

ОСНОВНІ СПОСОБИ ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН

*С. Бурчєня, асистент
Львівський національний аграрний університет*

Ключові слова: колона, стійкість, міцність, напружено-деформований стан, обойма, нарощування.

У статті розглядаються основні способи підсилення залізобетонних колон, а саме зміна конструктивної форми, зміна напруженого стану, збільшення поперечного перерізу елемента.

Постановка проблеми. У процесі експлуатації будівель і споруд їх конструкції піддаються як силовим, так і несиловим впливам. До несилових впливів належать проникаюча і сонячна радіація, змінна вологість і температура навколишнього середовища, високі технологічні температури, хімічне і біологічне середовище. Ефект впливу перерахованих вище несилових чинників на залізобетонні конструкції полягає в поступовій зміні міцнісних та деформативних властивостей бетону, хімічного складу і структури, зменшенні сил зчеплення бетону з стрічковою чи стержневою арматурою, корозії арматури тощо. Таким чином, у конструкціях накопичуються несилкові пошкодження, які разом з пошкодженням силового характеру можуть суттєво знизити міцнісні експлуатаційні властивості як окремих залізобетонних конструкцій, так і будівлі в цілому.

Після накопичення визначного обсягу пошкодження, конструкція виходить за межі експлуатаційної надійності і таку конструкцію необхідно підсилити або замінити. Питання про вид підсилення і ступінь підсилення може бути визначене тільки після остаточного визначення несучої здатності конструкції на основі аналізу напружено-деформованого стану під впливом силових і несилових чинників. При цьому повинні бути враховані залишкові деформації й зусилля, які накопичуються впродовж багатьох років експлуатації. Важливими є також залишкові величини напружено-деформованого стану після повного або часткового розвантаження конструкції [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вплив несилових чинників на властивості бетону відображено у працях С. Н. Алексєєва, Ю. А. Саввіної, А. М. Підвального, Ф. М. Іванова, В. М. Москвіна, В. Н. Ярмаковського, С. А. Гузєєва, Н. А. Ільїна, К. Д. Некрасова, А. Г. Ройтмана [16-18; 20] та ін. У працях автори звертають увагу на те, що глибина пошкодження бетону несиловими чинниками залежить від початкової щільності бетону, його класу, агресивності середовища щодо бетону і тривалості його впливу. Постійні спостереження за конструкціями свідчать про те, що міцність і модуль пружності бетону знижуються з часом, що й призводить до зниження експлуатаційних властивостей залізобетонних конструкцій.

Не менший вплив мають також силові впливи змінного рівня. Значний вклад у вивчення цієї проблеми відображено у працях А. Я. Барашикова, А. М. Бамбури, З. Я. Бліхарського, Є. М. Баби́ча, О. Я. Берга, В. М. Бондаренка, О. І. Валового, Л. А. Мурашко, Р. Є. Хміля [2-5; 9; 16; 23] та ін.

Практика спостережень за експлуатованими конструкціями показала, що за час існування залізобетонних конструкцій бетон набуває значної фізичної неоднорідності, яка може істотно змінювати розподіл внутрішніх зусиль, збільшувати прогини. Такі конструкції також з часом потребують підсилення. Основні способи підсилення сучасних залізобетонних конструкцій і методи їх розрахунку відображено у працях Альсұхайджи Салех Али Кайд, С. В. Бондаренко, А. І. Берніскіна, Б. А. Боярчука, П. В. Вахненка, А. Б. Голишева, О. Ю. Єроменка, І. В. Задорожнікова, Д. Н. Лазовського, Є. В. Клименка, Н. М. Онуфрієва, І. В. Сухоносова, А. Л. Шагіна [1; 6-8; 10; 12-15; 19; 21-22] та ін.

Постановка завдання. Метою дослідження є вивчення основних способів підсилення залізобетонних колон, пошкоджених силовими та несиловими чинниками.

Виклад основного матеріалу. У практиці будівництва досить часто використовують три основні способи підсилення конструкції: зміна конструктивної форми, зміна напруженого стану конструктивного елемента та збільшення (нарощування) поперечного розміру елемента.

