

**З.Я. Бліхарський, Р.Є. Хміль, І.В. Васільєв, Р.В. Вашкевич**  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра будівельних конструкцій та мостів  
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12  
E-mail: [roman\\_hl@ukr.net](mailto:roman_hl@ukr.net)

## **ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ БЕТОННОЮ ОБОЙМОЮ ПРИ ДІЇ НАВАНТАЖЕННЯ**

© Бліхарський З.Я., Хміль Р.Є., Васільєв І.В., Вашкевич Р.В., 2007

**Розглянуто підсилення залізобетонних балок шляхом влаштування обойми при дії навантаження різної інтенсивності. Подано результати експериментальних досліджень підсилених залізобетонних балок.**

**Strengthening of the reinforced concretes beams by arranging of holder under loading of different intensity is examined in the article. The results of experimental researches of the increased reinforced concretes beams are given.**

**Постановка проблеми.** Сьогодні одним з найпоширеніших будівельних матеріалів є залізобетон. Він успішно виконує несучі функції в будівельних конструкціях при широкому діапазоні силових навантажень та інших чинників, що визначаються умовами експлуатації. Втратами експлуатаційних якостей може виникнути внаслідок ускладнень або непередбачених проектом змін технології виробництва або різних пошкоджень та дефектів тощо. При цьому особливістю таких робіт є те, що підсилення необхідно виконувати при дії навантаження. Для прийняття ефективного рішення з відновлення несучої здатності залізобетонних конструкцій важливо правильно визначити напружено-деформований стан конструкції, яка підсилюється. У статті описано експериментальні дослідження деформативності залізобетонних балок, підсилених під навантаженням бетонною обоймою. Сьогодні ця проблема недостатньо вивчена і тому є актуальною і потребує дослідження.

**Аналіз останніх досліджень.** Існує небагато досліджень залізобетонних конструкцій, підсилених під навантаженням. Загалом питаннями підсилення залізобетонних конструкцій займалися багато дослідників [1,4,5,6,7,9]. Ці дослідження дали змогу розробити ефективні конструктивні рішення підсилення залізобетонних конструкцій. Однак навіть серед наведених робіт недостатньо висвітлені питання деформативності підсилених залізобетонних елементів, особливо якщо підсилення відбувалося під дією навантаження.

**Постановка задач досліджень.** Метою цієї роботи є дослідження деформативності залізобетонних балок, підсилених бетонною обоймою при дії навантаження різного рівня, а також порівняння експериментальних значень прогинів з теоретичними величинами, обчисленими за СНиП 2.03.01–84\* та Змінами №1 до СНиП 2.03.01–84\*.

**Результати експериментальних досліджень.** Процес підсилення перерізу залізобетонних балок відбувався без розвантаження балок, а при діючих на балки рівнях навантаження  $0,3 M_u^{exp}$ ,  $0,6 M_u^{exp}$  і  $0,9 M_u^{exp}$  відповідно (де  $M_u^{exp}$  – згинальний момент, при якому напружень в робочій арматурі невідсиленої балки досягають межі текучості). Після навантаження балок до заданого рівня на балки встановлювали в'язаний каркас зі сталевого дроту  $\varnothing 1,2$ мм (чотири поздовжні стрижні та поперечні хомути з кроком 60 мм), наносили з'єднувальний шар Sika Monotop 610 і відновлювали переріз балок в опалубці бетоном з використанням суперпластифікатора Sika ViscoCrete-3. На 28-му добу підсилені балки випробували, прикладаючи короточасне наванта-

ження, до руйнування. Дослідні балки випробували прикладанням двох зосереджених сил в третинах прольоту балок. Отримані внаслідок випробувань експериментальні величини прогинів при рівнях навантаження  $0,7M_u^{exp}$  та  $M_u^{exp}$ , а також їх порівняння з розрахунковими значеннями прогинів, обчислених згідно з СНиП 2.03.01-84\* та Змін №1 до СНиП 2.03.01-84\*, наведено в таблиці.

