

## ДО ПИТАННЯ ВИВЧЕННЯ РОБОТИ СТИСНУТИХ ПОШКОДЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ КРУГЛОГО ПЕРЕРІЗУ

© Клименко Є. В., Орешкович М., 2013

Розглянуто причини та види пошкоджень залізобетонних елементів круглого перерізу, які з'явилися в процесі експлуатації. Наведено основні положення методики проведення натурного експерименту та передумови розрахунку таких конструкцій.

**Ключові слова:** залізобетонні круглі елементи, пошкодження, несуча здатність.

**The article describes the causes and types of injuries concrete elements of circular cross section, which were in service. The principal methods of model experiment and calculation conditions such designs.**

**Keywords:** concrete elements of circular cross section, damages, bearing capacity.

Бетон, армований сталеву арматурою сьогодні та на довготривалу перспективу є одним з основних будівельних матеріалів. Наукові пошуки в останні роки дали змогу створити бетони високих класів, що є особливо ефективним при використанні його в стиснених елементах (колонах та пілонах висотних будівель, опорах мостів та транспортних розв'язок тощо).

Однак під час експлуатації стиснені залізобетонні конструкції, як і усі інші, зазнають зносу. Найчастіше за сумісної дії стискної сили (прикладеної з розрахунковим або випадковим ексцентриситетом) та навколишнього (часто – агресивного середовища) зменшується поперечний переріз через руйнування частини бетонного масиву. На рис. 1 показано приклади пошкоджених стиснених елементів, часткове руйнування яких виникло в процесі експлуатації. Причиною пошкодження є результат сумісної дії різних факторів, а саме: довготривалого використання будівлі або споруди; постійної дії стискного, в цьому випадку навантаження; динамічного навантаження; агресивного впливу навколишнього середовища. Проблемою є визначення залишкової несучої здатності таких пошкоджених залізобетонних конструкцій, тобто визначення можливості подальшої експлуатації конструкцій.



Рис. 1. Приклади типів пошкодження стиснених елементів

Норми різних держав, дослідження науковців різних країн формують різні класифікації пошкоджень залізобетонних конструкцій в процесі експлуатації. Однак в усіх цих дослідженнях є єдині позиції, за якими можна оцінити технічний стан конструкцій та зробити висновок про

можливість подальшої експлуатації будівлі загалом. Так, Державні будівельні норми України [1] зобов'язують під час проектування враховувати, крім величини зовнішнього навантаження, вплив температури; повзучість та усадку бетону; тривалість дії навантаження. Крім визначення граничного зовнішнього навантаження, яке може витримати конструкція до руйнування (несуча здатність), обмежується також ширина розкриття тріщин та їх переміщення (розрахунки за другою групою граничних станів). Аналогічно сформульовано норми та правила в інших європейських країнах. Так технічним комітетом DCC-104 РІЕМ (Міжнародної спілки експертів та лабораторій з випробування будівельних матеріалів, систем і конструкцій), починаючи з 1991 р. навів класифікацію пошкоджень в бетонних конструкціях [2] за три роки. Загалом можна зробити висновок, що більша частина пошкоджень бетонних конструкцій, які виникають в процесі експлуатації, виникають через помилки в процесі проектування (стадія проектування), неякісних технологій зведення та низької якості будівельних матеріалів (стадія будівництва), а також перевантаження конструкцій навантаженнями, вищими за проектні (стадія експлуатації). Класифікацію пошкоджень залізобетонних конструкцій наведено на рис. 2.



Рис. 2. Схема класифікації пошкоджень

Основною характерною особливістю наведених вище пошкоджень є поява різного типу тріщин. Отже, детальнішу нову класифікацію пошкоджень залізобетонних конструкцій можна розробити, визначаючи причини появи та тип тріщин у бетоні.

Вищеназвані проблеми в своїх дослідженнях розглядали А.Н. Добромислов, Ф.Х. Ахметзянов, В.В. Габрусенко та ін. Детальний історичний огляд та експериментальний аналіз механіки руйнування з акцентом на виникнення та розвиток тріщин наведено в фундаментальній роботі М.І. Карпенка [3]. Дослідження в цьому напрямі проводили також Østergaard, Saouma, Buyukozturk, Surendra і Chengsheng. За результатами цих досліджень можна зробити висновок, що нас найбільше цікавить вид тріщин (прояв пошкодження) як результат навантаження або перевантаження. Якщо фактор виникнення та розвитку тріщини розглядати в часі, то нам вдасться визначити довговічність конструкції (її ресурс) та будівлі або споруди загалом.

Причинами виникнення та розвитку тріщин є такі:

а) перевантаження без залишкових деформацій (короткочасні навантаження з пружними деформаціями матеріалів);

б) перевантаження із залишковими деформаціями (за межею пружності матеріалів).

