

УДК 624.012:620.193

**З.Я. Бліхарський**Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра будівельних конструкцій і мостів**РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ НОРМАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПОШКОДЖЕНИХ КОРОЗІЄЮ**

© Бліхарський З.Я., 2002

**Запропонована методика розрахунку нормальних перерізів балок, пошкоджених корозією. Наведені експериментальні дані, на яких апробована методика. Порівнюються результати розрахунку залізобетонних балок, отриманих за даною методикою і згідно з чинними нормативними документами.**

Внаслідок дії агресивного середовища залізобетонні конструкції отримують дефекти та пошкодження, які вносять особливості в їх напружено-деформований стан під навантаженням. Це створює свої особливості також під час розрахунку таких конструкцій.

Розглянемо поперечні перерізи залізобетонних балок до і після дії агресивного середовища (рис. 1).

а) не пошкоджений корозією

б) пошкоджений корозією

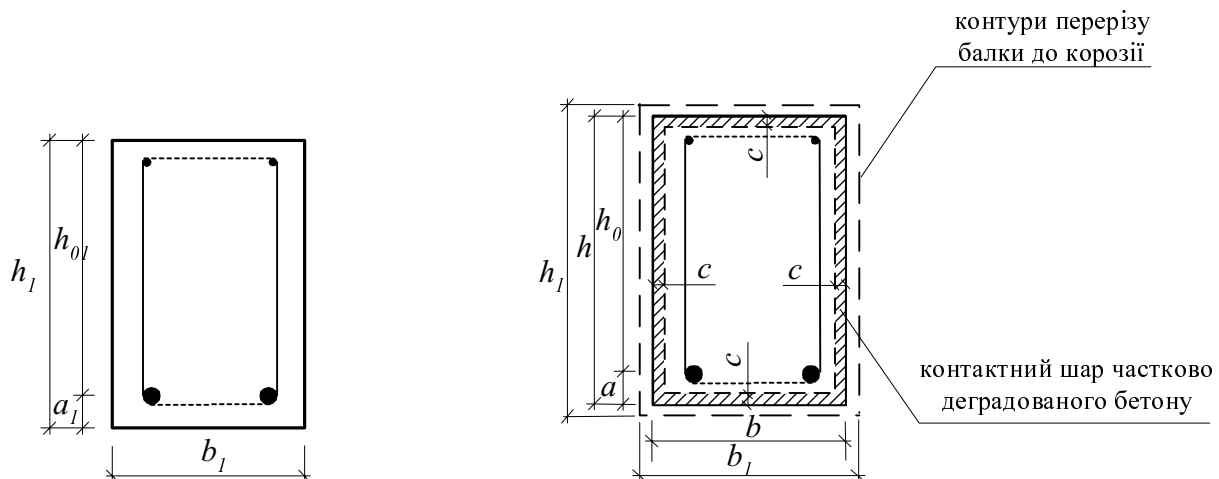


Рис. 1. Поперечний переріз залізобетонних балок

Оскільки поперечний переріз балки включає бетон не пошкоджений корозією та контактний шар частково деградованого бетону, характеристики міцності та деформативності яких є різними, розрахунок міцності перерізів, нормальних до поздовжньої осі елемента, можна виконувати з використанням загального випадку розрахунку згідно з СНіП 2.03.01-84\* [1].

Для оцінки міцності нормальних перерізів використовується наведена призма міцність бетону

$$R_{b,red} = (R_b \cdot A_b + R_b^c \cdot A_b^c) / A_{b,tot}^c, \quad (1)$$

де  $A_{b,tot}^c = b \cdot h$  – сумарна площа перерізу;  $A_b = (b - 2c)(h - 2c)$  – площа не пошкодженого корозією бетону;  $A_b^c = 2b \cdot c + 2(h - c)c$  – площа частково деградованого дією

корозії контактної шару бетону;  $R_b$  – призмове міцність не пошкодженого корозією бетону;  $R_b^c$  – призмове міцність пошкодженого корозією контактної шару бетону.

Характеристики міцності  $R_b$  та  $R_b^c$  і відповідні їм модулі деформацій бетону  $E_b$  та  $E_b^c$  встановлюються за допомогою не руйнуючих методів (за допомогою ультразвукових приладів чи інших), а також вирізанням дослідних зразків бетону та їх детальними лабораторними дослідженнями. На вирізаних зразках визначається також товщина частково деградованого під дією корозії контактної шару бетону. При наперед відомих характеристиках міцності не пошкодженого корозією бетону балки призмове міцність пошкодженого бетону з певним наближенням можна приймати  $R_b^c = 0,5R_b$  на поверхні балки, внаслідок протікання корозії, міцність бетону практично дорівнює нулю. На межі контакту не пошкодженого та пошкодженого корозією бетону міцність бетону дорівнює  $R_b$ . Отже, усереднену міцність частково пошкодженого з певним наближенням можна приймати як середнє арифметичне –  $0,5R_b$ .

