

УДК 624.012.3.07

## **ВПЛИВ ПІДСИЛЕННЯ НА ВІДНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН**

## **ВЛИЯНИЕ УСИЛЕНИЯ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН**

## **DETERMINATION OF EFFICIENCY OF RENEWAL OF OPERATING PROPERTIES OF THE INCREASED REINFORCE-CONCRETE COLUMNS**

**Задорожнікова І.В., к.т.н., доц., Боярчук Б.А., к.т.н., доц., Ужегова О.А., к.т.н., доц., Ротко С.В., к.т.н., доц.,** (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

**Задорожникова И.В., к.т.н., доц., Боярчук Б.А., к.т.н., доц., Ужегова О.А., к.т.н., доц., Ротко С.В., к.т.н., доц.,** (Луцкий национальный технический университет, г. Луцк)

**Zadorozhnikova I.V., Ph.D in Engineering, Associate Proffessor, Boyarchuk B.A., Ph.D in Engineering, Associate Proffessor, Uzhegova O.A., Ph.D in Engineering, Associate Proffessor, Rotko S.V., Ph.D in Engineering, Associate Proffessor,** (Lutsk National Technical University, s. Lutsk)

**За допомогою розрахунку в ПК ЛИРА визначили числові значення зусиль, що виникають в елементах колони під час дії на них наперед відомих навантажень та визначили ефективний спосіб підсилення залізобетонних колон.**

**С помощью расчета в ПК ЛИРА определили числовые значения усилий, возникающих в элементах колонны при воздействии на них заранее известных нагрузок и определили эффективный способ усиления железобетонных колонн.**

**By a calculation in the PC LIRA defined the numerical values of efforts which arise up in the elements of column during an action on them beforehand the known loadings and defined the effective method of strengthening of reinforce-concrete columns.**

### **Ключові слова:**

**Підсилення, бетон, арматура, сталевібетон, обойма, переміщення, напруження, деформації.**

Усиление, бетон, арматура, сталефібробетон, обойма, перемещение, напряжение, деформации.  
Strengthening, concrete, fittings, steel fibre concrete, holder, tension, deformations.

Необхідність підсилення та відновлення будівельних конструкцій, основ та фундаментів будівель і споруд визначається такими основними чинниками: реконструкцією або модернізацією обладнання промислового підприємства, зміною функціонального призначення окремих приміщень, цілих будівель або споруд; помилками у проектуванні, виготовленні, транспортуванні, а також при виконанні будівельних і монтажних робіт; фізичним зношенням конструкцій внаслідок інтенсивної або довготривалої експлуатації; різними ушкодженнями конструкцій внаслідок порушень правил експлуатації; зношенням конструкцій внаслідок ураження корозією; локальним або новим ушкодженням конструкцій внаслідок температурно-вологісних впливів; іншими причинами пошкоджень конструкцій або умовами, які вимагають підсилення або відновлення конструкцій або будівель у цілому.

Усе це вимагає ретельного вивчення ситуації для розробки раціонального конкурентоздатного варіанту підсилення.

Виділяють три основних способи підсилення: 1) відновлення несучої здатності конструкцій; 2) збільшення несучої здатності конструкцій; 3) розвантаження конструкцій [1, 2, 3].

Збільшення несучої здатності перерізу може здійснюватись без зміни і зі зміною розрахункової схеми і напруженого стану, а також із застосуванням спеціальних методів підсилення.

Розрахункова схема несучої конструкції не змінюється, якщо підсилення виконують за допомогою влаштування обойм чи "сорочок", при однобічному нарощуванні і підсиленні вузлів сполучення конструкцій. Тут дуже доцільне використання неврахованих запасів міцності, виявлених у процесі обстеження конструкцій. Виявленню резервів міцності сприяє встановлення дійсного характеру роботи конструкції і фактично діючих навантажень. При цьому необхідно враховувати відповідність обраних розрахункових схем реальним умовам їхньої роботи. Наприклад, розрахунок існуючих колон за деформованою схемою дозволяє істотно підвищити їх розрахункову несучу здатність. Аналогічного результату можна досягнути при врахуванні спільної роботи крокв'яних конструкцій або збірних ригелів перекриттів, відповідно з плитами покриття чи перекриття. При визначенні навантажень на існуючі конструкції варто використовувати фактичні дані про діючі навантаження, тому що нормовані значення цих величин, встановлених при проектуванні нових споруд, значно підвищують діючі навантаження й у випадку їхнього використання приводять до невіправданого підсилення.

