

УДК 624.012.3.07

**ПОРІВНЯННЯ РОБОТИ МОНОЛІТНИХ БАЛОК  
ПЕРЕКРИТТЯ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ЛІРА**

**COMPARISON OF WORK MONOLITHIC BEAMS IN THE  
PROGRAMMATIC COMPLEX LIRA**

**Задорожнікова І.В., к.т.н., доцент, Ужегова О.А., к.т.н., доцент,  
Ротко С.В., к.т.н., доцент, Гордієнко А.В., студент групи БДНм-61,  
(Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)**

**Zadorozhnikova I., Ph.D in Engineering, associate professor,  
Uzhogova O., Ph.D in Engineering, associate professor, Rotko S., Ph.D in  
Engineering, associate professor, Hordienko A.V., student of ICBm-61,,  
(Lutsk National Technical University, Lutsk)**

Дослідили роботу нерозрізних монолітних залізобетонних, та комбінованих сталевібробетонних балок перекриття в програмному комплексі ЛІРА за допомогою нелінійного розрахунку та порівняли їх несучу здатність та ресурсоемкості.

Studied the work of a continuous monolithic concrete and composite steel fiber concrete beams in the software system LIRA by means of a nonlinear calculation and compared them to the carrying capacity . On the basis of the data concluded that the use of solid monolithic beams of the ceiling, instead of the usual concrete, steel fiber concrete matrix, allows to reduce the deflections in structures up to 19%. Also steel fiber reinforced concrete takes significantly large transverse and longitudinal forces that can reduce the amount of transverse reinforcement in the frame. Economy in terms of the cost of the beam remains approximately at the same level, but reduced the production time of reinforcement.

Ключові слова: нерозрізні балки, бетон, сталевібробетон, прогин, напруження, деформації.

Keywords: beams, concrete, steel fiber concrete, deflection, tension, strain.

Перспективним напрямком удосконалення залізобетонних конструкцій є підвищення їх міцності, жорсткості і тріщиностійкості за рахунок використання статично невизначених конструкцій. Особливе місце займають статично невизначені (нерозрізні) залізобетонні балки, так як у них найбільш раціонально використовуються в роботі її складові матеріали – бетон і арматура.

Використання нерозрізних балок в конструкціях монолітних перекриттів має суттєву перевагу щодо безбалкового перекриття в матеріалоемності, хоча часу на зведення такого перекриття потрібно більше.

Під час експлуатації нерозрізні конструкції піддаються впливу різних одноразових та повторних навантажень, під час яких збільшуються прогини та розкриваються тріщини, що може призводити з часом до корозії армування. Тому однією з основних вимог при проектуванні є підбір таких характеристик матеріалу які б зповна відповідали вимогам міцності, тріщиностійкості і ресурсоекономності водночас.

Одними із перспективних конструкційних матеріалів є дисперсно-армований матеріал – сталевібробетон [1, 2, 3].

Сталевібробетон має ряд переваг перед залізобетоном. Однак робота сталевібробетону в нерозрізних несучих конструкціях є маловивченою, тому в даній роботі поставлено за мету, за допомогою програмного комплексу ЛІРА провести моделювання роботи двопротітних комбінованих залізобетонних балок перекриття із сталевібробетонною матрицею (далі СФБ балки) та стержневою арматурою, а також порівняти їх із звичайними нерозрізними залізобетонними балками (далі ЗБ балки).

Для порівняння роботи залізобетонних і сталевібробетонних нерозрізних балок, були обрані головні балки перекриття типового поверху будівлі. Особливості моделювання в тому, що ПК ЛІРА дозволяє провести нелінійний розрахунок конструкції із врахуванням реальних характеристик деформування матеріалу [4, 5]. Для експерименту було розроблено дві задачі в яких були змодельовані дві однакові за розмірами балки:

- 1) залізобетонна двопротітна (ЗБ) балка;
- 2) комбінована залізобетонна балка із сталевібробетонною матрицею та стержневою арматурою (СФБ балка).

Переріз балок становить 30х50 см, довжина прольотів 6 м. На балки опирається монолітна залізобетонна плита перекриття

## Сучасні методи розрахунків у будівництві

товщиною 15 см. Балки розраховувались на реальне експлуатаційне навантаження із вантажної площі 72 м<sup>2</sup>, яке діє в проєктованій будівлі (рис.1.).