**Прогини підсилені під навантаженням експериментальних балок  
при короткочасному випробуванні до руйнування**

Шифр балок	Експериментальні значення прогинів			Розрахункові значення прогинів, згідно зі СНиП		Розрахункові значення прогинів, згідно зі Змінами №1		$\frac{f_{0.7}^{exp}}{f_{0.7}^{norm}}$	$\frac{f_1^{exp}}{f_1^{norm}}$	$\frac{f_{0.7}^{exp}}{f_{0.7}^{teor}}$	$\frac{f_1^{exp}}{f_1^{teor}}$
	перед навантаженням	при $0,7 M_u^{exp}$ $f_{0.7}^{exp}$ , мм	при $M_u^{exp}$ $f_1^{exp}$ , мм	при $0,7 M_u^{exp}$ $f_{0.7}^{norm}$ , мм	при $M_u^{exp}$ $f_1^{norm}$ , мм	при $0,7 M_u^{exp}$ $f_{0.7}^{teor}$ , мм	при $M_u^{exp}$ $f_1^{teor}$ , мм				
БЗ-1.1	-	6,58	10,65	6,317	9,07	5,83	8,32	1,042	1,174	1,129	1,280
БДб-1.2-0.3	2,22	5,99	10,32	6,20	8,56	5,91	8,10	0,966	1,205	1,014	1,274
БДб-1.3-0.6	5,11	6,89	10,97	7,03	9,34	6,61	8,76	0,980	1,175	1,042	1,252
БДб-1.4-0.9	8,57	-	9,62	-	8,85	-	8,23	-	1,087	-	1,169

Необхідно зауважити, що при розрахунку підсилені залізобетонні балки за другою групою граничних станів в розрахункових формулах діючих норм використовували приведені розрахунковий опір бетону осьовому розтягу для граничних станів другої групи  $R_{bt,red}$  та приведені модуль пружності бетону  $E_{bt,red}$ , які можна приймати за рекомендаціями норм відповідно до величини приведеної призмової міцності бетону  $R_{b,red}$ . Геометричні характеристики приведеного перерізу  $A_{red}$ ,  $I_{red}$ ,  $S_{red}$ ,  $W_{pl}$ , які використовують в допоміжних розрахункових формулах при розрахунку за другою групою граничних станів, визначаються за розрахунковим поперечним перерізом, який зображений на рис. 1. При цьому враховують різні характеристики деформативності „старого” і „нового” бетону. Конструктивну арматуру зі сталевго дроту при розрахунку за другою групою граничних станів не враховували.

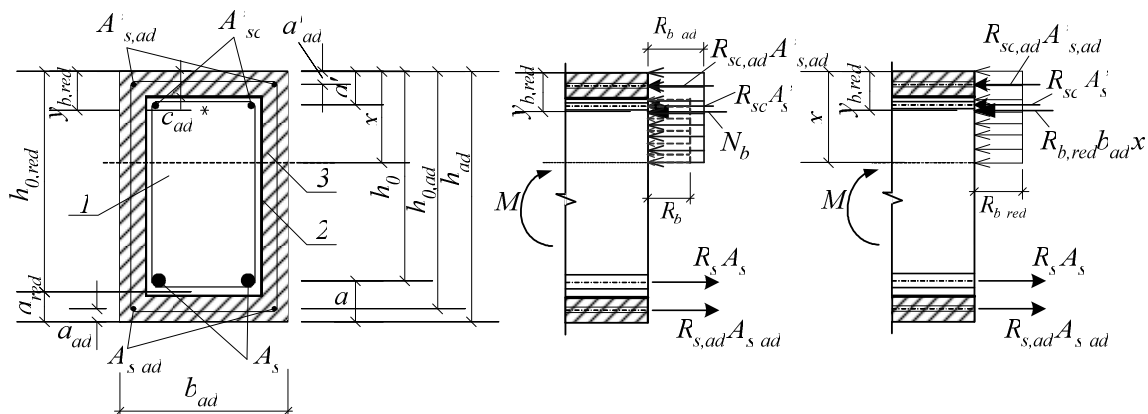


Рис. 1. Розрахунковий поперечний переріз відновленої балки:  
1 – непошкоджений корозією бетон; 2 – зчеплювальний шар;  
3 – бетон обійми підсилення

Графіки зміни прогинів не підсиленої (звичайної – БЗ–1,1) та підсилені балок (БПб–1,2–03; БПб–1,3–06; БПб–1,4–09), які випробували короткочасним навантаженням до руйнування, показано на рис. 2. Як видно з графіків, збіжність експериментальних величин прогинів підсилені

балок до моменту підсилення і звичайної балки є задовільною. Подальше розходження після підсилення пов'язане зі зміною, а саме збільшенням жорсткості підсилених балок.