Методики розрахунку залишкової несучої здатності пошкоджених в процесі експлуатації стиснених залізобетонних елементів круглого перерізу в чинних нормах немає. Використання загальних рекомендацій, наведених в [1], не дає змоги розв'язати поставлену задачу.

Для визначення значущих факторів, які впливають на зміну в процесі експлуатації залишкової несучої здатності пошкоджених залізобетонних стиснутих елементів круглого поперечного перерізу, було проаналізовано роботи багатьох вітчизняних та закордонних дослідників.

У результаті такого аналізу встановлено, що колони є типовими, простими структурними елементами, які дуже поширені у практиці будівництва, та суттєво впливають на несучу здатність та стійкість усєї будівлі (споруди) як системи загалом. Останнім часом дослідження роботи стиснених елементів зосереджувались на визначенні несучої здатності та уточнення методів розрахунку колон прямокутного поперечного перерізу. При цьому в методику розрахунку вносилися передумови та методи, які уточнювали розрахунок та наближали його до реальної роботи стиснених елементів за дії зовнішнього навантаження. Деякі роботи було присвячено врахуванню фізичної нелінійності роботи бетону, що призвело до введення до вимог чинних норм [1] вимоги розрахунку з врахуванням цієї передумови. Однак нормами допускається застосування спрощеної залежності „напруження–деформації“ бетону, якщо вона є еквівалентною або консервативнішою (результати розрахунку дають більший запас), а під час виконання повіркових розрахунків прямокутних перерізів або близьких до нього можна припускати рівномірний характер перерозподілу нормальних стискаючих напружень у стисненій зоні. Слід констатувати, що визначення залишкової несучої здатності конструкції, пошкодженої в процесі експлуатації, і є повірковим розрахунком.

Іншим питанням в цих дослідженнях реальної роботи стиснених залізобетонних елементів є робота арматури (особливо можливість використання високоміцних сталей для армування конструкцій), зокрема і роль поперечних стрижнів, які, як відомо, попереджують втрату стійкості прокольних робочих арматурних стрижнів.

Одним із факторів моделювання пошкодження, отриманого в процесі експлуатації, є його форма. Це, наприклад, форма зменшення поперечного перерізу, яка не має гострих кутів, оскільки під час зносу руйнування відбувається досить плавно по перерізу, а з іншого боку, форма пошкодження має бути близькою до форми місць руйнування стиснених залізобетонних елементів. Аналіз показав, що після руйнування дослідних колон утворюється специфічний „клин“, який розміщується приблизно посередині колон на довжині 20...30 % їх фізичної висоти. Характерними в цьому плані є досліді Němeček J. [4], Rabie M. [5] (рис. 3 та рис. 4). Розміщення зон руйнування колон на рис. 4 у верхній їх частини автори досліджень пояснюють меншою міцністю бетону у цій зоні конструкції.

Якщо порівняти ці досліді з пошкодженнями, які колони набули протягом достатньо довгого терміну експлуатації (понад 40 років) (рис. 1), то можна стверджувати, що між ними є суворта та однозначна подібність. Це все приводить нас до висновку, що колони в будівлях постраждали не лише від структурних змін, але і від довготривалого або короткочасного навантаження високого рівня. Основними характеристиками цього типу пошкоджень є:

- пошкодження, розміщене поблизу середини висоти конструкції;
- ідентичний „клин“ пошкодження;
- глибина пошкодження (для круглого поперечного перерізу) від  $R/2$  до  $R$  (де  $R$  – радіус перерізу елемента);
- висота пошкодженої ділянки становить 20...30 % висоти елемента;
- значними деформаціями розтягнутої арматури (в момент руйнування вона переходить в пластичну зону роботи).



Рис. 3. Характерні пошкодження колон, навантажених осьювою силою (J. Němeček)



Рис. 4. Характерні пошкодження колон, навантажених осьювою силою (Rabi M.)

Під час обстеження будівлі та окремих її конструкцій виникають питання, на які можна відповісти, керуючись цією методикою:

- яка фактична залишкова несуча здатність стиснених елементів?
- який ресурс вони мають на момент обстеження?
- як вплинуло навколишнє агресивне середовище на міцність матеріалів за поперечним перерізом конструкції?
- можливий та чи доцільний ремонт або підсилення елементів конструкцій?

Роботи пошкоджених залізобетонних елементів досліджено недостатньо. В цьому контексті слід зазначити роботи Є.В. Клименка [6]. На підставі аналізу факторів, що впливають на напружено-деформований стан та залишкову несучу здатність пошкоджених колон круглого поперечного перерізу, встановлено найзначущішим з них, а саме:

- глибина пошкодження,  $b(x_1)$ ;
- ексцентриситет прикладання зовнішнього зусилля,  $e_0(x_2)$ ;
- кут нахилу фронту пошкодження відносно силової площини,  $\gamma(x_3)$ .

Отже, розроблено тривірневий, трифакторний план експерименту [7]. Кожний із основних факторів будемо розглядати на трьох рівнях (-1; 0; +1). Отже, матриця планування матиме вигляд, показаний на рис. 5.

