

ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ПРИДАТНІСТЬ СТИСНУТО-ЗІГНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН, ПІДСИЛЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННОЮ ОБОЙМОЮ ЗА ДІЇ НАВАНТАЖЕННЯ

П.І.Країнський, аспірант, **Р.Є.Хміль**, к.т.н., доц.,
З.Я.Бліхарський, д.т.н., проф.

Національний університет "Львівська політехніка", Україна

ВСТУП

Влаштування обойм є традиційним методом підсилення залізобетонних конструкцій. Цей метод є універсальним, оскільки підходить для підсилення різних конструктивних елементів. В літературі зустрічаються різноманітні конструктивні вирішення підсилення у вигляді обойм з застосуванням як традиційних так і нових матеріалів. До традиційних варіантів підсилення належать залізобетонні [1, 2, 3] та металеві [4] обойми. Серед новітніх матеріалів можна виділити високоміцні фібробетони [5] та композитні матеріали FRP, FRCM [6, 7].

Дослідження показують, що необхідного ефекту підсилення можна досягнути використавши будь який з запропонованих вище матеріалів обойм. Проте слід пам'ятати про особливості кожного з матеріалів. До прикладу, системи з FRP композитів дуже ефективно працюють при підсиленні згинаних елементів, та гірше при підсилення стиснутих елементів [6, 7]. До того ж, ефект від обойми залежить від геометрії перерізу підсилюваного елемента та розміщення волокон композиту відносно підсилюваного елемента [6]. Також варто зазначити низьку вогнестійкість окремих полімерних матеріалів та їх високу вартість.

Застосування високоміцних фібробетонів дозволяє досягнути ефекту підсилення, рівноцінного залізобетонній обоймі при значно меншій товщині стінок обойми [5]. Проте вартість високоміцних фібробетонів дуже висока, а ефективність їх застосування значно знижується при дії високих згинальних моментів.

Суттєвою перевагою металевих обойм є те, що розміри перерізу підсиленого зразка практично не збільшуються [4]. Проте включення металевої обойми в сумісну роботу з конструкцією може бути трудомістким. Також залишається проблема вогнестійкості та необхідності корозійного захисту металу.

Залізобетонні обойми однаково добре працюють як на стиск, так і на згин, не потребують додаткового корозійного чи вогнезахисту. По-

при деяку трудомісткість процесу підсилення, технології влаштування залізобетонних обойм добре відомі та освоєні. На даний час по роботі колон підсиленних залізобетонними обоймами проведено багато експериментальних [2] та теоретичних [3] досліджень. Проте практично немає робіт де вивчається вплив напружено-деформованого стану колони в момент підсилення на її подальшу роботу. В окремих дослідженнях [2] проведено випробування дослідних зразків колон до руйнування, їх підсилення та повторне випробування. Проте підсилення зруйнованого зразка виконували після зняття навантаження. Саме тому виконання підсилення колон залізобетонними обоймами за дії навантаження є актуальним завданням.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для вивчення впливу початкового навантаження на експлуатаційну придатність підсиленої колони було проведено експериментальні дослідження дванадцяти дослідних зразків залізобетонних колон. Всі дослідні колони мали ідентичні геометричні (рис. 1) та механічні (табл. 1) характеристики. Механічні характеристики матеріалів колон було визначено через випробування стандартних зразків арматурної сталі та бетону.

Єдиним змінним фактором даних експериментальних досліджень є рівень навантаження на колони в момент її підсилення. Перші дві колони К-01 та К-02 було випробувано без підсилення для визначення їх базової несучої здатності N_u . Усі наступні колони випробовували до руйнування після підсилення, попередньо навантаживши до рівнів 0%, 30%, 50%, 70% та 90% несучої здатності від N_u непідсиленних колон. На кожен рівень навантаження припадало дві дослідні колони.

Для ідентифікації колон їм присвоєно унікальне маркування: буквене позначення К (непідсилена колона) або КП (підсилена колона); порядковий номер зразка та величина рівня навантаження перед підсиленням. Наприклад, маркування КП-07-0,5 вказує, що сьома за порядком колона була випробувана з підсиленням після попереднього навантаження до рівня $0,5N_u$ непідсиленних колон.

Усі підсилені колони випробувано на стиск короточасним навантаженням до руйнування. Закріплення колон шарнірне з обох кінців. Зусилля стиску прикладали позацентрово з ексцентриситетом рівним 150 мм. Зразки випробувано відповідно до розробленої методики випробування колон, запропонованої дослідниками Львівської політехніки [8, 9]. Випробування колон виконували у горизонтальному положенні, що суттєво спрощує зчитування показів вимірювальних приладів механічної дії та значно підвищує безпеку при випробуванні стиснутих елементів.

