

За результатами проведених досліджень отримано дані, опрацювавши які встановили залежності між міцністю пінобетонних зразків на розтяг під час розколювання та їх густиною, які наведені графічно для вісімок на рис. 5, для призм – на рис. 6 та для циліндрів – на рис. 7.

Висновки. За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Отримані експериментальні залежності між міцністю пінобетону на розтяг під час розколювання та його густиною.

2. Армування пінобетону додатковою стрижневою арматурою істотно збільшує його міцність на розтяг під час розколювання (для призм маркою D1200 і перерізом 100x100 мм міцність армованих зразків є більшою від міцності неармованих близько у 1,3 раза т. А та т. В (рис. 6), а для призм 150x150 мм – в 1,67 раза т. С та т. D (рис. 6)).

3. При порівнянні вісімок розміром 150x150 мм, призм – перерізом 150x150 мм і циліндрів – діаметром 150 мм маркою D1200 міцність на розтяг під час розколювання співвідноситься відповідно як 1,68:1,39:1 т. Е, F, G (рис. 7).

4. З рис. 6 випливає, що для марки пінобетону D1200 міцність армованих призм розміром 100x100 мм належить до міцності армованих призм розміром 150x150 мм як 1,57:1 відповідно (т. В та т. D).

1. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.

2. ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності.

УДК 624.012

Д.І. Дубіжанський, Р.Є. Хміль, З.Я. Бліхарський
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельних конструкцій та мостів

ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННОЮ ОБОЙМОЮ ЗА ДІЇ НАВАНТАЖЕННЯ ЗА ІНЖЕНЕРНОЮ МЕТОДИКОЮ

© Дубіжанський Д.І., Хміль Р.Є., Бліхарський З.Я., 2012

Наведено результати досліджень згинальних залізобетонних елементів, підсиленних за дії навантаження залізобетонною обоймою. На підставі отриманих результатів проведено порівняння експериментальних та теоретичних величин несучої здатності балок. Розраховано коефіцієнти використання міцності матеріалів обойми.

Ключові слова: залізобетонні елементи, міцність, обойма, підсилення.

The results of researches of bending reinforce-concrete elements, increased at the action of loading by reinforce-concrete holder are presented. On the basis of the obtained results was made comparison of experimental and theoretical value of the load-carrying capacity of beams. Designed coefficients of the use of materials strength of the holder.

Key words: reinforce-concrete, load-carrying capacity, holder, increasing.

Постановка проблеми. Сьогодні проблема підсилення будівельних конструкцій є доволі актуальною, у зв'язку з тим, що виникає необхідність реконструкції будівель і споруд. Причинами, що викликають необхідність підсилення залізобетонних конструкцій, є наявність дефектів, помилки, допущені під час проектування, виготовлення і монтажу конструкцій; пошкодження, викликані дією високих температур; знос конструкцій за незадовільної експлуатації. Підсилення будівельної

конструкції дає змогу усунути дефекти і забезпечити сприйняття збільшеного корисного навантаження під час реконструкції будівель і споруд, що часто пов'язано з необхідністю відновлення та підсилення несучих конструкцій за наявності певного залишкового навантаження конструкцій. Сьогодні проблема ефективного виконання підсилення конструкцій, що перебувають під певним залишковим навантаженням, недостатньо вивчена і тому є актуальною і потребує дослідження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженням ефективних методів підсилення залізобетонних конструкцій займалися багато учених [1–3]. Це дало змогу розробити конструктивні рішення підсилення залізобетонних конструкцій. Однак недостатньо висвітлені питання методики теоретичного розрахунку підсилених конструкцій, особливо, коли підсилення конструктивного елемента виконують під навантаженням і в такий спосіб підсилена частина та елемент підсилення знаходяться у різних напружених станах.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи – дослідити міцність нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених залізобетонною обоймою, за дії навантаження різного рівня і з різним додатковим армуванням, та порівняти експериментальні величини міцності з теоретичними величинами, обчисленими за чинними нормами ДБН В.3.1-1-2002 [5] з використанням інженерної методики СНиП [4, 7].

