

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 725.74

А. А. ВАСИЛЬЕВ, научный сотрудник; С. В. ДЗИРКО, младший научный сотрудник; О. Г. КАНАРСКАЯ, инженер; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

На примере обследования монолитной железобетонной конструкции чаши плавательного бассейна выполнено сравнение качественной и количественной оценок состояния бетона и арматуры фенолфталеиновой пробой и методами pH - и карбометрии.

Конструкции из железобетона состоят из двух термодинамически неустойчивых материалов: стальной арматуры и цементного камня. Поэтому воздействие атмосферы в зависимости от условий эксплуатации приводит к постепенному снижению избытка свободной энергии за счет образования новых веществ. Железо окисляется до окисла (ржавчины), а цементный камень – чаще всего в гидроксид кальция ($Ca(OH)_2$), а затем в карбонаты или другие соединения в зависимости от условий эксплуатации.

Углекислый газ вызывает нейтрализацию защитного слоя бетона, что сопровождается изменением показателя pH поровой влаги и состава цементного камня за счет образования карбонатов, в результате чего уменьшается щелочность и происходит снижение защитных свойств бетона по отношению к арматуре [1, 2].

При оценке состояния бетонных и железобетонных конструкций необходимым условием является определение прочности бетона на сжатие и армирования. Однако в связи с различными нюансами (отсутствием доступа, неудовлетворительным состоянием поверхности бетона и др.) оценить прочность бетона приборами неразрушающего контроля и состояние арматуры не всегда представляется возможным. В таких случаях единственной возможностью качественной и количественной оценки конструкций является применение химических либо физико-химических методов.

Для оценки состояния бетона в основном применяют фенолфталеиновую пробу [1]. При этом о скорости нейтрализации судят по толщине нейтрализованного (неокрашенного) слоя. Считается, что бетон, окрашенный в малиновый цвет, находится в удовлетворительном состоянии и сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре.

При обследовании чаши плавательного бассейна ДЮСШ № 3 (эксплуатирующейся более 25 лет) в связи с неудовлетворительным состоянием бето-

на большинства стенок и отсутствием доступа к днищу практически невозможно было достоверно определить поверхностную прочность бетона и оценить визуально состояние арматуры днища.

Для сравнительной количественной и качественной оценки конструкций чаши плавательного бассейна было выполнено определение состояния бетона фенолфталеиновой пробой и методами pH - и карбометрии.

При оценке состояния фенолфталеиновой пробой:

- отбирались сколы бетона стенок чаши бассейна;
- на срезы бетона наносился 0,1 %-ный раствор фенолфталеина.

Толщина нейтрализованного слоя бетона чаши бассейна составила 18–25 мм.

Оценка состояния бетона при помощи методов pH - и карбометрии выполнялась в такой последовательности:

- при помощи перфоратора подбирались пробы бетона по глубине конструкции;
- определялся водородный показатель поровой влаги (pH) и карбонатной составляющей (КС).

Показатель pH определялся по методике [3], показатель КС – объемно-газовым методом [4].

Зависимость изменения pH по глубине стенок чаши бассейна приведена на рисунке 1.

Ранее в работе [5] было определено граничное значение $pH \approx 10$, при котором происходит окрашивание бетона в малиновый цвет при воздействии фенолфталеина. Данная граница на рисунке 1 обозначена пунктирной линией «А».

При анализе полученного графика (см. рисунок 1, линия «А») видно, что бетон стенок чаши, находящихся визуально в удовлетворительном состоянии, карбонизировался на глубину ≈ 15 мм, стенок, находящихся в неудовлетворительном состоянии, – на 25 мм. Таким образом, бетон глубже 25 мм находится в удовлетворительном состоянии (по фенолфталеиновой пробе).

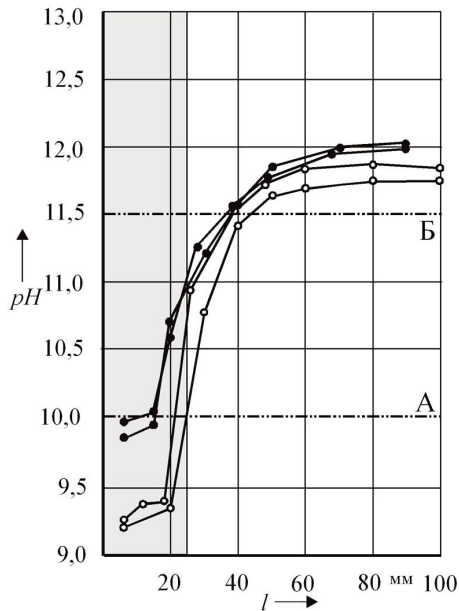


Рисунок 1 – Зависимость $pH-l$

- – участки стенок в неудовлетворительном состоянии;
- – участки стенок визуально в удовлетворительном состоянии;
- – глубина карбонизированного бетона по фенолфталеиновой пробе

В соответствии с [6] бетон теряет свои защитные свойства по отношению к арматуре при $pH < 11,5$. Данная граница на рисунке 1 обозначена пунктирной линией «Б».

