

И. А. КУДРЯВЦЕВ, доктор технических наук, профессор; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПУТЕПРОВОДОВ И ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

Приводятся результаты наблюдений за изменением свойств железобетонных путепроводов и водопропускных труб в зависимости от сроков эксплуатации на примере Белорусской железной дороги. Даны предложения по корректировке расчета конструкций с учетом потери прочности материала.

Известно, что долговечность путепроводов и искусственных сооружений зависит от ряда факторов, к основным из которых относятся: срок эксплуатации, уровень виброфона, нагрузки, качество содержания и т.д.

За почти столетний период экспериментальных исследований коррозии бетона накоплен большой фактический материал, что создало предпосылки для обобщений, попытки представить результаты в форме математических моделей. В настоящее время практикуются различные подходы к созданию таких моделей. Один из них состоит в создании эмпирических уравнений, отражающих в большей или меньшей степени роль отдельных факторов: вещественного состава вяжущих, плотности бетона, особенности агрессивности среды и пр. Полученные уравнения, как правило, нельзя распространять за пределы обрабатываемого экспериментального материала. В ряде работ отмечено, что коррозия в бетоне наступает, когда показатель pH находится ниже 11,5–11,8 [1]. Наши исследования показали, что эта величина несколько меньше, а после 10–15 лет эксплуатации защитный слой устоев опор и пролетных строений путепроводов начинает корродировать (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Процент конструкций путепроводов, подверженных коррозии

Срок эксплуатации, лет	Показатель pH ниже предельного, %		
	пролет	устой	опора
До 10	6	7	5
" 20	8	9	7
" 30	19	27	25
" 40	26	39	32
" 50	32	48	39

Примечание – Объем выборки – 100 объектов.

Таблица 2 – Процент элементов водопропускных труб, подверженных коррозии

Срок эксплуатации, лет	Показатель pH ниже предельного, %		
	свод	стена	лоток
До 10	8	8	8
" 20	12	12	12
" 30	18	16	16
" 40	36	26	26
" 50	49	37	36

Примечание – Объем выборки – 100 объектов

В предыдущих наших работах выявлено, что коррозия бетона на поверхности конструкции и внутри нее протекает неравномерно и на некоторой глубине может вообще прекратиться (рисунок 1).

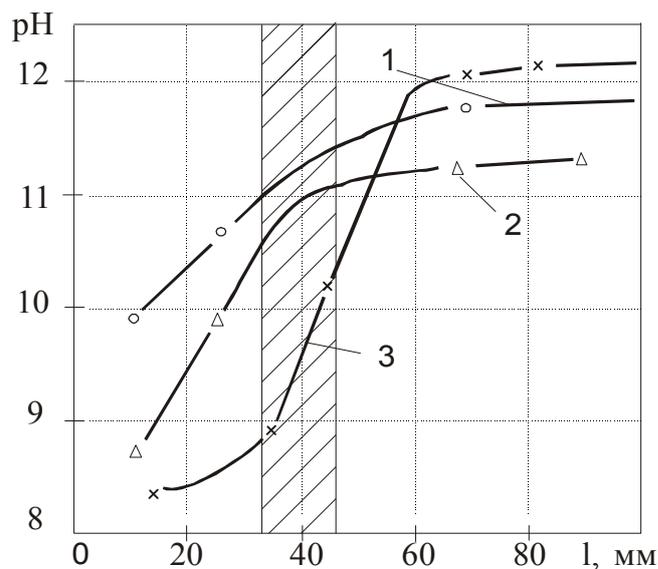


Рисунок 1 – Изменение показателя pH по глубине: 1 – бетон класса В30, 2 – класса В20, 3 – класса В10

Величина поврежденного защитного слоя для бетона класса В22,5 аппроксимируется зависимостью [2]

$$H = \frac{1}{2} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{R - 5,24}{0,2} \right) + 75 \right],$$

где H – расстояние от поверхности конструкции, мм; R – прочность бетона, МПа.

Снижение ρH соответственно приводит к снижению величины R , характеризующей прочность бетона (рисунок 2).

