

## ДЕФОРМАЦІЇ ПРОГИНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ЗОВНІШНЬОЮ КОМПОЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ

*А. Мурин, асистент, Р. Добрянський, аспірант, В. Сорохтей, аспірант,  
С. Цепков, аспірант, Т. Приставський  
Національний університет "Львівська політехніка"*

**Ключові слова:** залізобетонні балки, зовнішня композитна арматура, підсилення, прогини.

У статті подано результати досліджень прогинів залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою. Запропоновано метод обчислення деформації підсилених балок на основі дійсних стандартів планування. Подано експериментально-обчислювальну оцінку прогинів.

**Постановка проблеми.** Застосування вуглецевого волокна як зовнішнього армування будівельних конструкцій налічує приблизно 40-річну історію. Сьогодні є тисячі об'єктів, посилені за цією технологією. Технологія підсилення будівельних конструкцій із застосуванням елементів зовнішнього армування з вуглеволокна тісно пов'язана з технологіями ремонту і відновлення будівельних конструкцій загалом.

Ця технологія є зараз найсучаснішим і одним із найдбайливіших методів відновлення й підвищення експлуатаційних характеристик будівельних конструкцій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найрозповсюдженішим конструкційним композитним матеріалом є стрічка на основі високоміцних вуглецевих волокон (CFRP). Експериментальне вивчення застосування CFRP для підсилення залізобетонних балок було виконано Meier та ін., починаючи з 1985 у швейцарських лабораторіях EMPA [1]. У літературі широко описані випробування залізобетонних конструкцій, підсилених зовнішньою композитною арматурою, проведені у Швейцарії, Німеччині, Японії, Польщі та Україні [2-4]. У НУ «Львівська політехніка» вперше в Україні під керівництвом професора В.Г. Кваші проведені комплексні експериментальні дослідження залізобетонної мостової балки (за ТП вип. 56), підсиленої системою на основі високоміцних вуглецевих волокон [5]. Сьогодні більшість авторів приділяє увагу міцності підсилених конструкцій, а меншою мірою описані деформативність і тріщиностійкість. Запропоновані методики розрахунку прогинів потребують проведення численних експериментальних і теоретичних досліджень з метою вдосконалення.

**Постановка завдання.** Мета нашого дослідження полягає в розробленні розрахункового апарату для визначення прогинів і порівнянні основних результатів експериментальних і теоретичних досліджень прогинів залізобетонних балок за різних відсотків армування композитною стрічкою.

Для проведення експериментальних досліджень виготовили залізобетонні балки двох серій довжиною 2100 мм, шириною 120 мм і висотою 220 мм. Зразки серій 1 та 2 різняться міцністю бетону. Детально конструкція балок описана у [6].

Прийняті такі умовні позначення: перша цифра вказує серію балок (1, 2);

Б – балка; П – підсилена; друга цифра – порядковий номер балки зазначеної серії (1...8); третя цифра вказує на ширину стрічки підсилення (у частці до базової стрічки шириною 50 мм: 1 – 50 мм (1); 2 – 25 мм (1/2); 3 – 16,7 мм (1/3); 4 – 12,5 мм (1/4).

**Виклад основного матеріалу.** Під час експериментальних випробувань на кожному етапі навантаження замірювали прогини балок за допомогою семи мікроіндикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм, розташованих під прикладеними зосередженими силами, посередині прольоту та на ділянці між силами й опорами (рис. 1).