Зміна конструктивної форми. Найчастіше таке підсилення залізобетонних конструкцій передбачає встановлення додаткових жорстких та пружних опор (рис.1). Жорсткі опори переважно

влаштовують у прогонах згинаних конструкцій у вигляді окремо стоячих колон (металевих чи залізобетонних) або у вигляді підвісок. Підвіски особливо доцільні при розміщенні їх у площині стін, перегородок. Вони можуть підтримуватися основними несучими конструкціями заданої споруди, що сприймають навантаження від підвіски і за необхідності підлягають відповідному підсиленню.

Додаткову пружну опору також встановлюють у прольоті підсилюваної конструкції (рис. 2), але її жорсткість значно менша за жорсткість існуючих опор підсилюваних конструкцій. Пружна опора може бути у вигляді підведеної знизу балки, рами, трикутної ферми шпренгельної ситеми. Їх можна кріпити до верхньої частини існуючих колон. Це дозволяє не захаращувати корисний простір приміщення. До їх переваг належать також можливість отримання оптимального обрису епюри моментів у підсилюваних конструкціях зміною жорсткості пружних опор. Основним недоліком застосування пружних опор є перенавантаження основних несучих конструкцій, що може вимагати їх підсилення.

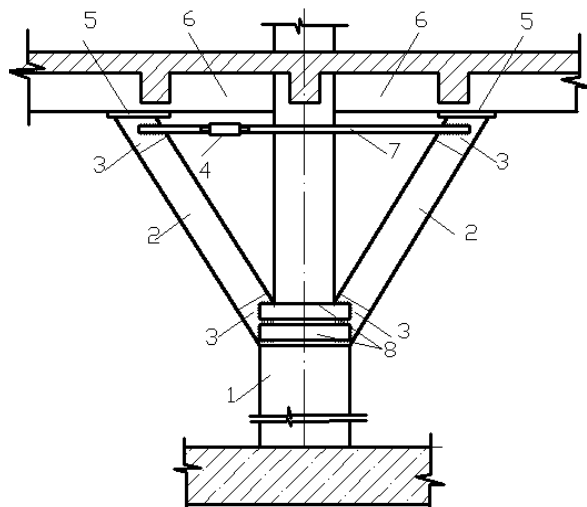


Рис. 1. Підсилення згинаних елементів додатковою жорсткою опорою (збірними залізобетонними підкосами); 1 – обойма; 2 – підкоси; 3 – металевий оголовник; 4 – натяжна муфта; 5 – прокладка; 6 – підсилюваний ригель; 7 – затяжка; 8 – планка.

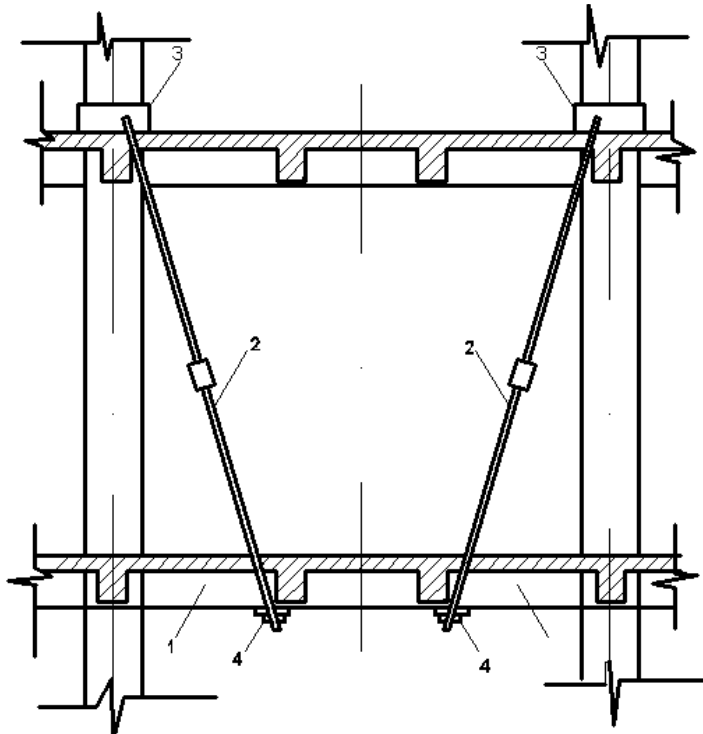


Рис. 2. Підсилювання додатковою пружною опорою: 1 – підсилюване перекриття; 2 – тяги; 3, 4 – кріплення тяги.

