

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПІДСИЛЕНИХ ФІБРОПЛАСТИКОВОЮ АРМАТУРОЮ

© Мурин А.Я., Іванів М.М., 2013

Розглянуто основні фактори, що призводять до необхідності підсилення будівельних конструкцій, наведено особливості застосування зовнішньої композитної арматури як засобу підсилення. У ПК “Лира” розроблено моделі двох залізобетонних балок: звичайної (армованої стержневою арматурою) та підсиленої вуглецевими стрічками (стержнева арматура плюс композит). Описано особливості процесу моделювання і проведено порівняння теоретичних та експериментальних значень прогинів.

Ключові слова: підсилення будівельних конструкцій, зовнішня композитна арматура, принцип підсилення, переваги підсилення, програмний комплекс “Лира”, залізобетонна балка, нелінійний розрахунок.

Basic factors, resulting in the necessity of strengthening of building constructions are considered, the features of application of external composite armature as facilities of strengthening are resulted. Two types of reinforced concrete beams are developed in SP “Lira”: the ordinary one (reinforced with cored armature) and the one enhanced with carbon ribbons (cored armature plus composite ribbons). The features of designing process are described and comparison of theoretical and experimental values of deflections is conducted.

Key words: strengthening of building constructions, external composite armature, principle of strengthening, advantages of strengthening, software package “Lira”, reinforced concrete beam, nonlinear calculation.

Постановка проблеми. Підсилення будівельних конструкцій – це комплекс заходів, направлений на підвищення їх несучої здатності, жорсткості та тріщиностійкості.

Необхідність підсилення будівельних конструкцій може виникнути внаслідок збільшення розрахункових навантажень, втрати несучої здатності, дефектів і пошкоджень конструктивних елементів, зміни геометричних параметрів конструктивної системи будівель і споруд, помилок під час проектування, виготовлення, транспортування, монтажу та експлуатації конструкції, зміни умов експлуатації порівняно з проектними, дії особливих чинників (сейсмічні природні і техногенні впливи).

На сьогодні підсилювальні конструкції із застосуванням композитної арматури становлять серйозну конкуренцію звичним способам підсилення.

Найпоширенішими формами підсилення з використанням композиційних матеріалів є полотна різного плетіння і полоси, або пластини на базі вуглецевих, скляних, армідних, базальтових волокон. Найчастіше використовуються композити на основі вуглецевих волокон, оскільки вони мають високу міцність на розтяг (зокрема втомну міцність) та модуль пружності, близький до модуля пружності сталевих арматур.

Принцип підсилення конструкцій полягає у наклеюванні на її поверхню високоміцних полотен або пластин за допомогою спеціального епоксидного клею, який має високу механічну міцність, високу зносостійкість і ударну міцність, є водо- та паронепроникним. Можливе підсилення як розтягнутих зон конструкцій, що працюють на згин, приопорних ділянок у зоні дії поперечних сил, так і стиснених (позацентрово стиснених) елементів [1].

За умови розміщення елемента зовнішнього армування зі сторони найбільш розтягнутих волокон конструкцій, що працюють на згин, наклеєний елемент зовнішнього армування поєднується до сумісної роботи з металевою арматурою і сприймає розтягуючі зусилля, тим самим підвищуючи експлуатаційні характеристики згинаних елементів.

Як показує багатолітня практика, реконструкція будівель і споруд є найефективнішою тоді, коли інженери враховують реальні залишкові резерви несучої здатності конструкцій, які отримані на основі експериментального і теоретичного аналізу їхньої роботи з уточненням навантажень, властивостей матеріалів, розрахункових схем тощо.

Українські та зарубіжні інженери робили неодноразові спроби змодельовати поведінку залізобетону у програмних комплексах, зокрема поведінку конструкцій після підсилення. Дані розрахунки мають значне практичне значення, оскільки дали б змогу заздалегідь спрогнозувати і вибрати раціональний спосіб підсилення. Результати, описані в літературі, дають значну похибку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті А.А. Дьячкової та В.Д. Кузнецова [2] описано особливості розрахунку залізобетонних плит, підсилених вуглецевими композитними матеріалами на основі скінченно-елементної моделі в ПК SCAD Office із застосуванням ідеї попереднього напруження конструкції, реалізованої через режим “Монтаж”.

