

УДК 624.012.4:620.19
ББК 38.53+34.66
М-14

Маилян Дмитрий Рафаэлович, доктор технических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций Ростовского государственного строительного университета;

Несветаев Григорий Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии строительного производства Ростовского государственного строительного университета;

Коллеганов Алексей Вячеславович, кандидат технических наук, заведующий лабораторией ЗАО «КБ Ивлева»;

Блягоз Алик Моссович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных и общепрофессиональных дисциплин Майкопского государственного технологического университета, e-mail: alfa-maikop@yandex.ru.

ОЦЕНКА КРИТИЧЕСКОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, ПОДВЕРЖЕННОГО КОРРОЗИИ (рецензирована)

В статье рассматриваются вопросы оценки и нормирования остаточной прочности бетона конструкций, подверженных коррозии. Приводятся расчетные формулы для определения допустимого коэффициента армирования в зависимости от остаточного предела прочности.

Ключевые слова: остаточная прочность бетона, изгибаемый элемент, коэффициент армирования.

Mailyan Dmitry Rafaelovich, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry structures of Rostov State University of Civil Engineering;

Nesvetaev Grigory Vasilievich, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Technology of Building Industry of Rostov State University of Civil Engineering;

Kolleganov Alexei Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences, head of the laboratory of JSC "Ilev CB" of Stavropol;

Blyagoz Alec Mossovich, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the department of Construction and General Professional Disciplines of Maikop State Technological University, tel.: 89184205021, e-mail: alfa-maikop@yandex.ru.

EVALUATION OF THE CRITICAL STRUCTURAL STRENGTH OF CORRODIBLE CONCRETE (Reviewed)

The article considers questions of assessment and valuation of the residual strength of concrete structures subject to corrosion. Formulas for calculating the allowable reinforcement ratio depending on the residual tensile strength have been given.

Keywords: residual strength of concrete, the bending element, reinforcement ratio.

В благоприятных условиях прочность бетона, как правило, нарастает в течение длительного времени. Однако в реальных условиях под воздействием механических напряжений, и особенно, физической и химической коррозии может происходить деградация структуры бетона, следствием чего является снижение его прочности. Так при обследовании обрушенного монолитного ребристого перекрытия в здании 1962 г. постройки (рис. 1) специалистами «КБ Ивлева» была зафиксирована остаточная прочность бетона плиты в диапазоне от 8,2 до 15,4 МПа.

В железобетонных балках после длительной эксплуатации фиксировались значения остаточной прочности бетона в пределах 9,4-10,6 МПа, а в плитах покрытия от 6,4 до 20,3 МПа (табл. 1).

Следует отметить, что небольшое до 10-15% снижение проектной прочности бетона не оказывает заметного влияния на конструкции. Вместе с тем более существенное снижение прочности – до 30% и более, как правило, приводит к необратимым последствиям.

Таблица 1 - Результаты обследования конструкций плит покрытия

Показатели	Конструкция						
	1	2	3	4	5	6	7
Число проб	3	10	10	9	10	10	2
Диапазон прочности, МПа	8,2 – 11,1	8,3 – 20,2	6,4 – 20,3	6,4 – 13,9	6,9 – 15,7	6,4 – 15,5	12,2 – 12,8
Среднее	10,0	12,8	10,9	9,2	9,8	9,9	12,5
Дисперсия		4,1	5,6	2,9	2,6	3,0	

Так, согласно [1], снижение прочности бетона против требований норм (проекта) более чем на 30%, является признаком предаварийного или аварийного состояния конструкций (табл. II-1, приложение II). Анализ данных многолетнего обследования состояния конструкций, специалистами «КБ Ивлева» [2] позволил сделать вывод о том, что участки в ребристом перекрытии без видимых повреждений характеризуются пределом прочности бетона не менее 12 МПа, при этом возможна их дальнейшая эксплуатация, а для участков с трещинами (рис. 2) характерен предел прочности от 5,5 до 8 МПа.