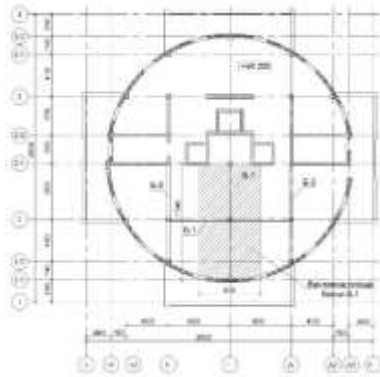


Рис. 1. Схема розміщення балок

Рівномірно розподілене навантаження на балку становить  
$$q = (4.9 + 1.8) * 72 / 12 = 40.2 \text{ кН/м}$$

Армування балки підбиралось в результаті попереднього розрахунку балки як статично невизначеної системи (рис. 2).

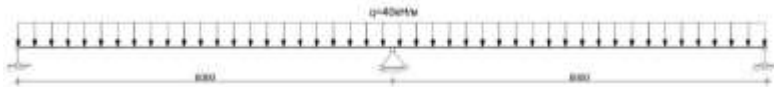


Рис. 2. Розрахункова схема балки

Попередній розрахунок проводився у підпрограмі балка, програмного комплексу МОНОМАХ.

Для балки задавався обраний переріз 30x50 см, ширина опор 50 см, чиста довжина прольоту 5,5 м (рис. 3).

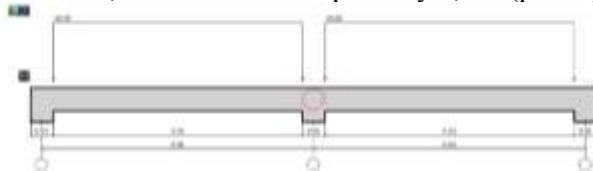


Рис. 3. Розрахункова схема балки в ПК МОНОМАХ

В результаті автоматичного розрахунку були отримані епюри згинальних моментів, поперечної сили та епюра матеріалів (рис.4,5)

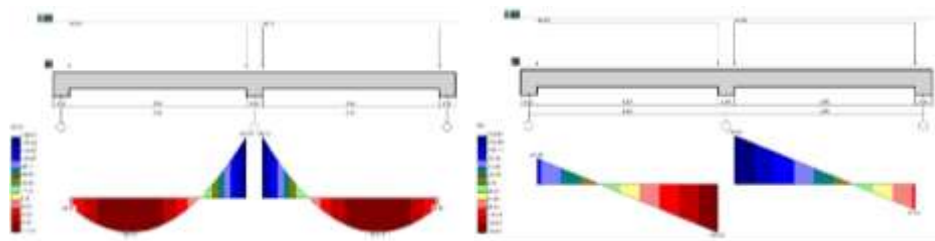


Рис. 4. Епюри згинальних моментів та поперечних сил

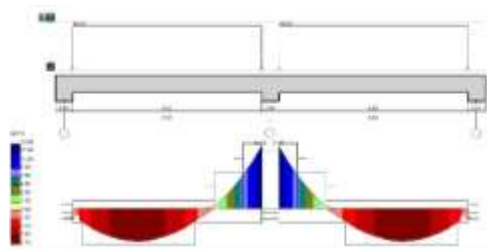


Рис. 5. Епюра матеріалів

В результаті попереднього розрахунку було прийняте армування для обох досліджуваних балок каркасами із робочою арматурою в нижній зоні в прольотах  $2\text{Ø}16+2\text{Ø}14$  А400С і над опорою у верхній зоні  $2\text{Ø}14+2\text{Ø}16+2\text{Ø}18$  А400С.

Поперечне армування для ЗБ балок прийняте  $2\text{Ø}8$  А400С з кроком 150 мм у приопорній ділянці, з кроком 300 мм в прольотах.

Для СФБ балки поперечне армування прийняте  $2\text{Ø}8$  А400С із кроком 300 мм у приопорних ділянках. У прольотах поперечне армування не приймалось, так як металева фібра рівномірно розподілена по об'єму також сприймає поперечні зусилля.

