

ВЫВОДЫ

Результаты проведенных экспериментов показали:

- применение арматуры, очищенной от продуктов коррозии, при бетонировании возможно, так как процесс развития коррозии во многом сходен с процессом, возникающим в образцах с чистой арматурой;
- пескоструйная обработка арматуры является самым эффективным методом защиты арматуры и обеспечивает коррозионную стойкость ее;
- защитные покрытия арматуры с полимерными добавками дают высокую коррозионную степень стойкости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне. – М.: Стройиздат, 1976. – 205с.
2. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шиссель П. Долговечность железобетона в агрессивных средах: Совм. изд. СССР-ЧССР-ФРГ. – М.: Стройиздат, 1990. – 320с.
3. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М.: Стройиздат, 1980.
4. Томашов Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов. – М.: Изд АН СССР, 1959.
5. Шаталов А.Я., Маршаков И.К. Практикум по физической химии. – М.: Высшая школа, 1975.

УДК 624.012.45/46

Васильев А.А.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ pH- И КАРБОМЕТРИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СОСТОЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Целью настоящей работы является изучение возможности применения pH- и карбометрии при оценке состояния ЖБК при различных сроках их эксплуатации в атмосферных условиях.

Промышленные, транспортные, общественно-культурные и жилые здания и сооружения, где используют сборные железобетонные конструкции, требуют постоянного контроля оценки их состояния, особенно после длительных сроков эксплуатации в атмосферных условиях. Долговечность сооружений в таких условиях зависит от множества факторов [1, 2], но, в конечном счете, определяется воздействием внешней среды и условиями их эксплуатации.

Особого внимания требуют к себе недостроенные здания и сооружения, конструкции которых длительное время находятся под воздействием атмосферных условий без консервации.

В большинстве случаев воздействие кислых газов, содержащихся в воздухе, на бетон изучали индикаторным методом [1]. Данный метод позволяет определять толщину нейтрализованного слоя цементного камня в бетоне с фиксированным значением $pH = 10$, по которой нельзя судить о количественном распределении продуктов коррозии и их влиянии на pH водных вытяжек цементного камня на разной глубине залегания в конструкции. Такие данные представляют большой практический интерес при оценке состояния ЖБК, выборе рекомендаций по проведению ремонтно-восстановительных работ или для продолжения строительства незавершенных объектов.

Объектами исследования служили железобетонные конструкции различных типов.

Количественную оценку состояния бетона выполняли в следующей 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.

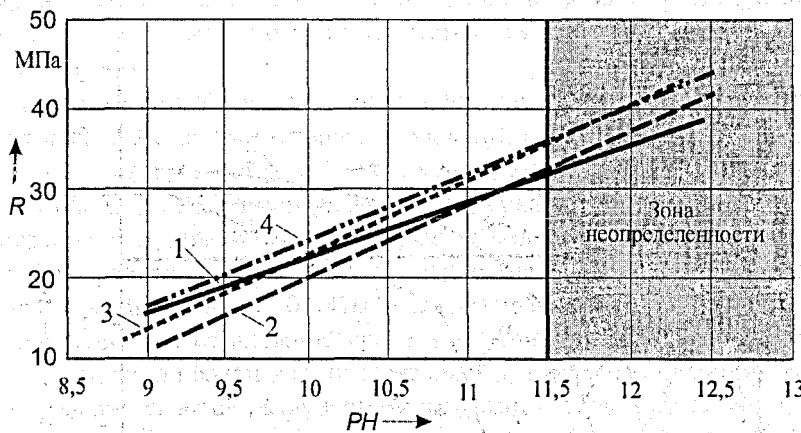
При определении R измерения проводили в трех местах на каждой конструкции, вычисляя средние значения. Обработку накопленных данных проводили по методу наименьших квадратов. Результаты с большими отклонениями значений R не использовали в расчетах средних значений.

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

Работы с использованием рН-метрии весьма малочисленны и проводились в лабораторных условиях при изучении коррозии цементного камня в кислых средах [3,4]. Оценка коррозионного воздействия газовых сред указанным методом проводилась позже на ЖБК с разными сроками эксплуатации [2,5,6,7]. До настоящего времени проводилось мало исследований изучения влияния воздействия атмосферы с учетом времени и условий эксплуатации различного типа ЖБК с использованием рН- и карбометрии.

Известно, что карбонизация бетона сопровождается снижением рН водных вытяжек цементного камня [1,4,7], но неизвестно, как эти изменения отражаются на прочностных свойствах бетона.

