

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 624.01/04

А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕТОНА ПО СЕЧЕНИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Приведены результаты многолетних исследований карбонизации по сечению бетонов различных классов по прочности на сжатие колонн, эксплуатирующихся в разных атмосферных условиях. Выполнен анализ оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре различными методами.

Введение. Известно, что карбонизация бетона вызывает его структурные изменения, приводя к снижению защитных свойств по отношению к стальной арматуре. Защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре определяются водородным показателем водной вытяжки цементного камня (показатель рН). В свою очередь, его изменение определяет образование карбонатов, которые возможно оценивать карбонатной составляющей (показатель КС), показывающей в процентном отношении количество образовавшегося карбоната кальция (CaCO_3) в цементно-песчаной фракции бетона [1].

Общепринято глубину карбонизации бетона оценивать фенолфталеиновым тестом (ФФТ). В зоне нанесения индикатора ФФТ показывает изменение показателя рН в пределах 8,3 до 14. По результатам исследований авторов [2] в зоне резкого перехода цвета цементно-песчаной фракции значение показателя рН составляет $\approx 10,3$; в соответствии с термодинамическими расчетами В. И. Бабушкина [3] коррозия стальной арматуры возможна при $\text{pH} < 11,8$. В то же время считается, что при $\text{pH} = 9,0$ бетон полностью теряет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре [1].

Результаты экспериментов и их обсуждение. Задачей исследований явился анализ объективности выполнения оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре методом ФФТ.

Оценивали состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре для колонн (как мас-

сивных элементов, размеры поперечного сечения которых позволяют отбирать образцы бетона на значительную глубину), эксплуатировавшихся длительные сроки в различных атмосферных условиях (сельскохозяйственных помещений, открытой атмосферы, общественных зданий и промышленных с неагрессивной эксплуатационной средой) и подверженных соответственно поврежденности различной степени интенсивности.

Методика отбора образцов и определения показателей рН и КС приведена в [4].

В качестве примера на рисунках 1–6 приведены результаты исследований бетона колонн, эксплуатировавшихся различные сроки в разных атмосферных условиях. На всех графиках точками обозначены усредненные значения показателей рН и КС, полученные из двух проб цементно-песчаной фракции бетона (основной и контрольной). Горизонтальной пунктирной линией «А» отмечена граница с $\text{pH} = 11,8$, линией «Б» – с $\text{pH} = 10,3$. В дальнейшем, для анализа полученных графических зависимостей по рН-метрии, используем следующие обозначения: $\text{pH} = 11,8$ – анализ по $\text{pH}_{\text{тр}}$; $\text{pH} = 10,3$ – анализ по $\text{pH}_{\text{ффт}}$.

Коровник со сроком эксплуатации 20 лет.

Колонны средних пролетов, сечением 300×300 мм. Измеренная средняя поверхностная прочность бетона $f_{\text{ck}} = 28,3$ МПа, что соответствует классу бетона по прочности на сжатие $\text{C}^{18}/_{22,5}$.

Результаты изменения по сечению бетона показателей рН и КС приведены на рисунке 1.