На основі прийнятого армування балки були змодельовані в ПК ЛПА у вигляді двох задач.

Моделювання фізичної нелінійності матеріалів конструкцій у ПК ЛПА виконували за допомогою фізично нелінійних скінченних елементів. В даному випадку балки моделювались з квадратних пластинок розміром  $5 \times 5$  см із заданою розрахунковою товщиною 30 см. В загальному балка моделювалась із 240 пластинок по довжині і 10 по висоті (рис. 6,7).



Рис. 6. Розрахункова схема балки в ПК ЛІРА



Рис. 7. 3D вигляд балки в ПК ЛІРА

Для надання жорсткості елементам використовувалась інформація із розвинутої бібліотеки законів деформування. Бібліотека законів деформування дозволяє враховувати практично будь-які фізично нелінійні властивості матеріалу (рис. 8).

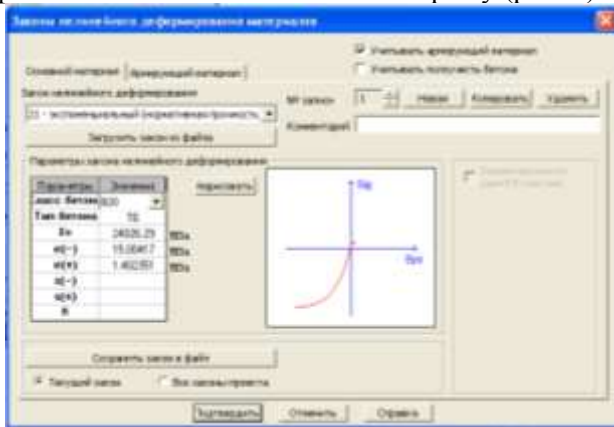


Рис. 8. Параметри бетону для ЗБ балки

Для моделювання бетону СФБ балки використовувалась діаграма деформування реального сталевібробетону на основі випробувань кубів розміром 15x15x15 см та призм 15x15x60 см, на стиск і 10x10x60 см на розтяг (рис. 9). Бетон мав такі технічні характеристики: середня кубикова міцність  $f_c = 34$  МПа; призмova міцність  $f_{cd} = 24,2$  МПа. Міцність сталевібробетонної матриці на розтяг становила  $f_{ctd} = 1,5$  МПа, при прийнятому відсотку армування фібрами 1.5% від об'єму.

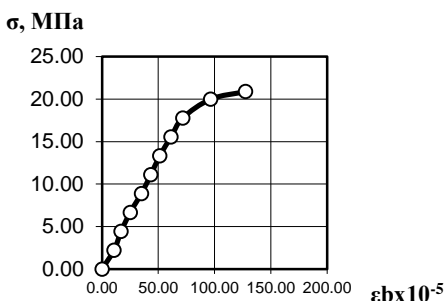


Рис.9. Діаграма деформування сталевібробетонних призм

Для моделювання бетону СФБ балки був вибраний кусочно-лінійний закон деформування який дозволяє вводити дані покроково з отриманих результатів випробування призм та кубиків (рис. 10). В таблицю параметрів закону нелінійного деформування вносяться значення напруження бетону і значення деформацій. За допомогою цього закону можна детально змоделювати діаграму розтягу бетону.

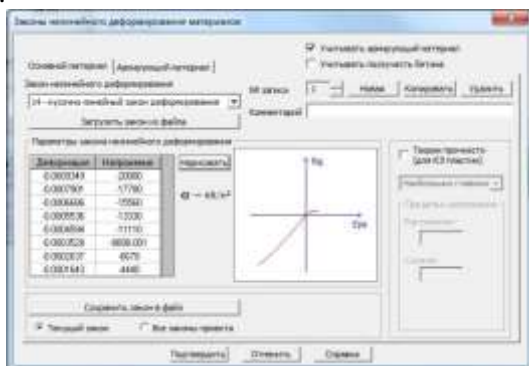


Рис. 10. Задані параметри сталевібробетону в ПК ЛІРА

Для моделювання роботи арматури також використовується нелінійний експоненціальний закон деформування (рис. 11). В тих пластинках де в балці знаходиться поздовжня арматура – задається процент армування відносно осі X який дорівнює кількості запроєктованої арматури (рис. 12).