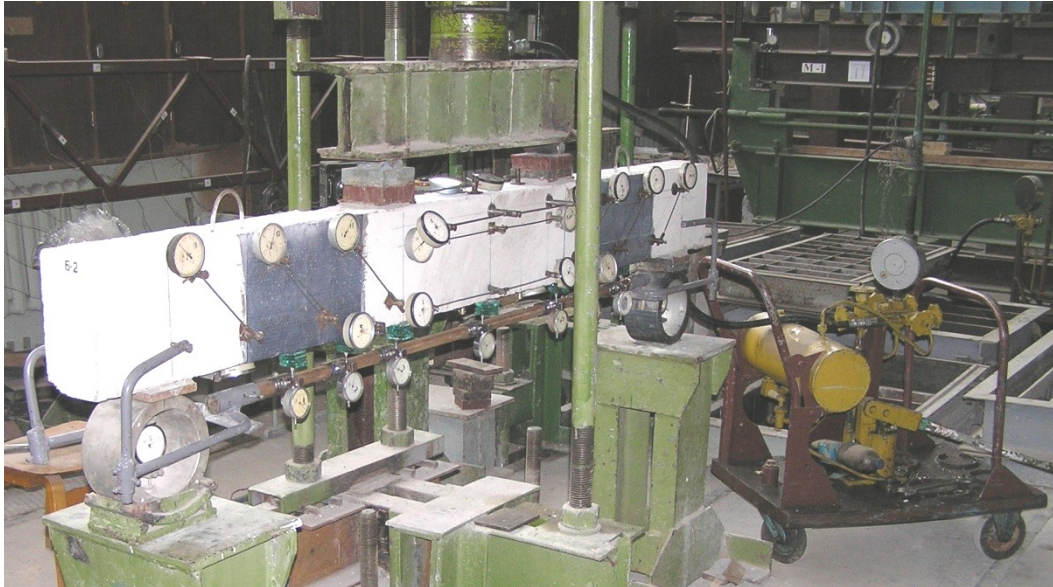


Рис. 1. Конструкція випробувального стенда, розташування вимірювальних приладів на експериментальному зразку.

Для оцінювання прогинів залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою, були використані чинні норми з проектування та розрахунку залізобетонних конструкцій [1] з урахуванням підсилення. Основні теоретичні підходи такі:

- справедливість гіпотези плоских перерізів;
- спільна дія залізобетонної конструкції та композитної арматури;
- зовнішня композитна арматура приводиться до внутрішньої сталеві арматури за модулями пружності та ординатами у перерізі.

Розрахункова схема фактичного та зведеного перерізу показані на рис. 2.

Під час розрахунків зведену площу розтягнутої арматури  $A_{S,red}$  визначають за формулою

$$A_{S,red} = A_S + A_f \frac{E_f}{E_S} \psi \frac{h}{h_0},$$

де  $A_S$ ,  $A_f$  — площа поперечного перерізу внутрішньої сталеві та зовнішньої композитної арматури;  $E_S$ ,  $E_f$  — модуль пружності внутрішньої сталеві та зовнішньої композитної арматури;  $h$  — висота елемента;  $h_0$  — робоча висота перерізу (рис. 2, в).

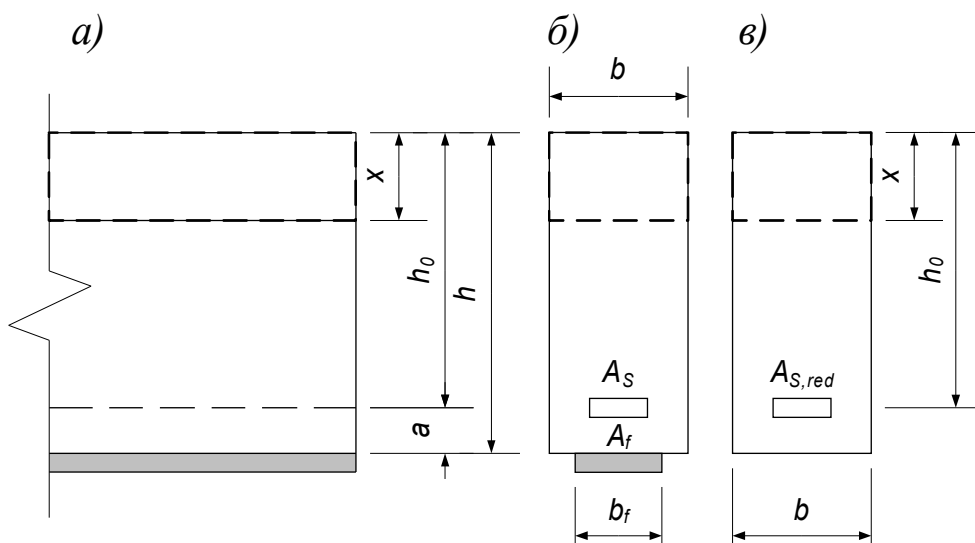


Рис. 2. Розрахункова схема підсилених залізобетонних балок:

*a* – поздовжній розріз; *б* – поперечний переріз підсиленої конструкції; *в* – зведений розрахунковий переріз підсиленої конструкції.