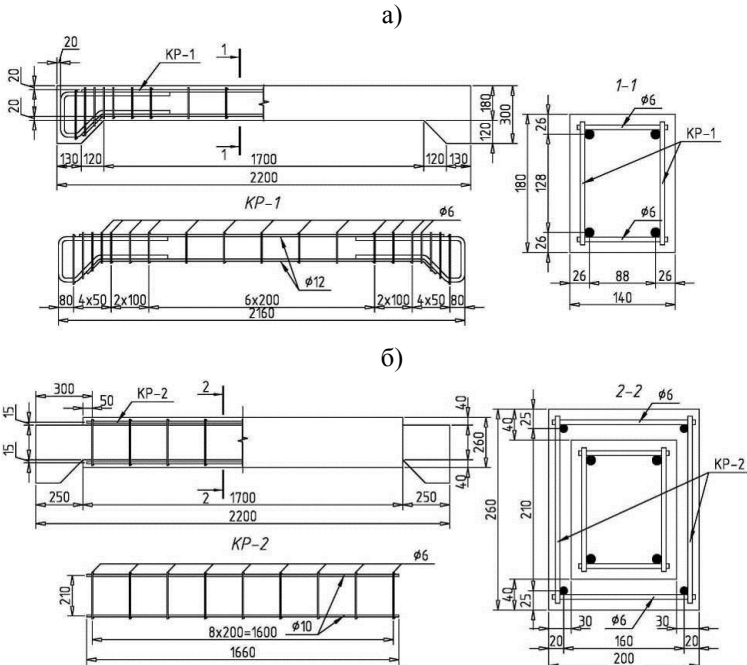


Рис. 1. Параметри дослідних колон: а) до підсилення; б) після підсилення

Таблиця 1. - Характеристики матеріалів дослідних колон

| Арматура колон $\phi 12$ мм | | | Арматура обійм $\phi 10$ мм | | | Клас бетону колон | Клас бетону обійм |
|-----------------------------|--------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|-------------|-------------------|-------------------|
| f_y , МПа | ε_{s0} | E_s , ГПа | f_y , МПа | ε_{s0} | E_s , ГПа | | |
| 636,9 | 0,00302 | 211 | 610,7 | 0,00291 | 210 | C25/30 | C25/30 |

Для дослідження експлуатаційної придатності дослідних колон на них було встановлено прогиноміри Аістова. За допомогою прогиномірів фіксували вигин колон по довжині. Граничний вигин колони було прийнято за таблицею 4 [10], котрий склав $l/150=14,7$ мм.

Аналіз експлуатаційної придатності підсилених колон проведено за графічними залежностями максимального вигину зразків від навантаження (рис. 2). Контрольні колони К-01 та К-02 досягнули граничного вигину під навантаженням 124,23 кН та 121,12 кН відповідно. При цьому, середня несуча здатність зазначених непідсилених колон рівна 174,56 кН.