Оценка несущей способности железобетонных конструкций при коррозионном повреждении проводилась неоднократно [3-5], тем не менее, вопрос о нормировании допустимой остаточной прочности бетона конструкций, подверженных коррозионному повреждению, должным образом не разработан. В настоящей работе сделана попытка оценить остаточную несущую способность по бетону изгибаемых железобетонных элементов на основе статистических зависимостей прочностных и деформационных свойств бетона. Оценка произведена для наиболее простого случая – изгибаемых элементов с одиночной арматурой, имеющей надежное сцепление с бетоном (рис. 3).



Рис. 1. Обрушение монолитного ребристого перекрытия



Рис. 2. Коррозионное повреждение ребристого перекрытия

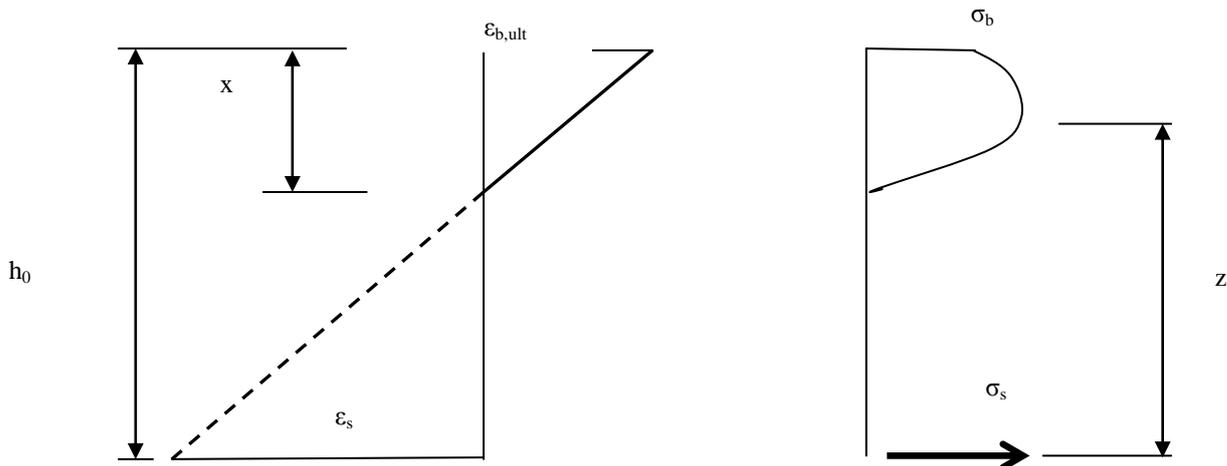


Рис. 3. Схема напряженно-деформированного состояния сечения при изгибе

Исходя из гипотезы плоских сечений, имеем:

$$\frac{x}{\varepsilon_{b,ult}} = \frac{h_0 - x}{\varepsilon_s}, \quad (1)$$

Откуда

$$x = \frac{\varepsilon_{b,ult}}{\varepsilon_s + \varepsilon_{b,ult}} \cdot h_0, \quad (2)$$

В соответствии с [6] и, принимая $\varepsilon_s = 200 \cdot 10^{-5}$, получим:

$$\varepsilon_{b,ult} = 2,2 \cdot B^{-0,116} \cdot \varepsilon_R, \quad (3)$$

$$\varepsilon_R = 0,058 \sqrt{\frac{R_{bn}}{E_0}}, \quad (4)$$

$$E_0 = \frac{57 + 0,05 \cdot R_{bn}}{1 + \frac{29}{3,8 + R_{bn}}} \cdot 10^3, \quad (5)$$

с учетом уменьшения прочности бетона во времени вследствие развития коррозии, а также, учитывая, что величина z_0 в первом приближении может быть определена с учетом среднего значения величин для прямоугольной и треугольной эпюр напряжений бетона сжатой зоны:

$$z_0 = h_0 - 0,333 \cdot x, \quad (6)$$

и

$$z_0 = h_0 - 0,5 \cdot x, \quad (7)$$

т.е.

$$z_0 = c \cdot h_0 = (0,0033 \cdot R_{bn} + 0,758) \cdot h_0, \quad (8)$$

получим зависимость изменения относительной высоты сжатой зоны изгибаемого сечения и величины $z_0 = c h_0$ (плечо внутренней пары сил) при развитии коррозии (табл. 2), необходимое для расчета величины изгибающего момента, воспринимаемого рабочей арматурой M_s .

