

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В ВОЗДУШНЫХ СРЕДАХ, С УЧЕТОМ КАРБОНИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

А. А. Васильев

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Введение. Железобетонные конструкции (ЖБК) составляют основную долю конструкций капитальных зданий и сооружений. Основным процессом нейтрализации бетона ЖБК является карбонизация, по мере развития которой происходят структурные изменения цементного камня, вызывающие деградацию бетона, приводя к снижению его защитных свойств по отношению к арматуре. Развиваясь во времени, они способствуют развитию коррозии арматуры, приводя в итоге к потере конструкцией несущей способности и возникновению аварийной ситуации.

В соответствии с п. 8.3.17 ТКП 45-1.04-37-2008 (02250) «Обследование строительных конструкций зданий и сооружений. Порядок проведения» состояние бетона по степени карбонизации определяется фенолфталеиновой пробой либо другими методами. Поскольку о других методах ничего не сказано, основным способом оценки и прогнозирования состояния бетона и его влияния на стальную арматуру остается фенолфталеиновый тест. При его использовании на скол бетона наносится 0,1 % спиртовой раствор фенолфталеина. Считается, что бетон в неокрашенной зоне нейтрализован и потерял свои защитные свойства по отношению к арматуре, а в окрашенной – находится в удовлетворительном состоянии. На основе определения толщины нейтрализованного слоя бетона фенолфталеиновым тестом выведено основное уравнение карбонизации бетона и построена модель карбонизации. В ее основе лежат представления о том, что карбонизация развивается линейно с поверхности вглубь конструкции, ее скорость определяется эффективным коэффициентом диффузии CO_2 , при этом реакция карбонизации происходит в узкой (около 1 мм) зоне [1].

Многолетние авторские исследования ЖБК по сечению конструкций [2–4] показывают, что карбонизация бетона развивается с поверхностных слоев вглубь бетона конструкций не фронтально, а по экспоненциальной зависимости (степень карбонизации бетона максимальна в поверхностных слоях). Скорость карбонизации определяется условиями эксплуатации. При этом значения толщины слоя бетона, в которой он потерял защитные свойства по отношению к арматуре, определенные индикаторным тестом и физико-химическим методом (методами pH- и карбометрии), отличаются до нескольких раз, а коррозионные процессы различной интенсивности в арматуре присутствуют в зоне, в которой по индикаторному тесту бетон сохраняет свои защитные свойства по отношению к арматуре. Кроме того, в лабораторных условиях выявлено, что на границе перехода неокрашенной зоны бетона в окрашенную – $\text{pH} \approx 10$ [5], а, в соответствии с исследованиями [6] коррозия арматуры возможна при $\text{pH} \leq 11,8$.

Индикаторный метод не позволяет количественно оценивать показатель рН в зоне расположения арматуры, детально судить об его изменении в нейтральной зоне и за ее пределами и, как следствие, – о состоянии защитных свойств бетона по отношению к арматуре. Таким образом, его применение не дает возможности объективно оценивать и прогнозировать процессы карбонизации и как следствие, техническое состояние ЖБК.

В связи с вышеизложенным, возникла необходимость разработки методики оценки и прогнозирования технического состояния ЖБК, основанной на изучении физико-химических процессов, происходящих в бетоне защитного слоя, и их влиянии на изменение защитных по отношению к арматуре свойств бетона.

Цель работы. Целью данной работы явилось: разработка критериев оценки технического состояния ЖБК, эксплуатируемых в различных воздушных средах, на основе методов рН- и карбометрии; прогнозирование изменения показателей рН (водородного показателя водной вытяжки цементного камня) и КС (карбонатной составляющей) во времени в зависимости от условий эксплуатации. В основу исследований положено использование методов рН- и карбометрии, поскольку показатель рН является основной количественной характеристикой перерождения цементного камня в карбонаты или другие продукты химического взаимодействия под воздействием внешней среды и является универсальной характеристикой состояния бетона и его защитных свойств по отношению к арматуре, а карбонатная составляющая характеризует количественное содержание карбонатов в цементно-песчаной фракции бетона в массовых процентах.

Объект и методы исследования. Объектами исследования служили ЖБК различных типов, эксплуатировавшиеся длительные сроки в различных воздушных средах. Для анализа отбирались образцы бетона в зоне расположения арматуры. Показатель рН определялся по методике [7]. Показатель КС – объемно-газовым методом [8]. Статистическую обработку экспериментальных данных производили при помощи табличного процессора «Excel» и пакета статистического анализа данных «Statgraphics».