Формулювання мети статті. Метою дослідження є розроблення розрахункової моделі залізобетонної балки, підсиленої зовнішньою композитною арматурою, у ПК “Лира” і отримання розрахованих величин прогинів такої конструкції, які відповідають експериментальним даним.

Виклад основного матеріалу. У цій роботі описано результати моделювання залізобетонних балок, підсилених зовнішньою композитною арматурою, у ПК “Лира” і порівняно обчислені прогини з експериментальними. У Національному університеті “Львівська політехніка” проводили експериментальні дослідження таких балок [3], щоб визначити їхню міцність, жорсткість та тріщиностійкість, а також ефект підсилення.

Конструкцію та армування дослідних зразків подано на рис. 1, а. Залізобетонні балки були виготовлені довжиною 2,1 м (прольотом 1,8 м), перерізом 22×12 см. Поздовжня робоча арматура – 2 стержні класу А-ІІ діаметром 12 мм, $A_s = 2,26 \text{ см}^2$. На рис. 1, б зображена схема підсилення залізобетонної балки.

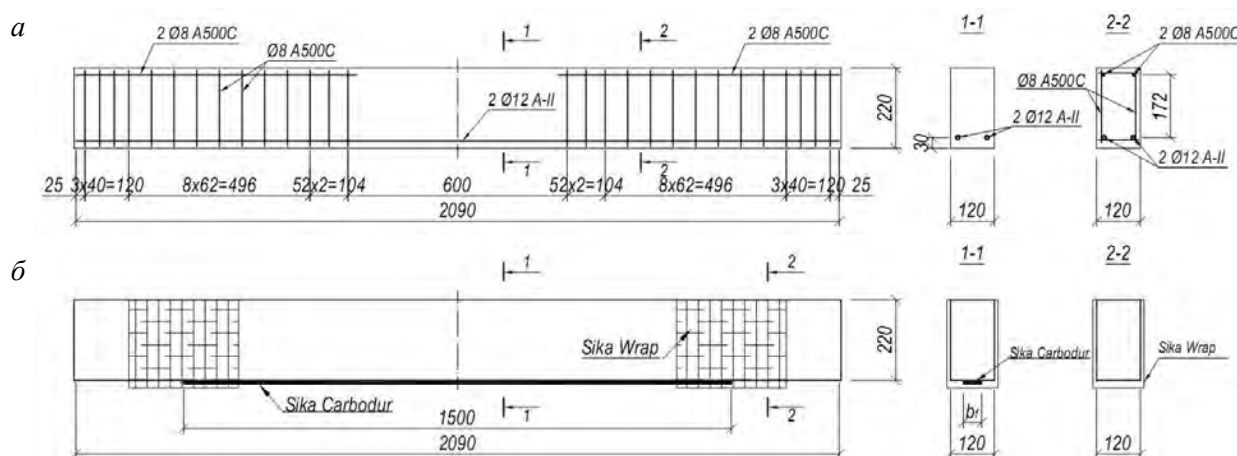


Рис. 1. Конструкція та армування експериментальних залізобетонних балок: а – без підсилення; б – з підсиленням (внутрішня арматура умовно не показана)

У межах серії змінним параметром була площа перерізу композитної стрічки типу CFRP CarboDur S512 різної ширини. Умовні позначення дослідних зразків подано у табл. 1. Балки навантажувалися двома зосередженими силами, прикладеними у третинах прольоту (у вузлах з координатами 0,6 м та 1,2 м відносно глобальної осі X).