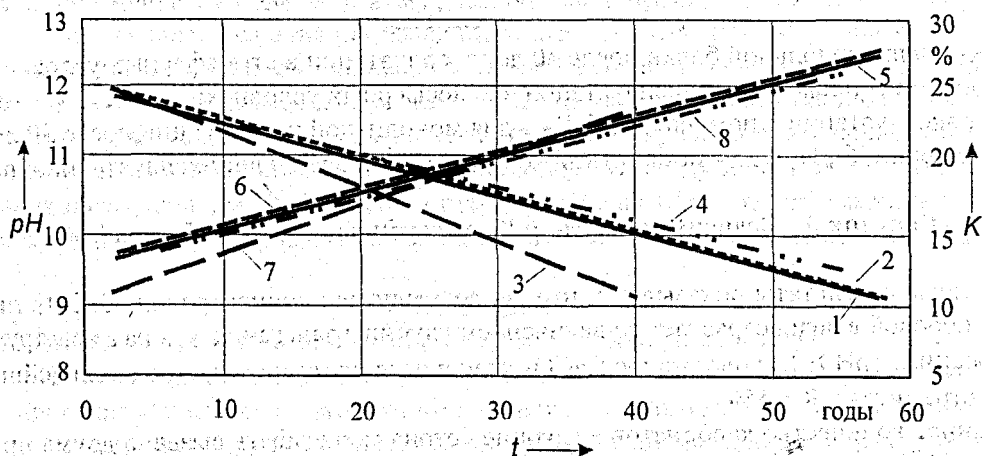
На рис. 1 представлены результаты воздействия атмосферы на изменение рН поверхностного слоя бетонов и их R от времени эксплуатации для наиболее распространенных типовых конструкций из тяжелого бетона. С возрастанием времени эксплуатации снижение рН сопровождается понижением R. Эти зависимости для разных видов конструкций близки и отличаются незначительно углами наклона, которые характеризуют скорость изменения рН и R под воздействием условий эксплуатации и многих других факторов [4].



1 – колонны; 2 – ригели (прогоны); 3 – плиты ребристые; 4 – плиты типа ПК

Рисунок 1 – Зависимость R-рН для атмосферных условий:

На всех типах конструкций наблюдается временной период, когда увеличение концентрации карбонатов не вызывает быстрого изменения рН и, следовательно, R. Этот период для разных видов конструкций составляет от 2 до 10 лет (иногда более), который 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 (рис. 1, затененная часть). Причины будут рассмотрены ниже.



зависимость рН-t: 1 – колонны; 2 – ригели (прогоны); 3 – плиты ребристые; 4 – плиты типа ПК;
зависимость K-t: 5 – колонны; 6 – ригели (прогоны); 7 – плиты ребристые; 8 – плиты типа ПК

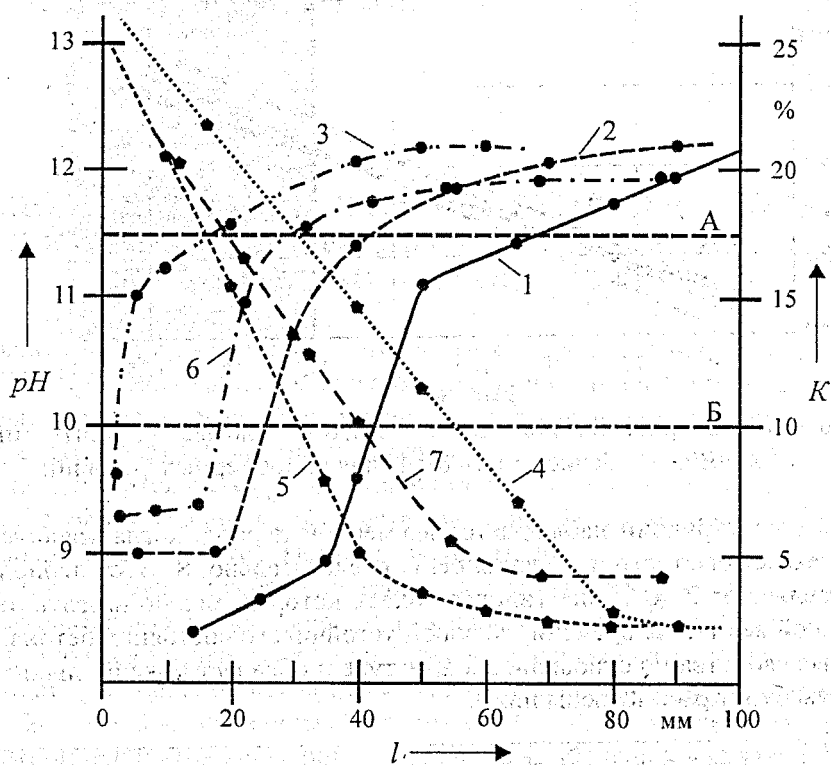
Рисунок 2 – Зависимости рН-t и K-t для атмосферных условий:

Установлено также, что чем выше K , тем ниже величины pH и R с увеличением времени эксплуатации, т.е. карбонизация, наряду с воздействием воды и температурными перепадами, способствует коррозии цементного камня.