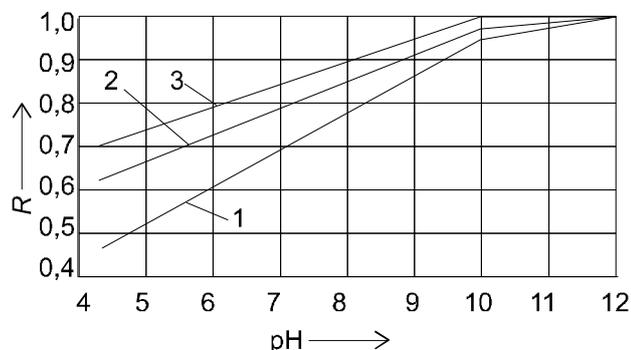


Рисунок 2 – Зависимость изменения прочности бетона от показателя ρH : 1 – бетон класса В10, 2 – класса В20, 3 – класса В30

Площадь поперечного сечения элементов конструкций путепроводов, подверженных коррозии, в процентах приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Площадь поперечного сечения конструкций путепроводов, подверженных коррозии, %

Срок эксплуатации, лет	Тип конструкции сечения		
	устой	опора	пролет
До 10	1–2	1–2	1–2
" 20	2–5	2–4	2–4
" 30	3–7	3–6	6–10
" 40	5–10	4–8	9–17
" 50	8–20	6–14	18–26

Примечание – Объем выборки – 100 объектов.

Нами также выявлено существование корреляционной зависимости между увеличением амплитуд виброперемещений и снижением ρH в бетоне (рисунок 3).

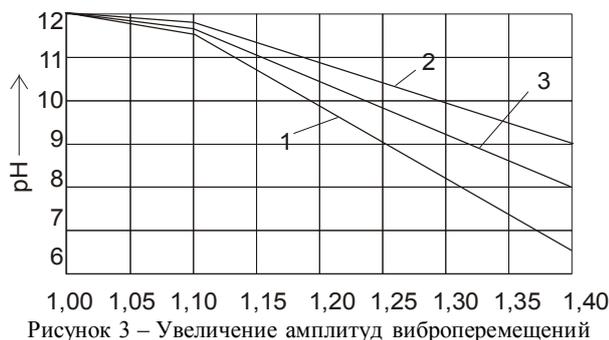


Рисунок 3 – Увеличение амплитуд виброперемещений

Как показано выше, уменьшение прочности бетона происходит по глубине, начиная с поверхности. Поэтому использование характеристик прочности бетона, взятых с поверхности, имеет достаточно большую погрешность. В отдельных случаях эти расхождения достигают 3–4 раз, и для обеспечения надежности выполняется усиление конструкции так, что в реальных условиях несущая способность по сравнению с первоначальной проектной за счет перерасхода материалов увеличивается в 1,3–1,5 раз. Для устранения этих отклонений целесообразно использовать так называемую величину $R_{\text{экрв}}$, определяемую по формуле

$$R_{\text{экрв}} = \frac{R_1 A_1 + R_2 A_2 + \dots + R_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n},$$

где R_1, R_2, R_n – соответственно прочностные характеристики бетона в фиктивных слоях конструкции; A_1, A_2, A_n – соответственно площади этих слоев.

Использование такой методики позволяет более точно определить реальную несущую способность конструкции путепровода и водопропускных труб, а также откорректировать затраты на выполнение ремонтных работ. Такой подход позволит повысить сходимости результатов, полученных экспериментальным и расчетным путями.

Изучение влияния коррозии бетона на коррозию арматуры проводилось только в лабораторных условиях. Результаты таких исследований на реальных объектах заметно отличаются, что можно объяснить рядом факторов: изменением температурно-влажностного режима, стохастическим характером нагружения и т.д. По итогам наблюдений за пролетными строениями ряда путепроводов нами выявлено, что при $\rho H = 9$ коррозия металла начинается примерно через 2–3 года, при $\rho H = 8$ – через 1,5–2,0, при $\rho H = 7$ – через 1,0–1,1, при $\rho H = 6$ – через 0,8–0,9, при $\rho H = 5$ – через 0,3–0,4 года.

В сводах водопропускных труб коррозия металла начинается при наличии $\rho H = 9$ спустя 1,2–1,5 года, при $\rho H = 8$ – через 1,0–1,2, при $\rho H = 7$ – через 0,8–0,9, при $\rho H = 6$ – через 0,6–0,8, при $\rho H = 5$ – через 0,1–0,2 года.

В результате взаимодействия круглой трубы с грунтами на контакте возникают нормальные P и касательные q напряжения (нагрузки на трубу) [3]:

$$P = P_0 + P_2 \cos 2\Theta; \quad q = q_2 \sin 2\Theta,$$

$$P_0 = \alpha \gamma H \frac{1 + \lambda}{2} A; \quad P_2 = \alpha \gamma H \frac{1 - \lambda}{2} B; \quad q_2 = -\alpha \gamma H \frac{1 - \lambda}{2} C;$$

$$A = \frac{1 + \nu}{\frac{E}{E_k} \left(\frac{C_1^2 + 1}{C_1^2 - 1} - \nu_k \right) + (1 + \nu)};$$

$$B = \frac{3-v}{D} \left\{ \frac{E}{E_k} \left[\frac{3C_1^4(3-C_1^2) + (3C_1^2-1)}{(C_1^2-1)^3} + v_k \right] - (1+v) \right\};$$