Висота стиснутої зони бетону визначається з умови

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A_s'}{\gamma_{bc} R_{b,red} \cdot b^c} \quad (2)$$

У цій формулі  $A_s$ ,  $A_s'$  – площа відповідно розтягнутої та стиснутої арматури. У разі наявності корозії пошкоджень арматури замість  $A_s$  приймаємо  $A_s^c$ ,  $A_s'^c$  – площа відповідно розтягнутої та стиснутої арматури з врахуванням зменшення площі внаслідок корозії.  $\gamma_{bc}$  – коефіцієнт умов роботи стиснутої зони бетону, пошкодженого корозією.

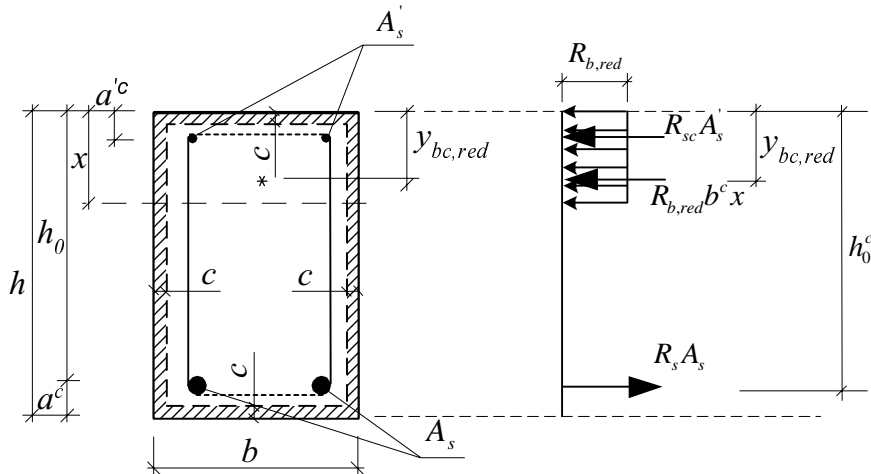


Рис. 2. Розрахунковий поперечний переріз

Оскільки стиснута зона складається з двох різних за характеристиками міцності та деформативності бетонів, центр її ваги не буде знаходитися на відстані  $0,5x$ , як для однорідних перерізів. Центр ваги стиснутої зони бетону знаходимо як для наведеного перерізу. Визначаємо площу наведеного перерізу бетону стиснутої зони (рис. 2)

$$A_{bc,red} = (b - 2c)(x - c) + \alpha(2x \cdot c + (b - 2c)) \quad (3)$$

де  $\alpha = E_b^c / E_b$

Статичний момент приведенного перерізу бетону стиснутої зони відносно верхньої грані балки

$$S_{bc,red} = (b - 2c)(x - c)(x - 0.5(x - c)) + \alpha(x^2 \cdot c + 0.5(b - 2c) \cdot c^2). \quad (4)$$

Відстань від верхньої грані до центра ваги приведенного перерізу стиснутої зони бетону

$$y_{bc,red} = \frac{S_{bc,red}}{A_{bc,red}}. \quad (5)$$

Міцність нормальних перерізів залізобетонних балок, пошкоджених корозією, перевіряється за умовою

$$M \leq \gamma_{bc} R_{b,red} \cdot b \cdot x (h_0 - y_{bc,red}) + R_{sc} A_s^c (h_0 - a^c) \quad (6)$$

Розрахунок за даною методикою рекомендується виконувати, коли висота стиснутої зони бетону  $x = \xi_R \cdot h_0$ . У випадку, коли  $x > \xi_R \cdot h_0$  допускається перевіряти міцність нормального перерізу за (6), визначивши висоту стиснутої зони бетону з умови

$$x = \frac{\sigma_s A_s - R_{sc} A_s^c}{R_{b,red} \cdot b^c}, \quad (7)$$

де

$$\sigma_s = \frac{0.2 + \xi_R}{0.2 + \xi + 0.35 \frac{\sigma_{sp}}{R_s} \left( 1 - \frac{\xi}{\xi_R} \right)} \cdot R_s. \quad (8)$$