Зміна напруженого стану. Зазвичай цей метод підсилення залізобетонних конструкцій передбачає влаштування у розтягнутій зоні конструкції попередньо напружених металевих затяжок (рис. 3). Центрово стиснуті елементи підсилюються двосторонніми розпірками, а позацентрово стиснуті залізобетонні колони з великими ексцентриситетами поздовжньої сили і однозначним моментом можна підсилювати односторонніми розпірками [6].

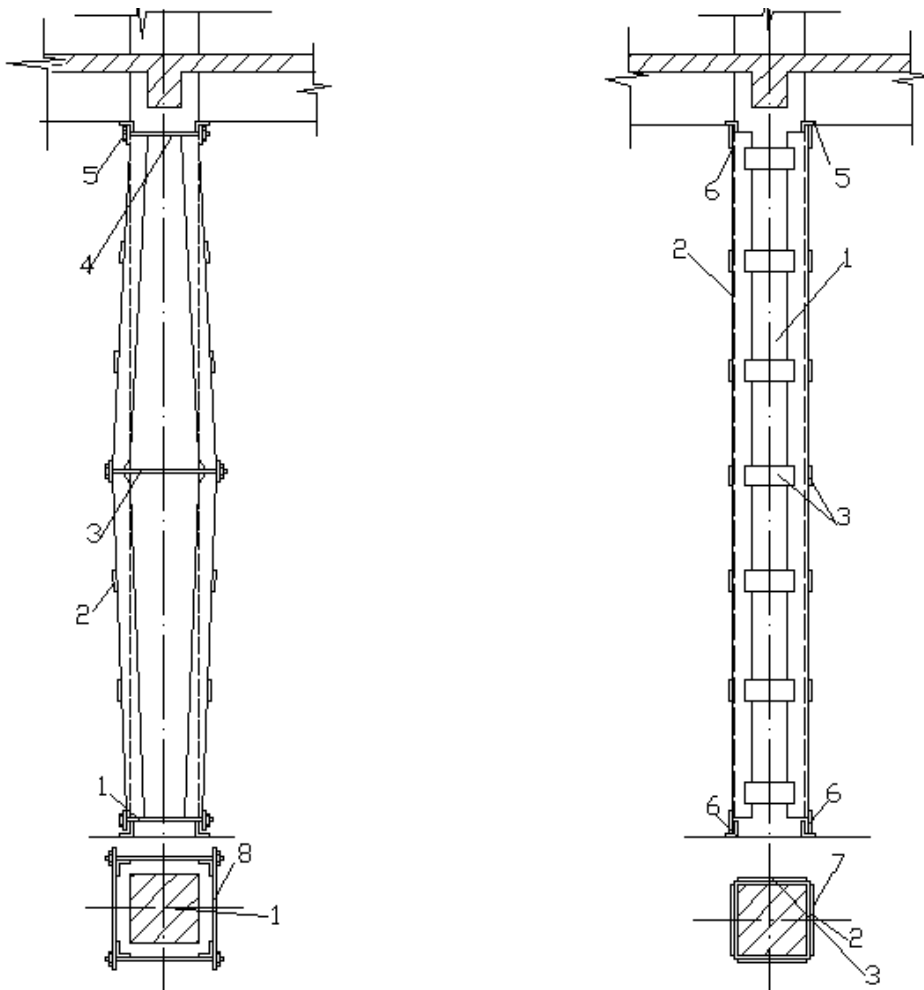


Рис. 3. Підсилення колони попередньо напруженими двосторонніми металевими розпірками: а) установка розпірок; б) підсилення колон після монтажу; 1 – підсилювана колона після монтажу; 2 – кутники розпірок; 3 – натяжний монтажний болт; 4 – кріпильний монтажний блок; 5 – упорні кутники; 6 – планки-упори; 7 – з'єднувальні планки; 8 – планка для натягу болтів у місці перегину.

Збільшення поперечного перерізу елемента. Такий спосіб підсилення залізобетонних конструкцій найпоширеніший у будівництві. Виконання його пов'язане з необхідністю зрощування старого і нового бетону, причому від надійності їх зчеплення залежить міцність та надійність конструкції загалом [19].