Поперечна арматура для ЗБ балки задається відсотком армування в пластинках відносно осі Z. Основна стержньова арматура для ЗБ балки і СФБ балки задавалась однаково.

## Сучасні методи розрахунків у будівництві

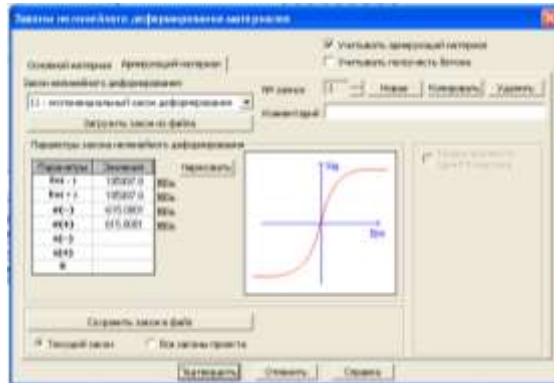


Рис. 11. Параметри матеріалу арматури для балок

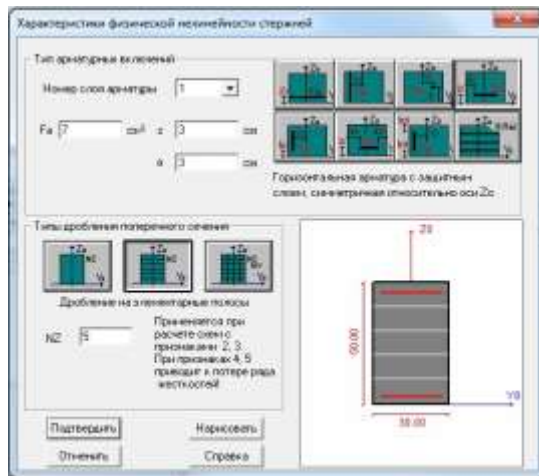


Рис. 12. Параметри армування ЗБ та СФБ балок

### Результати експериментальних досліджень

В задачах балки піддавалися дії одноразового рівномірно розподіленого навантаження яке становило 40кН/м. Навантаження в процесорі програми прикладалося покроково, всього 10 кроків, в результаті чого можна було спостерігати за інтенсивністю деформування пластинок балок протягом навантаження (рис.13, 14).

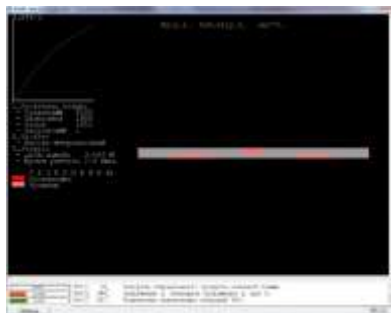


Рис. 13. Процес розрахунку в ПК ЛІРА



Рис. 14. Масштабована схема деформування після розрахунку для ЗБ та СФБ балок

В результаті нелінійного розрахунку були отримані ізополя переміщень і напружень  $N$  відносно осей  $X$ ,  $Z$ .

### Графічні результати розрахунку ЗБ балки

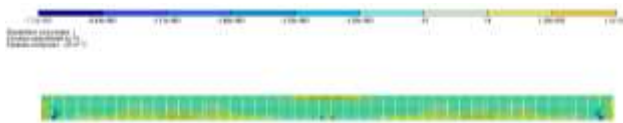


Рис. 15. Ізополя напружень  $N_x$

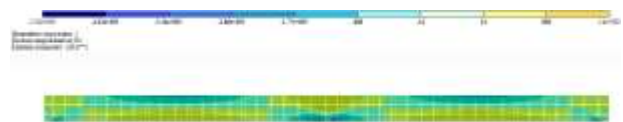


Рис. 16. Ізополя напружень  $N_z$



Рис. 17. Ізополя переміщень по осі  $Z$



Графічні результати розрахунку СФБ балки

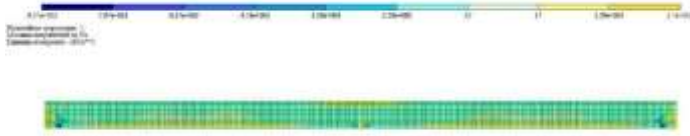


Рис. 18. Ізополя напружень  $N_x$

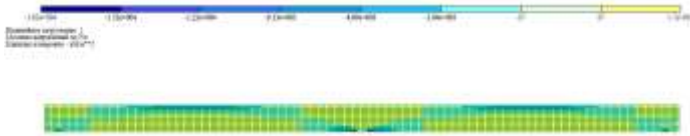


Рис. 19. Ізополя напружень  $N_z$



Рис. 20. Ізополя переміщень по осі Z

В результаті аналізу максимальних переміщень вузлів по осі Z можна побудувати і порівняти графіки прогинів балок (рис.21).

