

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ, ПСИЛЕНОЇ ЗОВНІШНІМ СТАЛЕВИМ АРМУВАННЯМ

*Запропоновано методику розрахунку та формування комп'ютерної моделі сталезалізобетонної балки, підсиленої зовнішнім сталевим армуванням, з використанням програмного комплексу «ЛІРА САПР».*

**Ключові слова:** сталезалізобетонна балка, підсилення, міцність, сталеве зовнішнє армування, клейове з'єднання, комп'ютерне моделювання.

**Вступ.** Несучі конструкції будівель і споруд у процесі їх експлуатації набувають пошкоджень, у результаті корозії арматури та руйнування бетону, що призводить до зменшення їх несучої здатності.

Найбільш популярними й ефективними способами підсилення конструкцій є збільшення поперечного перерізу конструкцій за рахунок приєднання додаткових нових елементів, застосування затяжок та шпренгелів, що утворюють попереднє напруження конструкції, влаштування дублюючих елементів і розвантаження конструкцій.

Але в умовах діючого виробництва використання цих способів підсилення обмежене внаслідок великої маси конструкцій підсилення та трудомісткості монтажу.

Для підсилення й відновлення експлуатаційної придатності будівельних конструкцій на практиці широко застосовується метод підсилення за допомогою зовнішнього армування, що є досить ефективним при реконструкції, в умовах діючого виробництва.

Використання сучасних програмних комплексів надає користувачам практично необмежені можливості для розрахунку та проектування будівельних конструкцій. Спостерігається тенденція не тільки традиційно визначати напружено-деформований стан, що, відповідає окремій схемі, але й використовувати комп'ютерне моделювання процесів, пов'язаних з різними стадіями життєвого циклу споруди [1].

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Дослідження будівельних конструкцій при реконструкції, їх способи підсилення та розрахунок проаналізовано в роботах багатьох учених. Питання вивчення причин і способів підсилення будівельних конструкцій були проаналізовані в роботах Д.Н. Лазовського [2], А.Б. Голишева [3], А.Я. Барашикова, В.Т. Гроздова [4], Н.М. Онуфрієва та інших.

Дослідженнями щодо підсилення будівельних конструкцій зовнішнім сталевим армуванням займалися й займаються багато закордонних учених, зокрема R. Jones [5], R.N. Swamny, C.F. Irwin [6], G.C. Mays, L.C. Hollaway, R.D. Raithby [7].

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** На цей час фактично відсутні розрахункові положення для підсилення залізобетонних конструкцій шляхом нарощування поперечного перерізу зовнішнім сталевим армуванням. Розроблення інженерної методики розрахунку сталезалізобетонних конструкцій потребує проведення широких експериментальних і теоретичних досліджень.

**Мета дослідження** полягає в розробленні методики розрахунку сталезалізобетонної балки, підсиленої зовнішнім сталевим армуванням з використанням програмного комплексу «ЛІРА САПР», запропонованні адекватної комп'ютерної моделі досліджуваних конструкцій.

**Основний матеріал та результати.** Реконструкція будівель і споруд передбачає надання нових функціональних та естетичних якостей відповідно до зміни потреб суспільства. Прийняття рішення про реконструкцію будівлі визначається економічною доцільністю її здійснення й вимогами збереження архітектурних якостей будівлі. Для

забезпечення подальшої нормальної експлуатації будівлі потрібно виконати її реконструкцію із заміною чи підсиленням існуючих конструкцій.

Необхідність підсилення та відновлення несучих конструкцій будівель і споруд визначається такими основними чинниками:

- реконструкцією або модернізацією обладнання промислового підприємства, зміною функціонального призначення окремих приміщень або споруди в цілому;
- фізичним зношенням конструкцій унаслідок інтенсивної чи довготривалої експлуатації;
- помилкою у проектуванні;
- різними ушкодженнями конструкцій внаслідок порушень правил експлуатації.

У процесі реконструкції часто виникає потреба в заміні встановленої у проекті схеми роботи конструкції або її геометричних розмірів. Заміна застарілого обладнання на підприємстві чи змінення функціонального призначення приміщень спричиняють збільшення навантажень, які діють на конструкції. Усе це вимагає ретельного вивчення ситуації для розроблення раціонального й ефективного варіанта підсилення [8].

На практиці, в процесі реконструкції, найчастіше виникає необхідність підсилення конструкцій, що працюють на згин (балка, плита).

Основним методом розрахунку сталезалізобетонних конструкцій є метод перерізів (нормальних, похилих, просторових) з урахуванням реальних властивостей матеріалів [9].

Також широко застосовується при розрахунку сталезалізобетонних конструкцій числовий метод, який ґрунтується на методі скінченних елементів.

Як експериментальну модель приймаємо сталезалізобетонну балку прямокутного перерізу.