Экспериментальные результаты. В результате обследования многочисленных ЖБК, эксплуатировавшихся в различных воздушных средах, при оценке состояния арматуры были выявлены разные степени ее коррозионных повреждений. Полученные результаты систематизированы с целью сопоставления коррозионного состояния стальной арматуры с параметрами защитного слоя бетона. Для оценки состояния арматуры разработана соответствующая балльная система, приведенная в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка состояния стальной арматуры ЖБК

Степень коррозии арматуры (балл)	Внешние признаки коррозии арматуры
I	Чистая поверхность
II	Сплошная коррозия до 50 % поверхности стержня
III	Сплошная коррозия более 50 % поверхности стержня
IV	Пластинчатая коррозия малой степени интенсивности (уменьшение площади сечения на величину до 20 %)
V	Пластинчатая коррозия средней степени интенсивности (уменьшение площади сечения стержня на величину более 20 %)

Для оценки зависимости коррозионного состояния арматуры от физико-химических показателей бетона определяли показатели рН и КС бетона, находящегося в зоне расположения арматуры. Путем статистической обработки полученных данных получены области распределения показателей рН и КС с доверительной вероятностью 0,95 для различных степеней коррозии арматуры. Полученные результаты позволили назначить количественные критерии качественной оценки технического состояния ЖБК для различных условий эксплуатации по показателям рН и КС цементно-песчаной фракции бетона [4], а также для оценки технического состояния конструкций, эксплуатируемых в условиях сельскохозяйственных помещений предложить для [9] класс по условиям эксплуатации ХС5 ($70\% < RH \leq 90\%$, концентрация $CO_2 - 0,2...0,3\%$).

Выборка из критериев оценки технического состояния ЖБК для условий эксплуатации класса ХС3 представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Критерии оценки технического состояния ЖБК для класса по условиям эксплуатации ХС3

рН	КС, %	Состояние бетона и арматуры Техническое состояние железобетонной конструкции (в соответствии с СНБ 1.04.01-04)
12,5– 11,8	<5	Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре, арматура находится в пассивном состоянии. Состояние бетона, арматуры – хорошее. Техническое состояние ЖБК – хорошее
12,5– 11,8	6–9	Происходит плавное снижение показателя рН. Его значение приближается к границе, после которой бетон теряет свои защитные свойства по отношению к арматуре, что создает вероятность развития ее коррозии во влажной среде либо в условиях переменного увлажнения. Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре, арматура – в пассивном состоянии. Состояние бетона, арматуры – удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – удовлетворительное
10,9– 10,5	9– 20	Ускорение деградиционных процессов в бетоне и арматуре. II степень коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции до 15 лет. III степень коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции более 20 лет. Состояние бетона, арматуры – не вполне удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – не вполне удовлетворительное
<9,5	16– 29	Полная дегградация бетона. Потеря сцепления цементного камня с заполнителем. Отслаивание и разрушение защитного слоя бетона. V степень коррозии арматуры. Состояние бетона и арматуры – неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – неудовлетворительное (предаварийное)
<10	2–9	Нарушен рецептурный состав (недостаток вяжущего и избыток заполнителей). Техническое состояние конструкций оценивается по результатам детального обследования

Разработанные критерии соответствуют только тяжелым бетонам, обеспечивающим пассивное состояние стальной арматуры, начиная с момента изготовления конструкции. Они позволяют значительно более объективно оценить техническое состояние ЖБК на момент обследования, но не позволяют прогнозировать его изменение во времени. Для оценки изменения во времени показателей рН и КС бето-

на в зоне расположения арматуры по результатам обследования различных типов ЖБК построены регрессионные модели зависимостей \sqrt{t} - рН (КС). Они показывают, что с увеличением возраста эксплуатации конструкций показатель рН поровой влаги цементного камня линейно снижается, а содержание карбонатов растет, что дает основание утверждать о существовании параболической зависимости изменения показателей рН и КС в поверхностных слоях бетона во времени. Для различных условий эксплуатации они незначительно отличаются углами наклона [4]. При обработке полученных зависимостей \sqrt{t} - рН и \sqrt{t} - КС методами регрессионного и корреляционного анализов выведены аналитические выражения для свежизготовленных конструкций, позволяющие прогнозировать изменение во времени показателей рН и КС для различных условий эксплуатации [4].

Так, для атмосферных условий:

$$\text{pH} = 12,33 - 0,39\sqrt{t}, \quad (1)$$

$$\text{КС} = 2,66 + 3,13\sqrt{t}, \quad \%. \quad (2)$$

Для условий общественных зданий:

$$\text{pH} = 12,10 - 0,28\sqrt{t}, \quad (3)$$

$$\text{КС} = 2,04 + 2,77\sqrt{t}, \quad \%. \quad (4)$$

Для условий помещений с/х комплексов:

$$\text{pH} = 12,33 - 0,55\sqrt{t}, \quad (5)$$

$$\text{КС} = 2,18 + 3,52\sqrt{t}, \quad \%. \quad (6)$$

На основании зависимостей (1)–(6) получены выражения для прогнозирования изменения показателей рН и КС защитного слоя бетона по полученным на момент обследования значениям показателей щелочности поровой жидкости и карбонатной составляющей для различных условий эксплуатации:

– атмосферных –

$$\text{pH}_{\text{прог}} = \text{pH}_0 - 0,39(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_3}), \quad (7)$$

$$\text{КС}_{\text{прог}} = \text{КС}_0 + 3,13(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_3}), \quad (8)$$

– общественных зданий –

$$\text{pH}_{\text{прог}} = \text{pH}_0 - 0,28(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_3}), \quad (9)$$

$$\text{КС}_{\text{прог}} = \text{КС}_0 + 2,77(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_3}), \quad (10)$$