Проведені експериментальні дослідження А. А. Гвоздевим, А. П. Васильєвим, С. А. Дмитрієвим підтверджують надійність зрощування старого бетону з новим за дотримання відповідної технології вкладання нового бетону і підготовки поверхні старого [11].

Зчеплення нового бетону зі старим може коливатися в достатньо широких межах – від майже повної міцності монолітного до 40% від неї. Міцність зчеплення залежить від характеру дії сил і різних факторів, які впливають на неї, а саме умов вкладання бетону, методів ущільнення, способу догляду за ним, обробки поверхні зчеплення, чистоти швів, витрат цементу, гранулометричного складу тощо [19].

Способи і вид підсилення конструкцій, які працюють на згин і позacentровий стиск, вибирають залежно від ступеня міцності стисненої і розтягнутої зон перерізу, тобто від величини характеристики перерізу $\xi = x/h_0$ і від характеру пошкодження бетону й арматури. За $\xi > \xi_R$ (де ξ_R – граничне значення відносної висоти стиснутої зони, яке визначають відповідно до п 3.12 СНиП 2.03.01-84*), вичерпання несучої здатності конструкції відбувається внаслідок руйнування бетону

стиснутої зони. Тому за проектування підсилення необхідно, щоб після підсилення зберігалась умова $\xi \leq \xi_R$, де при підсиленні гнучкими розвантажувальними елементами R_b – граничний опір осьовому стиску бетону підсилюваної конструкції дорівнює R_{b1} , а при підсиленні бетоном і залізобетоном $R_b = (R_{b1}S_1 + R_{b2}S_2) / S$ (де S_1 – статичний момент частини стиснутої зони перерізу з бетону підсилюваної конструкції відносно осі, яка проходить через центр тяжіння крайнього розтягнутого ряду арматури; S_2 – те ж частини стиснутої зони з бетону підсилення; S – те ж усієї стиснутої зони) [12].

Центрово стиснені колони, підсилювані залізобетонною обоймою. Перевірка міцності конструкцій, підсилюваних монолітними залізобетонними обоймами (рис. 4), за зростаючого навантаження виконується з умови

$$N = (N_1 + N_2) \leq \varphi [R_{b1}b_1h_1 + R_{SC1}A'_{S1} + \gamma_h(R_{b2}A_{b2} + R_{SC2}A'_{S2})], \quad (1)$$

де φ – коефіцієнт поздовжнього згину, визначається за табл. 1 [12];

A_{b2} – площа поперечного перерізу бетону обойми;

γ_h – коефіцієнт умов роботи обойми, приймають таким, що дорівнює 0,8.

При армуванні обойми в межах 1% можна прийняти

$$A'_{S2} = 0,01A_{b2}. \quad (2)$$

Тоді

$$A_{b2} = \frac{N/\varphi - R_{b2}b_1h_1 - R_{SC1}A'_{S1}}{\gamma_h(R_{b2} + 0,01R_{SC2})}. \quad (3)$$

Розрахункову ширину обойми визначають за формулою

$$d_2 = 0,25 \left[\sqrt{(b_1 + h_1)^2 - 4A_{b2}} - (b_1 + h_1) \right]. \quad (4)$$

Площу перерізу поздовжньої додаткової арматури A'_{S2} визначають з урахуванням отриманих при розрахунку значень φ і A_{b2} [12].

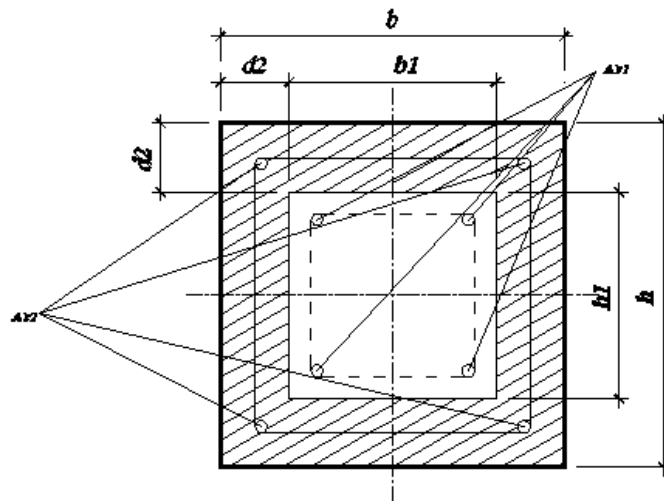


Рис. 4. Поперечний переріз центрально стисненої колони, підсилюваної залізобетонною обоймою.