Певним резервом міцності при підсиленні може служити врахування дійсних міцнісних характеристик матеріалів, що, як правило, вище розрахункових, прийнятих при проектуванні. Однак, використання реальних

міцнісних характеристик матеріалів повинне здійснюватися без втрат для експлуатаційної надійності окремих конструкцій та споруди у цілому. Підсилення конструкцій зі зміною напруженого стану дуже ефективне. У цьому випадку, найбільш часто вводять попередньо напружені розтяжки, хомути та інші додаткові елементи.

Для підсилення залізобетонних колон найчастіше застосовують обойми (оболонки) декількох типів. Одним з типів залізобетонних обойм є обойма зі звичайною поздовжньою і поперечною арматурою без зв'язку обойми з арматурою підсилюваної колони. Товщина обойми залежить від ступеня підсилення, але, як правило не перевищує 300 мм. Площу поздовжньої арматури обойми визначають розрахунком, однак її діаметр повинний бути не меншим 16мм для стиснутих і 12мм - для розтягнутих стержнів. Поперечну в'язану арматуру приймають діаметром не менше 6мм, а зварену - 8мм і встановлюють із кроком, рівним 15 діаметрам поздовжньої арматури, але не більш триразової товщини обойми і не більш 200 мм. У місцях можливої концентрації напружень крок хомутів повинний бути зменшений удвічі [3].

Різновидом залізобетонних обойм є обойми з кутиків, встановлених уздовж граней, які на краях підсилених колон приварюють до горизонтальних опорних кутиків.

Залізобетонні обойми колон можуть бути виконані з поперечною арматурою у вигляді спіральної обмотки з дротяної арматури діаметром не менше 6 мм.

Залізобетонні обойми зі спіральною арматурою мають підвищену несучу здатність при центральному стиску.

Мінімальну товщину залізобетонної обойми приймають за вимогами технології посилення, залежно від методу бетонування.

Крім залізобетонних обойм, для підсилення залізобетонних колон можуть бути рекомендовані металеві обойми, складовими частинами яких є стійки кутикового профілю, які встановлюють по гранях колон, та сполучні планки між ними й опорні підкладки з кутиків або листового металу.

Металеві обойми рекомендується застосовувати у випадках, коли не можна зменшувати габарити виробничих приміщень і потрібно виконати підсилення в найкоротший термін. При влаштуванні металевих обойм, обов'язковою умовою є щільне примикання металевих стійок до граней посилюваної колони, та їх строго вертикальне положення. Включення металевих обойм у спільну роботу з підсилюваною колоною, здійснюють за допомогою спеціальних пристосувань [1, 3].

У випадку підсилення центрально і позацентрово стиснутих колон під навантаженням дуже ефективним і відносно простим виявляється спосіб підсилення з застосуванням попередньо напружених металевих розпорок, що являють собою конструкцію типу металевих обойм із напруженими стійками.

Очевидно, що ефективність, трудомісткість і надійність підсилення конструкцій різними матеріалами також різні. Тому, розробляючи проект

підсилення, доцільно виконувати варіантне проектування. Матеріалами, які найбільш часто застосовують у сучасних технологіях з підсилення залізобетонних конструкцій, є важкий бетон, а також сталеві фібробетон та ін.

Властивості дрібнозернистого бетону на сьогоднішній день добре відомі і широко представлені у літературі [2, 4].

Нижче наведені властивості відносно нового конструкційного матеріалу, який у останні роки почали широко використовувати при реконструкції будівель і споруд, потіснивши звичайний важкий бетон, це – сталеві фібробетон.