Для розрахунку міцності перерізів сталезалізобетонних балок прийнято такі передумови:

- плоский переріз до прикладання навантаження залишається таким самим і після його прикладання (гіпотеза плоских перерізів);
- напруження в гнучкій арматурі приймаються такими, що дорівнюють розрахунковим опорам  $R_s$  та  $R_{sc}$  з уведенням відповідних коефіцієнтів умов роботи;
- опір бетону розтягнутої зони приймається таким, що дорівнює нулю;
- опір бетону стиску визначається напруженнями, які дорівнюють  $R_b$  і є рівномірно розподіленими по стиснутій зоні бетону;
- напруження в сталевій пластині є рівномірно розподіленими по висоті й такими, що дорівнюють розрахунковому опору сталі  $R_n$  з уведенням для пластини коефіцієнта умов роботи  $\gamma_n = 0,8$ ;

– зсув по поверхні між бетоном і сталеву пластину виключається (таке припущення є обґрунтованим для адгезивних матеріалів при товщині шару склеювання від 1,0 до 1,5 мм, які деформуються в'язко-пружно), а деформації зсувної повзучості й усадки є незначними.

Для реалізації такого розрахунку був використаний програмний комплекс «ЛІРА САПР», за допомогою якого реалізований розрахунок сталезалізобетонної балки, підсиленої зовнішнім сталевим армуванням.

**1-й варіант.** Розрахунок сталезалізобетонної балки із заданими параметрами без підсилення.

**2-й варіант.** Розрахунок сталезалізобетонної балки, підсиленої зовнішнім сталевим армуванням (пластиною), закріпленої до розтягнутої зони балки за допомогою епоксидного клею Sikadur-30. Бетон балки приймаємо класу C25/30.

Сталева пластина, яка виконує роль підсилення, прийнята зі сталі марки 09Г2С товщиною 4 мм.

Геометричну схему підсиленої сталезалізобетонної балки наведено на рисунку 1.

Для побудови розрахункової моделі сталезалізобетонної балки в ПК «ЛІРА САПР» використовуємо такі скінченні елементи (СЕ):

- для моделювання зв'язку між вузлами пластин підсилення та пластиною балки приймаємо елемент – 10-й тип СЕ;

– для сталевї пластини підсилення призначаємо тип «пластина» – 41-й тип СЕ.

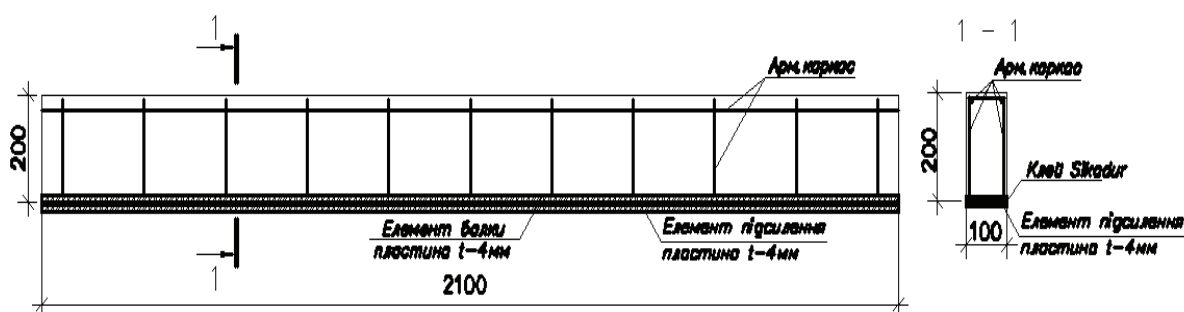


Рисунок 1 – Геометрична схема підсиленої сталезалізобетонної балки

Навантаження в розрахунковій схемі було прийняте рівномірно розподіленим по всій довжині балки, воно дорівнює 50 кН/м.

Розрахункову схему підсиленої сталезалізобетонної балки наведено на рисунку 2.