Позацентрово стиснуті колони, підсилені нарощуванням. У разі проектування позацентрово стиснутих конструкцій, підсилюваних нарощуванням, розрахунок виконують так:

а) за $\xi \leq \xi_R \gamma_{dis}$,

де (γ_{dis} – коефіцієнт умов роботи, який залежить від ступеня розвантаження й визначається

розрахунком, A_{S2} – площа перерізу необхідної додаткової арматури (у розтягнутій зоні (рис. 5а)), нарощуванням задаються.

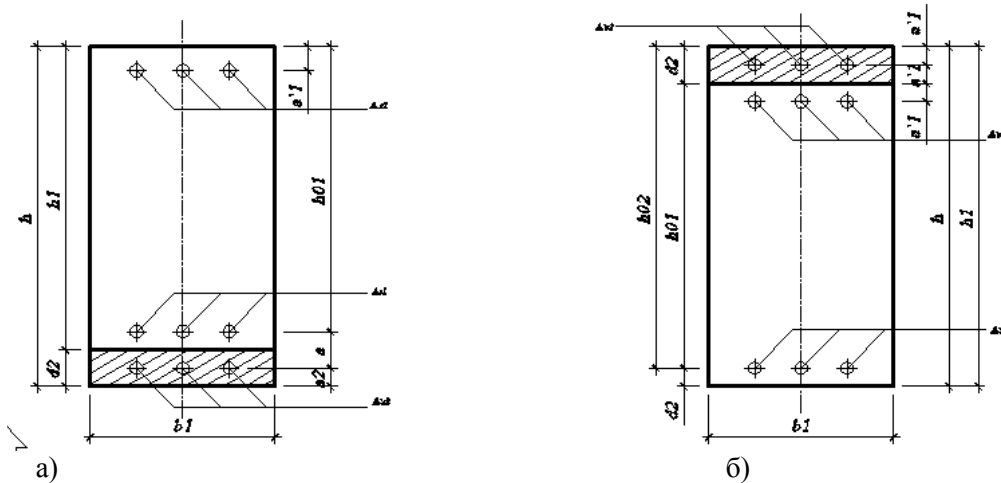


Рис. 5. Поперечний переріз позациентрово стисненої колони, підсилюваної додатковою арматурою: а) у розтягнутій зоні, б) у стиснутій зоні.

Якщо $a \leq 0,5(h - x)$, перевірка міцності виконується з умови

$$N_e = (N_1 + N_2)e \leq R_{b1}b_1x(h_{01} + a - 0,5x) + R_{SC1}A'_{S1}(h_{01} + a - a'_1) - R_{S1}A_{S1}a, \quad (5)$$

де $e = e_0 + 0,5h - a_2$; e_0 – ексцентриситет діючої поздовжньої сили відносно геометричної осі перерізу без врахування нарощування ($e_0 = M / N$).

Висота стиснутої зони X визначається з умови

$$R_{b1}b_1x + R_{SC1}A'_{S1} - R_{S1}A_{S1} - R_{S2}A_{S2} = N. \quad (6)$$

За відомих значень N і d_2 порядок визначення A_{S2} приймають такий:

- із рівняння (6) визначається значення X ;
- підставляється вказане значення в умову (5) і прирівнюються його ліва і права частини.

Отримане рівняння розв'язують відносно A_{S2} .

Якщо існуюча арматура A_{S1} розміщена на відстані понад $0,5(h - x)$ від розтягнутої межі підсилюваного перерізу, її приймають з розрахунковим опором $0,8 R_{S1}$.

При розрахунку несучої здатності враховується можливість пошкодження при зварці стержневої арматури підсилюваної конструкції: переріз стержнів приймають ослабленими на 25%.

б) За $\xi > \xi_{R\gamma_{dis}}$ розрахунком визначають площу перерізу необхідної додаткової арматури в стиснутій зоні (рис. 5б); величину d_2 задають.