Из анализа графика (см. рисунок 1) видно, что бетон стенок чаши, находящихся в неудовлетворительном состоянии, потерял свои защитные свойства на глубину ≈ 45 мм, бетон стенок, находящихся визуально в удовлетворительном состоянии, – на 38 мм.

Полученные данные подтверждены результатами визуального обследования. При вскрытии бетона выявлена арматура, поврежденная коррозией (в том числе и пластинчатой) на глубине 25–30 мм.

Сравнение приведенных результатов показывает, что толщина бетона, подвергшегося карбонизации и потерявшего свои защитные свойства по отношению к арматуре, определенная методами pH - и карбометрии, практически в 2 раза больше глубины карбонизации, определенной фенолфталеиновой пробой.

Основным фактором, определяющим снижение pH водных вытяжек цементного камня, является увеличение содержания $CaCO_3$.

Распределение карбонатной составляющей по глубине стенок обследованной конструкции представлено на рисунке 2.

Приведенные зависимости указывают на практически линейное снижение карбонатной составляющей до глубины ≈ 60 мм и постоянное содержание $CaCO_3$ в более глубоких слоях.

Полученные зависимости позволили определить процент гидроокиси кальция и гидратированных клинкерных материалов, перешедших в карбонаты на различной глубине конструкции по предельной величине карбонизации (ПВК), пока-

зывающей содержание карбонатов в бетоне в массовых процентах, когда весь CaO цемента полностью перейдет в $CaCO_3$. Так, для обследованной конструкции ПВК $\approx 24\%$ (см. рисунок 2). В соответствии с выполненным расчетом степень карбонизации на глубине 20 мм составила 63 %, на глубине 40 мм – 33 %, на глубине 60 мм – 17 %.

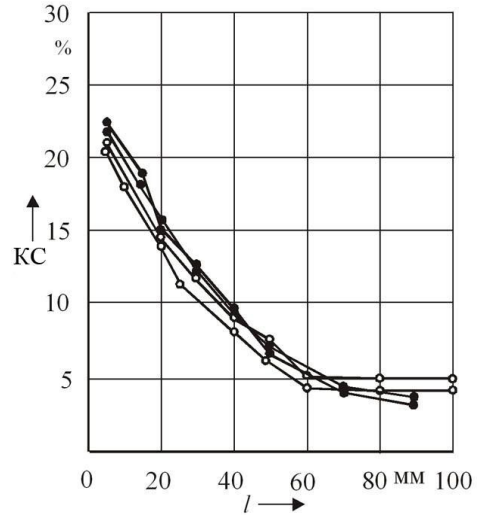


Рисунок 2 – Зависимость $КС-l$

- – участки стенок в визуально удовлетворительном состоянии
- – участки стенок в неудовлетворительном состоянии

На основании графиков (см. рисунок 2) определено изначальное содержание цемента в бетоне, позволяющее с достаточной степенью точности определить класс (марку) бетона по прочности на момент изготовления, которое составило $\Pi = 388 \text{ кг/м}^3$.

С учетом зависимости распределения показателя поровой влаги по глубине $pH-l$ [7] построен график, отражающий изменение средней прочности бетона на сжатие по глубине стенок бассейна (рисунок 3).

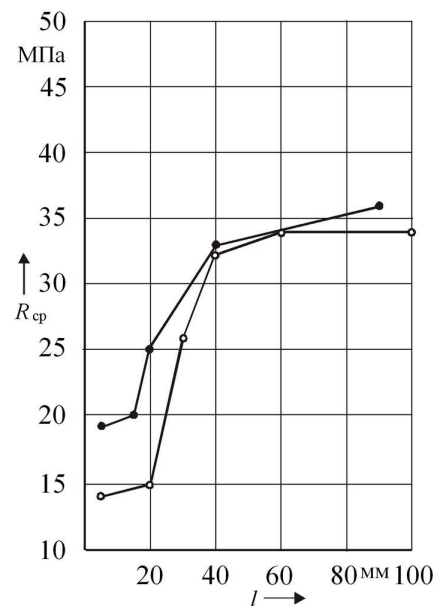


Рисунок 3 – Зависимость $R_{cp} - l$

- – участки стенок в неудовлетворительном состоянии;
- – участки стенок в визуально удовлетворительном состоянии

Изменение прочности бетона на сжатие по глубине, в целом, носит линейный характер и составляет (в среднем): от 14 МПа на поверхности до 34 МПа на глубине 100 мм стенок чаши, находящихся в неудовлетворительном состоянии, и от 19 МПа на поверхности до 36 МПа на глубине 90 мм стенок чаши, находящихся в удовлетворительном состоянии.

