

Рисунок 4 – Изменение относительной прочности бетона (R_o) в зависимости от числа циклов насыщения-высушивания ($N_{ц}$) в растворе хлорида калия

Как оказалось, может быть выстроен ряд повышения долговечности бетона: обычный бетон – сухой бетон традиционного формирования – сухой бетон с повторным виброуплотнением – сухой бетон с предварительным вакуумированием.

Получено 2.08.2004

V. V. Babitsky. Corrosion extremely dense concretes.

An investigation of concrete corrosion durability was carried out. According to the results cyclic tests of different types of concrete there were plotted anode polarization curves of steel reinforcement and made comparison of results with suggested model of concrete condition.

The author found out the dependence of concrete relative strength from the number of saturation-drying cycles in the sodium sulfate and potassium chloride solutions.

Иными словами, тенденция изменения свойств материала такая же, как и полученная при изучении коррозионной стойкости стальной арматуры. Введение же добавок, ингибирующих процесс коррозии стали, на состоянии бетона практически не сказывается.

Таким образом, установлено, что введение в технологическую цепочку изготовления бетона сухого формирования такого приема, как предварительное вакуумирование сухой бетонной смеси, позволяет получать особо плотный материал с высокой устойчивостью к коррозионным воздействиям водных растворов солей-хлоридов без дополнительных мер по защите стальной арматуры или поверхности железобетонных конструкций.

Список литературы

- 1 Васильев С.Г. Коррозия и долговечность железобетона в условиях агрессивных воздействий. – Гомель, 1998. – 699 с.
- 2 Батяновский Э.И. Особо плотный бетон сухого формирования. – Мн.: НПО «Стринко», 2002. – 224 с.
- 3 Алексеев С.Н., Бабицкий В.В., Батяновский Э.И., Дрозд А.А. Коррозионная стойкость и защитные свойства бетона сухого формирования//Бетон и железобетон. – 1987. – № 1. – С. 43–45.

УДК 691.32

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДАМИ pH- И КАРБОМЕТРИИ

С использованием метода ударного импульса для определения прочности бетона, методов pH- и карбометрии выявлена зависимость водородного показателя водной вытяжки цементного камня и прочности бетона длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Изучена возможность определения поверхностной прочности бетона, а также прочности по глубине конструкций методами pH- и карбометрии и прогнозирования изменения прочности бетона по времени в зависимости от условий эксплуатации.

Определение прочности бетона R является одной из важнейших составляющих обследования бетонных и железобетонных конструкций.

На сегодняшний день для определения R широко применяются методы неразрушающего контроля.

Работа большинства приборов и инструментов, применяемых НИЛ «Строительные конструкции, основания и фундаменты» для определения проч-

ности бетона, основана на методе ударного импульса.

Определение R методом ударного импульса достаточно удобно и при правильном выполнении всех операций характеризуется небольшой относительной погрешностью (до 10 %).

Однако определению прочности бетона методами ударного импульса присущи и недостатки:

- завышенные (заниженные) результаты;
- невозможность прослеживания изменения R по глубине конструкции.

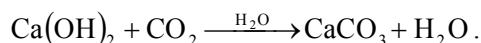
Это связано с тем, что результаты определения R зависят от многих нюансов (количества и расположения арматуры, крупного заполнителя и др.), но в первую очередь – от состояния поверхности бетона. В свою очередь, состояние поверхности бетона длительно эксплуатирующихся конструкций зависит от множества факторов, но, в конечном счете, определяется условиями эксплуатации.

Изучению воздействия различных сред в газообразном, жидком и твёрдом состояниях посвящено большое количество работ, результаты которых в наиболее общей форме обобщены [1–4].

Наиболее распространённым видом атмосферной коррозии ЖБК является их карбонизация, так как концентрация CO_2 воздуха в 10 – 100 раз выше концентрации остальных кислых газов (SO_2 , NO_2 и др.).

Таким образом, взаимодействие бетона с углекислым газом, т. е. карбонизация, является ведущим процессом его нейтрализации.

Процесс карбонизации, или коррозии II вида, можно представить в следующем виде:



Труднорастворимый карбонат кальция, образующийся в результате реакции, обладает низкой прочностью и имеет рыхлую структуру. В процессе реакции CO_2 взаимодействует со щелочными компонентами цемента, растворёнными в поровой влаге, в результате чего уменьшается щелочность и происходит снижение защитных свойств бетона по отношению к арматуре.

Такое взаимодействие сопровождается изменением показателя pH поровой влаги и состава цементного камня за счет образования карбонатов, что ведет к возможности окисления арматуры и деградации бетона.

Показатель pH (водородный показатель водной вытяжки цементного камня) является важной характеристикой бетона, определяющей его защитные свойства по отношению к арматуре и стабильное состояние минералов цементного камня при воздействии на него воды, углекислого газа и перепадов температур.