Перевірку міцності виконують з умови

$$Ne = (N_1 + N_2)e \leq R_{b2}b_1d_2(h_{01} - 0,5d_2) + R_{b1}b_1(x - d_2)[h_{01} - 0,5(x - d_2)] + R_{SC1}A'_{SC1}(h_{01} - a'_1) + R_{SC2}A'_{S2}(h_{02} - a'_2) \quad (7)$$

де $e = e_0 + 0,5h - a_1$;

e_0 – ексцентриситет поздовжньої сили відносно геометричної осі з урахуванням нарощування ($e_0 = M / N$).

При цьому для підсилення конструкції з бетону класу В30 і нижче з арматурою класів А240С, А300С, А400С, висоту стиснутої зони X визначають із рівняння

$$R_{b2}b_1d_2 + R_{b1}b_1(x - d_2) - \sigma_{s1}A_{s1} - R_{se1}A'_{S1} - R_{SC2}A'_{S2} = N, \quad (8)$$

де

$$\sigma_{s1} = \left(2 \frac{1 - x/h_{02}}{1 - \xi_{R\gamma_{dis}}} - 1\right) R_{S1}. \quad (9)$$

Для підсилюваних конструкцій з бетону класу вище В30, а також для конструкцій арматурою A_{S1} , класу вище А400С, висоту стиснутої зони X і напруження σ_{S1} визначають з розв'язку рівнянь

$$R_{b2}b_1d_2 + R_{b1}b_1(x - d_2) - \sigma_{s1}A_{s2} + N = 0 \quad (10)$$

i

$$\sigma_{s1} = \frac{1,1\sigma_{sR}\xi(0,85 - 0,008R_b - \xi)}{0,25 - 0,008R}, \quad (11)$$

де σ_{sR} – див. п.3.12 СНиП 2.03.01-84*, а

R_b – див. п. 2.1.3.

За відомих значень N і d_2 порядок визначення A'_{s2} такий, як і у випадку а), однак у такому разі шукається не розтягнута додаткова арматура, а стиснута.

За повного розвантаження коефіцієнт γ_{olis} приймають таким, що дорівнює 0,95, а у разі розвантаження, яке сягнуло 75, 50 і 25%, – відповідно 0,9; 0,8; 0,7.

Для підсилення конструкцій з бетону В30 і нижче з арматурою класів А240С, А300С, А400С площу додаткової стиснутої арматури допускається також визначити на основі спрощеного вирішення, згідно з яким

$$A'_{s2} = \frac{Ne - 0,5R_{b1}b_1(h_{01} + d_2)^2 - R_{sC1}A'_{s1}(h_{01} - a'_1)}{R_{sC2}(h_{02} - a'_2)}. \quad (12)$$

У разі розрахунку міцності центрально і позачентрово стиснених конструкцій, підсилюваних залізобетонними обоймами, сорочками, нарощуванням (у стиснутій зоні) завтовшки до 50 мм, розрахунковий опір бетону підсилення R_{b2} приймають з коефіцієнтом 0,85 [12].

Висновки. На основі вищенаведеного аналізу літературних джерел, які висвітлюють питання підсилення залізобетонних колон, можна сформулювати такі висновки:

- 1) не достатньо вивчена стійкість підсилених залізобетонних колон;
- 2) технологічно не вирішене питання зчеплення старого бетону з новим у процесі його нанесення;
- 3) не розроблені математична та фізична моделі підсилених колон.