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 (рис. 2). Этот вывод справедлив только для средних показателей поверхностного слоя толщиной 10-15 мм и не затрагивает более глубоких слоев тела бетона.

Поэтому представлялось интересным проследить изменение по глубине залегания бетона K и pH , по которому можно судить о R (рис. 3).

На приведенном рисунке горизонтальной пунктирной линией А обозначена граница pH , ниже которой во влажных условиях возможно развитие коррозии арматуры с последующим разрушением защитного слоя бетона. Линией Б обозначена граница pH , выше которой поровая влага цементного камня окрашивается фенолфталеиновым индикатором в малиновый цвет, а ниже – безцветна ($pH=10$). По этим двум линиям можно определить, с какого момента возможна коррозия арматуры по индикаторному тесту и методу pH -метрии.



1- pH - ; 4- K - для продольной балки, после 40 лет эксплуатации в атмосферных условиях; 2- pH - ; 6- K - для колонны, после 40 лет эксплуатации в атмосферных условиях; 3- pH - ; 5- K - для колонн, после 30 лет эксплуатации в помещении; 7- K - для монолитной конструкции, после 30 лет эксплуатации в помещении; 6- pH - для монолитной конструкции, после 30 лет эксплуатации в помещении.

Рисунок 3 – Зависимости pH - и K - от глубины залегания бетона l , мм

Полученные результаты показывают, что во всех случаях концентрация $CaCO_3$ линейно снижается, а pH поровой влаги возрастает с увеличением глубины залегания бетона в конструкциях (рис.3). При достижении $pH \geq 12$ содержание $CaCO_3$ становится постоянным, а при дальнейшем углублении в бетон, стремится к $K \leq 5\%$.

Постоянное количество карбонатов в глубине бетона может быть вызвано двумя причинами: за счет заноса $CaCO_3$ с цементом и песком и карбонизацией бетона в процессе его изготовления.

Постепенное изменение концентрации $CaCO_3$ по глубине конструкции опровергает мнение, что процесс взаимодействия CO_2 с цементным камнем идет в узкой зоне, которая перемещается в глубь

бетона. Эту зону называют переходной [1]. Результаты свидетельствуют, что ширина переходной зоны зависит от времени, условий эксплуатации и состава бетона (рис. 1, кр. 4,5,7). Чем длиннее сроки и жестче условия эксплуатации, тем больше глубина карбонизации. Пусть глубина карбонизации определяется l , когда K становится постоянной величиной, тогда для 40 лет эксплуатации балки в атмосферных условиях $l=80$ мм. Толщина нейтрализованного слоя по фенолфталеиновому тесту составила 35-40 мм. Для колонн после 40 лет эксплуатации в атмосферных условиях $l=40$ мм, а нейтрализованный слой составил 20 мм (рис. 1, кр.6).

Приведенные примеры свидетельствуют, что увеличение времени эксплуатации и условия эксплуатации существенно влияют на величину переходной зоны.

Рассмотренные выше зависимости $K-l$ при их экстраполяции на максимальные значения K приобретают разные величины, которые соответствуют предельной величине карбонизации (ПВК). Под ПВК следует понимать содержание карбонатов в бетоне в массовых процентах, когда вся CaO цемента полностью перейдет в CaCO_3 .

Расчеты ПВК показывают, что углы наклона зависимостей $K-l$ определяются не только временем и условиями эксплуатации, но также содержанием вяжущего и составом бетона.

Значение ПВК можно использовать для определения процента гидроксида кальция и гидратированных клинкерных материалов, перешедших в карбонаты на разной глубине бетона.

Зависимости pH от K также позволили установить некоторые особенности поведения бетона в контакте с воздухом.

Снижение содержания CaCO_3 по глубине залегания бетона сопровождается резким повышением pH поровой влаги. При достижении $K=\text{const}$ и значений $pH \geq 12$, цементный камень сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре. Эта область лежит выше линии А, граница которой соответствует $pH=11,5$ (рисунок 3). Между линиями А и Б с интервалом $pH=11,5$ и $10,0$ располагается зона неопределенного состояния арматуры в бетоне. В сухих условиях, где относительная влажность поддерживается постоянной и сравнительно невысокой, сохраняется пассивное состояние металла вследствие высокого омического сопротивления бетона или развитие коррозии с очень малой скоростью. Если конструкция эксплуатируется во влажной среде или периодически смачивается водой из-за протечек, то в этой области pH поровой влаги начинает развиваться интенсивная коррозия арматуры. Как правило, такие процессы заканчиваются разрушением защитного слоя бетона. Ниже линии Б обычно создаются устойчивые условия для коррозии арматуры при малейших изменениях условий эксплуатации.