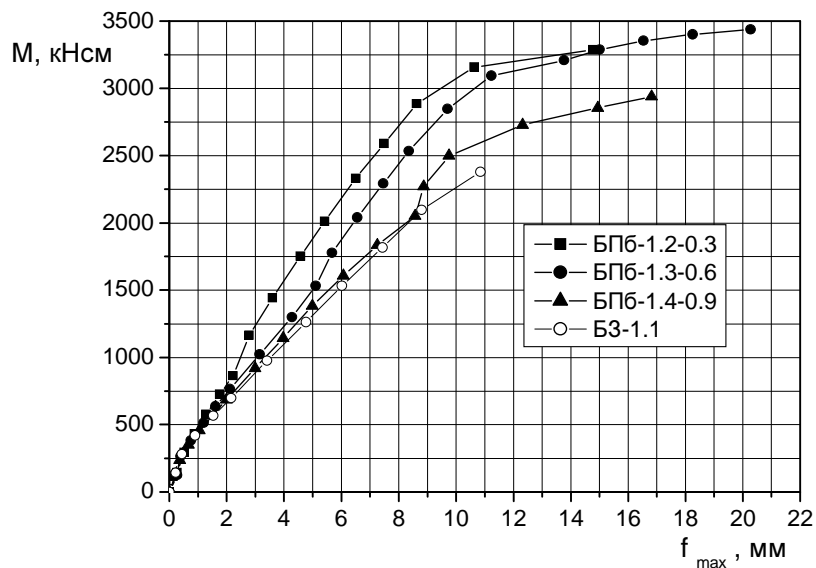


Рис. 2. Графіки зміни прогинів, отриманих експериментальним шляхом, для звичайної та підсилених балок

Визначаючи розрахункові значення прогинів до формул підставляли дійсні величини підсиленого перерізу балки, арматури, призмової міцності бетону  $R_b$  і як розрахунковий опір арматури фактичне значення  $\sigma_y$  межі текучості арматури.

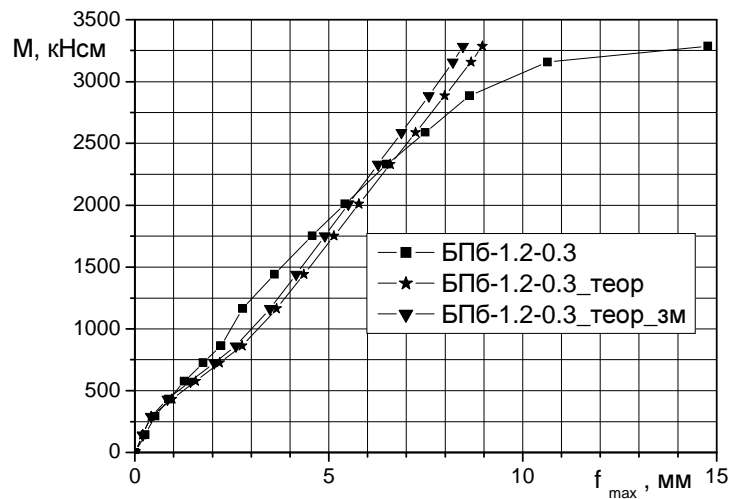
Під час експериментальних випробувань було встановлено, що незалежно від рівня навантаження приріст прогинів за короточасного навантаження підсилених балок від рівня  $0,7 M_u^{exp}$  до рівня  $M_u^{exp}$  був приблизно однаковим. Так, для балки БПб-1.2-0.3 збільшення прогинів становило 4,3 мм, для балки БПб-1.3-0.6 – 4,1 мм (див. табл. 1). Для балки БДб-1.4-0.9 приріст прогинів від рівня навантаження  $0,9 M_u^{exp}$  до рівня  $M_u^{exp}$  становив 1,1 мм. Такий незначний приріст прогинів для балки при рівні навантаження  $0,9 M_u^{exp}$  свідчить про те, що значно підсилити її не вдалося і практично відразу після початку навантаження балка зруйнувалась внаслідок появи текучості робочої арматури.