Сталеві фібробетон [5, 6, 7] – композиційний матеріал, що складається з матриці дрібнозернистого бетону та хаотично розташованих у ній відрізків сталевих дроту – фібр.

При введенні в бетонну матрицю сталевих фібр 1,5...2 % за об'ємом змінюється крихка природа матеріалу. У зв'язку з цим сталеві фібробетон набуває низку переваг перед звичайним залізобетоном: підвищуються міцність на розтяг в 2-4 рази і на стиск - в 1,2...1,6 рази, ударна стійкість, морозостійкість, водо-, газонепроникність - в 10...50 разів, стійкість до дії високих температур, зменшується стирання в 2,5...4 рази [5].

Одним з факторів, що впливають на підвищення міцності сталеві фібробетону, є відношення довжини фібр до діаметру –  $l_f / d_f$ . При підвищенні співвідношення –  $l_f / d_f$  від 20 до 100 міцність при осьовому розтягу збільшується на 50%, а на стиск - на 10 %.

Сталеві фібри при вмісті до 2,5 % від об'єму бетонної матриці дозволяють при одному і тому ж рівні стискаючих зусиль зменшити граничні поперечні деформації зразка на 21 % у порівнянні з поперечними деформаціями бетонних зразків [7].

#### **Задачі дослідження.**

- Розрахунок залізобетонної колони підсиленої обоймою з використанням різних будівельних матеріалів в ПК ЛИРА.
- Визначення найбільш ефективного методу підсилення залізобетонної колони, на основі порівняння різних підсилюючих матеріалів (сталеві фібробетону, звичайний важкий бетон, дрібнозернистий бетон, металева обойма).

**Розрахунок в ПК ЛИРА 9.6.** Для порівняння обраних методів підсилення колон, було вирішено провести розрахунок досліджуваної конструкції в програмному комплексі ЛИРА 9.6.

За допомогою розрахунку в ПК ЛИРА визначили числові значення зусиль, що виникають в елементах колони під час дії на них наперед відомих навантажень.

Сучасний розрахунок залізобетонних конструкцій найбільш досконалий з врахуванням фізичної нелінійності матеріалів. Бетон – матеріал пружно-пластичний, тому нелінійна залежність між напруженнями та деформаціями виявляється уже на ранніх стадіях завантаження. ПК ЛИРА дозволяє змоделювати реальну роботу залізобетонної конструкції на всьому етапі

навантаження за допомогою крокового процесора (починаючи від невеликих навантажень, коли роботу матеріалу можна вважати ще лінійною, включаючи експлуатаційну стадію, коли вплив нелінійних деформацій уже істотний, і закінчуючи стадією руйнування).

Для експерименту було розроблено три задачі в яких відповідно були змодельовані:

- колона з підсиленням арматурою і дрібнозернистим бетоном;
- колона з підсиленням металевою обіймою;
- колона з підсиленням сталевібробетоном.

Основна колона, яка підсилюється, має розміри 400x400 мм, висоту 1900мм і армується поздовжньою арматурою 4Ø20 А400С, поперечною Ø10 А400С з кроком 200 мм.

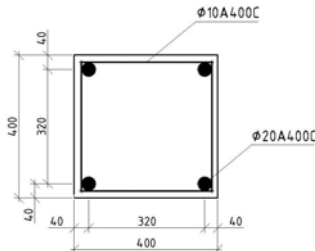


Рис. 1. Армуння основної колони

Основна колона моделювалася з об'ємних паралелепіпедів розмірами 50x50x50мм.

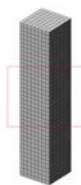


Рис. 2. 3D модель основної підсилюваної колони

Моделювання фізичної нелінійності матеріалів конструкцій виконували за допомогою фізично нелінійних скінченних елементів, котрі використовують інформацію із розвинутої бібліотеки законів деформування. Бібліотека законів деформування дозволяє враховувати практично будь-які фізично нелінійні властивості матеріалу. Для моделювання бетону основної колони був вибраний експоненціальний закон деформування, бетон класу В20 з модулем пружності  $E_0=24026,29\text{МПа}$ .