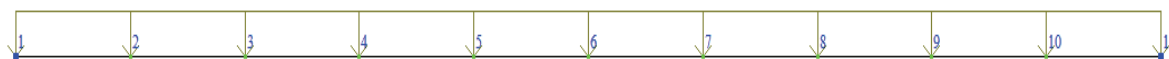


Рисунок 2 – Розрахункова схема підсиленої сталезалізобетонної балки

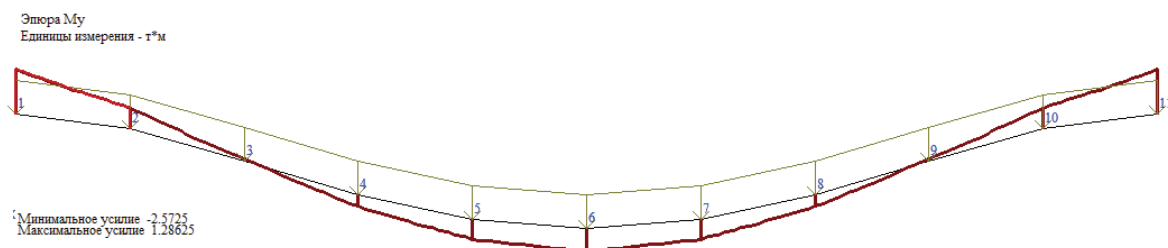


Рисунок 3 – Еюра  $M_y$  в сталезалізобетонній балці до підсилення

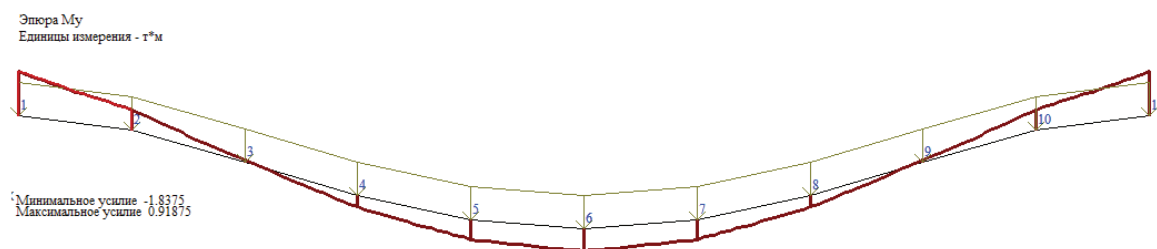


Рисунок 4 – Еюра  $M_y$  в сталезалізобетонній балці після підсилення зовнішньою сталевєю пластиною

**Висновки.** За результатами дослідження можна зробити такі висновки: обґрунтовано актуальність проблеми підсилення будівельних конструкцій в умовах реконструкції; проаналізовано особливості роботи сталезалізобетонної балки та методів її розрахунку; розроблено просторову розрахункову модель сталезалізобетонної балки, підсиленої зовнішнім сталевим армуванням, яка найбільш адекватно відображає напружено-деформований стан конструкції в програмному комплексі «ЛІРА САПР»; виконано порівняльний аналіз результатів розрахунку запропонованої комп'ютерної моделі сталезалізобетонної балки до й після підсилення.

Аналіз напружено-деформованого стану сталезалізобетонної балки показав, що для розроблення адекватної комп'ютерної моделі та її розрахунку доцільно використовувати багатфункціональний програмний комплекс «ЛІРА САПР». Згідно з результатами комп'ютерного моделювання й отриманих розрахунків було встановлено, що в

сталезалізобетонній балці, підсиленій у розтягнутій зоні сталеву пластину, максимальні напруження зменшилися порівняно з початковим напруженим станом непідсиленої балки.

#### Література

1. Городецкий А.С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – К.: Факт, 2007. – 394 с.
2. Лазовский Д.Н. Проектирование реконструкции зданий и сооружений: учеб.-метод. комплекс / Д. Н. Лазовский // Оценка состояния и усиление строительных конструкций. – Новополюк: ПГУ, 2008. – Вып. 3, ч. 2. – С. 24.
3. Усиление несущих железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований / А.Б. Голышев, П.И. Кривошеев, П.М. Козелецкий и др. – К.: Логос, 2004. – 219 с.
4. Гроздов В.Т. Усиление строительных конструкций при реставрации зданий и сооружений / В. Т. Гроздов. – СПб, 2005. – 114 с.
5. Jones R, Swamy R.N. and Salman F.A.R. Structural implications of repairing by epoxy-bonded steel plates // Proc 2nd International Conference on Structural Faults and Repair, London, April/May 1985. – P. 75–80.
6. Irwin C.F. The Strengthening of Concrete Beams by Bonded Steel Plates, Supplementary Report 160 // Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK. – P. 5–9.
7. Raithby R.D. External Strengthening of Concrete Bridges with Bonded Steel plates // TRRL Supplementary Report 612 (Department of the Environment and department of Transport, Growthorne, Berkshire, UK, 1980).
8. Валовой І.О. Ефективні методи реконструкції промислових будівель та інженерних споруд / І. О. Валовой. – Кривий Ріг: Мінерал, 2003. – С. 5–6.
9. ДБН В.2.6–160:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 60 с.

П.С. Белокуров, аспирант  
Национальный авиационный университет, г. Киев

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ, УСИЛЕННОЙ НАРУЖНЫМ СТАЛЬНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Предложена методика расчета и формирования компьютерной модели сталезалізобетонной балки, усиленной наружным стальным армированием, с использованием программного комплекса «ЛИРА САПР».

**Ключевые слова:** сталезалізобетонная балка, усиление, прочность, стальное наружное армирование, клеевое соединение, компьютерное моделирование.

P.S. Bilokurov, postgraduate st.  
National Aviation University, Kyiv

## COMPUTER MODELLING OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAM, STRENGTHENED BY EXTERNAL STEEL REINFORCEMENT

It has been given the procedure of calculation and creation of computer model of steel-concrete composite beam, strengthened by external steel reinforcement, using modern software package «ЛИРА САПР».

**Keywords:** steel-concrete composite beam, strengthening, strength, external steel reinforcement, adhesive bonding, computer modeling.

Надійшла до редакції 20.10.2014  
© П.С. Білокуров