$$C = \frac{3-v}{D} \left\{ \frac{E}{E_k} \left[\frac{3C_1^4(5+C_1^2) - (3C_1^2-1)}{(C_1^2-1)^3} - v_k \right] + (1+v) \right\};$$

$$D = (3-v)(1+v) + 2 \frac{E}{E_k} \left[\frac{5C_1^4(C_1^2+1) + (3-C_1^2)}{(C_1^2-1)^3} + v_k \frac{(5C_1^2+1) - C_1^4(C_1^2+1)}{(C_1^2-1)^3} - v_k(1-v) \right] + \left(\frac{E}{E_k} \right)^2 \times$$

$$\times \left[\frac{3C_1^6(C_1^2+4) - 2C_1^2(3C_1^2-2) + 3}{(C_1^2-1)^4} + v_k \frac{C_1^4(C_1^2+1) - (5C_1^2+1)}{(C_1^2-1)^3} - v_k^2 \right],$$

где $C_1 = R_1/R_0$, R_1 – наружный радиус трубы, м; R_0 – внутренний радиус трубы, м; E , E_k – модуль деформации грунта и трубы; v , v_k – коэффициенты поперечной деформации грунта и трубы.

В первоначальный период труба близка к жесткой. В этом случае контактные напряжения совпадают с расчетными начальными в грунтовом массиве

$$\sigma_y = P_0 + P_2 = \alpha\gamma H; \quad \sigma_x = P_0 - P_2 = \alpha\lambda\gamma H.$$

С изменением жесткости P_2 будет менять знак на противоположный.

С учетом приведенных выше предпосылок устойчивость свода водопропускной трубы от обрушения снижается на 10 % при рН = 8 спустя 2,4 года, при рН = 7 – через 1,5, при рН = 6 – через 1,0 года. Снижение на 20 % при рН = 8 отмечается спустя 5,2 года, при рН = 7 – через 3,3, при рН = 6 – через 2,3 года. Надежность трубы не будет обеспечена, если коррозия бетона и арматуры превысит 50 %.

Известно, что причины, вызывающие необходимость усиления, оказывают влияние на выбор способа усиления. При повреждении конструкции возможно усиление как отдельных элементов, так и всей конструкции в целом. При этом немаловажную роль играет материал элементов усиления. Как отмечено рядом ведущих ученых, в предстоящие годы трудно ожидать существенного изменения имеющихся способов усиления железобетонных конструкций с использованием традиционных материалов. Видоизменения могут быть связаны с применением для усиления новых материалов: фибробетона, неметаллической арматуры, композитных материалов, а также бетонов на специальных видах цементов, в том числе напрягающего.

Так как методика рационального усиления конструкций требует обязательного учета граничных условий, целевая функция $\Phi(y)$, характеризующая наиболее выгоднейшее решение, образуется из предельных

значений допустимых решений. Для решения этой задачи наиболее рационально ввести систему ограничений из трех групп:

- 1 Ограничения на надежность.
- 2 Конструктивные, архитектурные и технологические ограничения.
- 3 Ограничения на расход ресурсов.

Исследования, выполненные по разработанной нами методике, показали, что затраты на ремонт пролетного строения [4] при потере несущей способности 10 % составляют 8 % от первоначальной стоимости, при 20 % – 15, при 30 % – 45, при 40 % – 75, при 50 % – 101 %. Таким образом, при потере прочности свыше 50 % более эффективно установить новое пролетное строение.

Выводы

- 1 При эксплуатации железобетонных путепроводов и водопропускных труб необходимо учитывать изменение прочностных свойств материала, вызванное коррозией, на основе рН-фактора.
- 2 При расчете конструкции, подверженной коррозии, использование результатов с помощью неразрушающих методов контроля требует кардинально другого подхода, учитывающего неравномерность по глубине повреждения конструкции.

Список литературы

- 1 Железобетон в XXI веке / Под ред. К.В. Михайлова. М., 2001. 684 с.
- 2 Кудрявцев И.А., Дзирко С.В. Изменение прочности бетона при попеременном замораживании // Материалы, технологии, инструменты. № 2. 1997. С. 14–17.
- 3 Фролов Ю.С., Иванес Т.В. Механика подземных сооружений. СПб., 1997. 112 с.
- 4 Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий. Надземные конструкции и сооружения / Харьковский ПромстройНИИпроект, НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1992. 191 с.

Получено 29.10.2001

I.A. Kudryavtsev. Monitoring of condition the concrete viaducts and draining tubes.

The results of monitoring on Belarusian Railway of concrete viaducts and draining tubes characteristics change depending on maintenance time. The proposals on construction calculation correction taking into consideration material strength loss are given.