Показатель K (карбонатная составляющая) характеризует количественное содержание карбонатов в цементно-песчаной фракции бетона в массовых процентах.

Целью данной работы явилось изучение контакта различных типов ЖБК из тяжелых бетонов с атмосферой для разных сроков их эксплуатации и установления связи между содержанием карбонатов в поверхностном слое бетона (K) с водородным показателем водной вытяжки цементного камня (для краткости pH) и прочностью R .

Изучение наличия таких связей для реальных условий и длительных сроков эксплуатации пред-

ставляют значительный научный и практический интерес для оценки прочности бетона (как на поверхности, так и по глубине) конструкций на момент обследования и прогнозирования изменения прочности в процессе эксплуатации.

Объект и методы исследования. Объектами исследования служили железобетонные конструкции различных типов.

Количественную оценку состояния бетона выполняли в такой последовательности:

- определяли на месте поверхностную прочность бетона R . Для выполнения измерений использовали электронный измеритель прочности бетона ИПС-МГ4;

- вблизи замера прочности отбирали образцы для анализа pH водных вытяжек цементного камня и процентного содержания карбонатов.

В качестве образцов использовали сколы бетона толщиной не более 10–15 мм, отобранные из конструкций различного типа или порошков после перфорации бетона на разной глубине.

При определении R измерения проводили в трех местах на каждой конструкции, вычисляя средние значения. Обработку накопленных данных проводили по методу наименьших квадратов. Результаты с большими отклонениями значений R не использовали в расчетах средних значений.

Для определения pH поровой влаги и содержания карбонатов K в бетонах использовали методы, приведенные в работе [2].

Результаты экспериментов. Известно, что карбонизация бетона сопровождается снижением pH водных вытяжек цементного камня [1, 4, 7], но нет четкого представления, как эти изменения отражаются на прочностных свойствах бетона.

В течение нескольких лет накоплен большой объем результатов определения pH , R на различных типах ЖБК как с одинаковыми сроками эксплуатации, так и в зависимости от времени их эксплуатации. Для всех типов обследованных конструкций из тяжелого бетона выявлена связь между pH и R .

На рисунке 1 представлены зависимости $R - pH$ для наиболее распространенных типовых конструкций из тяжелого бетона.

Эти зависимости для разных видов конструкций близки и отличаются незначительно углами наклона.

На рисунке 2 представлены результаты изменения pH поверхностного слоя бетонов для наиболее распространенных типовых конструкций из тяжелого бетона в зависимости от длительности эксплуатации в атмосферных условиях. С возрастанием времени эксплуатации снижение pH сопровождается понижением R . Эти зависимости для разных видов конструкций близки и отличаются незначительно углами наклона, которые характеризуют скорость изменения pH и R под воздействием условий эксплуатации и многих других факторов [4].

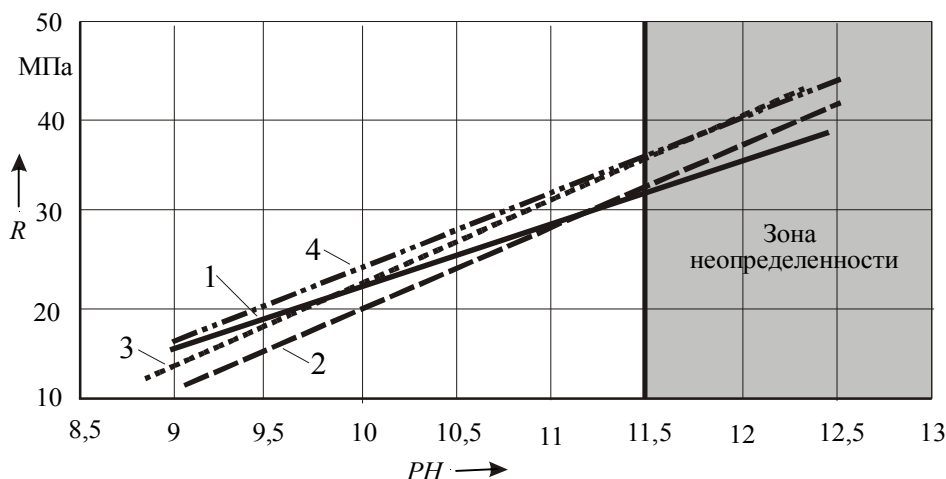


Рисунок 1 – Зависимость R – pH для атмосферных условий:
1 – колонны; 2 – ригели (прогоны); 3 – плиты ребристые; 4 – плиты типа ПК

