

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА И ЕЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЛЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А.А. ВАСИЛЬЕВ

*Учреждение образования «Белорусский государственный
университет транспорта», г. Гомель*

Введение

В большинстве промышленных, транспортных, общественно-культурных и жилых зданий и сооружений используют сборные железобетонные конструкции (ЖБК).

При обследовании конструкций зданий и сооружений важнейшим критерием оценки состояния бетона является определение его прочности на сжатие (R).

На сегодняшний день для определения R широко применяются методы неразрушающего контроля. Определение R методом ударного импульса достаточно удобно и при правильном выполнении всех операций характеризуется небольшой относительной погрешностью, составляющей до 10 %.

Однако определению прочности бетона методами ударного импульса присущи и недостатки:

- завышенные (заниженные) результаты;
- сложность (невозможность) определения R в труднодоступных местах;
- невозможность прослеживания изменения R по глубине конструкции.

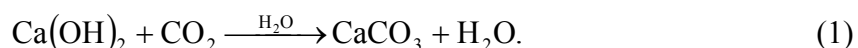
Это связано с тем, что результаты определения R зависят от многих нюансов (количества и расположения арматуры, крупного заполнителя и др.), но в первую очередь – от состояния поверхности бетона. В свою очередь состояние поверхности бетона конструкций зависит от множества факторов, но, в конечном счете,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

Изучению воздействия различных сред посвящено большое число работ, результаты которых в наиболее общей форме обобщены в [1]–[4].

Наиболее распространённым видом атмосферной коррозии ЖБК является их карбонизация, так как концентрация CO_2 в воздухе в $10 \div 10\,000$ раз выше концентрации других кислых газов (SO_2 , NO_2 и др.).

Таким образом, взаимодействие бетона с углекислым газом 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, растворенными в поровой влаге, в результате чего уменьшается щелочность и происходит снижение защитных свойств бетона по отношению к арматуре. Такое взаимодействие сопровождается снижением показателя рН поровой влаги и изменением состава цементного камня за

счет образования карбонатов, что ведет к возможности деградации бетона и окисления арматуры [5], [6].

Показатель рН является важной характеристикой бетона, определяющей 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.

До настоящего времени проводилось мало исследований изучения влияния воздействия атмосферы (с учетом времени и условий эксплуатации) на различные типы ЖБК с использованием рН-метрии. На сегодняшний день нейтрализация бетона в основном оценивается фенолфталеиновой пробой (по толщине неокрашенного слоя). Ранее в работе [7] было определено граничное значение $\text{pH} \approx 10$, при котором происходит окрашивание бетона в малиновый цвет при воздействии индикатора. Дискретность значения рН при оценке фенолфталеиновой пробой не позволяет оценить изменение водородного показателя по толщине отработанного слоя и проследить как изменение рН отражается на прочностных свойствах бетона.

Постановка задачи

Целью данной работы явилось изучение контакта различных типов ЖБК из тяжелых бетонов с атмосферой для разных сроков их эксплуатации и установления связи между водородным показателем водной вытяжки цементного камня рН и прочностью на сжатие R .

Изучение наличия таких связей для реальных условий и длительных сроков эксплуатации представляют значительный научный и практический интерес для оценки прочности бетона на сжатие конструкций на момент обследования и прогнозирования ее изменения в процессе эксплуатации.

Объект и методы исследования

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 замеров прочности отбирали образцы для анализа рН водных вытяжек цементного камня. В качестве образцов использовали сколы бетона толщиной $10 \div 15$ мм.

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.

Показатель рН поровой влаги определяли по методике [8].

Результаты экспериментов и их обсуждение

В течение нескольких лет обследования конструкций накоплен большой объем результатов определения рН, R на различных типах ЖБК (колонн, балок, плит ребристых и типа ПК) как с одинаковыми сроками эксплуатации, так и в зависимости от времени их эксплуатации [5], [6], [9]. Для всех типов обследованных

конструкций из тяжелого бетона выявлена связь между ρH и R . Эти зависимости для разных видов конструкций близки и отличаются незначительно углами наклона.

