

УДК 69.04

А.Я. Мурин, к.т.н., старший викладач, М.М. Іванів, магістрант

*Національний університет «Львівська політехніка»*

О.С. Сергеев, старший викладач

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ МОСТОВОЇ БАЛКИ ТАВРОВОГО ПЕРЕРІЗУ, ПІДСИЛЕНОЇ ЗОВНІШНЬОЮ КОМПОЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ**

*Розроблено моделі залізобетонної мостової балки таврового перерізу (звичайної й підсиленої вуглецевими стрічками). Описано особливості процесу моделювання і виконано порівняння теоретичних та експериментальних значень прогинів.*

**Ключові слова:** залізобетонна мостова балка таврового перерізу, підсилення будівельних конструкцій, зовнішня композитна арматура, програмний комплекс «Лира», нелінійний розрахунок.

**Вступ.** Більшість мостів України складають залізобетонні мости малих і середніх прогонів. Значну їх частину було збудовано протягом 1950 – 1970 рр. З того часу норми проектування змінювалися декілька разів, зокрема зростали вимоги щодо вантажопідйомності.

Значну частину типових мостів становлять збірні залізобетонні балкові розрізні діафрагмові та бездіафрагмові прогонові будови з типових балок, армованих ненапруженою багаторядною каркасною арматурою. Більшість типових мостів зараз знаходяться у вкрай незадовільному стані й потребують реконструкції та підсилення. Новітнім методом підсилення залізобетонних мостових конструкцій є використання композитних матеріалів.

Українські й зарубіжні інженери робили неодноразові спроби моделювання поведінки залізобетону в програмних комплексах, зокрема роботи конструкцій після підсилення. Такі розрахунки дозволяли б заздалегідь спрогнозувати і вибрати раціональний спосіб підсилення.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** У роботі [1] описано особливості розрахунку залізобетонних плит, підсилених вуглецевими композитними матеріалами на основі скінченноелементної моделі в ПК «SCAD Office» із застосуванням ідеї попереднього напруження конструкції, реалізованої через режим «Монтаж».

У роботі [2] розглянуто розрахунок залізобетонних балок прямокутного перерізу, підсилених вуглецевими композитними стрічками, у ПК «Лира». Наведено експериментальні і розрахункові графіки прогинів для непідсиленої та підсиленої балок.

У роботі [3] виконано моделювання залізобетонних балок прямокутного перерізу, підсилених зовнішньою фібропластиковою арматурою, з використанням методу скінченних елементів, реалізованого у ПК «ANSYS».

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Розрахунок підсилення будівельних конструкцій з використанням новітніх технологій, зокрема композитних високоміцних стрічок, є надзвичайно актуальним питанням. Сучасні інженерні САПР можуть стати хорошим інструментом для виконання цього розрахунку швидко і якісно за умови побудови достатньо точної моделі конструкції.

**Мета дослідження** – розроблення розрахункової моделі залізобетонної мостової балки таврового перерізу, підсиленої зовнішньою композитною арматурою, у ПК «Лира», й отримання розрахованих величин прогинів такої конструкції, які відповідають експериментальним даним.

**Основний матеріал і результати.** До сучасних систем автоматизованого проектування у будівництві, які реалізують метод скінченних елементів, належать:

– *ANSYS* – найпоширеніша у світі багатофункціональна система для скінченноелементних розрахунків. Включає модулі розрахунків міцності й динаміки, температурних полів, гідрогазодинаміки, електростатики, електромагнетизму, оптимізації, імовірнісних розрахунків, нелінійних розрахунків та інші;

– *Лира* – багатофункціональний програмний комплекс, призначений для проектування та розрахунку будівельних і машинобудівних конструкцій різноманітного призначення. Розрахунок виконується на статичні (силові й деформаційні) та динамічні впливи. Здійснюється підбір або перевірка перерізів металевих і (або) залізобетонних конструкцій. ПК «Лира» забезпечує дослідження широкого класу конструкцій: просторові стержневі елементи й оболонки, масивні тіла, комбіновані системи – рамно-в'язеві конструкції висотних будівель, плити на ґрунтовій основі, ребристі плити, багатошарові конструкції;

– *COSMOS / M* – програмний комплекс на основі системи GEOSTAR, що включає препроцесор, розрахункові скінченноелементні модулі та постпроцесор. GEOSTAR дає користувачеві можливість створювати геометричний образ розрахункової моделі, насичувати її елементами, оперативно вносити зміни, виконувати необхідні види розрахунків і друкувати результати;