Усі подальші розрахунки прогинів проводили згідно з чинними нормами проектування залізобетонних конструкцій [1].

Результати експериментальних і теоретичних досліджень деформацій подані на рис. 3...7.

Граничний згинальний момент для балки 1Б-1 становить  $M_u = 14,7$  кНм [2]. З аналізу рис. 3 видно, що збіг експериментальних і теоретичних [1] значень прогинів настає за значення  $M \approx 9,5$  кНм, що становить  $0,65 M_u$ . За експлуатаційного рівня навантаження  $0,7M_u = 10,3$  кНм перевищення експериментальних прогинів над теоретичними становить 6%. Максимальна різниця прогинів (коли  $M \approx 5$  кНм) становить 32%.

Граничний згинальний момент для балки 1БП-2-1 становить  $M_u = 24$  кНм. З аналізу рис. 4 видно, що збіг експериментальних і теоретичних значень прогинів настає за значення  $M \approx 9,5$  кНм, що становить  $0,4 M_u$ . У разі експлуатаційного рівня навантаження  $0,7M_u = 16,8$  кНм перевищення експериментальних прогинів над теоретичними становить 17%. Максимальна різниця прогинів (коли  $M \approx 5$  кНм) становить 32%.

Граничний згинальний момент для балки 1БП-5-2 становить  $M_u = 18,4$  кНм. З аналізу рис. 5 бачимо, що збіг експериментальних і теоретичних значень прогинів настає, якщо значення  $M \approx 13$  кНм, що становить  $0,71 M_u = 16,8$  кНм, і відповідає експлуатаційному рівню навантаження. Максимальна різниця прогинів (коли  $M \approx 5$  кНм) становить 32%.

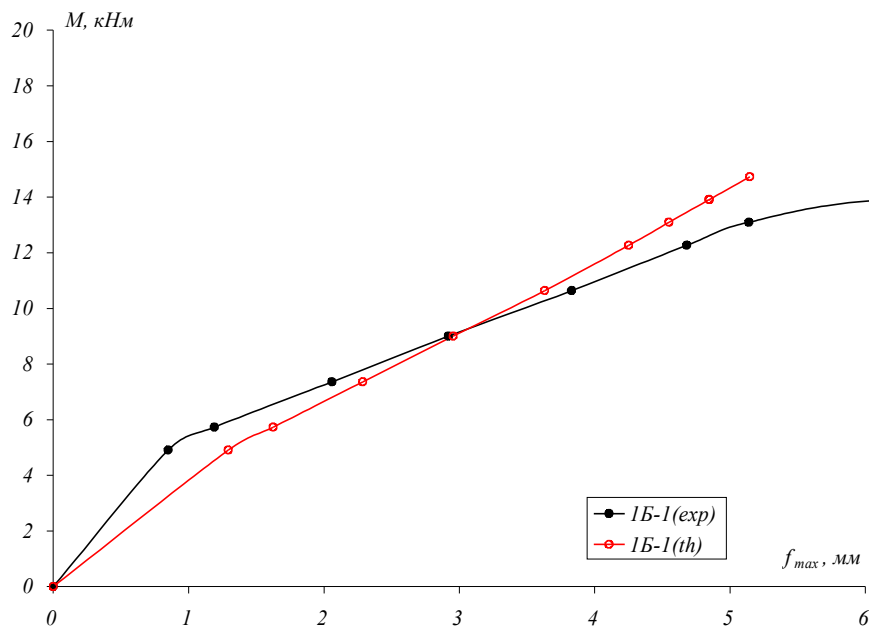


Рис. 3. Експериментальні та теоретичні прогини балки 1Б-1.