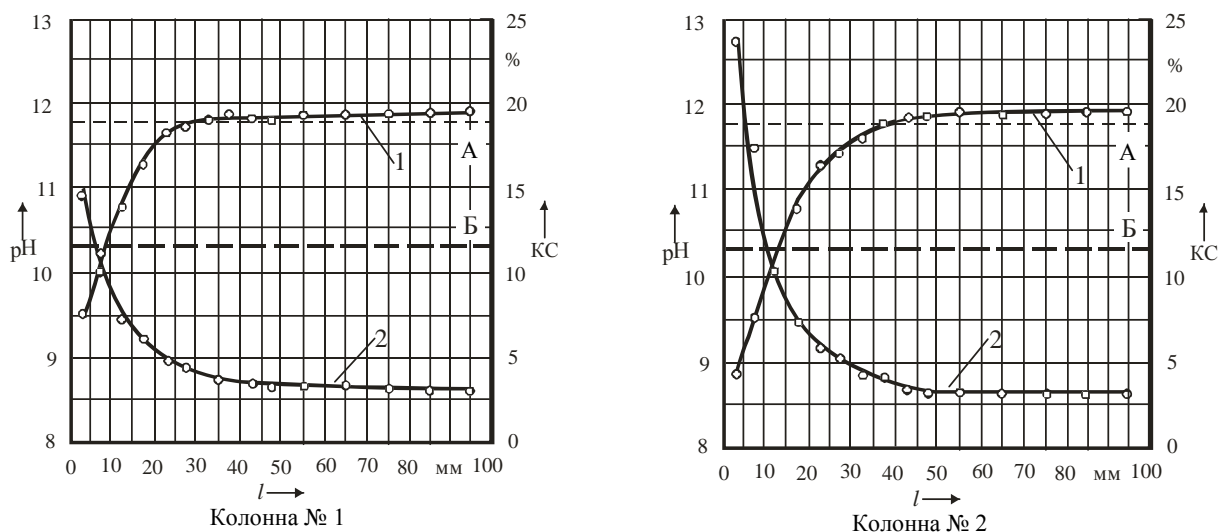
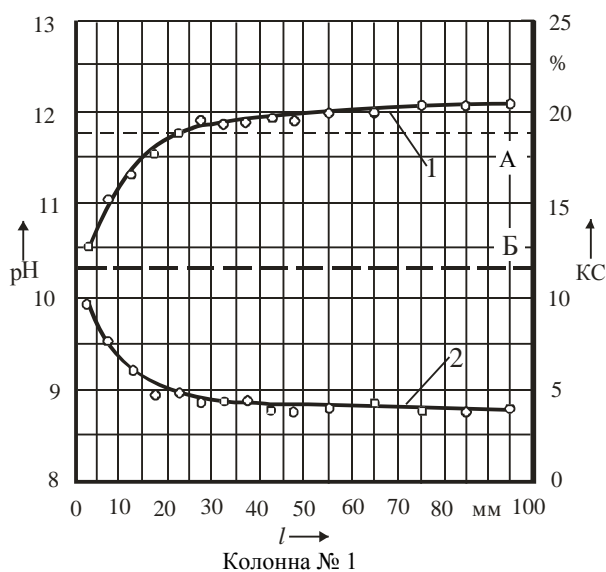


Рисунок 1 – Экспериментальные зависимости l – рН и l – КС для колонн коровника, эксплуатировавшегося 36 лет

При использовании ФФТ глубина карбонизированного слоя бетона на участках отбора проб составила, в среднем, для колонны № 1 – 10 мм, колонны № 2 – 13 мм.

В соответствии с $pH_{тр}$ (см. рисунок 1, линия «А»), бетон колонны № 1 потерял защитные свойства по отношению к стальной арматуре на глубину ≈ 28 мм, колонны № 2 – ≈ 40 мм. По $pH_{ффт}$ (см. рисунок 1, линия «Б»), бетон потерял защитные свойства на глубину: колонна № 1 – ≈ 9 мм, № 2 – ≈ 14 мм. Разница в оценке глубины карбонизации обоими методами составила 19–26 мм.

Исходя из вышесказанного, по $pH_{ффт}$ бетон сохраняет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре в зоне ее расположения (толщина защитного слоя составила, в среднем, 20 мм), по $pH_{тр}$ существующий защитный слой уже не выполняет своих функций по сохранению стальной арматуры в пассивном состоянии.



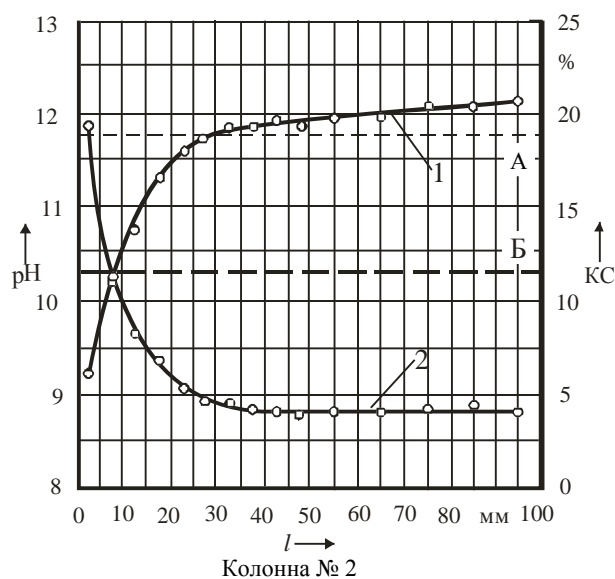
В соответствии с $pH_{ффт}$ бетон потерял свои защитные свойства на площади поперечного сечения: колонна № 1 – 12 %, колонна № 2 – 18 %, по $pH_{тр}$, соответственно: колонна № 1 – 34 %, колонна № 2 – 46 %.