На основании полученных зависимостей [9] построены регрессионные модели зависимости R – ρH для атмосферных условий и условий помещений для наиболее распространенных типовых конструкций из тяжелого бетона (соответственно рис. 1, 2).

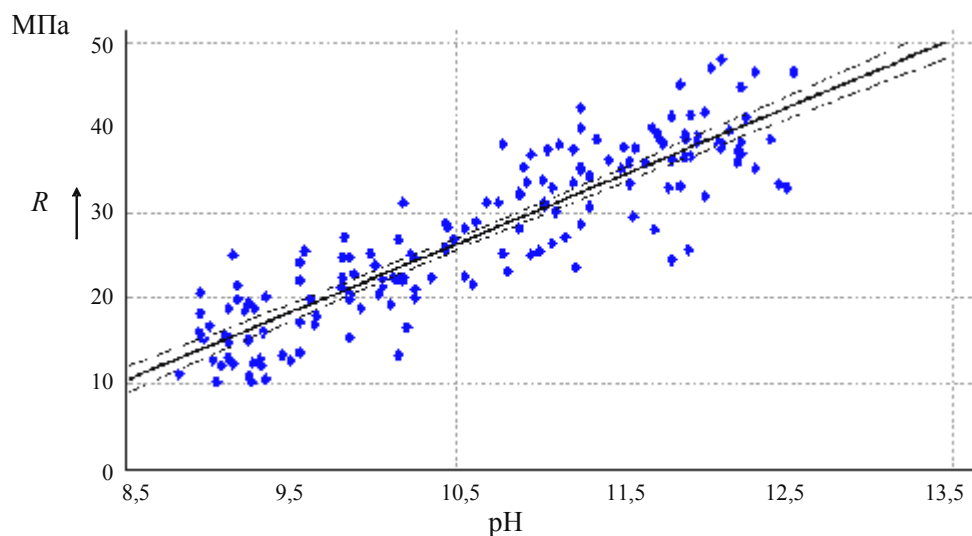


Рис. 1. Обобщенная диаграмма рассеяния значений поверхностной прочности R и соответствующих значений ρH для атмосферных условий с нанесенным уравнением линейной регрессии и 95 % доверительным интервалом для условных средних значений R

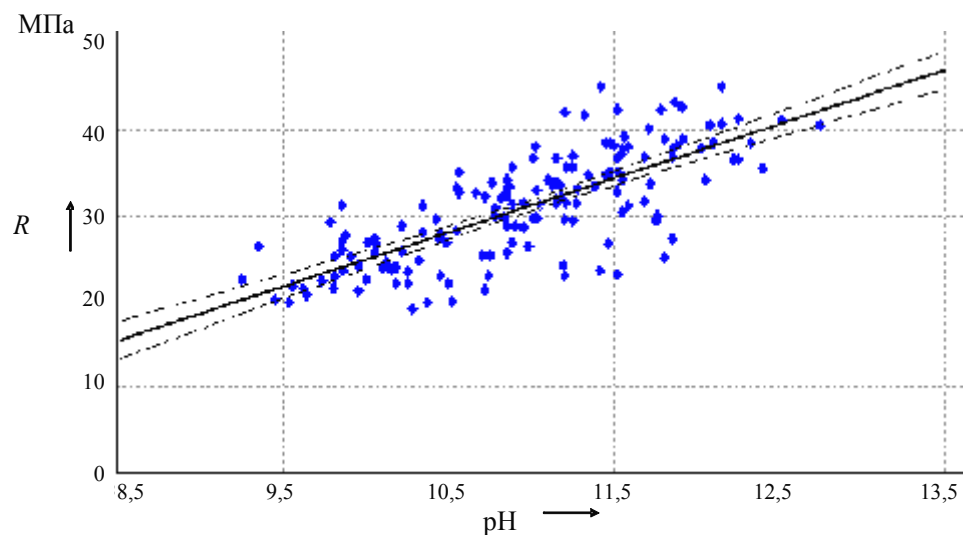


Рис. 2. Обобщенная диаграмма рассеяния значений поверхностной прочности R и соответствующих значений ρH для условий помещений с нанесенным уравнением линейной регрессии и 95 % доверительным интервалом для условных средних значений R

Полученные зависимости близки и отличаются незначительно углами наклона, которые характеризуют скорость изменения ρH и R при различных условиях эксплуатации.