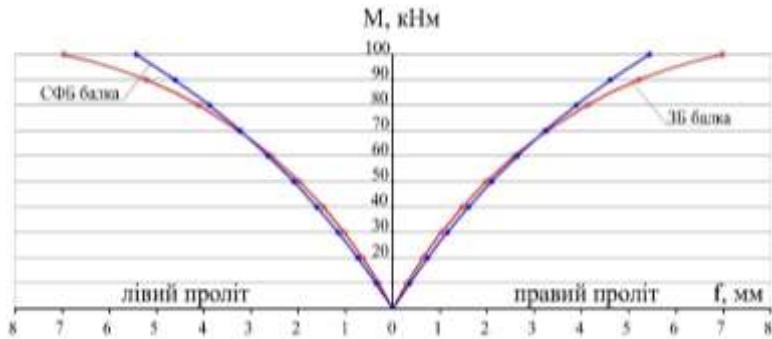


Рис. 21. Залежність прогинів в балках від згинального моменту в прольоті

Як видно з графіку максимальний прогин залізобетонної балки становить 6,97 мм, а сталевібробетонної 5,44, що на 19% менше. Це пояснюється тим що сталевібробетон має значно більшу здатність працювати на розтяг в порівнянні зі звичайним бетоном.

Також, як видно по ізополям напружень, бетон у СФБ балці сприймає більші зусилля в порівнянні із ЗБ балкою як по осі X та і по Z. У залізобетонній балці максимальні значення напружень стиску  $N_x = -1290 \text{ кН/м}^2$ ,  $N_z = -2660 \text{ кН/м}^2$ . Для СФБ балки  $N_x = -1690 \text{ кН/м}^2$ ,  $N_z = -4330 \text{ кН/м}^2$ . Що є більшим на 30% і 65% відповідно. Додатні значення напружень обмежуються міцністю бетону на розтяг, яка у сталевібробетоні значно вища. З отриманих результатів видно що рівномірно розподілена фібра сприймає значні поздовжні і поперечні зусилля і дозволяє зменшити кількість поперечної арматури. На основі цих даних також можна стверджувати що нерозрізні балки мають значно більшу тріщиностійкість.

#### **Висновки:**

1) Використання в нерозрізних монолітних балках перекриття, замість звичайного бетону, сталевібробетонної матриці, дозволяє зменшити прогини в конструкціях до 19%.

2) Сталевібробетон сприймає значно більші поперечні і поздовжні зусилля, що дозволяє зменшити кількість поперечної арматури в каркасі.

3) В економічному плані вартість балки залишається приблизно на тому ж рівні, але зменшується час виготовлення армування.

1. Сунак О.П. Сталевібробетонні конструкції: Навчальний посібник. - К.:ІЗіМН, 1999. - 158 с. 2. Сухоносова І.В. Підсилення залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні сучасними матеріалами // Наукові нотатки. Луцьк: ЛДТУ, 2003. - Вип. 13.- С. 335-340. 3. Сунак П.О. Оцінювання надійності сталевібробетонних елементів. Дис...канд. техн. наук. Луцьк 2000. – 155 с. 4. Григорчук А.Б. Оцінка напружено-деформованого стану згинальних залізобетонних елементів при дії малоциклового знакозмінного навантаження з використанням ПК Ліра // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць – Рівне:НУВГП, 2011 – Випуск 22- С. 272-277. 2. 5. Програмный комплекс ЛИРА-САПР. Учебное пособие/ Д.А. Городецкий, М.С.Барабаш, Р.Ю.Водопьянов и др. под редакцией А.С.Городецкого.-, 2013 г.-376 с.