– *STAAD.Pro* – повністю інтегрований комплекс для розрахунку, аналізу та проектування будівельних конструкцій, будівель і споруд. *STAAD.Pro* забезпечує вичерпну інформацію про напружено-деформований стан конструкції й окремих її елементів. Результати розрахунку використовуються для проектування металевих, залізобетонних та дерев'яних конструкцій відповідно до вимог більшості відомих норм і кодів, у тому числі СНиП;

– *PLAXIS 8.0* – розрахунковий комплекс, що містить набір прикладних програм для скінченноелементного аналізу напружено-деформованого стану системи «ґрунт – фундамент – споруда» в умовах плоскої й вісесиметричної задач. Програма активно застосовується у традиційній геотехнічній інженерії при проектуванні дамб та водосховищ, спорудженні фундаментів, насипів, котлованів і підпірних стінок, укріпленні відкосів, розширенні доріг, вирішенні питань інфільтрації (просочування), проектуванні тунелів та станцій метро;

– *МОНОМАХ* – програмний комплекс, призначений для розрахунку й проектування залізобетонних і кам'яних конструкцій багатоповерхових будівель з планами довільної конфігурації. Програма формує робочі креслення балок, колон, фундаментів та підпірних стінок, а також схеми армування плит і стін;

– *Autdesk Robot Structural Analysis Professional* – програма, призначена для проведення розрахунків будівельних конструкцій та споруд на міцність, стійкість і динамічні впливи;

– *FEM models* містить моделі, що описують роботу надземних конструкцій будівель та складну нелінійну роботу ґрунту. *FEM models* дає можливість розв'язувати задачі розрахунку основ і надземних конструкцій з урахуванням їх взаємодії, дозволяючи тим самим виконувати на практиці вимоги норм щодо необхідності сумісного розрахунку осідань комплексу різноповерхових будівель на палевих фундаментах;

– *ПК Robot Millennium* являє собою унікальну систему, що об'єднує всі етапи проектування конструкцій – від створення розрахункової схеми до реалізації звітів і креслень;

– *SCAD Office* дозволяє виконувати розрахунок та проектування металевих і залізобетонних конструкцій. До складу комплексу входить універсальна програма скінченноелементного аналізу SCAD, а також ряд функціонально незалежних проектно-розрахункових та допоміжних програм;

– *ЭСПРИ* – електронний довідник інженера, що містить серію довідкових і розрахункових програм повсякденного вжитку. Вони надають можливість виконувати

комп'ютерні розрахунки багатьох задач, які звичайно виникають у процесі проектної, інженерної та дослідницької роботи і які зазвичай не вписуються в структуру більших програмних комплексів.

У Національному університеті «Львівська політехніка» під керівництвом професора В. Г. Кваші проводились експериментальні дослідження таких балок з метою визначення їхньої міцності, жорсткості та тріщиностійкості, а також ефекту підсилення [4].

Дослідні залізобетонні балки таврового перерізу зі зварною каркасною арматурою було демонтовано з прольотної будови моста після більш ніж 40-річної експлуатації. Конструкція цих балок за армуванням і геометрією відповідала типовому проекту вип. 56. Загальна довжина балок становить 14,06 м, а розрахунковий проліт – 13,5 м. Робоча арматура класу А-II (Ст.5) за ГОСТ 5781-53.

Міцність бетону балок Б-1 і БП-1 на стиск було визначено неруйнівним способом – еталонним молотком Кашкарова. Для визначення міцності бетону балок на розтяг використовувався метод «pull-off» (місцеве відривання бетону на фіксованій площі). Значення міцності наведено у таблиці 1.