На рис. 6 показано: розміри та армування поперечного перерізу дослідних зразків, проектні характеристики матеріалів, а також схему закріплення експериментальних конструкцій та визначення розрахункової довжини стисненого елемента.

	$x_1$	$x_2$	$x_3$
-1	0	0	0
0	$R/2$	$R/2$	$45^\circ$
+1	$R$	$R$	$90^\circ$

Рис. 5. Матриця експерименту

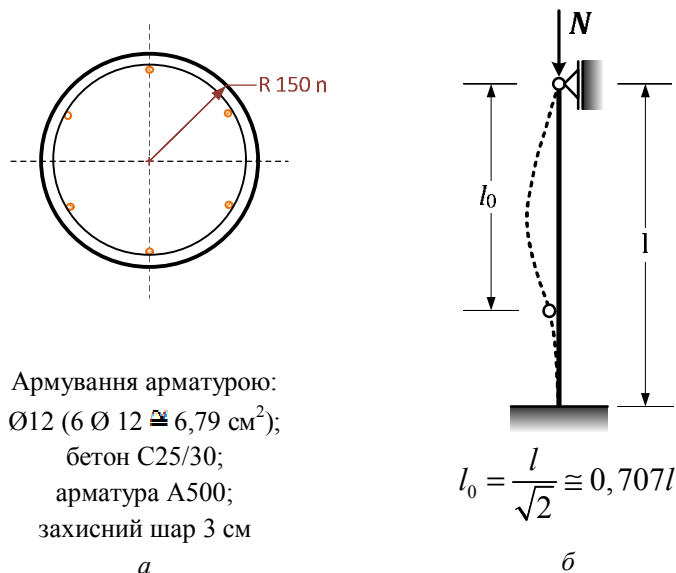


Рис. 6. Основні геометричні характеристики дослідних колон: *a* – геометрія поперечного перерізу; *б* – граничні умови та розрахункова довжина

За чинними українськими [1] та європейськими нормами колона вважається короткою та не вимагає враховувати її гнучкості, тобто розраховувати за деформованою схемою тоді, коли збільшення згинального моменту, визначеного без врахування додаткового прогину, не перевищує 10 %. Ця умова виконується, коли

$$l \leq 25(0,9w) \left( 2 - \frac{M_{01}}{M_{02}} \right) \quad (1)$$

де  $w = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$ ;  $\lambda$  – гнучкість елемента; у випадку якщо  $M_{01} = M_{02} = 0$ , то їх співвідношення приймається рівним 1,0.

Отже, при прийнятих розмірах поперечного перерізу, армуванні та закріпленні кінців дослідних зразків, критичною довжиною експериментальних колон буде 3 м. Для зразків меншої висоти додатковий ексцентриситет внаслідок прогину конструкції можна не враховувати, оскільки цей вплив є незначним, а колона може вважатися короткою.

### Висновки

У результаті можна зробити такі висновки.

1. Дослідження стиснених елементів, які проводили до цього часу, стосувалися переважно колон із бетонів середньої міцності (до класу С50/60) та розглядалися напружено-деформований стан та несуча здатність непошкоджених конструкцій.

2. У процесі експлуатації стиснені залізобетонні конструкції круглого поперечного перерізу, як і усі інші, зазнають зносу. Найпоширенішим видом пошкодження є руйнування частини бетонного перерізу, що призводить (у випадку неперпендикулярності фронту пошкодження соловій площині) до косоного позацентрового стиску. Такі випадки визначення залишкової несучої здатності не досліджувались.

3. Розроблена авторами програма досліджень та план експерименту дадуть змогу статистично обґрунтовано визначити напружено-деформований стан залізобетонних стиснених елементів круглого перерізу, пошкоджених у процесі експлуатації. Розрахунок за деформованою схемою при цьому не є необхідним, оскільки запроєктовані колони можна вважати короткими.

*1. Бетонні та залізобетонні конструкції (II-а ред.): ДБН В.2.6.-2011. – [Чинний від 2011-06-01]. – К.: МІНРЕГІОНБУД України, 2009. – 101 с. (Державні будівельні норми України). 2. RILEM TECHNICAL COMMITTEES: Damage classification of concrete structures. The state of the art report of RILEM Technical Committee 104-DCC activity, Materials and Structures / Matg'riaux et Constructions, 1991, pp. 24, 253-259. 3. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 411 с. 4. Němeček J.: Effect of Stirrups on Behavior of Normal and High Strength Concrete Columns, Acta Polytechnica Vol. 44 No.5–6/2004. 5. Rabie M.: Behavior of R.C Columns with Poor Concrete Strength at Upper Part, Life Science Journal;9(2) 2012. 6. Клименко Є.В. Технічний стан будівель та споруд / Є.В. Клименко. – Одеса: ОДАБА, 2010. – 284 с. 7. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.*