Результати дослідження. Згідно з програмою та розробленою методикою дослідження [6], виготовили та випробували чотири серії експериментальних балок. Процес підсилення перерізу залізобетонних балок відбувався без розвантаження балок під час навантаження 0.3, 0.5, 0.7 та 0.9 від M_{u0}^{exp} величини згинального моменту, за якого відбувалося досягнення напружень границі плинності в робочій арматурі звичайних, не підсилених балок. Характеристики підсилених зразків експериментальних балок подано у табл. 1. Випробування дослідних балок виконували прикладанням двох зосереджених сил у третилах прольоту балок. Балки I серії були випробувані за методикою [6] короткочасним навантаженням до руйнування без влаштування елементів підсилення з метою визначення їх несучої здатності. Балки II – IV серій випробували за методикою [6] з влаштуванням елемента підсилення – залізобетонної обойми за різних рівнів попереднього навантаження, а також з різним рівнем додаткового армування. На балки II – IV серій прикладали навантаження до рівня, за якого виконували підсилення. На 28 добу підсилені балки випробували, прикладаючи короткочасне навантаження до руйнування. Руйнування підсилених балок пройшло за досягнення напруження в арматурі основного і додаткового перерізу границі плинності з подальшим роздробленням бетону стисненої зони.

Експериментальні величини згинальних моментів балок II та IV серій, які відповідають граничному стану і руйнуванню, а також їх порівняння наведені у табл. 2. Також у таблиці наведені величини згинальних моментів, одержані за розрахунком у [5] за інженерною методикою СНиП 2.03.03-84* з введенням згідно з вимогами ДБН В.3.1-1-2002 додаткових коефіцієнтів за підсилення під навантаженням, вищим за $0,65 M_{u0}^{exp}$, на бетон $\gamma_{br} = 0.8$ і на арматуру $\gamma_{sr} = 0.8$ додаткового перерізу, тобто вважається, що міцність матеріалів додаткового перерізу при цьому буде використана на 80 %. Під час визначення теоретичної міцності нормального перерізу у формули норм підставляли дійсні величини призмової міцності бетону f_{cd} , а як розрахунковий опір арматури прийнято фактичні значення f_y границі плинності арматури.

Аналіз виконаних експериментально-теоретичних досліджень показує, що методика норм [4, 5, 7] не дає змоги з необхідною точністю визначити міцність балок, підсилених залізобетонною обоймою за дії навантаження різного рівня. Однак за нижчих рівнів попереднього навантаження 0,3 і 0,5 M_{u0}^{exp} розбіжності між теоретичними і фактичними величинами становило до 9.6 % в бік заниження теоретичних величин над експериментальними. При цьому потрібно зауважити, що

арматура додаткового перерізу першою досягла межі плинності, і отже, при цьому міцність арматури елемента підсилення була використана повністю. Проте із вищих рівнів навантаження під час підсилення, а саме $0,7$ і $0,9 M_{u0}^{exp}$, розбіжності між величинами згинальних моментів становило $+3.9...34\%$ в бік завищення теоретичних величин над експериментальними, що неприпустимо. Отже, можна стверджувати, що міцність матеріалів додаткового перерізу під час підсилення на рівні навантаження $0,7$ і $0,9 M_{u0}^{exp}$ не використовується на 80% , і отже, величини коефіцієнтів $\gamma_{br} = 0.8$ і $\gamma_{sr} = 0.8$ потребують уточнення.

Таблиця 1

Характеристики підсилених експериментальних балок

Серія	Шифр балок	Переріз балок $b \times h$ мм	Переріз підсилених балок $b_{ad} \times h_{ad}$ мм	Арматура			Бетон		
				площа перерізу $m^2 \times 10^{-4}$ (\varnothing мм)	границя плинності σ_y , МПа	модуль пружності E_s^{ad} $\times 10^{-5}$ МПа	призма міцність f_{cd}^{ad} МПа	міцність на розтяг f_{ctd}^{ad} МПа	модуль деформацій $E_c^{ad} \times 10^{-4}$, МПа
II	Бп-2.1-0,7	98×198	142×274	1,01 (2Ø8)	441	2,1	28,3	3,6	27,2
	Бп-2.2-0,7	99×200	142×278						
III	Бп-3.1-0,3	99×201	146×275	1,57 (2Ø10)	483	2,1	40,5	4,0	34,6
	Бп-3.2-0,3	100×200	145×276				37,5	3,9	30,6
	Бп-3.3-0,5	99×200	143×274						
	Бп-3.4-0,5	98×198	144×273				28,3	3,6	27,2
	Бп-3.5-0,7	99×200	150×278				37,5	3,9	30,6
	Бп-3.6-0,7	101×201	142×273						
	Бп-3.7-0,9	100×200	145×272						
IV	Бп-3.8-0,9	97×200	145×277	2,26 (2Ø12)	483	2,1	32,9	3,7	29,5
	Бп-4.1-0,7	99×200	142×275				40,5	4,0	34,6
	Бп-4.2-0,7	98×200	148×275						
	Бп-4.3-0,9	98×201	142×272						
	Бп-4.4-0,9	100×200	146×275						

Таблиця 2

Міцність експериментальних балок, підсилених залізобетонною обіймою, за дії навантаження