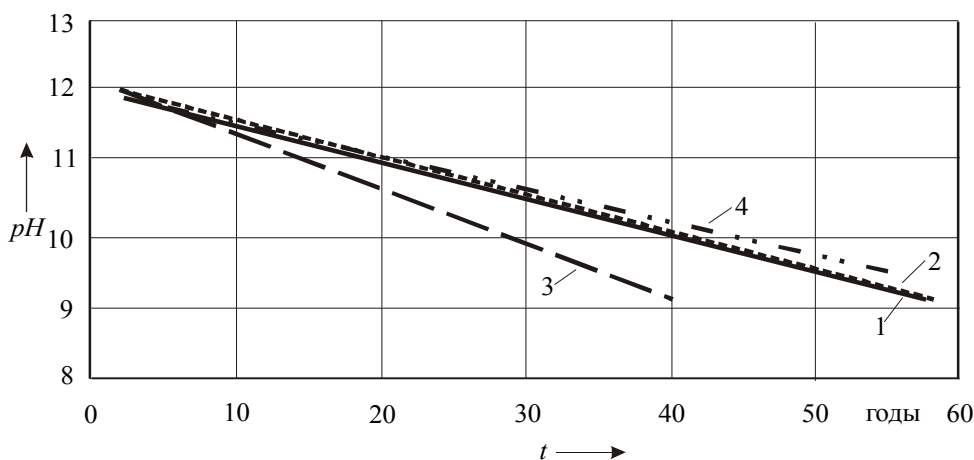


Рисунок 2 – Зависимость pH – t для атмосферных условий:
1 – колонны; 2 – ригели (прогоны); 3 – плиты ребристые; 4 – плиты типа ПК

В атмосферных условиях с увеличением времени эксплуатации возрастает содержание карбонатов в цементном камне, а pH и R понижаются. Была обнаружена особенность изменения pH и R в первые 5 – 10 лет. Если R растет с момента изготовления конструкции, то pH , несмотря на это, сначала остается постоянной, а затем медленно понижается, в то время как R несколько растет или остается неизменной. Этот отрезок времени соответствует $pH > 11,5$, когда еще существенно не сказывается физическое и химическое влияние атмосферы на цементный камень бетона.

Этот период можно назвать периодом неопределенности из-за разной величины времени, но зоной устойчивого состояния бетона. В этой зоне бетон сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре и обладает максимальной R (см. рисунок 1, затененную часть).

Это значит, что в бетоне в течение определенного промежутка времени вследствие взаимодействия с агрессивной средой происходит очень медленное изменение pH поровой влаги, т. е. бетон обладает буферной емкостью. Буферная емкость будет зависеть от начального значения pH после изготовления ЖБК, которое, в свою очередь, зави-

сит от содержания цемента, его марки, соотношения заполнителей к вяжущему и других факторов.

Именно буферная емкость бетона и условия эксплуатации объясняют наличие зоны устойчивого состояния (область неопределенности), которая соответствует инкубационному периоду [4].

Дальнейшее снижение pH сопровождается понижением R за счет размораживания поверхностных слоев цементного камня, насыщенного водой, и постепенным появлением микротрещин, способствуя облегчению карбонизации, вымыванию и вымораживанию $Ca(OH)_2$ и CaO . Наступает момент, когда CO_2 начинает взаимодействовать непосредственно с гидратированными минералами цементного клинкера, определяющими прочностные свойства цементного камня и его адгезию к заполнителю [5]. Этот процесс катализируется присутствием воды, как и в случае карбонизации кристаллической гидроксида кальция ($Ca(OH)_2$).

Несмотря на значительный разброс показателей, обусловленных обследованием конструкций с бетонами разных классов и множеством факторов, определяющих их свойства, можно считать, что между временем эксплуатации t , R , pH и K существует устойчивая зависимость (см. рисунок 2). Этот

вывод справедлив только для средних показателей поверхностного слоя толщиной 10–15 мм и не затрагивает глубинных слоев тела бетона. Поэтому представлялось интересным проследить изменение pH по глубине залегания бетона, по которому можно судить и о R (рисунок 3).