Для перевірки запропонованої методики розрахунку були виконані експериментальні випробовування дослідних залізобетонних балок. Балки виготовляли з важкого бетону класу В35 [2]. Для бетону використовували цемент марки М500, пісок з модулем крупності 1.36, щебінь фракції 10-20 мм. Співвідношення складників бетону Ц:П:Щ=1:1,13:2,59 з водоцементним відношенням В/Ц=0,42. Розміри балок становили 210×200×100 мм. Балки мали робочу розтягнуту арматуру 2Ø12, 2Ø14 та 2Ø16 мм класу А-III, що відповідало відсотку армування  $\mu=1,1\%$ ,  $\mu=1,5\%$ ,  $\mu=2,0\%$ . При випробовуванні балки навантажували двома зосередженими силами в третинах прогону. Для визначення несучої здатності непошкоджених корозією балок виконувалися випробування короткочасним навантаженням, яке прикладалося ступенями з фіксацією деформацій бетону, арматури та прогинів під час короткочасної витримки на кожному ступені. Аналогічні балки-близнюки навантажувалися до рівня 0,7 від руйнуючого. У спеціально закріплені на балках ванни заливалася 10%-на сірчана кислота і таким чином балки витримувались в часі при одночасній дії агресивного середовища та навантаження. Стенди для випробовування балок показано на рис. 3.

Паралельно проводилось випробування призм розміром 400×100×100 мм при одночасній дії стискаючої центрально прикладеної сили на рівні 0,35 від руйнуючого навантаження та агресивного середовища. Стенд для випробувань призм показаний на рис. 4.

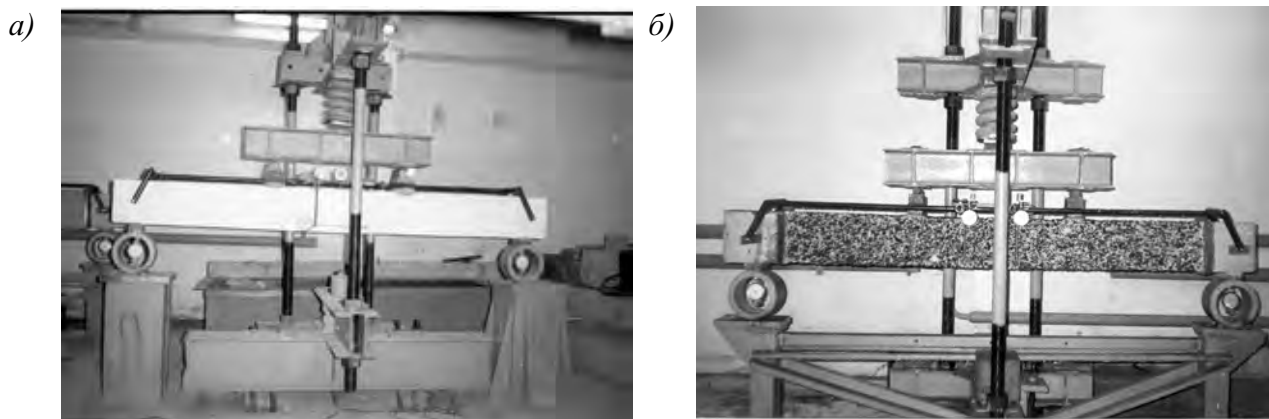


Рис. 3. Стенд для експериментального випробовування балок:

а) – на короточасну дію навантаження; б) – на сумісну довготривалу дію навантаження і агресивного середовища



Рис. 4. Стенд для випробувань призм

Внаслідок випробовувань призм встановлено, що напруження в бетоні призм з корозійними руйнуваннями були нижчі, ніж величина призмової міцності бетону при стиску, визначені випробуванням не пошкоджених корозією бетонних призм. При цьому при визначенні напружень у бетоні пошкоджених корозією призм враховувався вплив гнучкості внаслідок зменшення розмірів поперечного перерізу та, як наслідок, збільшення співвідношення довжини призми до поперечного розміру. Для дослідження бетону пошкоджених корозією призм було виконано рентгенофазовий аналіз. Крім цього бетон поверхневої контактної з агресивним середовищем зони досліджувався за допомогою електронного мікроскопа зі збільшенням 1000 разів. У результаті виконаних робіт встановлено, що найбільша інтенсивність продуктів корозії спостерігалась на поверхні бетону з незначною кількістю на глибині до 3,6...3,9 мм. На цій глибині зафіксовано наявність мікротріщин в бетоні. Виявлені мікротріщини могли бути

концентраторами напружень у бетоні, які призвели до його руйнування при напруженнях, нижчих від величини призмової міцності. Величина напружень з врахуванням контактного шару бетону становила в середньому  $\sigma=0,9R_b$ . У зв'язку з цим при виконанні розрахунків з використанням величини призмової міцності необхідно використовувати коефіцієнт умов роботи  $\gamma_b=0,9$ .