Армуння задавалося вздовж осі Z, площа арматури становила 0,8%.

В першій задачі моделювалася підсилення колони арматурою і дрібнозернистим бетоном. Конструкція підсилення моделювалася аналогічно основній колоні. Відмінним був тільки бетон підсилення, модуль пружності якого становив  $E_0=15494\text{МПа}$ .

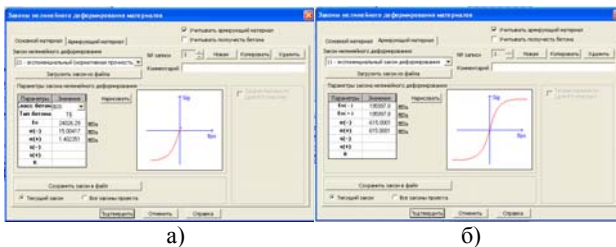


Рис. 3. Параметри матеріалів для підсиленої колони:  
а) бетону; б) арматури

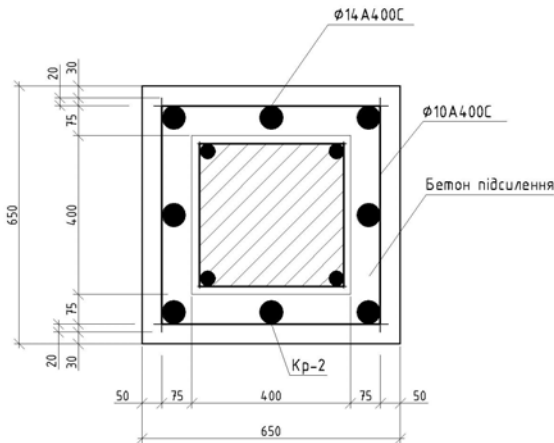


Рис. 4. Конструкція підсилення колони

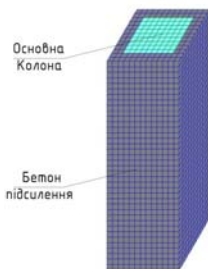


Рис. 5. Задача 1. 3D модель колони з підсилення арматурою і дрібнозернистим бетоном

В Задачі 2 моделювалося підсилення колони сталеву обоймою. Основна колона моделювалася як і в попередній задачі. Конструкції обойми задавалися стержневими елементами.

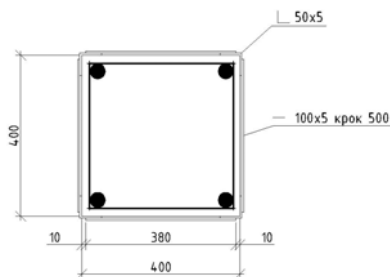


Рис. 6. Конструкція підсилення колони сталеву обіймою

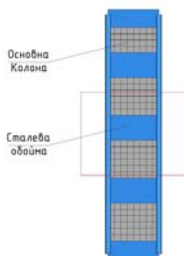


Рис. 7. Задача 2. 3D модель колони з підсилення обіймою

В Задачі 3 моделювалося підсилення колони сталевібробетоном. Основна колона і бетон підсилення моделювались як і в першій задачі. Жорсткість сталевібробетону задавалася на основі діаграми деформування реальних сталевібробетонних призм розмірами 150x150x600 мм.

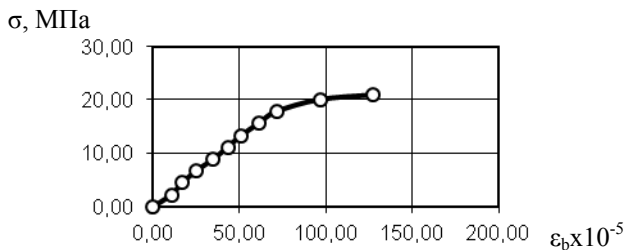


Рис. 8. Діаграма деформування сталевібробетонних призм

В задачах колони піддавалися дії одноразового рівномірно розподіленого по верхній площині плити навантаження, яке в сумі на всю колону становило 100 кН. В результаті нелінійного розрахунку були отримані ізополі переміщень і напружень N відносно осей X, Y, Z.