На основании построенных диаграмм выведены формулы для определения поверхностной прочности бетона на сжатие R по величине показателя ρH :

– для атмосферных условий

$$R = -57,792 + 8,01437 \cdot \text{pH}, \text{ МПа}; \quad (2)$$

– для условий помещений

$$R = -38,2727 + 6,31735 \cdot \text{pH}, \text{ МПа}. \quad (3)$$

Под атмосферными условиями приняты условия, при которых воздействие атмосферы на конструкции происходит непосредственно, под условиями помещений – атмосферные условия цехов, общественных, жилых зданий, сельскохозяйственных помещений.

С увеличением срока эксплуатации в бетоне возрастает карбонатная составляющая, соответственно происходит снижение рН и R . В работах [5], [6], [9] выявлены зависимости рН от времени эксплуатации различных типов ЖБК (колонн, балок, плит ребристых и типа ПК).

На основании полученных зависимостей [9] построены регрессионные модели зависимости рН– t для атмосферных условий и условий помещений для наиболее распространенных типовых конструкций из тяжелого бетона (соответственно рис. 3, 4).

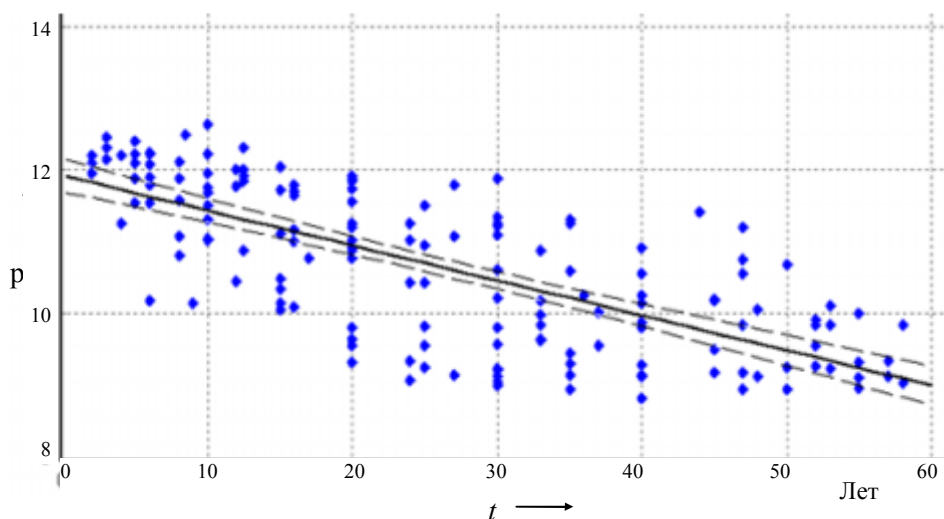


Рис. 3. Обобщенная диаграмма рассеяния значений рН и соответствующих значений t для атмосферных условий с нанесенным уравнением линейной регрессии и 95 % доверительным интервалом для условных средних значений рН

Данные зависимости применимы к длительно эксплуатируемым конструкциям (с возрастом более 5 ÷ 10 лет), так как в процессе исследований выявлено, что если КС растет с момента изготовления конструкции, то рН, несмотря на это, сначала остается постоянной, а затем медленно понижается, в то время как R несколько растет или остается неизменной. Этот отрезок времени соответствует рН > 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 .