Умовні позначення дослідних зразків

№ балки	Шифр балки	Площа перерізу зовнішньої композитної арматури, см ²
1	1Б-1	–
2	1БП-1	0.6 (5x0.12)
3	1БП-2	0.3 (2.5x0.12)
4	1БП-3	0.15 (1.25x0.12)

У ПК “Ли́ра” було розроблено три моделі такої балки. Перша модель – стержень, розбитий вузлами на 12 частин (рис. 2, а). Друга та третя моделі складаються з об’ємних скінченних елементів у формі папалелепіпедів (рис. 2, б, в).

Стержню присвоєно кінцевий елемент № 210 – фізично нелінійний універсальний просторовий стержневий КЕ, який забезпечує розрахунок усіх видів стержневих систем з урахуванням фізичної нелінійності матеріалу і є аналогом універсального лінійного стержневого КЕ № 10.

Переріз балки змодельовано у вигляді бруса висотою 22 см і шириною 12 см. Об’ємним скінченним елементам присвоєно кінцевий елемент № 236 – фізично нелінійний універсальний просторовий восьмивузловий ізопараметричний КЕ, який призначений для розрахунку на міцність континуальних об’єктів і масивних просторових конструкцій з урахуванням фізичної нелінійності матеріалу.

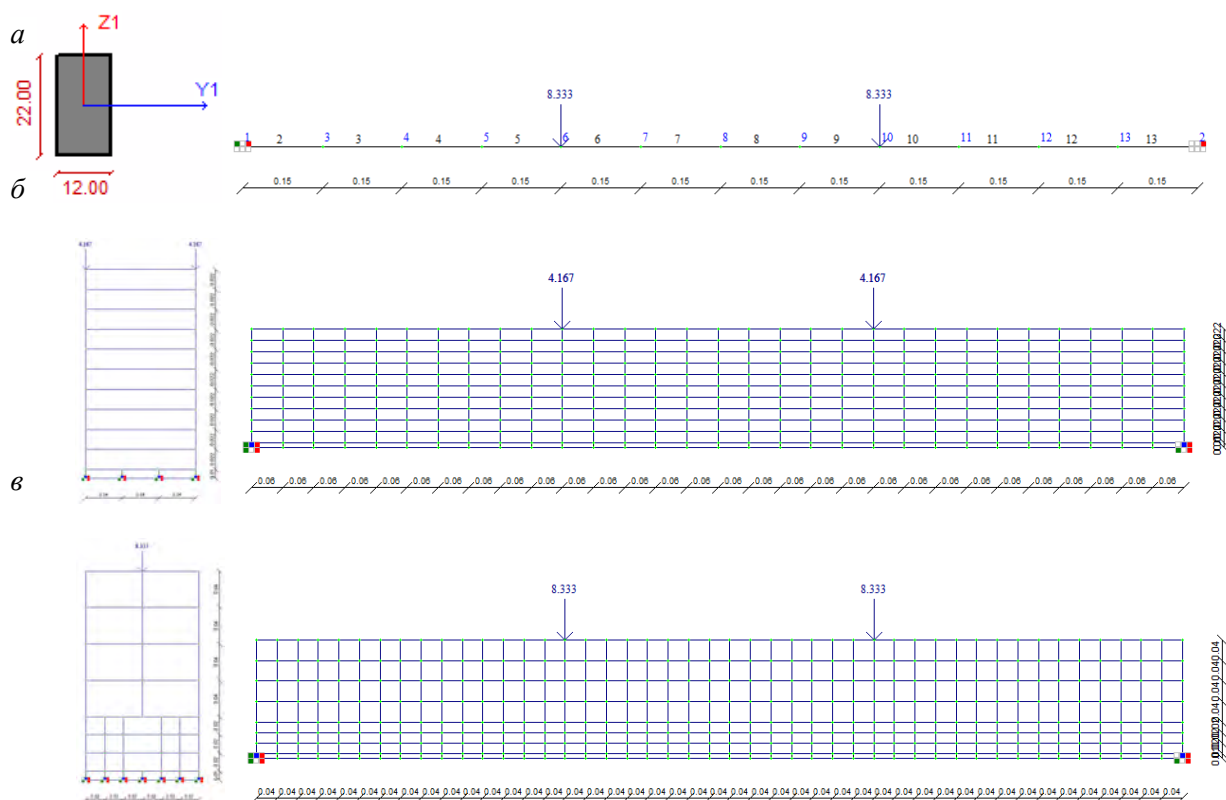


Рис. 2. Моделі залізобетонної балки у ПК “Ли́ра”