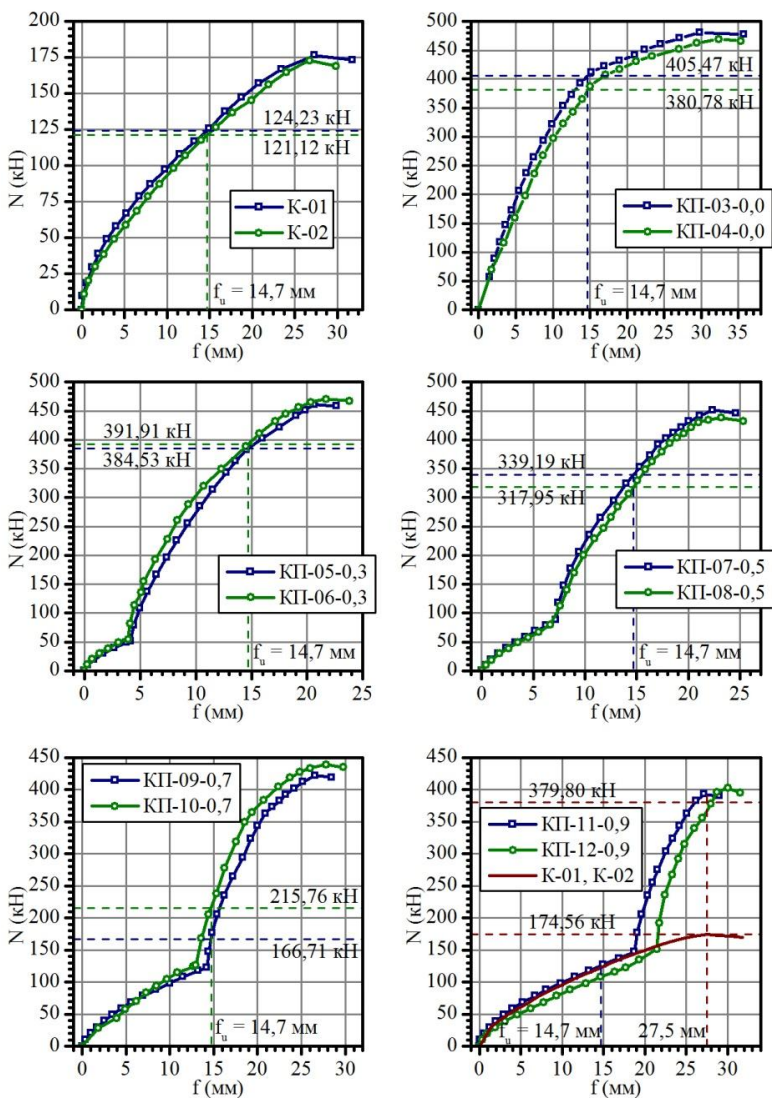


Рис. 2. Графіки залежності максимального вигину дослідних колон від навантаження

Як бачимо з графіків, не підсилена колона втрачає експлуатаційну придатність під навантаженням $\approx 0,7N_u$. Проте це не означає, що підси-

лення колон під навантаженням вищих рівнів не матиме ефекту. Для високих рівнів діючого навантаження, наприклад $0,9N_u$, підвищення жорсткості та несучої здатності колони за результатами експериментальних досліджень теж було істотним.

Максимального ефекту від підсилення досягнули зразки КП-03-0,0 та КП-04-0,0. Вони досягнули граничних вигинів під навантаженням 405,47 кН та 380,78 кН відповідно. В середньому граничне навантаження за експлуатаційною придатністю N_f зросло на 220,5%.

Зразки КП-05-0,3 та КП-06-0,3 показали результат дуже близький колонам підсиленням без навантаження. Для цих зразків $N_f = 384,53$ кН та 391,91 кН відповідно. В середньому граничне навантаження за експлуатаційною придатністю зросло на 216,5%, що всього лиш на 4% менше зразків КП-03-0,0 та КП-04-0,0.

Колони підсилені при $0,5N_u$ (КП-07-0,5 та КП-08-0,5) показали збільшення граничного навантаження за експлуатаційною придатністю на 167,8%. Навантаження колон N_f склало 339,19 кН та 317,95 кН.

Попри те, що колони КП-09-0,7 та КП-10-0,7 на момент підсилення практично вичерпали експлуатаційну придатність, суттєве збільшення жорсткості конструкції після підсилення все ж дало свій позитивний ефект. Навантаження N_f колон цього рівня склало 161,71 кН та 215,76 кН. В середньому це відповідає підвищенню навантаження за експлуатаційною придатністю на 55,9%.

За графіками вигину колон КП-11-0,9 та КП-12-0,9 бачимо, що до моменту підсилення колони вже втратили експлуатаційну придатність. Тим не менше підсилення при рівні $0,9N_u$ дало свій позитивний ефект. Після підсилення спостерігаємо значне підвищення жорсткості конструкції. Максимальний вигин колон КП-11-0,9 та КП-12-0,9 перед вичерпанням несучої здатності був близьким за величиною до вигину К-01 та К-02 проте досягався при навантаженні на 117,6% більшому.

Загальні результати експериментальних досліджень жорсткості підсилених колон наведено у табл. 2.

Таблиця 2. - Результати експериментальних досліджень

| Зразок | Граничне експлуатаційне навантаження N_f , кН | | Ефект підсилення |
|-----------|---|--------|------------------|
| | зразка | серії | |
| К-01 | 124,23 | 122,68 | - |
| К-02 | 121,12 | | |
| КП-03-0,0 | 405,47 | 393,13 | 220,5% |
| КП-04-0,0 | 380,78 | 388,22 | 216,5% |
| КП-05-0,3 | 384,53 | | |
| КП-06-0,3 | 391,91 | | |

| Зразок | Граничне експлуатаційне навантаження N_f , кН | | Ефект підсилення |
|-----------|---|--------|------------------|
| | зразка | серії | |
| КП-07-0,5 | 339,19 | 328,57 | 167,8% |
| КП-08-0,5 | 317,95 | | |
| КП-09-0,7 | 166,71 | 191,24 | 55,9% |
| КП-10-0,7 | 215,76 | | |
| КП-11-0,9 | 126,04 | 117,16 | - |
| КП-12-0,9 | 108,27 | | |

Висновки

1. Підсилення залізобетонних колон залізобетонними обоймами є дуже ефективним способом, оскільки дозволяє досягнути значного збільшення граничного навантаження за експлуатаційною придатністю (до 216...220 % в умовах проведеного експерименту).