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 и рН существует устойчивая зависимость. Этот вывод справедлив только для средних показателей

поверхностного слоя толщиной $10 \div 15$ мм и не затрагивает глубинных слоев тела бетона.

На основании диаграмм (рис. 3, 4) выведены формулы для оценки изменения рН от времени эксплуатации t :

– для атмосферных условий

$$pH = 11,9234 - 0,04868 \cdot t; \quad (4)$$

– для условий помещений

$$pH = 11,5334 - 0,01657 \cdot t, \quad (5)$$

где t – количество лет эксплуатации конструкции.

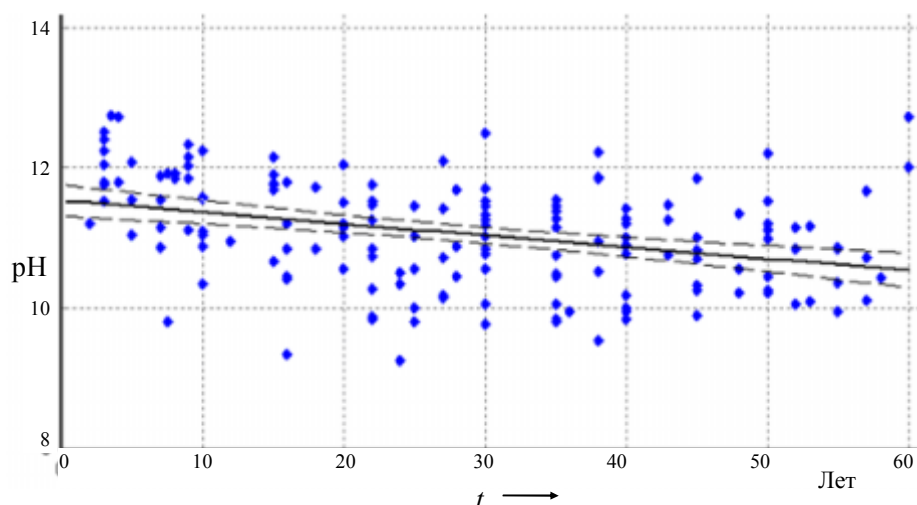


Рис. 4. Обобщенная диаграмма рассеяния значений рН и соответствующих значений t для условий помещений с нанесенным уравнением линейной регрессии и 95 % доверительным интервалом для условных средних значений рН

По данным формулам, с учетом формул (2, 3) получены зависимости, позволяющие прогнозировать изменение поверхностной прочности от времени для различных условий эксплуатации:

– для атмосферных условий

$$pH = 11,5334 - 0,01657 \cdot t, \text{ МПа}; \quad (6)$$

– для условий помещений

$$R = 34,5878 - 0,10467 \cdot t, \text{ МПа}. \quad (7)$$

Суммируя средние значения зависимостей R –рН для основных железобетонных конструкций, была определена точность значения R , получаемая методом рН-метрии. Ошибка составила $\pm 2,5$ МПа.

На основании формул (2, 3) построена зависимость R –рН для различных условий эксплуатации (рис. 5), позволяющая определять прочность бетона на сжатие длительно эксплуатирующихся конструкций. Путем суммирования средних значений зависимостей R –рН для основных ЖБК была определена точность значения R , получаемая методом рН-метрии. Ошибка определения R составляет $\pm 2,5$ МПа, при точности определения рН, равной 0,01 рН.