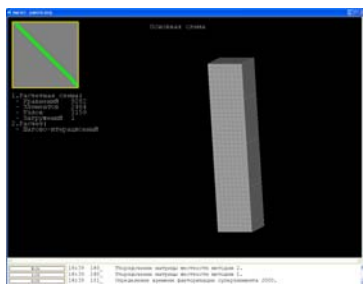


Рис. 9. Процес розрахунку колони в ПК ЛІРА

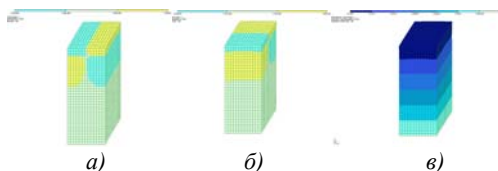


Рис. 10. Ізополя перміщень в задачі 1(підсилення арматурою і дрібнозернистим бетоном) : а)по осі X; б) по осі Y ; в)по осі Z

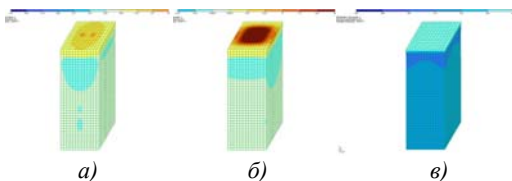


Рис. 11. Ізополя напружень в задачі 1(підсилення арматурою і дрібнозернистим бетоном) а)Nx; б) Ny ; в)Nz

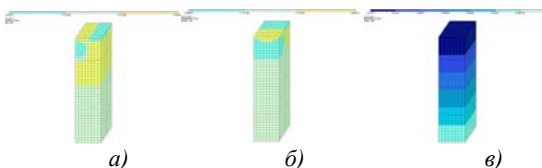


Рис. 12. Ізополя перміщень в задачі 2(підсилення сталеву обоймою): а)по осі X; б) по осі Y ; в)по осі Z

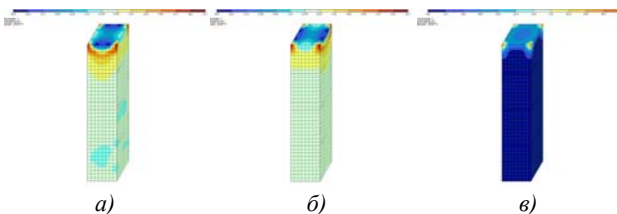


Рис. 13. Ізополя напружень в задачі 2(підсилення сталеву обоймою): а)Nx; б) Ny ; в)Nz



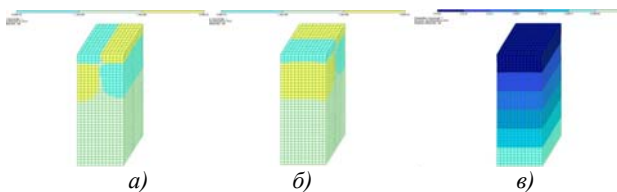


Рис. 14. Ізополя перміщень в задачі 3(підсилення сталевібробетоном) : а) по осі X; б) по осі Y ; в) по осі Z

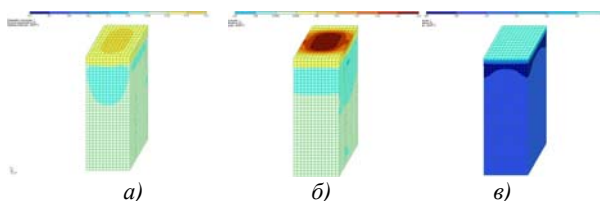


Рис. 15. Ізополя напружень в задачі 2(підсилення сталеву обоймою): а)Nx; б) Ny ; в)Nz

Як видно з отриманих даних, найбільші деформації в бетоні виникають в колонах з підсиленням арматурою і дрібнозернистим бетоном. Основною причиною цього є те, що міцність дрібнозернистого бетону є порівняно низькою через відсутній крупний заповнювач.