2. Колони підсилені за дії попереднього навантаження $0,3N_u$ показали близький результат колонам підсиленим без дії попереднього навантаження ($0,0N_u$). Це свідчить про те, що невеликі початкові деформації елемента в момент підсилення не мають суттєвого впливу на його подальшу експлуатаційну придатність.

3. Зі збільшенням рівня діючого навантаження перед підсиленням ($0,5N_u$ та $0,7N_u$) ефект від підсилення зменшується (до 56...168% в умовах проведеного експерименту). Це означає, що при виконанні робіт з підсилення слід враховувати цю особливість у розрахунку підсилених конструкцій.

4. Для високих рівнів діючого навантаження, наприклад $0,9N_u$, підвищення жорсткості та несучої здатності колони за результатами експериментальних досліджень теж було істотним. Колони рівня $0,9N_u$ досягали практично однакового максимального вигину, що й непідсилені колони при значно більших навантаженнях (до 117% в умовах проведеного експерименту).

Summary

In this article serviceability of non-centrally compressed reinforced concrete columns, strengthened by reinforced concrete jacketing was investigated. The influence of structure's pre-loading level during strengthening on its future serviceability was determined. Different loading levels were considered, from completely unloaded to 90% of strength capacity.

Література

1. Required RC jacket thickness and reinforcement ratio for repairing RC tied rectangular and circular concrete columns [Електрон. ресурс] / Tamer Al-Afandy, MagdyBakry // ResearchGate. – 2015. – Режим доступу до статті.: <http://www.researchgate.net/publication/273316535>.
2. Rodriguez M. Seismic Load Tests on Reinforced Concrete Columns Strengthened by Jacketing / M. Rodriguez, R. Park // ACI Structural Journal. – 1994. – Vol. 91 (2). – P. 150-159.
3. Vijaya Kumar Y M. Finite element analysis of jacketed reinforced concrete column subjected to axial and uniaxial load / Vijaya Kumar Y M., Gopi Siddappa, Suresh Chandra, Anushree // IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2015. – Vol. 04 (4). – P. 132-138.
4. Retrofitting and strengthening of reinforced concrete columns using steel jackets; Mechanical performance and applications / Ahmed El-Badawy Sayed // Journal of engineering sciences, Assiut university. – 2009. – Vol. 37 (no. 3). – P. 563-580.
5. Meda A. Strengthening of R/C existing columns with high performance fiber reinforced concrete jacket / A. Meda, G.A. Plizzari, Z. Rinaldi, G. Martinola // Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II. – 2009. – P. 1263-1268.
6. FRP composites strengthening of concrete columns under various loading conditions [Електрон. ресурс] / AzadehParvin, David Brighton // Polymers. – 2014. – Vol.6(4). – P. 1040-1056. –Режим доступу до статті.: <http://www.mdpi.com/2073-4360/6/4/1040/htm>.
7. Hajsadeghi M. Numerical Analysis of Rectangular Reinforced Concrete Columns Confined with FRP Jacket under Eccentric Loading / M. Hajsadeghi, F. J. Al-ae // Advances in FRP Composites in Civil Engineering: proceedings of the 5th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2010) . – 2010. – P. 658-661.
8. Бліхарський З.Я. Методика експериментальних досліджень стиснутих залізобетонних елементів на дію короткотривалого навантаження, прикладеного з ексцентриситетом / З.Я. Бліхарський, Є.С. Царьов, Р.Є. Хміль, В.І. Попович // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2010. – № 662. – С. 50-54.
9. Патент на корисну модель №52883 Україна. Пристрій для випробування будівельних конструкцій в горизонтальному положенні на дію стискуючого зусилля / Шпак М.М., Царьов Є.С.; заявник і власник НУ "Львівська політехніка". - № u201003820, заявл. 02.04.2010; опубл. 10.09.2010; Бюл. №17, 2010 р. - 4 с.
10. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогни і переміщення. Вимоги проектування: ДСТУ Б В.1.2-3:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 15 с. – (Національний стандарт України).