности является определение поверхностной прочности бетона на сжатие и визуальное определение состояния арматуры (с оценкой диаметра) на участках вскрытия бетона. При этом не учитывается состояние защитных свойств бетона по отношению к арматуре.

В связи с вышеизложенным возникла необходимость разработки методики оценки состояния ЖБК, основанной на изучении физико-химических процессов, происходящих в бетоне.

Изучение поведения ЖБК на реальных конструкциях с длительными сроками эксплуатации в различных воздушных средах методами рН- и карбометрии в сочетании с определением поверхностной прочности бетона позволило установить связь влияния протекающих в теле бетона химических процессов на прочностные и защитные свойства бетона по отношению к арматуре, выполнить с достаточной степенью точности количественную и качественную оценку состояния конструкций на момент обследования, а также – прогнозирование состояния ЖБК в зависимости от времени и условий эксплуатации.

Разработанная «Комплексная оценка состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций» состоит из следующих основных разделов:

1. Основы физико-химического анализа бетона.
2. Методика комплексной оценки состояния железобетонных конструкций.
3. Оценка состояния длительно эксплуатируемых бетонных и железобетонных конструкций.
4. Прогнозирование изменения физико-химических показателей бетона по времени.

В первом разделе предоставлены: новая трактовка механизма карбонизации, исследование распределения показателей рН и КС (данные показатели являются важнейшими характеристиками бетона: показатель рН (водородный показатель водной вытяжки цементного камня ( $pH = -\lg[H^+]$ )) определяет защитные свойства по отношению к арматуре и стабильное состояние минералов цементного камня при воздействии на него воды, углекислого газа и перепадов температур; показатель КС (карбонатная составляющая) характеризует количественное содержание карбонатов в цементно-песчаной фракции бетона в массовых процентах в исследуемой пробе) по времени и глубине, а также исследование зависимости поверхностной прочности бетона  $R$  от величины рН.

Во втором разделе приведены методики: приготовления проб; определения рН водных вытяжек цементного камня; определения содержания карбонатов; расчета КС; определения поверхностной прочности бетона на сжатие; определения предельной величины карбонизации (ПВК), показывающей содержание карбонатов в бетоне в массовых процентах, при условии, что весь СаО цемента полностью перейдет в СаСО<sub>3</sub>; определения степени карбонизации (СК), характеризующей в процентном отношении количество гидроксида кальция и гидратированных клинкерных материалов, перешедших в карбонаты на разной глубине бетона.

В третьем разделе разработаны критерии состояния ЖБК по физико-химическим показателям бетона.

В четвертом разделе выполнено прогнозирование изменения показателей рН и КС по времени в зависимости от условий эксплуатации, а также прогнозирование изменения поверхностной прочности бетона в зависимости от изменения показателя рН и в зависимости от времени.

Данная методика комплексной оценки состояния конструкций предназначена для решения практических задач, возникающих при обследовании зданий и сооружений, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях, с целью получения наиболее полной оценки технического состояния бетонных, железобетонных конструкций, принятия объективного решения о возможности дальнейшей эксплуатации здания или сооружения, выбора наиболее приемлемых методов и способов усиления конструкций, выяснения причин аварий, прогнозирования дальнейших сроков службы конструкций.