Представленные результаты исследований показывают, что несмотря на относительную сложность и длительность, только методами *pH*- и карбометрии можно выполнить качественную и количественную оценку состояния бетона и арматуры с высокой степенью точности: определить водородный показатель поровой влаги бетона, карбонатную составляющую, степень карбонизации, прочность бетона на сжатие не только на поверхности, но и по глубине, изначальное содержание цемента в бетоне.

Получено 23.03.2005

A. A. Vasilyev, S. V. Dzirko, O. G. Kanarskaya. Evaluation ferroconcrete construction condition by different methods.

On the example of the monolithic ferroconcrete bath of the swimming pool examination we made comparative qualitative and quantitative evaluation of concrete and reinforcement condition by phenolphthalein test and methods of *pH*- and carbometry.

Список литературы

- 1 **Алексеев, С. Н.** Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С. Н. Алексеев, Н. К. Розенталь – М.: Стройиздат, 1978. – 205 с.
- 2 **Алексеев, С. Н.** Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев [и др.] – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.
- 3 **Курбатова, И. И.** Современные методы химического анализа строительных материалов / И. И. Курбатова. – М.: Стройиздат, 1972. – 162 с.
- 4 **Бобко, А. К.** Количественный анализ / А. К. Бобко, И. В. Пятницкий – М.: Высшая школа, 1968. – 232 с.
- 5 **Кудрявцев, И. А.** Исследование карбонизации железобетонной конструкции с длительным сроком эксплуатации / И. А. Кудрявцев, В. П. Богданов // *Материалы, технологии, инструменты.* – 2000. – Т. 5. № 3. – С. 97–100.
- 6 **Бабушкин, В. И.** Термодинамика силикатов / В. И. Бабушкин, Г. М. Матвеев, О. И. Мчедлов-Петросян. – М.: Стройиздат, 1986. – 408 с.
- 7 **Васильев, А. А.** Определение прочности бетона длительно эксплуатирующихся железобетонных конструкций методами *pH*- и карбометрии / А. А. Васильев // *Вестник БелГУТа: Наука и транспорт.* – 2004. – № 1. – С. 21–24.

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2005. № 1(10)

УДК 666.97

А. А. ВАСИЛЬЕВ, научный сотрудник; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОБ ОЦЕНКЕ КАРБОНИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Методами лабораторного анализа исследовано распределение карбонатов по глубине различных типов железобетонных конструкций. Предложено: определение предельной величины карбонизации (ПВК), показывающей содержание карбонатов в бетоне в массовых процентах, когда весь СаО цемента полностью перейдет в СаСО₃, и объясняющей различные наклоны зависимостей *KC-I*; расчет степени карбонизации (СК), показывающей процент гидроокиси кальция и гидратированных клинкерных материалов, перешедших в карбонаты на разной глубине бетона; расчет изначального содержания цемента в бетоне, позволяющий установить с достаточной степенью вероятности класс (марку) бетона по прочности на сжатие на момент изготовления конструкции.

До настоящего времени были предприняты немногочисленные попытки изучения распределения карбонатов по глубине залегания в бетоне [1–3]. Результаты исследований позволили определить степень карбонизации нейтрализованного слоя под действием фенолфталеинового индикатора, а также показать, что взаимодействие СО₂ с цементным камнем продолжается в этом слое еще длительное время. При этом нейтрализация бетона происходила при степени карбонизации 30–40 %, а в наружном слое – до 54 %. На линейный характер изменения концентрации карбонатов авторы исследования не обратили внимания.

Поэтому было интересно сопоставить результаты распределения карбонатов по глубине призм размерами 5×5×25 см, приведенные в работе [1], с результатами, которые были получены в данном исследовании на железобетонных конструкциях с различными сроками эксплуатации.

В экспериментах [1] образцы готовили с В/Ц = 0,4 и 0,5 и расходом цемента 368 и 290 кг/м³ бетона соответственно. Они хранились 6 лет в помещении с относительной влажностью 50–60 %. Отбор проб для анализов на содержание карбонатов осуществляли на глубинах 0–3; 6–9; 11–14 мм.

На железобетонных конструкциях отбор проб