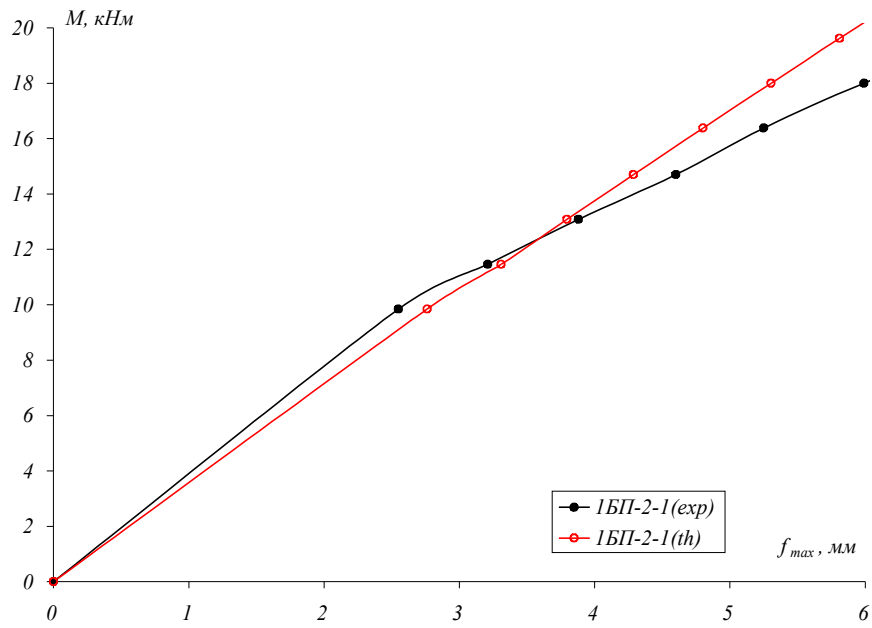


Рис. 4. Експериментальні та теоретичні прогини балки 1БП-2-1.

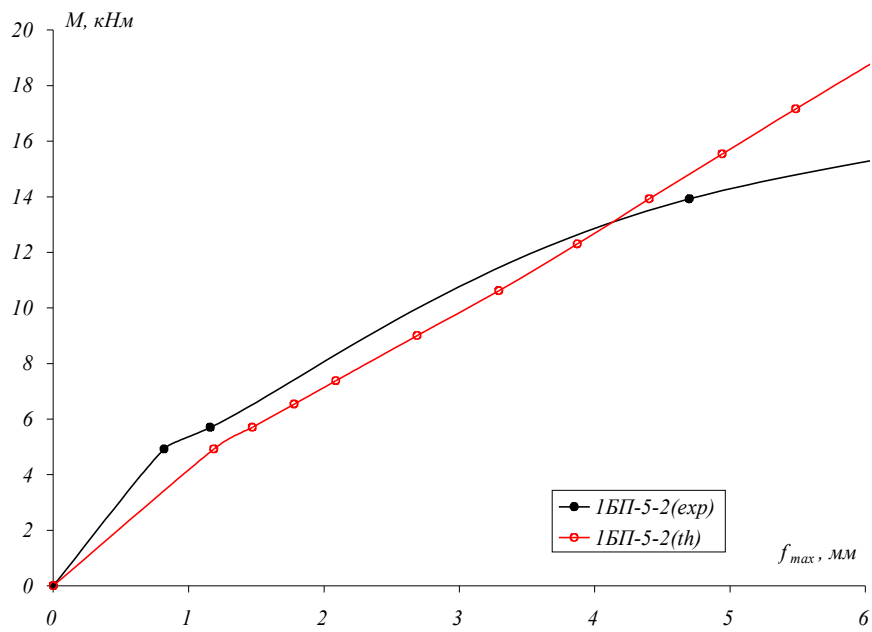


Рис. 5. Експериментальні та теоретичні прогини балки 1БП-5-2.