Промышленное здание со сроком эксплуатации 23 года.

Колонны крайнего ряда, сечением 400×400 мм. Измеренная средняя поверхностная прочность бетона составила $f_{сж} = 37,4$ МПа, что соответствует классу бетона по прочности на сжатие – $C^{25}/_{30}$.

По ФФТ, глубина карбонизированного слоя бетона на участках отбора проб составила, в среднем, для колонны № 2 – 7 мм, бетон колонны № 1 не карбонизирован.

Результаты изменения по сечению бетона показателей pH и КС приведены на рисунке 2.



1 – l – pH; 2 – l – КС

Рисунок 2 – Экспериментальные зависимости l – pH и l – КС для колонн промышленного здания, эксплуатировавшегося 23 года

По $pH_{тр}$ (см. рисунок 2, линия «А») бетон колонн потерял защитные свойства по отношению к стальной арматуре на глубину: колонна № 1 – ≈ 22 мм, № 2 – ≈ 28 мм. По $pH_{ффт}$ (линия «Б») бетон потерял защитные свойства в колонне № 2 на глубину 8 мм, а в колонне № 1 не карбонизирован. Разница в оценке глубины карбонизации методами pH-метрии составила до 22 мм.

Результаты исследования показывают, что по $pH_{ффт}$ бетон сохраняет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре в зоне ее расположения (толщина защитного слоя составила, в среднем, 21 мм), по $pH_{тр}$ существующий защитный слой уже не выполняет своих функций по сохранению стальной арматуры в пассивном состоянии.

В соответствии с $pH_{ффт}$ бетон потерял свои защитные свойства на площади поперечного сечения: колонна № 1 – 0 %, колонна № 2 – 8 %, по $pH_{тр}$ соответственно: колонна № 1 – 21 %, колонна № 2 – 26 %.

Недостроенное здание каркасного типа со сроком нахождения в условиях открытой атмосферы 18 лет.

Колонны крайнего ряда, сечением 400×400 мм. Измеренная средняя поверхностная прочность бетона составила $f_{сж} = 38,2$ МПа, что соответствует классу бетона по прочности на сжатие $C^{25}/_{30}$.

При использовании ФФТ, глубина карбонизированного слоя бетона на участках отбора проб составила, в среднем, для колонны № 1 – 10 мм, колонны № 2 – 13 мм.

Результаты изменения по сечению бетона показателей pH и КС приведены на рисунке 3.

По $pH_{тр}$ (рисунок 3, линия «А») бетон колонн потерял защитные свойства по отношению к стальной арматуре на глубину: колонна № 1 – ≈ 25 мм, № 2 – ≈ 41 мм. По $pH_{ффт}$ (линия «Б») бетон потерял защитные свойства на глубину: колонна № 1 – ≈ 7 мм, № 2 – ≈ 10 мм.

Разница в оценке глубины карбонизации методами pH-метрии составила 18–31 мм.

Результаты исследования показывают, что по $pH_{ффт}$ бетон сохраняет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре в зоне ее расположения (толщина защитного слоя составила, в среднем, 15 мм), по $pH_{тр}$ существующий защитный слой уже не выполняет своих функций по сохранению стальной арматуры в пассивном состоянии.

В соответствии с $pH_{ффт}$ бетон потерял свои защитные свойства на площади поперечного сечения: колонна № 1 – 7 %, колонна № 2 – 10 %, по $pH_{тр}$ соответственно: колонна № 1 – 23 %, колонна № 2 – 37 %.