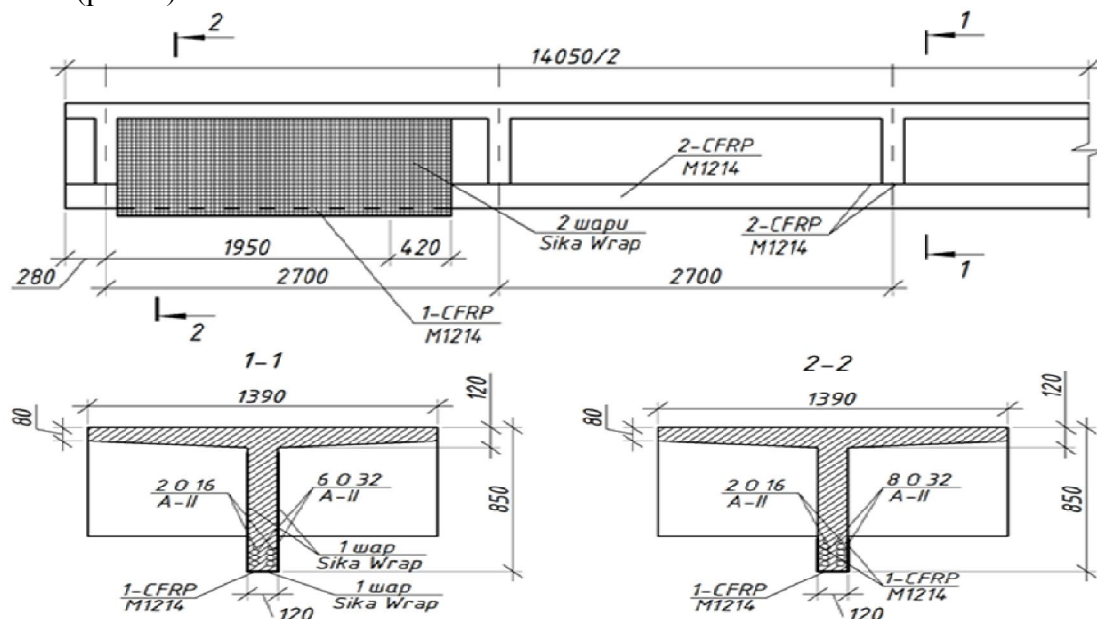
**Таблиця 1 – Міцність бетону балок Б-1 і БП-1**

Шифр балки	Міцність бетону, МПа	
	на стиск	на розтяг
Б-1	22,3	1,53
БП-1	28,0	2,31

У дослідженні розглянуто дві балки: звичайну Б-1 і підсилену двома композитними стрічками БП-1.

Композитні стрічки CFRP перерізом 120×1,4 мм приклеїли до нижньої поверхні балки БП-1 двокомпонентним клеєм Sikadur 30, причому верхню стрічку доведено до опор, а нижню обірвали в прольоті на відстані 195 см від опор. Такі ж стрічки наклеєно на боковій поверхні нижньої частини ребра по всій довжині прольоту.

Для додаткового анкерування наклеєних стрічок використовували високоміцну тканину SikaWrap, наклеєну двома шарами між опорною і першою від опори поперечними діафрагмами з розташуванням робочих волокон у взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 1).



*Рисунок 1 – Конструкція балки БП-1, підсиленої стрічками CFRP і полотном Wrap*

Балки навантажувалися двома зосередженими силами, прикладеними у вузлах з координатами 5,4 та 8,1 м відносно глобальної осі X.

У ПК «Ли́ра» балки змодельовані стержнем, розбитим вузлами на 30 частин. Стержню присвоєно кінцевий елемент № 210 – фізично нелінійний універсальний просторовий стержневий KE, який забезпечує розрахунок усіх видів стержневих систем з урахуванням фізичної нелінійності матеріалу і є аналогом універсального лінійного стержневого KE № 10.

Переріз балки змодельований у вигляді тавра висотою 85 см. Ширина ребра становить 12 см, а ширина полицки – 139 см. Висоту полицки умовно прийнято незмінною по ширині перерізу, вона становить 10 см.

Для опису нелінійного деформування залізобетону було використано 11-й експоненціальний закон. Порівняння результатів розрахунків балок у ПК «Ли́ра» з експериментальними даними наведено на рис. 2.