В колонах, підсиленних обоймою, максимальні вертикальні переміщення в елементах колони на 25% менші, ніж в колоні, підсиленій арматурою. Напруження Nz менші на 17%.

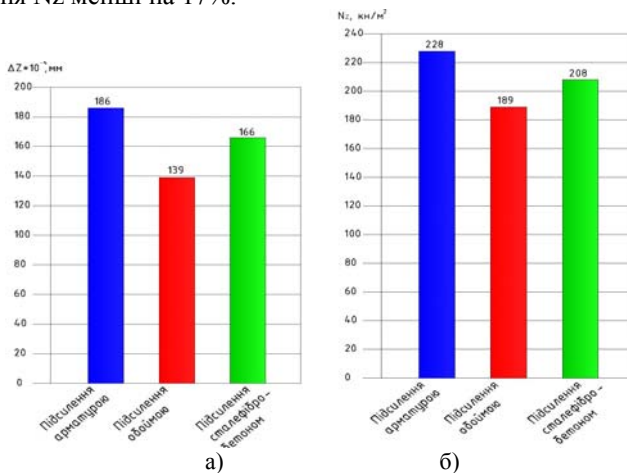


Рис. 16. Переміщення та напруження в колонах: а) максимальні вертикальні переміщення в колонах; б) максимальні напруження Nz колонах

Слід зауважити, що вертикальні напруження в колоні, підсиленій обоймою, розподіляються рівномірно по всі висоті, на відміну від першої колони, де у верхній частині вертикальні напруження значно вищі, ніж у нижній.

З результатів, отриманих при розрахунку задачі 3, видно, що вертикальні переміщення в колонах з підсиленням сталевіробетоном менші на 10,1%, ніж у задачі 1, але більші на 19%, ніж в колонах з підсиленням обоймою.

#### **Висновки:**

1. Найбільші деформації в бетоні виникають в колонах з підсиленням арматурою і дрібнозернистим бетоном.
2. В колонах, підсилених обоймою, максимальні вертикальні переміщення в елементах колони на 25% менші, ніж в колоні, підсиленій арматурою та дрібнозернистим бетоном. Напруження  $N_z$  менші на 17%.
3. Вертикальні переміщення в колонах з підсиленням сталевіробетоном менші на 10,1%, ніж у підсилених важким армованим дрібнозернистим бетоном, але більші на 19%, ніж в колонах з підсиленням обоймою.
4. При підсиленні колон сталевую обоймою напруження  $N_z$  розподіляються рівномірно по висоті колони.
5. При порівнянні в ПК Ліра методів підсилення колон, з отриманих результатів видно, що в колонах з підсиленням сталевую обоймою вертикальні переміщення і напруження  $N_z$  є найменшими.

1. Барашиков А.Я., Подольский Д.М., Сирота М.Д. Надежность восстанавливаемых и усиливаемых конструкций зданий и сооружений. –Черкасы: НПК “Фотоприбор”, 1993. – 46 с. 2. Бабич В.Є. Напружено-деформований стан і міцність нерозрізних залізобетонних балок при одноразових та повторних навантаженнях: Автореферат дис...канд. техн. наук – Полтава, 2005. - 20с. 3. Валовой О.І. Ефективні методи реконструкції промислових будівель та інженерних споруд. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком “Будівництво”. - Кривий Ріг: Мінерал. 2003. – 266 с. 4. Голышев А.Б. К експериментальному определению связи между напряжениями и деформациями бетона при осевом сжатии. // Будівельні конструкції. Сучасні проблеми бетону та його технологій. Зб. Наук. Праць. Вип. 56 К.: НДІБК, 2002. – с. 89-90. 5. Сунак О.П. Сталевіробетонні конструкції: Навчальний посібник. - К.:ІЗіМН, 1999. - 158 с. 6. Сухоносова І.В. Підсилення залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні сучасними матеріалами // Наукові нотатки. Луцьк: ЛДТУ, 2003. - Вип. 13.- С. 335-340. 7. Сунак П.О. Оцінювання надійності сталевіробетонних елементів. Дис...канд. техн. наук. Луцьк 2000. – 155 с.