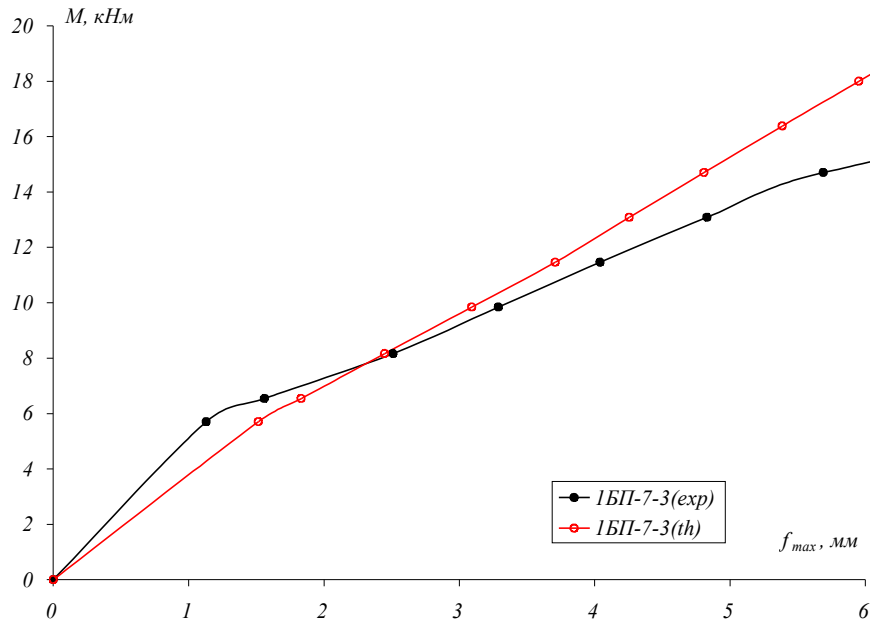


Рис. 6. Експериментальні та теоретичні прогини балки 1БП-7-3.

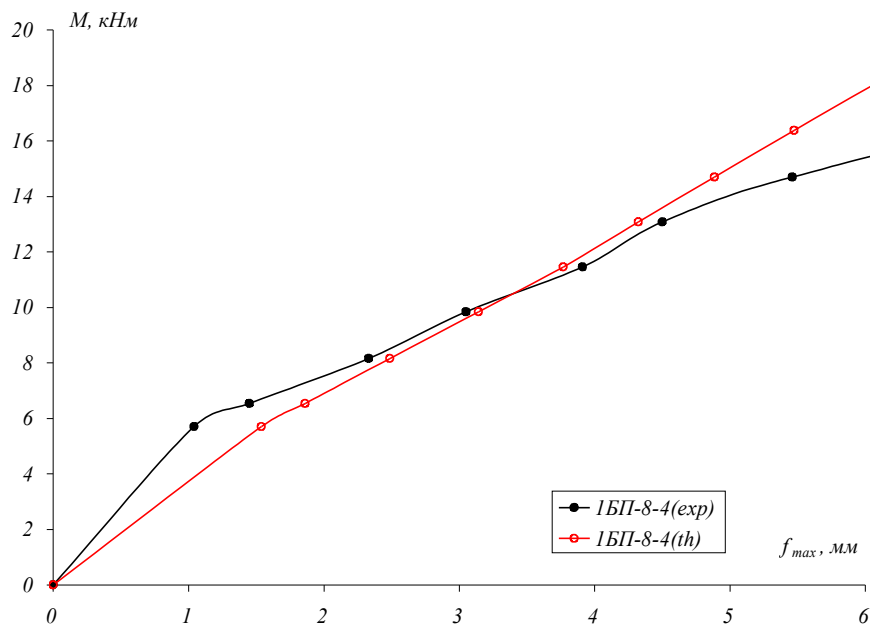


Рис. 7. Експериментальні та теоретичні прогини балки 1БП-8-4.

Граничний згинальний момент для балки 1БП-7-3 становить  $M_u = 17,3$  кНм. З аналізу рис. 6 видно, що збіг експериментальних і теоретичних значень прогинів настає за значення  $M \approx 8$  кНм, що становить  $0,5 M_u$ . За експлуатаційного рівня навантаження  $0,7M_u=12,1$  кНм перевищення експериментальних прогинів над теоретичними становить 10%. Максимальна різниця прогинів (коли  $M \approx 5$  кНм) становить 42%.