**Результати теоретичних досліджень.** За результатами визначення теоретичних величин прогинів за методикою СніП 2.03.01-84\* для непідсиленої балки при рівні навантаження  $0,7 M_u^{exp}$  та  $M_u^{exp}$  перевищення експериментальних значень прогинів над теоретичними становить відповідно 4,2 % та 17,4 %. Перевищення експериментальних значень прогинів над теоретичними, визначеними за методикою Змін №1, становить відповідно 12,9 % та 28 %.

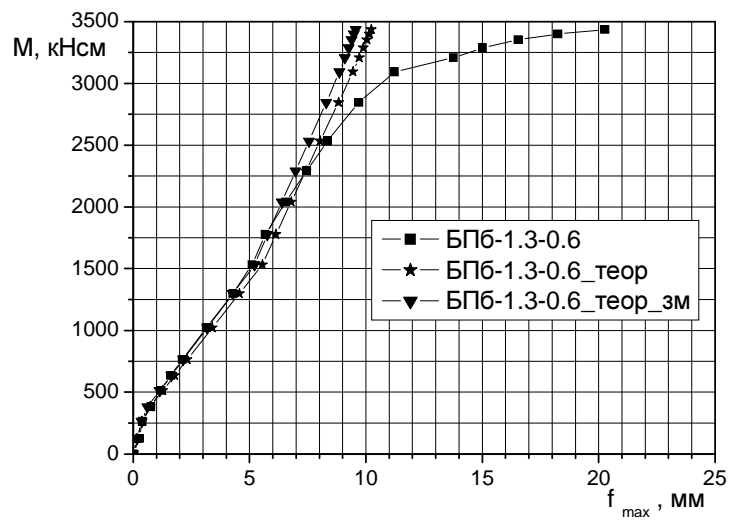
Для балок БДб-1.2-0.3 та БДб-1.3-0.6 при рівні навантаження  $0,7 M_u^{exp}$  перевищення теоретичних значень прогинів, обчислених за методикою СніП 2.03.01-84\*, над експериментальними значеннями становить відповідно 3,4 % та 2,0 %. На момент текучості  $M_u^{exp}$  перевищення експериментальних значень прогинів над теоретичними становить відповідно 20,5 % та 17,5 %. Перевищення експериментальних значень прогинів над теоретичними, визначеними за методикою Змін №1, становить відповідно 1,4 % та 4,2% при рівні навантаження  $0,7 M_u^{exp}$  та 27,4 % і 25,2 % відповідно на момент текучості робочої арматури.

Для балки БДб-1.4-0.9 порівнюємо експериментальні прогини лише на момент текучості  $M_u^{exp}$  – перевищення експериментальних значень прогинів над теоретичними, отриманими за СніП 2.03.01-84\*, становить 8,7 %, згідно з методикою Змін №1 – 16,9 %.

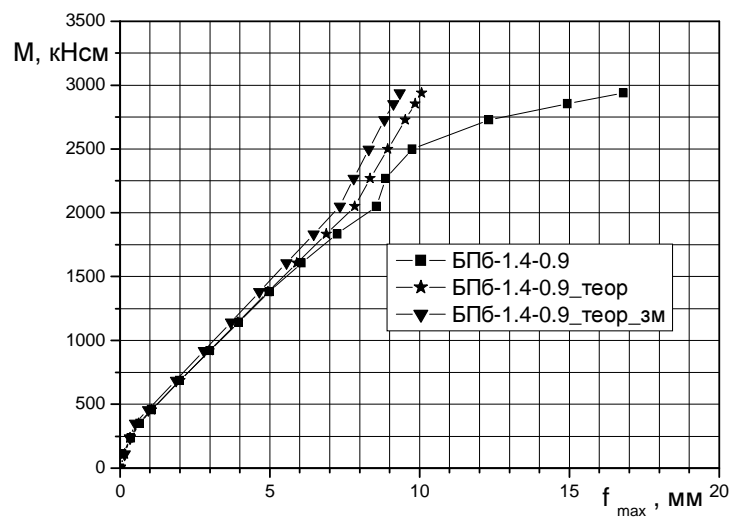
Для більшої наочності на рис.3 подано порівняльні графіки експериментальних величин прогинів з теоретичними прогинами, обчисленими за методиками СніП 2.03.01-84\* та Змін № 1.