Серія	Шифр балки	Переріз підсилених балок $B \times H$, мм	Площа перерізу арматури обійми $m^2 \times 10^{-4}$ (\varnothing мм)	Величина згинальних моментів, кН·м				$\frac{M_u^{norm}}{M_u^{exp}}$
				Експериментальні			Розрахунок за ДБН В.3.1-1-2002 M_u^{norm}	
				граничний (плинність основної арматури) M_u^{exp}	граничний (плинність додаткової арматури) $M_{u,ad}^{exp}$	руйнівний M_f^{exp}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	Б 1.1	99×200	-	23,6	-	26,51	-	-
	Б 1.2	100×200		24,0	-	26,55	-	-
II	Бп 2.1-0,7	142×274	1,01 (2Ø8)	30.81	37.78	43.9	32.63	1.059
	Бп 2.2-0,7	142×278		30.23	37.66	42.3	33.15	1.097
III	Бп 3.1-0,3	146×275	1,57 (2Ø10)	44.18	40.17	48.5	41.1	0.930
	Бп 3.2-0,3	145×276		43.11	40.08	48.2	40.91	0.949
	Бп 3.3-0,5	143×274		45.0	43.44	49.7	40.7	0.904

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Бп 3.4-0,5	144x273		43.83	43.11	46.7	40.33	0.920
	Бп 3.5-0,7	150x278		36.37	45.85	48.5	37.78	1.039
	Бп 3.6-0,7	142x273		35.62	44.26	50.1	37.74	1.060
	Бп 3.7-0,9	145x272		31.43	43.66	47.2	37.96	1.208
	Бп 3.8-0,9	145x277		31.45	45.71	51.2	38.11	1.212
IV	Бп 4.1-0,7	142x275	2,26 (2Ø10)	40.32	49.53	55.5	42.99	1.066
	Бп 4.2-0,7	148x275		40.40	49.01	53.0	42.67	1.056
	Бп 4.3-0,9	142x272		32.56	49.2	55.4	43.18	1.326
	Бп 4.4-0,9	146x275		32.34	51.3	55.5	43.34	1.340

Згідно з методикою експериментальних досліджень [6], на кожному етапі визначали значення відносних деформацій бетону і арматури як основного, так і додаткового перерізів. Отже, знаючи деформації елементів підсилення в момент плинності арматури основного перерізу, можна розрахувати коефіцієнт використання міцності матеріалів додаткового перерізу:

$$\gamma_{s,dis}^{ad} = \frac{\sigma_{s,ad}}{f_{y,ad}} = \frac{\varepsilon_s^{ad}}{\varepsilon_{s0}^{ad}}; \quad \gamma_{c,dis}^{ad} = \frac{\varepsilon_{c(1)}^{ad}}{\varepsilon_{c1}^{ad}}, \quad (1)$$

де ε_s^{ad} – відносні деформації арматури додаткового перерізу; $\varepsilon_{s0}^{ad} = f_{y,ad} / E_s^{ad}$ – деформації арматури додаткового перерізу за досягнення межі плинності; $\varepsilon_{c(1)}^{ad}$ – відносні деформації стисненої фібри бетону додаткового перерізу; ε_{c1}^{ad} – граничні деформації стисненої фібри бетону додаткового перерізу [8]. У табл. 3 подано експериментальні значення деформацій арматури додаткового перерізу і деформації стисненої фібри бетону обидвома в момент плинності арматури основного перерізу, розраховані коефіцієнти використання перерізу додаткової арматури $\gamma_{s,dis}^{ad}$ і бетону $\gamma_{c,dis}^{ad}$. Враховуючи ці коефіцієнти, був розрахований граничний момент M_u^1 за плинністю арматури основного перерізу за інженерною методикою СНиП [4, 7] і проведено його порівняння з експериментальними значеннями.

Таблиця 3

Міцність експериментальних балок, підсиленних залізобетонною обоймою, за дії навантаження з врахуванням коефіцієнтів використання міцності додаткового перерізу