Таблица 2 - Изменение расчетных параметров изгибаемого сечения в зависимости от предела прочности бетона

R_{bn} , МПа	E_0 , МПа	ε_R	$\varepsilon_{b,ult}$	x/h_0	c
22,5	27640	0,00165	0,00254	0,559	0,79
20	26140	0,0016	0,00249	0,555	0,792
17,5	24510	0,00155	0,00245	0,55	0,794
15	22710	0,00149	0,00240	0,544	0,773
12,5	20730	0,00142	0,00234	0,539	0,753
10	18540	0,00135	0,00227	0,531	0,756
7,5	16090	0,00125	0,00218	0,521	0,761
5	13330	0,00112	0,00205	0,506	0,768

Тогда момент, воспринимаемый арматурой, определяется как

$$M_s = \varepsilon_s \cdot \gamma_s \cdot E_s \cdot A_s \cdot c \cdot h_0, \quad (9)$$

а момент, воспринимаемый бетоном, соответственно

$$M_b = c \cdot h_0 \cdot b_0 \int_0^{\varepsilon_{b,ult}} \sigma_x \cdot dx, \quad (10)$$

где σ_x определяется из известной зависимости:

$$\frac{\sigma_x}{R} = \frac{k \cdot \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_R} - \left(\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_R}\right)^2}{1 - (k-2) \cdot \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_R}}, \quad (11)$$

В первом приближении значение γ_s можно принять постоянным (0,9), а интегрирование выражения (10) провести численным методом, тогда из условия

$$M_s = M_b, \quad (12)$$

можно получить предельное значение предела прочности бетона краевого волокна в виде

$$R_{b,lim} = \frac{\varepsilon_s \cdot E_s \cdot \gamma_s \cdot A_s}{b_0 \cdot x}, \quad (13)$$

В табл. 3 представлены значения соотношения M_s/M_b для рассматриваемой балки в зависимости от коэффициента армирования μ и прочности бетона краевого волокна после коррозии. Поскольку значение расчетного сопротивления бетона составляет 0,51-0,52 В (В – класс бетона), то принимая приближенно значение расчетного сопротивления $R_b = 0,51 \cdot R_{b,lim}$, можно с допустимой погрешностью принять допустимое значение соотношения $M_s/M_b = 0,5$, тогда в табл. 3 представлена в заштрихованном виде область недопустимых значений, при которых возможно изменение схемы разрушения сечения: вместо разрушения по рабочей арматуре разрушение будет происходить по бетону сжатой зоны вследствие снижения предела прочности бетона ниже допустимого.

Таблица 3 - Зависимость соотношения M_s/M_b от коэффициента армирования и предела прочности бетона краевого волокна

М	Соотношение M_s/M_b при пределе прочности бетона краевого волокна, МПа						
	20	17,5	15	12,5	10	7,5	5
0,005	0,214	0,229	0,246	0,266	0,289	0,317	0,351
0,007	0,300	0,320	0,344	0,372	0,405	0,444	0,492
0,009	0,386	0,412	0,443	0,478	0,520	0,570	0,632
0,01	0,429	0,458	0,492	0,531	0,578	0,634	0,703
0,012	0,515	0,550	0,59	0,638	0,693	0,761	0,843
0,014	0,600	0,641	0,689	0,744	0,809	0,887	0,984

Аналогичные расчеты для ребристых плит покрытия по ГОСТ с толщиной полки 50 мм при условии сохранности сцепления арматуры с бетоном в ребре также показывают зависимость допустимого снижения прочности бетона полки от коэффициента армирования (рис. 4).