Для опису нелінійного деформування залізобетону використано 11 експоненціальний закон (рис. 3, 4). Згідно з рекомендаціями СП 52-103-2007 [4] (п. 6.2.7) модуль пружності бетону приймаємо таким, що дорівнює реальному модулю пружності бетону класу В25, помноженому на занижувальний коефіцієнт, який для цього випадку дорівнює 0,3.

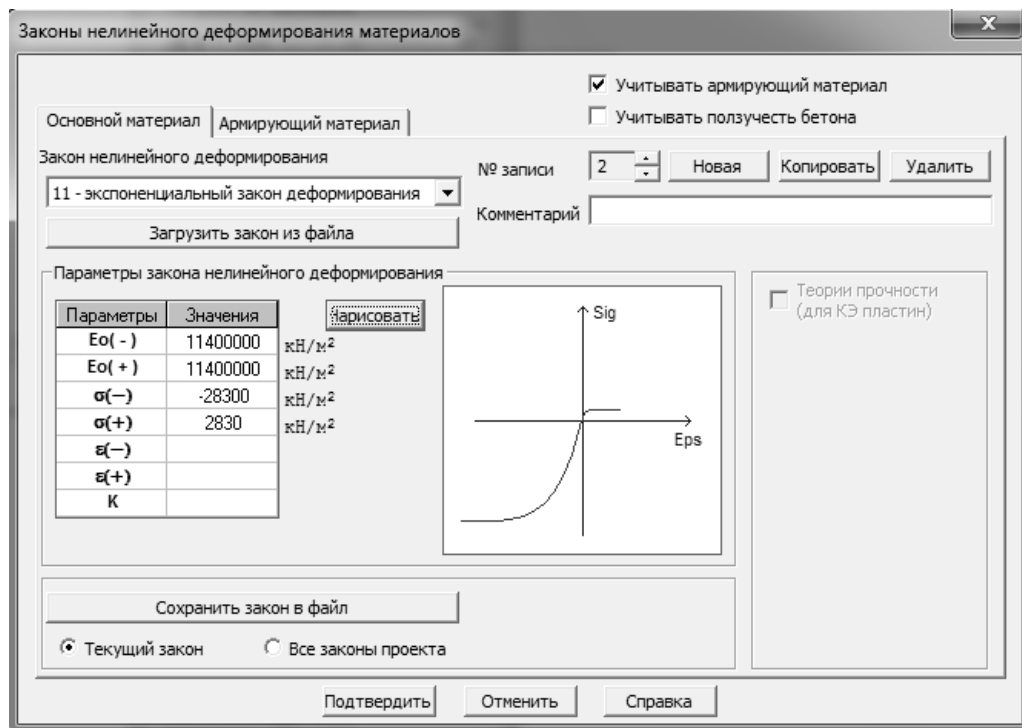


Рис. 3. Закон деформування бетону

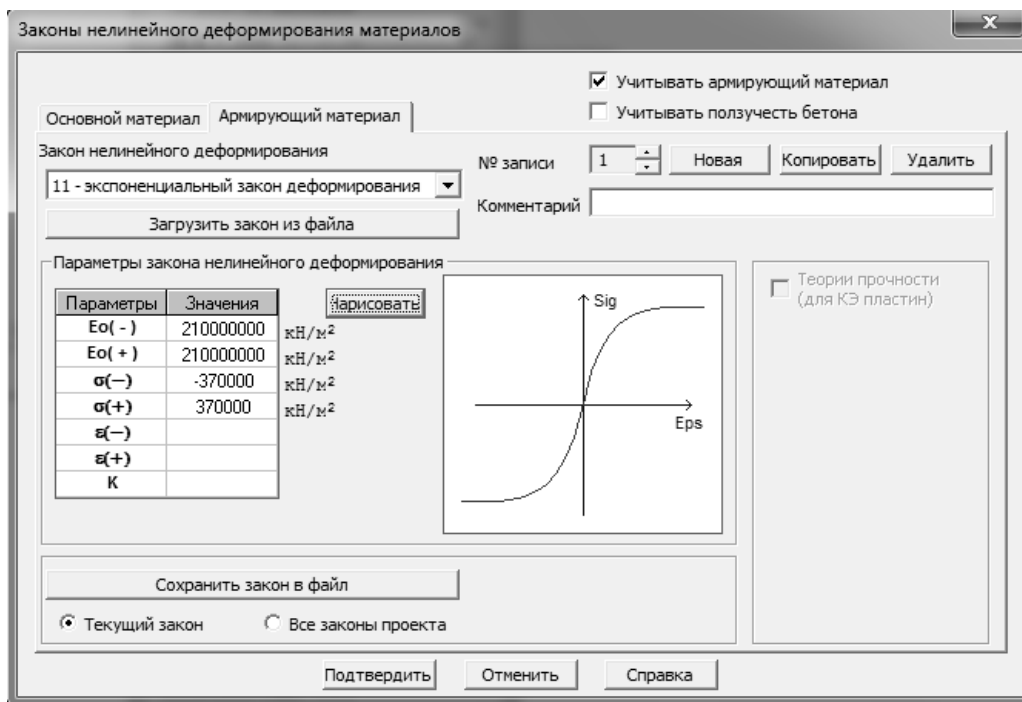


Рис. 4. Закон деформування арматури

Порівняння результатів розрахунків балок у ПК “Лира” із експериментальними даними [3] наведено у вигляді графіків прогинів на рис. 5–6.

Прогини, обчислені у ПК “Лира”, відрізняються від експериментальних, що може бути пов’язано з неможливістю врахування у програмі умов проведення випробувань балки в лабораторії, умов тужавіння бетону, а також через відсутність можливості докладного задання фізичних властивостей композитної арматури.

У разі експлуатаційних рівнів навантаження похибка розрахунку не перевищує 25 % у бік завищення теоретичних значень.