Серія	Шифр балки	Гранич. момент за плинністю основної арматури M_u^{exp} , кНм	Деформації додаткового перерізу		Коеф. використання додаткового перерізу		Момент з врахуванням коефіцієнта умов роботи M_u^1 , кНм	$\frac{M_u^1}{M_u^{exp}}$
			арматури	бетону	арматури $\gamma_{s,dis}^{ad}$	бетону $\gamma_{c,dis}^{ad}$		
II	Бп 2.1-0,7	30.81	105.6	-58.1	0.50	0.31	28.55	0.927
	Бп 2.2-0,7	30.23	110.0	-55.0	0.52	0.30	29.12	0.963
III	Бп 3.5-0,7	36.37	120.1	-75.5	0.52	0.41	32.62	0.897
	Бп 3.6-0,7	35.62	127.2	-72.5	0.55	0.39	32.88	0.923
IV	Бп 4.1-0,7	40.32	135.3	-77.7	0.59	0.41	37.33	0.926
	Бп 4.2-0,7	40.4	145.2	-79.7	0.63	0.42	37.92	0.939
III	Бп 3.7-0,9	31.43	54.7	-40.0	0.24	0.20	28.01	0.891
	Бп 3.8-0,9	31.45	66.2	-40.8	0.29	0.21	28.75	0.914
IV	Бп 4.3-0,9	32.56	53.1	-37.2	0.23	0.19	29.30	0.900
	Бп 4.4-0,9	32.34	48.3	-35.5	0.21	0.18	28.89	0.893

Аналіз виконаних експериментально-теоретичних досліджень показує, що інженерна методика за СНиП з врахуванням розрахованих коефіцієнтів використання перерізу дає змогу з необхідною точністю визначити міцність балок, підсиленних залізобетонною обіймою, за дії навантаження під час підсилення $0,7$ і $0,9 M_{u0}^{exp}$. Розбіжність між теоретичними і фактичними величинами становила $-3,7...-10,9$ % в бік заниження експериментальних величин над теоретичними, що є задовільним для забезпечення надійності конструкції. Визначені коефіцієнти дають можливість оцінити ступінь використання перерізу. При цьому для підсилення під навантаження $0,7 M_{u0}^{exp}$ коефіцієнти використання додаткового перерізу перебувають у межах: для арматури $0,5...0,63$, для бетону – $0,3...0,42$, а за підсилення на рівні $0,9 M_{u0}^{exp}$ коефіцієнти становлять $0,21...0,29$ і $0,18...0,21$ відповідно. Однак потрібно зауважити, що арматура додаткового перерізу за подальшого навантаження конструкцій також досягає границі плинності і це відбувається раніше, ніж руйнується бетон стисненої зони (табл. 2). На нашу думку, для балок, підсиленних за високого рівня навантаження, а саме $0,7$ і $0,9 M_{u0}^{exp}$, слід розглянути можливість зміни критерію вичерпання їх несучої здатності, що прийнятий у нормах [5]. Такий підхід може дати змогу повнішого використання, ніж на $18...63$ %, характеристик міцності армування та бетону елемента підсилення, і, як наслідок, збільшити ефект підсилення балок, що виконується під навантаженням високого рівня, та досягти додаткової економічності проектування підсилення залізобетонних згинальних елементів.

Висновок. Враховуючи проведені експериментально-теоретичні дослідження, можна зробити висновок, що ступінь використання міцності матеріалів додаткового елемента має певне ранжування та збільшується із зменшенням рівня навантаження, що діє під час підсилення. До інженерної методики норм [5] запропоновано корегуючі величини коефіцієнтів використання перерізу додаткової арматури $\gamma_{s,dis}^{ad}$ і бетону $\gamma_{c,dis}^{ad}$, які становлять $0,18...0,63$, що значно відрізняється від наведеної у нормах величини $0,8$.

Додатково пропонується розглянути можливість зміни критерію вичерпання несучої здатності підсиленних елементів, що прийнятий у нормах [5], який уможливить повніше використання, ніж на $18...63$ %, характеристик міцності армування та бетону елемента підсилення, який влаштовується під навантаженням високого рівня. Це дає змогу досягти додаткової економічності проектування підсилення залізобетонних згинальних елементів.

1. Бліхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будівель і споруд. – Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2008. – 108 с. 2. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений // НИИСК. – М.: Стройиздат, 1989. – 65 с. 3. Мальганов А.И., Плевков В.С., Полищук А.И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий: атлас схем и чертежей. – Томск: Томский межотраслевой ЦНТИ, 1990. – 316 с. 4. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТД 1989. – 80 с. 5. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд: ДБН В.3.1-1-2002. – [Чинний від 2007-03-07]. – К.: Державний комітет України з будівництва і архітектури, 2003. – 82 с. (Державні будівельні норми України). 6. Дубіжанський Д.І., Бліхарський З.Я., Хміль Р.Є. Методика експериментальних досліджень балок, підсиленних залізобетонною обіймою, за дії навантаження // зб. наук. пр.: “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”. – Рівне, 2011. – Вип. 22. – С. 795–800. 7. Пособие ПП-98 к СНиП 2.03.01-84*. Усиление железобетонных конструкций. – Минск: Минстрой Республики Беларусь, 1998. – 189 с. 8. Конструкції будинків і споруд. Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення. ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-06-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. (Державні будівельні норми України).