Граничний згинальний момент для балки 1БП-8-4 становить  $M_u = 17,1$  кНм. З аналізу рис. 7 видно, що збіг експериментальних і теоретичних значень прогинів настає, коли значення  $M \approx 10,5$  кНм, що становить  $0,61 M_u$ . За експлуатаційного рівня навантаження  $0,7M_u=12,0$  кНм перевищення експериментальних прогинів над теоретичними становить 4%. Максимальна різниця прогинів (коли  $M \approx 5$  кНм) становить 45%.

Різниця між теоретичними та експериментальними значеннями прогинів за експлуатаційного

рівня навантаження  $0,7M_u$  не перевищує 10% у бік заниження теоретичних значень, що є достатньо для інженерних розрахунків. У невідсилений балці ІБ-1 різниця між теоретичними та експериментальними значеннями прогинів за експлуатаційного рівня навантаження  $0,7M_u$  становить 6% у бік заниження теоретичних значень.

**Висновки.** Запропонована методика розрахунку прогинів залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою, приведенням її до внутрішньої сталеві арматури. Ця методика розрахунку базується на чинних нормах проектування залізобетонних конструкцій. У разі обчислення прогинів за експлуатаційного рівня навантаження похибка обчислень не перевищує 10% у бік заниження теоретичних значень над експериментальними, що є достатньо для інженерних розрахунків.

#### Бібліографічний список

1. Strengthening of Structures with CFRP Laminates, U. Meier, K. Kaiser Advanced Composite Materials in Civil Engineering Structures, Proceedings of the Specialty Conference (ASCE). – Las Vegas, Nevada, 1991. – P. 224-232.
2. Міцність і деформативність залізобетонних мостових балок, посилені неметалевою арматурою CFRP / В. Г. Кваша, І. В. Мельник, М. Д. Климуш, О. Шевчик // Актуальні проблеми будівництва та інженерії довкілля : VI Міжнар. наук. конф. – Львів, 2001. – С. 223-230.
3. Мурин А. Я. Дослідження роботи залізобетонних балок, підсилених наклеюванням композитної арматури / А. Я. Мурин, Р. З. Добрянський // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2005. – Вип.4(52). – С. 254-257.
4. Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Technical report fib, bulletin 14, 2001. – 130 p.
5. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. – М. : ГУП «НИИЖБ», ООО «Интераква», 2006. – 48 с.
6. Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП 2.03.01-84\*.. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
7. Мурин А. Я. Міцність залізобетонних балок при різних процентах підсилення зовнішньою композитною арматурою / А. Я. Мурин // Вісник національного університету "Львівська політехніка" : теорія і практика будівництва. – 2007. – № 600. – С. 244-250.
8. Мурин А. Я. Міцність нормальних перерізів залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою / А. Я. Мурин // Вісник національного університету "Львівська політехніка" : теорія і практика будівництва. – 2008. № 627. – С. 155-158.

#### **Мурин А., Добрянский Р., Сорохтей В., Цепков С., Приставский Т. Деформации прогиба железобетонных балок, усиленных внешней композитной арматурой.**

В статье поданы результаты исследований прогибов железобетонных балок, усиленных внешней композитной арматурой. Предложен метод вычисления деформации усиленных балок на основе действительных стандартов планирования. Дана экспериментально-вычислительная оценка прогибов.

**Ключевые слова:** железобетонные балки, внешняя композитная арматура, усиление, прогибы.

#### **Muryn A., Dobryan'sky R., Sorokhtey V., Tsepkov S., Prystavsky T. Deflection deformation of reinforced beams strengthened by external composite reinforcement.**

The results of investigations of deflections of reinforced-concrete beams, strengthened an external composite reinforcement are given in this paper. The method of calculation of deflections of the strengthened beams is offered, that is based on the operating norms of planning. The experimental and calculation values of deflections are confronted.

**Key words:** reinforced concrete beams, external composite reinforcement, strengthening, deflection.