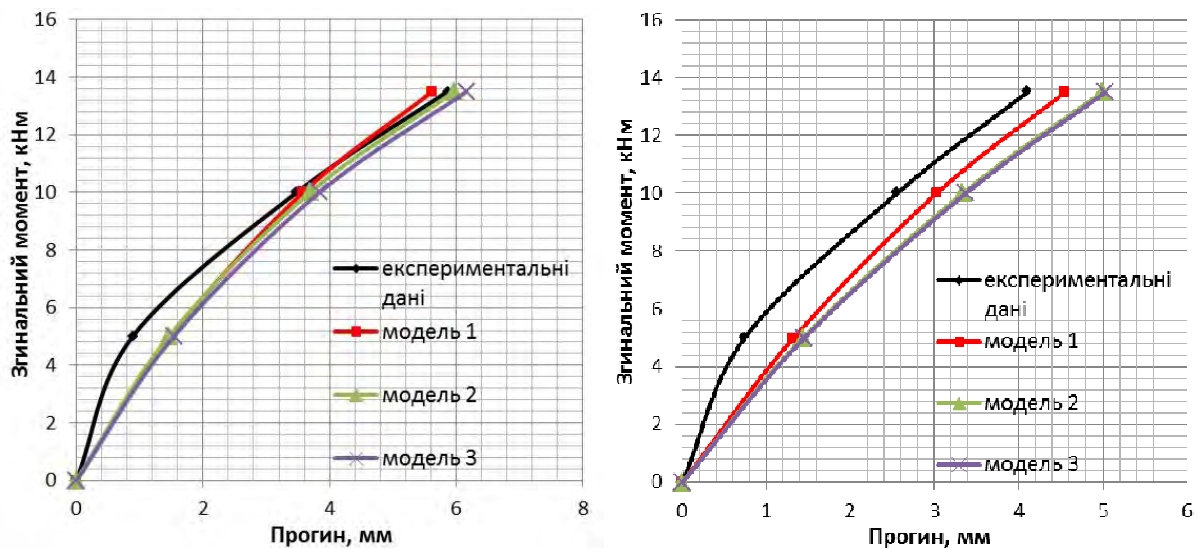


Рис. 5. Графік момент-прогин балок 1Б-1 та 1БП-1

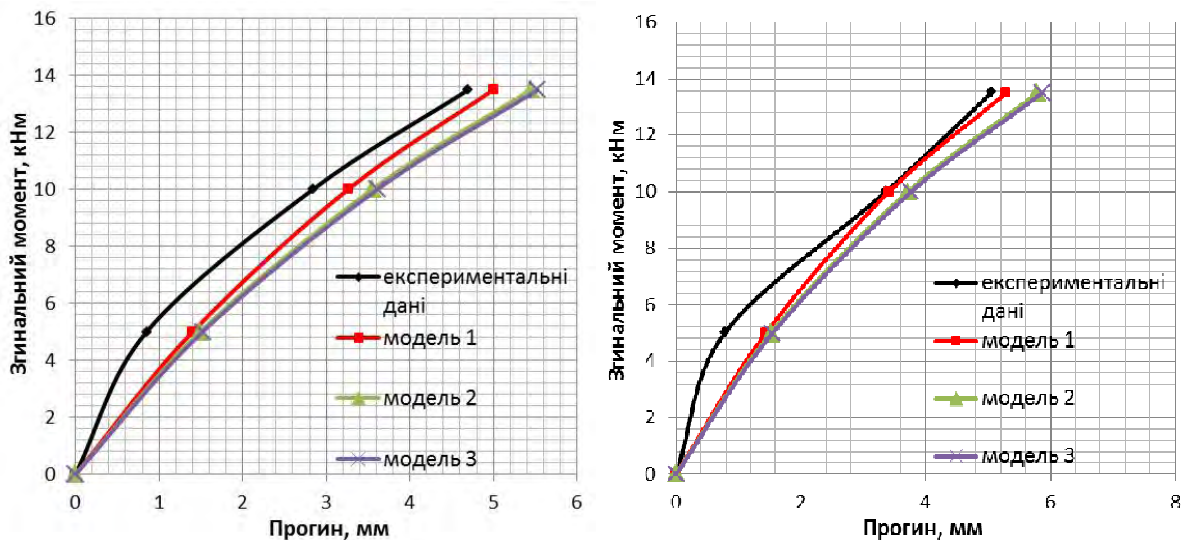


Рис. 6. Графік момент-прогин балки 1БП-2 та 1БП-3

Висновки. Підсилення будівельних конструкцій – серйозна проблема, яку інженери змушені вирішувати в комплексі, аналізуючи як всі техногенні навантаження і впливи, так і природні. До кожної конструкції повинен бути розроблений індивідуальний підхід, потрібно зважити всі переваги і недоліки того чи іншого способу підсилення.

Для багатьох конструкцій, що працюють на згин, стиск і позacentровий стиск і піддаються впливу зовнішнього середовища (зокрема мостові балки, опори мостів) оптимальним рішенням є підсилення з використанням зовнішньої композитної арматури.

Широке застосування композитних матеріалів в Україні стримується відсутністю розрахунково-нормативної бази, адаптованої до ДБН України, а також виробництва вітчизняних матеріалів. Експериментальні дослідження багатьох авторів, проведені закордоном та в Україні, та їх аналіз показали значний розкид експериментальних показників міцності, деформативності та тріщиностійкості підсилених залізобетонних конструкцій. Сьогодні немає єдиної теорії розрахунку підсилення залізобетонних конструкцій (зокрема за похилими перерізами), яка б відповідала експериментальним даним усіх авторів.

Моделювання конструкцій, підсилених зовнішньою композитною арматурою, у ПК “Ли́ра” є достатньо точним для використання його під час проектування підсилення.