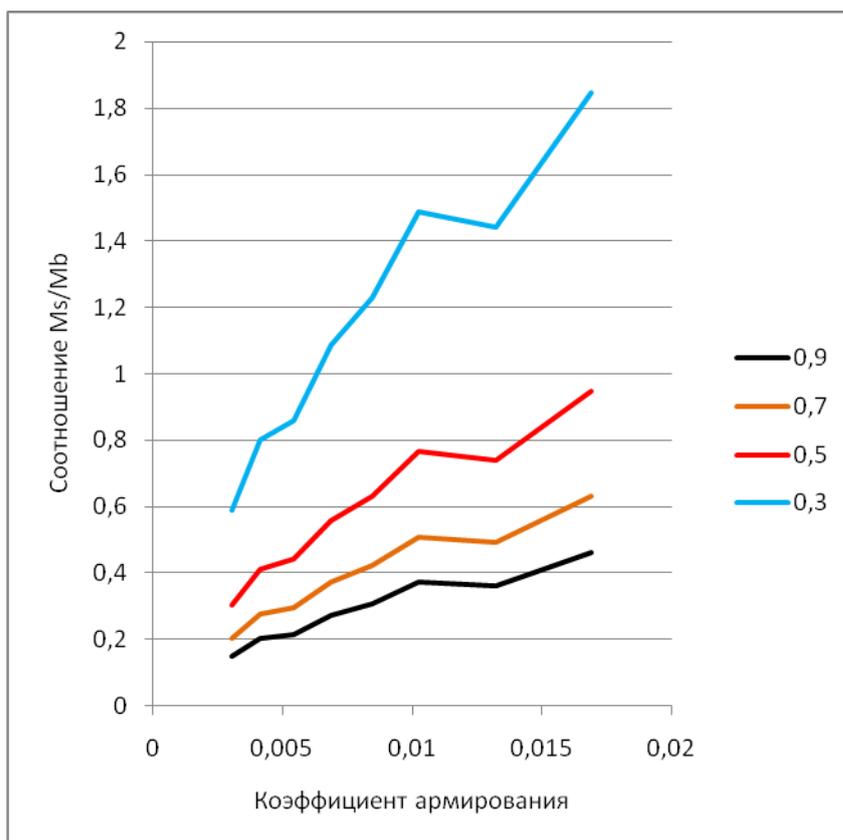


Рис. 4. Изменение величины M_s/M_b в зависимости от коэффициента армирования и прочности бетона полки плиты относительно начального значения 0,3-0,9 прочность бетона полки относительно первоначальной

На рис. 5 представлена зависимость предельно допустимого коэффициента армирования конструкции в зависимости от остаточного предела прочности бетона краевого волокна, при котором выполняется условие (11).

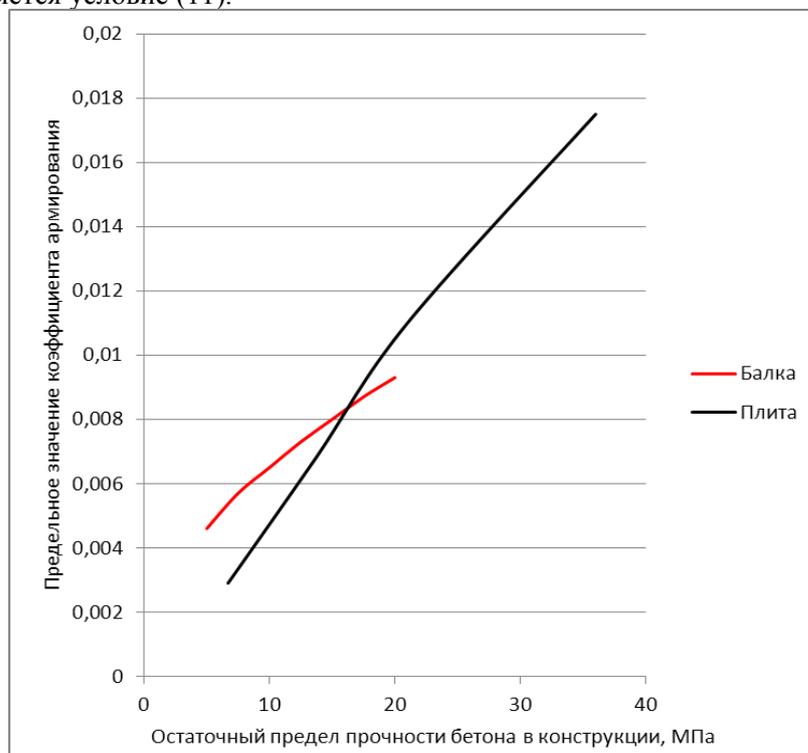


Рис. 5. Зависимость предельного значения коэффициента армирования от величины остаточной прочности бетона, при котором выполняется условие (11)

Очевидно, что критическое состояние в ребристой плите наступает раньше при малых значениях прочности бетона, поскольку при малой толщине полки коррозионное повреждение бетона достаточно равномерно распространяется на всю толщину.