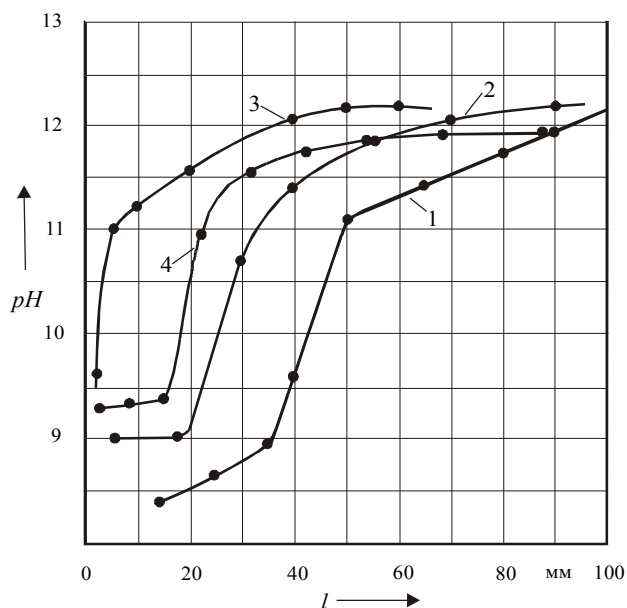


Рисунок 3 – Зависимость pH от глубины залегания бетона l , мм:
1 – для продольной балки после 40 лет эксплуатации в атмосферных условиях; 2 – для колонны после 40 лет эксплуатации в атмосферных условиях; 3 – для колонны после 30 лет эксплуатации в помещении; 4 – для монолитной конструкции после 30 лет эксплуатации в помещении

Полученные результаты показывают, что во всех случаях pH поровой влаги возрастает с увеличением глубины залегания бетона в конструкциях.

С определенного времени эксплуатации снижение pH сопровождается уменьшением поверхностной R бетона, и зависимость носит линейный характер для длительных сроков эксплуатации.

Путем суммирования средних значений зависимостей $R - pH$ для основных железобетонных конструкций была определена точность значения R , получаемая методом pH -метрии. Ошибка определения R составила $\pm 2,5$ МПа.

По полученным данным построена зависимость $R - pH$ для бетонов и цементно-песчаных растворов, представленная на рисунке 4.

Полученные зависимости можно использовать при определении прочности цементно-песчаных растворов и бетонов при обследовании длительно эксплуатирующихся конструкций.

Результаты экспериментов позволили сделать следующие выводы:

Получено 15.09.2004

A. A. Vasilyev. Determination of concrete strength of long term exploited ferroconcrete constructions by the methods of pH - and carbometry.

By using the method of strike impulse for concrete strength determination, methods of pH and carbometry is was discovered the dependence between water extract hydrogen index of cement stone and concrete strength of long term exploitation ferroconcrete construction.

It was studied possibility of determination of surface concrete strength and also strength according to construction depth, with the help of pH and carbometry and time forecasting of concrete strength change dependent from exploitation conditions.

– между временем эксплуатации t , R и pH существует устойчивая связь;

– для различных видов конструкций, выполненных из тяжелого бетона, зависимости $R-pH$ для одинаковых условий эксплуатации очень близки и отличаются незначительно углами наклона;

– в ЖБК в атмосферных условиях происходит резкое увеличение показателя pH по мере углубления в бетон;

– применение pH -метрии позволяет с достаточной точностью определять поверхностную прочность и прочность бетона по глубине конструкций;

– применение pH -метрии позволит прогнозировать изменение прочности бетона конструкций по времени в зависимости от условий эксплуатации.

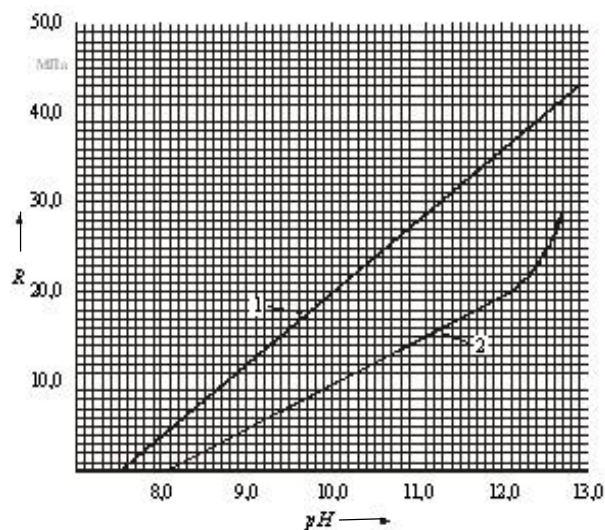


Рисунок 4 – Зависимость $R-pH$:
1 – бетоны; 2 – цементно-песчаный раствор

Список литературы

- 1 Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. – М.: Стройиздат, 1978. – 205 с.
- 2 Кудрявцев И.А., Беспалова М.В., Васильев А.А. Диагностика, эксплуатация и ремонт зданий и сооружений: Пособие по спец. «Технический надзор». – Гомель: БелГУТ, 2003. – 228 с.
- 3 Карнаухова Л.Н., Петров-Денисов В.Г. Исследование физико-химических процессов и закономерностей массопереноса при коррозии цементного камня в кислых средах: Сб. научных трудов НИЖБ. – М., 1984. – С. 82–98.
- 4 Алексеев С.Н., Иванов Ф.И., Модры С., Шиль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. – М.: Стройиздат, 1990. – 303 с.
- 5 Кудрявцев И.А., Богданов В.П. Исследование состояния эксплуатируемых железобетонных конструкций // Эффективные строительные материалы, конструкции и технологии: Сб. трудов междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2000. – С. 352.