Данные также показывают, что индикаторный метод дает заниженную толщину слоя бетона, в которой возможно развитие коррозии арматуры во влажной среде (рис.1, пересечение кривых 1,2,3 линий А и Б). У продольной балки ширина нейтрализованного слоя по фенолфталеину составляет 35-40 мм, в то время как во влажных условиях коррозия арматуры возможна на глубине 60 мм бетона.

Для всех случаев имеет место медленное снижение pH , с момента когда их значения выше 12,0, что соответствует свежеприготовленным бетонам (рисунок 1, область выше линии А). Это указывает на проявление цементным камнем свойств буферных растворов, которые характеризуются буферной емкостью. Это значит, что бетон определенный промежуток времени, взаимодействуя с агрессивной средой, очень медленно меняет pH поровой влаги, т.е. обладает буферной емкостью. Буферная емкость будет зависеть от начального значения pH после изготовления ЖБК, которая, в свою очередь, зависит 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] (рис. 1).

Экспериментальные результаты изучения воздействия CO_2 воздуха на ЖБК по глубине залегания в бетоне и влияния образующихся карбонатов на pH поровой влаги цементного камня показали, что эти процессы зависят от многих факторов, но в конечном итоге - от условий и времени эксплуатации.

ВЫВОДЫ

Экспериментальные результаты позволили сделать следующие выводы:

- показатель pH служит важной характеристикой цементного камня бетонов; определяющей состояние гидратированных минералов цементного клинкера, от которого зависит его прочность и адгезия к заполнителям, а также защитные свойства к арматуре при воздействии агрессивных сред;
- для различных видов конструкций, выполненных из тяжелого бетона, зависимости $R-pH$ для одинаковых условий эксплуатации очень близки и отличаются незначительно углами наклона;
- между временем эксплуатации t , R , pH и K существует устойчивая связь;

- для разных сроков эксплуатации ЖБК в атмосферных условиях происходит близкое к линейному снижению содержания карбонатов и увеличение рН водных вытяжек цементного камня по мере углубления в бетон;
- характер распределения карбонатов и рН по глубине зависят от времени, условий эксплуатации, состава бетона и толщины конструкции;
- чем продолжительней срок и жестче условия эксплуатации, тем больше глубина карбонизированного слоя;
- сокращение содержания цемента в бетоне влияет на угол наклона зависимости изменения содержания карбонатов от глубины залегания в конструкции;
- по значениям рН определены три зоны состояния бетона и арматуры: устойчивое состояние, неопределенное состояние арматуры, зона сильной коррозии арматуры и деградации бетона;
- индикаторный метод дает заниженную толщину слоя бетона, в которой возможно развитие коррозии арматуры во влажной среде;
- предложено понятие предельной величины карбонизации, значение которой позволяет определять степень карбонизации и процент гидроокиси кальция и гидратированных клинкерных минералов, перешедших в карбонаты на разной глубине бетона;
- совместное применение рН- и карбометрии позволяет достаточно подробно судить о состоянии ЖБК на данный момент эксплуатации;
- введение в нормативные документы определения состояния бетона при помощи методов рН- и карбометрии позволит определять состояние бетона и арматуры, а также прогнозировать их состояние, не разрушая конструкций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. – М.: Стройиздат. 1978.
2. Кудрявцев И.А., Беспалова М.В., Васильев А.А. Диагностика, эксплуатация и ремонт зданий и сооружений. Пособие по спец. «Технический надзор» 2003. – БелГУТ, Гомель.
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. Труды называются «Коррозионная стойкость бетона и железобетона в агрессивных средах».
4. Алексеев С.Н., Иванов Ф.И., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1990.
5. Кузнецов Ю. Д., Заславский И. М. Обеспечение долговечности железобетонных конструкций при реконструкции промышленных предприятий. Киев, «Будивельник», 1985.
6. Кудрявцев И.А., Богданов В.П. Исследование карбонизации ЖБК с длительным сроком эксплуатации. Журнал «Материалы, технологии, инструменты». Гомель, т. 5 № 3, 2000.
7. Кудрявцев И.А., Богданов В.П. Исследование состояния эксплуатируемых железобетонных конструкций. Сб. трудов «Эффективные строительные материалы, конструкции и технологии». Межд. науч.-практич. конф. Минск, 2000. с. 352.

УДК 666.97

Иванов А. Д.

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА СТАДИИ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

Целью настоящей работы является усиление внимания к проблеме повышения долговечности строительных конструкций на стадии их производства.

Очевидно, что долговечность строительных конструкций, как и другие показатели, характеризующие их качество, “прогнозируется” при изготовлении этих конструкций. Одним из факторов, влияющих на долговечность строительных конструкций, является капиллярно-поровая структура бетона, которая определяет коррозионную стойкость бетона, из которого изготовлена строительная конструкция. Кроме того, от капиллярно-поровой структуры бетона зависит коррозия арматуры железобетонных строительных конструкций.