

- Результаты анализа образцов бетона защитного слоя плит перекрытий ($pH = 9,60...12,13$) указывают:
- на неудовлетворительное состояние бетона и стальной арматуры (полная деградация бетона, полная потеря им защитных свойств по отношению к стальной арматуре и развитие коррозии арматуры различной степени интенсивности в условиях переменной влажности) – 37 % образцов;
 - не вполне удовлетворительное состояние бетона и стальной арматуры (деградация бетона средней степени интенсивности, возможность раскрытия трещин в местах расположения рабочей и конструктивной арматуры и развитие коррозии арматуры различной степени интенсивности в условиях переменной влажности) – 25 % образцов;
 - удовлетворительное состояние бетона и стальной арматуры (начало деградации бетона, свидетельствующее о потере бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре, и возможное развитие коррозии арматуры в условиях переменной влажности) – 19 % образцов;
 - хорошее состояние бетона и стальной арматуры (сохранение бетоном своих защитных свойств по отношению к арматуре) – 19 % образцов.

Таким образом, только 38 % образцов позволяют утверждать об удовлетворительном состоянии бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре, соответственно, об удовлетворительном техническом состоянии плит перекрытия. Для продолжения строительства, а затем длительной безопасной эксплуатации перекрытий необходимо уже на стадии продолжения строительства усиление не менее 37 % плит и обработка нижней поверхности плит составами проникающей гидроизоляции не менее 44 % плит.

Приведенное выше показывает, что физический анализ бетона (определение показателя pH водной вытяжки цементного камня в зоне расположения стальной арматуры) при выполнении обследования зданий и сооружений является необходимым условием обеспечения требуемой долговечности различных типов ЖБЭ, эксплуатирующихся в разных воздушных средах.

Список литературы

- 1 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

УДК 624.012.45/46

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ

*А. А. ВАСИЛЬЕВ, Е. В. БЕЛЯЕВА, В. И. КИРЮШИНА, Е. В. СЕДУН
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железобетон во всем мире признан одним из самых экономичных, экологически чистых, надежных и долговечных строительных материалов. В настоящее время объем производства бетона и железобетона в мировом строительном комплексе по разным оценкам колеблется от 2 до 3 млрд m^3 в год. В индустриально развитых странах на одного жителя затрачивается в год до 2 m^3 бетона и железобетона [1]. Таким образом, основную долю строительных конструкций зданий и сооружений, эксплуатируемых в настоящее время, составляют железобетонные элементы (ЖБЭ) и конструкции (ЖБК) различных типов. Массовость применения бетона и железобетона, многолетние сроки службы, условия эксплуатации от нормальных до сильноагрессивных, качество эксплуатации обуславливают значительную повреждаемость ЖБЭ (ЖБК).

Подавляющее большинство ЖБЭ и ЖБК эксплуатируются в различных атмосферных средах. Воздух – многокомпонентная газовая смесь. Уже в данной среде могут происходить процессы коррозии бетона и стальной арматуры посредством их контакта с CO_2 , O_2 , H_2O [2]. Развитие мегаполисов и техническая революция, сопровождающиеся интенсивным развитием энергетики, металлургии, химической промышленности, всех видов транспорта, машиностроения, привели к значительному изменению состава воздушной среды (повышению её агрессивности), что в свою очередь вы-

звало ускорение процессов деградации бетона, коррозии стальной арматуры и, как следствие, снижению сроков эксплуатации конструкций из бетона и железобетона.

подавляющее большинство строительных конструкций эксплуатируется в условиях жилых, общественных, производственных, сельскохозяйственных зданий либо в условиях открытой атмосферы. Агрессивность атмосферной среды для ЖБЭ и ЖБК определяется следующими основными эксплуатационными условиями:

1) сельскохозяйственные здания: концентрация CO_2 – 0,1–1,0 %; относительная влажность – до 100 %; положительная температура в помещениях в течение всего года; наличие зон с повышенным содержанием CO_2 и влажности; длительные промежутки времени с учетом специфики вентиляции; постоянное длительное воздействие CO_2 и влажности в зимний период;

2) общественные здания и промышленные – с неагрессивной эксплуатационной средой: концентрация CO_2 – 0,03–0,12 %; относительная влажность – до 100 %; положительная температура в помещениях в течение всего года;

3) открытая атмосфера: концентрация CO_2 – 0,03–1,20 %; относительная влажность – до 100 %; периодический переход температуры через 0 °С; периодическое увлажнение атмосферными осадками различной степени интенсивности.

На базе результатов многолетних обследований зданий различного назначения, со вскрытием бетона защитного слоя ЖБЭ, оценкой состояния бетона и стальной арматуры, проведенных НИЛ «Диагностика, испытания и исследования строительных материалов и конструкций» имени профессора И. А. Кудрявцева, была выполнена оценка поврежденности основных типов ЖБЭ, эксплуатирующихся длительные сроки в разных атмосферных условиях. Поврежденность ЖБЭ определяли по результатам обследования различных типов зданий Гомельской области Республики Беларусь. Анализ поврежденности выполняли для основных типов ЖБЭ: колонн, полурам, балок покрытия, стропильных ферм, плит покрытия (перекрытия), стеновых панелей для каждого вида условий эксплуатации: сельскохозяйственных зданий (коровники), промышленных (цехи с неагрессивной средой), открытой атмосферы (недостроенные здания каркасного типа). Оценивали поврежденность ЖБЭ для десяти зданий каждого типа эксплуатационных условий.