Внаслідок випробувань залізобетонних балок при одночасній дії навантаження та агресивного середовища встановлено, що балки зруйнувалися внаслідок текучості арматури при значному зменшенні розмірів поперечного перерізу, яке відбулося своєю чергою внаслідок корозії бетону. Необхідно зауважити, що одна з балок зруйнувалася по похилому перерізу. Причиною такого руйнування була корозія практично всіх поперечних стрижнів. Рентгенофазовий аналіз бетону балок та його дослідження за допомогою електронного мікроскопа показали, що в поверхневому контактному з агресивним середовищем шарі бетону завтовшки до 4 мм існують продукти корозії та мікротріщини, що виникли внаслідок корозії.

Розрахунок залізобетонних балок без корозійних пошкоджень за методикою норм показав, що теоретичні величини міцності нормальних перерізів дослідних зразків менші за експериментальні дані на -8,4...-11,3 %. Це дає нормальну збіжність результатів. Для всіх залізобетонних балок, пошкоджених корозією, теоретичні величини міцності, визначені за методикою норм, були більшими за експериментальні на 1,6...15,2%. Отже, методика норм не дає можливості з достатньою точністю визначати міцність нормальних перерізів залізобетонних балок, пошкоджених корозією і крім цього дає завищені величини несучої здатності.

Для всіх залізобетонних балок з корозійними пошкодженнями виконано розрахунок міцності нормальних перерізів за запропонованою в цій статті методикою розрахунку. При цьому коефіцієнт умов роботи стиснутої зони бетону, пошкодженого корозією, за експериментальними даними випробувань призм в агресивному середовищі приймався  $\gamma_b=0,9$ , поперечний переріз приймався комплексний з врахуванням роботи не пошкодженого та пошкодженого корозією бетону. Товщина контактної частково пошкодженого шару бетону згідно з результатами рентгенофазового аналізу та досліджень за допомогою електронного мікроскопа приймалась 3,6...3,9 мм. Виконані розрахунки показали, що теоретичні величини міцності нормальних перерізів балок задовільно узгоджуються з експериментальними даними. Розбіжність становить -2,2...-11,1%. При цьому необхідно зауважити, здебільшого розрахункові величини міцності були меншими за фактичні експериментальні (див. таблицю).

#### Результати експериментальних та теоретичних досліджень

Балка	Армування	Площа перерізу, см <sup>2</sup>		Контактний шар, мм	Міцність, кН·см					Відхилення від експерименту, %		
		Початковий	Кінцевий		Початковий переріз		Кінцевого перерізу			Поч. переріз СНиП	Кінцевий	
					теор.	експ.	СНиП	Методика	Експеримент		СНиП	Методика
Б-1	2Ø14	198,0	129,6	3,7 5	2253,2	2539,7	1956,9	1697,0	1759,4	-	11,2	-3,5
Б-2		208,0	116,4	3,6 0			1908,0	1648,8			11,1%	8,4
Б-3	2Ø12	213,2	124,7	3,8 5	1768,6	1931,7	1558,1	1393,0	1352,2	-8,4%	15,2	0,8
Б-4		210,0	120,7	3,7 0			1550,6	1355,8			14,7	0,3
Б-5	2Ø16	206,7	122,0	3,7 5	2809,1	3166,7	2176,9	1832,3	2141,9	-	1,6	-14,5
Б-6		204,0	127,6	3,9			2246,3	1898,1			11,3%	4,9

Внаслідок виконаних робіт можна зробити висновок, що запропонована методика розрахунку точніше відображає напружено-деформований стан таких конструкцій, дає набагато кращу збіжність теоретичних і експериментальних даних порівняно з методикою діючих норм і його можна рекомендувати для розрахунку міцності нормальних перерізів залізобетонних балок, пошкоджених корозією.

1. СНиП 2.03.01-84\*. *Бетонные и железобетонные конструкции*. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с. 2. Бліхарський З.Я., Хміль Р.Є. Вплив корозійного середовища на стан залізобетонних димових труб // *Будівельні конструкції будівлі та споруди. Вісн. Донбаської держ. академії буд. і арх.* – Вип. 2001-5(30) – Макіївка. – 2001. – С. 97-101.