Предельное значение остаточной прочности бетона краевого волокна может быть определено в зависимости от коэффициента армирования конструкции по формуле

$$R_{b,lim} = \frac{+a}{b}, \quad (14)$$

где $a = 0,0009$ и $-0,0033$; $b = 0,0006$ и $0,0003$ для плиты и балки соответственно.

В табл. 4 представлены предельные значения остаточной прочности бетона в зависимости от коэффициента армирования для ребристых плит.

Таблица 4 - Расчетные значения критической конструктивной прочности бетона в зависимости от коэффициента армирования для ребристых плит покрытия

	Коэффициент армирования (класс бетона)							
	0,00305 (22,5)	0,00414 (22,5)	0,00542 (27,5)	0,00686 (27,5)	0,00846 (30)	0,0102 (30)	0,0132 (40)	0,0169 (40)
$R_{b,lim}$	6,6	8,4	10,5	12,9	15,6	18,5	23,5	29,6
$\frac{R_{b,lim}}{R_{b,0}}$	0,29	0,37	0,38	0,47	0,52	0,62	0,59	0,74

Для балок из бетона класса В20 при коэффициенте армирования 0,005-0,007 величина $R_{b,lim}$ составит 5,7-12,3 МПа, или 0,29-0,62.

Таким образом представленная методика оценки остаточной прочности бетона позволяет более правильно определить состояние железобетонных конструкций подверженных коррозии во времени.

Литература:

1. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. М.: ЦНИИПромзданий, 1997.
2. Коллеганов А.В., Ивлев Л.Н. О критической конструктивной прочности эксплуатируемых железобетонных конструкций // Железобетон, строительные материалы и технологии в третьем тысячелетии. Ростов н/Д.: РГСУ, 2003. С. 28-29.
3. Полак А.Ф. Основы коррозии железобетона: математическое моделирование процесса с применением ЭВМ. Уфа: УфНИ, 1986. 68 с.
4. Оценка надежности железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях воздействия агрессивных сред / Н.В. Савицкий [и др.] // Способы повышения коррозионной стойкости бетона и железобетона / под ред. С.Н. Алексеева. М.: НИИЖБ, 1986. С. 53-58.
5. Савицкий Н.В. Оценка напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов в случае воздействия агрессивных сред и нагрузки // Технология, расчет и конструирование железобетонных конструкций / под ред. Б.А. Крылова, Ю.П. Гущи. М.: НИИЖБ, 1986. С. 107-109.
6. Несветаев Г.В. Бетоны: учебное пособие. Ростов н/Д.: Феникс, 2011. 381 с.

References:

1. Manual on investigation of construction structures of buildings. M.: CSRIInd.buildings,1997.
2. Kolleganov A.V., Ivlev L.N. On the critical structural strength of exploited ferroconcrete structures / Reinforced concrete, building materials and technologies in the third millennium. Rostov-on/D.: RSUCE, 2003. P. 28 - 29.
3. Polak A.F. Foundations of concrete corrosion: mathematical modeling by computer. Ufa: UfNI, 1986. 68 p.
4. Assessment of the reliability of reinforced concrete structures operating in aggressive environments / N.V. Savitski [and oth.] // Methods of improving the corrosion resistance of reinforced concrete and concrete / Ed. S.N. Alexeev. M.: 1986. P. 53 - 58.
5. Savitski N.V. Evaluation of the stress-strain state of concrete elements in the case of hostile environment and load impact // Technology, calculation and design of reinforced concrete structures / Ed B.A. Krylov, J.P. Gushcha. M.: SRIFC, 1986. P. 107 - 109.
6. Nesvetaev G.V. Concrete: a manual. Rostov-on-Don: Phoenix, 2011. 381 p.