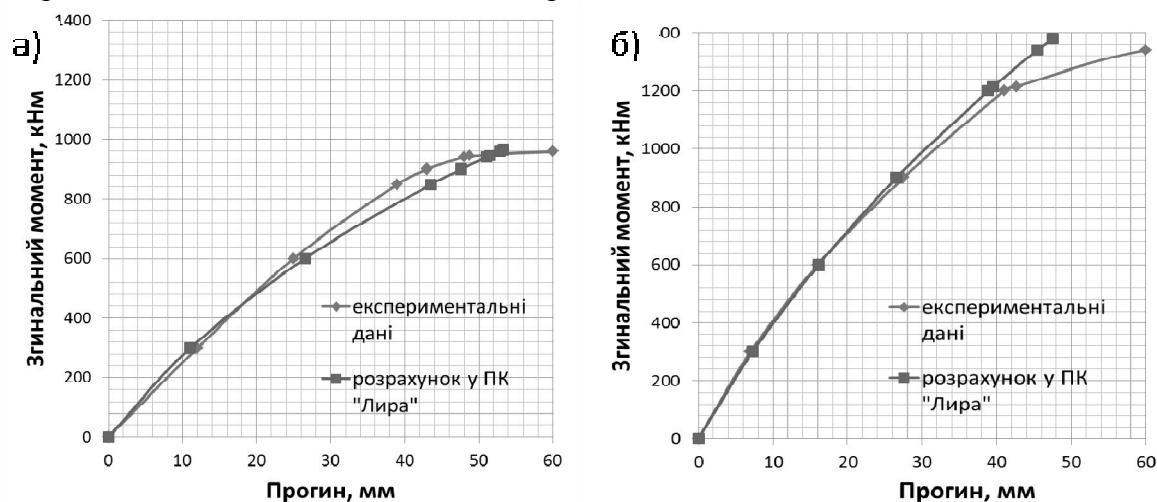


Рисунок 2 – Графік навантаження-прогину для: а) балки Б-1; б) балки БП-1

Значення, обраховані у ПК «Ли́ра», відрізняються від експериментальних, що може бути пов'язано з неможливістю врахування у програмі умов проведення випробувань балки в лабораторії, а також через відсутність можливості докладного задання фізичних властивостей композитної арматури, похибка розрахунку не перевищує 10%.

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

Сучасний стан мостів України не є задовільним, а можливості масово їх перебудувати відповідно до сучасних вимог щодо вантажопідйомності й габаритів проїзної частини найближчим часом не буде. Тому науковцям та інженерам необхідно шукати методи, які дозволяють виконувати розрахунки більш точно з метою виявлення залишкових резервів існуючих конструкцій і розумного їх використання, користуючись як сучасними, так і раніше відомими способами підсилення.

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

Моделювання роботи конструкцій, підсиленних зовнішньою композитною арматурою, у ПК «Ли́ра» є достатньо точним для використання його при проектуванні підсилення.

### Література

1. Дьячкова, А. А. Расчет усиления железобетонных плит углеродными композиционными материалами / А. А. Дьячкова, В. Д. Кузнецов // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 3. – С. 25 – 28.
2. Мурин, А. Я. Моделирование работы железобетонных балок, усиленных зовнішньою фібропластиковою арматурою, у програмному комплексі «Ліра» / А. Я. Мурин, М. М. Іванів // Вісник Львівського національного аграрного університету. – 2012. – №13. – С. 94 – 98.
3. Ibrahim A. Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Beams Strengthened with FRP Laminates /A. Ibrahim, M. Mahmood // European Journal of Scientific Research. – 2009. – Vol.30, No 4. – P. 526 – 541.
4. Кваша, В. Г. Зміцнення залізобетонних мостових балок композитними матеріалами / В. Г. Кваша, І. В. Мельник, М. Д. Климпуш // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2006. – № 562. – С. 56 – 71.

Надійшла до редакції 8.11.12

© А. Я. Мурин, М. М. Іванів, О. С. Сергеев

**А.Я. Мурин, к.т.н., старший преподаватель, М.М. Иванив, магистрант**

**Национальный университет «Львовская политехника»**

**О.С. Сергеев, старший преподаватель**

**Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ МОСТОВОЙ БАЛКИ ТАВРОВОГО СЕЧЕНИЯ, УСИЛЕННОЙ НАРУЖНОЙ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРОЙ**

*Разработаны модели железобетонной мостовой балки таврового сечения (обычной и усиленной углеродными лентами). Описаны особенности процесса моделирования и проведено сравнение теоретических и экспериментальных значений прогибов.*

**Ключевые слова:** железобетонная мостовая балка таврового сечения, усиление строительных конструкций, наружная композитная арматура, программный комплекс «Ліра», нелинейный расчет.

**A. J. Muryn, Ph.D, senior Lecturer, M. M. Ivaniv, Master**

**Lviv National Polytechnic University**

**A. S. Sergeyev, senior Lecturer**

**Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University**

### **MODELING OF REINFORCED CONCRETE T-SECTION BRIDGE BEAM, STRENGTHENED WITH EXTERNAL COMPOSITE ARMATURE**

*Two types of reinforced concrete bridge beams (tee profile) are developed: the ordinary one and the one enhanced with carbon ribbons. The features of designing process are described and comparison of theoretical and experimental values of deflections is conducted.*

**Keywords:** reinforced concrete bridge beam of tee profile, strengthening of building constructions, external composite armature, software package «Lira», nonlinear calculation