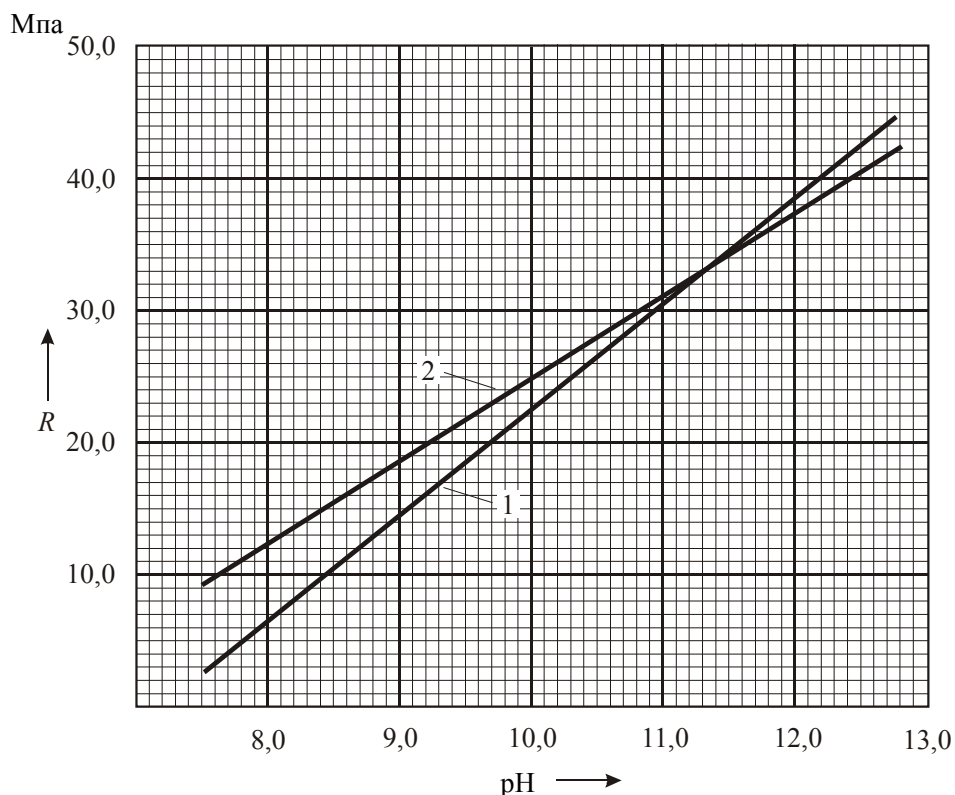


Рис. 5. Зависимость R – pH : 1 – для атмосферных условий; 2 – для условий помещений

Выводы

Результаты экспериментов позволили сделать следующие выводы:

- 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;
- метод pH -метрии позволяет с достаточной точностью оценивать поверхностную прочность бетона на сжатие;
- применение pH -метрии позволяет прогнозировать изменение прочности бетона конструкций по времени в зависимости от условий эксплуатации.

Литература

1. Алексеев С. Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С. Н. Алексеев, Н. К. Розенталь. – М. : Стройиздат, 1978. – 205 с.
2. Кудрявцев И. А. Диагностика, эксплуатация и ремонт зданий и сооружений : пособие по спец. «Технический надзор» / И. А. Кудрявцев, М. В. Беспалова, А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2003. – Ч. 1. – 265 с. ; Ч. 2. – 228 с.
3. Карнаухова Л. Н. Исследование физико-химических процессов и закономерностей массопереноса при коррозии цементного камня в кислых средах : сб. науч. тр. НИЖБ / Л. Н. Карнаухова, В. Г. Петров-Денисов. – М., 1984. – С. 82–98.
4. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев [и др.]. – М. : Стройиздат, 1990. – 320 с.

5. Васильев А. А. Опыт использования рН- и карбометрии при определении состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций / А. А. Васильев // Вестн. БГТУ. Строительство и архитектура. – 2003. – № 1. – С. 228–232.
6. Васильев А. А. Мониторинг состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций / А. А. Васильев // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2004. – С. 188–189.
7. 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.
8. Курбатова И. И. Современные методы химического анализа строительных материалов / И. И. Курбатова. – М. : Стройиздат, 1972. – 112 с.
9. Васильев А. А. Определение прочности бетона длительно эксплуатирующихся железобетонных конструкций методами рН- и карбометрии / А. А. Васильев // Наука и транспорт. – 2004. – № 1. – С. 21–24.

Получено 17.05.2005 г.