а



б



в

Рис. 3. Порівняльні графіки експериментальних та теоретичних прогинів:  
а – балка БДб-1.2-0.3; б – балка БДб-1.3-0.6; в – балка БДб-1.4-0.9

Як видно з графіків, збіжність експериментальних значень прогинів підсилених балок з теоретичними, обчисленими за обома методиками, є задовільною, але треба зауважити, що методика СНИП 2.03.01-84\* дає кращу збіжність результатів.

**Висновки.** Аналіз виконаних експериментально-теоретичних досліджень показує, що прогини підсилених балок зросли від рівня навантаження  $0,7 M_u^{exp}$  до рівня  $M_u^{exp}$  приблизно на 4 мм (для балок БДб-1.2-0.3 та БДб-1.3-0.6), або на ~35...40%. Для балки БДб-1.4-0.9 приріст прогинів від рівня навантаження  $0,9 M_u^{exp}$  до рівня  $M_u^{exp}$  становив 1,1 мм або на ~10%. Також встановлено, що кінцеві величини прогинів на момент текучості для звичайної балки і підсилених балок (БДб-1.2-0.3 та БДб-1.3-0.6) були приблизно однаковими (~11 мм), хоча треба зауважити, що для підсилених балок такі значення прогинів досягались при значно більшому діючому моменті – навантаженні (на ~730 кНсм). Збіжність експериментальних значень прогинів непідсиленої та підсилених балок з теоретичними, обчисленими за обома наведеними методиками становить від -3,4 % до 28 %, що є задовільною збіжністю при теоретичному визначенні прогинів. Проте методика СНИП 2.03.01-84\* дає кращу збіжність результатів.

1. Боярчук Б.А. Міцність, тріщиностійкість та деформації залізобетонних конструкцій при різних способах підсилення розтягнутої зони: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Львів, 2003. – 20 с. 2. ДБН В.3.1-1-2002. Ремонт і підсилення несучих та огорожувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд. – К.: Держбуд України, 2003. – 82с. 3. Изменения №1 к СНиП 2.03.01-84\* (изд. 1989 г.) Введ. 01.01.1996. // Будівництво України. Додаток до журналу. – 1995. – №6., 1996. – №1. 4. Климуш М.Д., Кваша В.Г., Мельник І.В. Випробовування та оцінка ефективності підсилення мостових балок за ТП вип. 56 наклеюванням композитних матеріалів // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”: Теорія і практика будівництва. – 2002. – №441. – С.100–107. 5. Мамаев Т.Л. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, восстановленных после коррозионных испытаний и механических повреждений: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / НИИЖБ. – Москва, 1997. – 19 с. 6. Матвеев И.В. Проблемы технической реабилитации и реконструкции зданий и сооружений // Зб. наук. праць: Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2001. – Вип. 54. – С.52–59. 7. Мурашко Л.А., Касасбех Абдельмажид. Прочность и жесткость железобетонных изгибаемых элементов, усиленных полимербетонами. – К.:КГТУСА, 1998. – 60 с. 8. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР -М.:ЦИТД 1989.-80С. 9. Kotynia R.: Wzmacnianie zginanych elementów żelbetowych taśmami CFRP – badania doświadczalne i analiza teoretyczna. Konferencja Naukowo-Techniczna „Materiały Kompozytowe w Budownictwie Mostowym”, Łódź, 2000. – P.42–55.