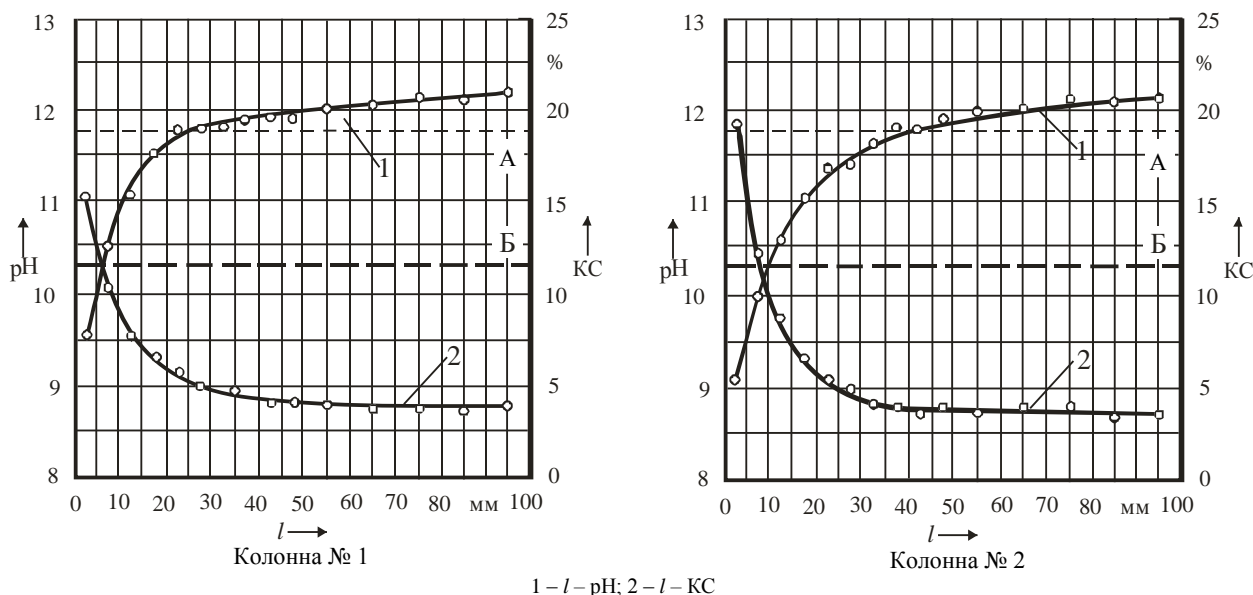


Рисунок 3 – Экспериментальные зависимости l – pH и l – КС для колонн, находившихся в условиях открытой атмосферы 18 лет

Постепенное изменение концентрации CaCO_3 по сечению бетона опровергает мнение, что процесс взаимодействия CO_2 воздуха с цементным камнем происходит в узкой (переходной) зоне, перемещающейся вглубь бетона [42], и показывает, что карбонизация (изменение показателя КС) по сечению бетона распространяется не линейно, а по сложной экспоненциальной зависимости. В любых условиях эксплуатации снижение содержания CaCO_3 по глубине залегания бетона сопровождается резким повышением показателя pH поровой влаги. При достижении значений $\text{КС} = \text{const}$ и $\text{pH} \geq 11,8$ цементный камень сохраняет защитные свойства по отношению к стальной арматуре. Эта область лежит выше линии «А» (см. рисунки 1–3), нижняя граница которой соответствует значению $\text{pH} = 11,8$. Между линиями «А» и «Б» в интервале $\text{pH} = 11,8 \dots 10,3$ располагается зона неопределенного состояния стальной арматуры в бетоне.

Приведенные зависимости (см. рисунки 1–3) указывают на значительную разницу при определении толщины прокарбонизированного слоя бетона методом pH-метрии. При определении толщины нейтрализованного бетона $\text{pH}_{\text{ффт}}$ результаты по сравнению с $\text{pH}_{\text{тр}}$ получаются заниженными от 2,5 до 6,5 раз.

Получено 28.12.2019

A. A. Vasilyev. Study of different methods of distribution of physical and chemical indices of concrete indicators along the section of reinforced concrete elements.

The results of multi-year studies of carbonization along the cross-section of concrete of different classes on compression strength of columns operating in different atmospheric conditions are given. Analysis of concrete protective properties condition with respect to steel reinforcement by various methods was performed.

Закключение. Выполненный различными методами pH-метрии анализ оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре по сечению колонн показал, что использование ФФТ не позволяет объективно оценивать и тем более прогнозировать карбонизацию бетона и ее влияние на состояние защитных свойств бетона.

Список литературы

- 1 Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 2 Кудрявцев И. А. Исследование карбонизации железобетонных конструкций с длительным сроком эксплуатации / И. А. Кудрявцев, В. П. Богданов // Материалы, технологии, инструменты. – 2000. – Т. 5, № 3. – С. 97–100.
- 3 Бабушкин, В. И. Термодинамика силикатов / В. И. Бабушкин, Г. М. Матвеев, О. П. Мчедлов-Петросян; под ред. О. П. Мчедлова-Петросяна. – 4-е изд. – М. : Стройиздат, 1986. – 408 с.
- 4 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.