– помещений сельскохозяйственных комплексов –

$$\text{pH}_{\text{прог}} = \text{pH}_0 - 0,55(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_3}), \quad (11)$$

$$\text{КС}_{\text{прог}} = \text{КС}_0 + 3,52(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_3}), \quad (12)$$

где $\text{pH}_{\text{прог}}$ – прогнозируемое значение щелочности поровой жидкости;
 $\text{КС}_{\text{прог}}$ – прогнозируемое значение карбонатной составляющей, %;

- pH_0 – фактическое значение щелочности поровой жидкости, полученное при обследовании конструкции;
- KC_0 – фактическое значение карбонатной составляющей, %, полученное при обследовании конструкции;
- $t_{\text{прог}}$ – величина прогнозного периода с учетом возраста конструкции на момент обследования, лет;
- t_3 – возраст конструкции на момент обследования, лет.

Применение зависимостей (1)–(12) в совокупности с разработанными «Критериями оценки технического состояния ЖБК» дает возможность оценивать на момент обследования и прогнозировать изменение во времени технического состояния ЖБК и, как следствие, их долговечности в зависимости от условий эксплуатации.

Заключение. На основании результатов исследования изменения физико-химических свойств бетона при карбонизации защитного слоя, разработанных критериев оценки технического состояния ЖБК по показателям pH и KC, полученных аналитических выражений для прогнозирования изменения показателей pH и KC во времени, разработана методика оценки и прогнозирования технического состояния ЖБК, эксплуатирующихся длительные сроки в различных воздушных средах [10]. Предлагаемая методика, по сути, является новым неразрушающим методом обследования длительно эксплуатируемых, в различных атмосферных условиях, железобетонных конструкций.

Список цитированных источников

1. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.
2. Васильев А.А. Опыт использования pH- и карбометрии для оценки состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций // Научно-технические проблемы современного железобетона: материалы Всеукраинской научно-технич. конф. – Сумы, 2005. – Т. 2. – С. 110–117.
3. Васильев А.А. Оценка изменения состояния железобетонных конструкций при длительном контакте с атмосферой // Материалы, технологии, инструменты. – 2005. – Т. 10, № 2. – С. 39–42.
4. Васильев А.А. Оценка и прогнозирование состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в различных воздушных средах, на основе методов pH- и карбометрии / А.А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2006. – № 4(7). – С. 81–88.
5. Кудрявцев И.А., Богданов В.П. Исследование карбонизации железобетонных конструкций с длительным сроком эксплуатации // Материалы, технологии, инструменты. – 2000. – Т. 5, № 3. – С. 97–100.
6. Бабушкин В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1968. – 187 с.
7. Комплексная оценка состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций: практическое пособие / А.А. Васильев [и др.]; под ред. А.А. Васильева. – Гомель: УО «БелГУТ», 2005. – 31 с.

8. Пятницкий А.К., Бабко А.К. Количественный анализ.— М.: Высшая школа, 1968.— 438 с.

9. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. — Минск: РУП «Стройтехнорм», 2003. — 139 с.

10. Неразрушающие методы оценки и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушных средах: практ. пособие / Т. М. Пецольд [и др.]; под. ред. А. А. Васильева; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. у-нт трансп. — Гомель: БелГУТ, 2007. — 146 с.

УДК 697.921.42

ЭФФЕКТИВНЫЕ И ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ

Королёва Т.И., Каргавцева О.В.

Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк

Введение. Интересы развития общества выявили настоятельную необходимость использования и внедрения ресурсосберегающих и экологически чистых технологий и производств. Разработка таких технологий и устройство соответствующих систем требуют длительного времени и крупных капиталовложений.

В Республике Беларусь, в силу природных условий, получила значительное развитие деревообрабатывающая промышленность. Производства, связанные с деревообработкой, потребляют значительное количество тепловой и электрической энергии за счет затрат на вентиляцию, оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Состояние воздушной среды на предприятиях деревообрабатывающей промышленности не отвечает современным санитарно-гигиеническим требованиям, вследствие повышенной запыленности воздуха в помещениях и на прилегающих территориях.

Учитывая вышеизложенное, актуальность принятой к исследованию темы состоит в теоретической и экспериментальной разработке с обоснованием комплекса мероприятий по превращению вентиляции деревообрабатывающих предприятий в экологически чистые системы с пониженными энергозатратами.

Системы аспирации получили широкое применение в деревообрабатывающих цехах, где выполняют задачу непрерывного удаления древесных отходов от большого числа станков, работая с малыми массовыми концентрациями (обычно не более 0,1...0,8 кг/кг), транспортируя при этом значительно большее количество воздуха, чем материала. В результате становится высокой удельная стоимость такого транспорта.

Основная часть. Принципиальная схема системы аспирации (рис. 1) представляет собой сеть разветвленных всасывающих воздуховодов, подведенных к режущим инструментам станков, снабженных отсасывающими приемниками, которые предназначены для удаления отходов производства. Воздушный поток, создаваемый вентилятором, по отдельным ответвлениям транспортирует