Выявленные по результатам детального обследования дефекты и повреждения всех ЖБЭ были классифицированы и сгруппированы. Для каждого типа ЖБЭ определяли количество видов повреждений и от общего количества – доли каждого вида повреждений. Затем для дальнейшего анализа выделили повреждения ЖБЭ, вызванные коррозией бетона и (или) стальной арматуры.

На основе проведенного анализа были получены регрессионные зависимости изменения во времени коррозионных повреждений в бетоне и (или) стальной арматуре для различных типов ЖБЭ, эксплуатирующихся в разных атмосферных средах. В общем виде они описываются следующим выражением:

$$\Pi = \alpha_0 + \alpha_1 t,$$

где Π – коррозионные повреждения бетона и (или) стальной арматуры, %; α_0 и α_1 – коэффициенты; t – прогнозный период, лет.

Регрессионные зависимости прогнозирования поврежденности для различных эксплуатационных условий с результатами проверки их значимости сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Регрессионные зависимости поврежденности ЖБЭ

Конструктивные элементы	Регрессионная зависимость*	F-статистика Фишера	P-Value
<i>Условия сельскохозяйственных зданий</i>			
Колонны (стоечная часть полурам)	$\Pi_c = 17,0 + 0,624t$	55,1228	7,44E-05
Балки (балочная часть полурам)	$\Pi_b = 11,7 + 2,07t$	110,119	5,92E-06
Стеновые панели	$\Pi_m = 28,9 + 1,07t$	59,9099	5,53E-05
Плиты покрытия	$\Pi_n = 49,5 + 1,09t$	121,788	4,05E-06
<i>Условия общественных зданий и промышленных – с неагрессивной эксплуатационной средой</i>			
Колонны	$\Pi_c = 8,60 + 1,07t$	94,3580	1,05E-05
Стропильные фермы (балки)	$\Pi_{\text{сф}} = 5,80 + 1,24t$	78,2892	2,10E-05
Стеновые панели	$\Pi_m = 7,83 + 0,838t$	76,9078	2,24E-05
Плиты покрытия	$\Pi_n = 0,345 + 1,45t$	109,697	6,01E-06

Окончание таблицы 1

Конструктивные элементы	Регрессионная зависимость*	F-статистика Фишера	P-Value
<i>Условия открытой атмосферы</i>			
Колонны	$P_k = 7,33 + 1,75t$	33,2867	0,00042
Стропильные фермы (балки)	$P_{сп} = 13,8 + 1,99t$	125,016	3,67E-06
Стеновые панели	$P_{ст} = 7,68 + 1,52t$	77,8476	2,14E-05
Плиты покрытия	$P_{пл} = 21,0 + 1,70t$	23,8789	0,001214

* P_k , P_b , $P_{сп}$, $P_{пл}$ – прогнозные значения поврежденности соответственно колонны (стоечной части полурам), балок (балочной части полурам), стеновых панелей, плит покрытия, %

Проверка значимости полученных регрессионных зависимостей для различных типов ЖБЭ показала, что предлагаемые модели адекватны, поскольку параметр P-Value $\ll 0,05$ – уровня значимости, принятого в инженерной практике.

Выполненный анализ повреждений ЖБЭ, эксплуатировавшихся различные сроки в разных воздушных средах, показал, что за длительный период эксплуатации коррозионным повреждениям бетона и стальной арматуры различной степени опасности подвержены практически все элементы. По результатам исследований их доля в длительно эксплуатируемых ЖБЭ составляет до 90 %.

Предложенные зависимости могут быть использованы для укрупненного прогнозирования поврежденности различных типов ЖБЭ и ЖБК как на стадии проектирования, так и эксплуатирующихся в различных атмосферных средах при их общем и детальном обследованиях.

Список литературы

- 1 Железобетон в XXI веке: Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Госстрой России; НИИЖБ. – М. : Готика, 2001. – 684 с.
- 2 Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев [и др.] // Совм. Изд. СССР – ЧССР – ФРГ. – М. : Стройиздат, 1990. – 320 с.

УДК 624.012.45/46

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. А. ВАСИЛЬЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

С. В. ДАШКЕВИЧ

«Дойче Бан Инжениринг & Консалтинг GmbH филиал Вильнюс», Литва

Искусственные сооружения (ИССО) являются неотъемлемой частью железнодорожного пути. Несмотря на то, что их доля по протяженности в среднем менее 1,5 % от общей длины путей, их стоимость составляет почти 10 % пути. Это обуславливает необходимость проектирования ИССО на длительные эксплуатационные сроки. Повсеместное использование железобетона (до 90 % элементов) при устройстве ИССО в значительной степени определяет долговечность пути и его безопасную эксплуатацию.

Железобетонные конструкции (ЖБК) ИССО при длительной эксплуатации подвергаются воздействию различных по характеру и степени действия нагрузок: по степени агрессивности эксплуатационных сред, температурно-влажностных деформаций, других внешних и внутренних факторов, поэтому проблема долговечности, оценки ресурса ЖБК ИССО очень сложна. Ее корректная постановка требует учета изменчивости материалов и нагрузок во времени, чувствительности к деградации конструктивной формы сооружения, условий строительства и эксплуатации, социально-экономических требований. Задача оценки ресурса ИССО как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации всегда была наименее изученной в теории сооружений, в то же время – наиболее значимой в социально-экономическом плане. Сегодня, в условиях весьма ограниченного финансирования системы эксплуатации, стратегическое планирование финансирования отрасли должно опираться на как можно более реалистичный прогноз технического состояния ИССО.