Бібліографічний список

1. Альсұхайджи Салех Али Кайд. Прочность и деформативность усиленных железобетонных элементов : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Альсұхайджи Салех Али Кайд. – К., 1994. – 18 с.
2. Барашиков А. Я. Надійність будівель і споруд / А. Я. Барашиков, Н. Д. Сирота. – К. : УМКВО, 1999. – 212 с.
3. Бліхарський З. Я. Напружено-деформований стан залізобетонних конструкцій в агресивному середовищі при дії навантаження : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук / З. Я. Бліхарський. – К., 2005. – 37 с.
4. Берг О. Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона / О. Я. Берг. – М. : Госстройиздат, 1962. – 96 с.
5. Бондаренко В. М. Расчет эффективных многокомпонентных конструкций / В. М. Бондаренко, А. Л. Шагин. – М. : Стройиздат, 1987. – 175 с.
1. Бондаренко С. В. Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий / С. В. Бондаренко, Р. С. Санжаровский. – М. : Стройиздат, 1990. – 350 с.
2. Боярчук Б. А. Міцність, тріщиностійкість та деформації залізобетонних конструкцій при різних способах підсилення : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Б. А. Боярчук. – Львів, 2003. – 20 с.
3. Бернискин Л. И. Несущая способность и деформативность железобетонных балок наращиванием : автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Л. И. Бернискин. – М., 1987. – 25 с.
4. Валовой О. І. Ефективні методи реконструкції промислових будівель та інженерних споруд : [навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів за напрямом «Будівництво»] / О. І. Валовой. – Кривий Ріг : Мінерал, 2003. – 266 с.
5. Вахненко П. Ф. Реконструкція будівель і споруд агропромислового комплексу / [П. Ф. Вахненко, В. П. Вахненко, С. В. Клименко та ін.] ; за заг. ред. П. Ф. Вахненко. – К. : Урожай, 1994. – 296 с.
6. Гвоздев А. А. Изучение сцепления нового бетона со старым / А. А. Гвоздев, А. П.

- Васильев, С. А. Дмитриев. – К. : ОНТИ, 1936. – 86 с.
7. Голишев А. Б. Усиление железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований / А. Б. Голишев, П. И. Кривошеев. – К. : Логос, 2004. – 214 с.
 8. Єроменко О. Ю. Ефективність варіантів підсилення у стиснутій зоні залізобетонних елементів, що працюють на згин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / О. Ю. Єроменко. – К., 2006. – 19 с.
 9. Задорожнікова І. В. Підсилення стиснутої зони як засіб відновлення експлуатаційних якостей залізобетонних згинальних елементів : дис. канд. техн. наук : 05.23.01 / Ірина Вікторівна Задорожнікова. – Луцьк, 2006. – 140 с.
 10. Лазовский Д. Н. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений / Д. Н. Лазовский. – Новополюк : Изд-во Полоцкого гос. ун-та, 1998. – 240 с.
 11. Мохамед Х. К. Прочность железобетонных неразрезных балок после усиления // Библиографический указатель депонированных рукописей / ГИИТБ Украины ; Х. К. Мохамед, А. Я. Барашиков, Л. А. Мурашко. – К., 1995. – № 1132Ук95.
 12. Москвин В. М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / [В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузев]. – М. : Стройиздат, 1980. – 536 с.
 13. Москвин В. М. Повышение стойкости бетона и железобетонных конструкций при воздействии агрессивных сред / [В. М. Москвин, Ю. А. Саввина, С. Н. Алексеев и др.]. – М. : Стройиздат, 1975. – 240 с.
 14. Онуфриев Н. М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений / Н. М. Онуфриев. – Л. : Стройиздат, 1965. – 342 с.
 15. Ройтман А. Г. Теория надежности в строительном проектировании / А. Г. Ройтман. – М. : Изд-во АСВ, 1998. – 304 с.
 16. Сухоносів І. В. Підсилення залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні сучасними матеріалами / І. В. Сухоносів // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛДУ, 2003. – Вип. 13. – С. 335-340.
 17. Шагин А. Л. Реконструкция зданий и сооружений : учеб. пос. / [А. Л. Шагин, Ю. В. Бондаренко, Д. Ф. Гончаренко, В. Б. Гончаров] ; под ред. А. Л. Шагина. – М. : Высш. шк., 1991. – 352 с.
 18. Хміль Р. Є. Міцність, деформативність, тріщиностійкість залізобетонних балок при дії агресивного середовища : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Р. Є. Хміль. – Львів, 2003. – 20 с.

Бурченя С. Основные способы усиления железобетонных колонн

В статье рассматриваются основные способы усиления железобетонных колонн, а именно изменение конструктивной формы, изменение напряженного состояния, увеличение поперечного сечения элемента.

Ключевые слова: колонна, стойкость, прочность, напряженно деформированное состояние, обойма, наращивание.

Burchenya S. Basic methods of strengthening of the reinforced-concrete columns

The main ways of strengthening of reinforced concrete constructions such as modification of construction form, modification of tense state, increasing of cross-section of element are highlighted in the article.

Key words: column, durability, firmness, tense and deformed state, cramp-iron, joint.