

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ ПОЗАЦЕНТРОВО- СТИСНУТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ КОМБІНОВАНИМ АРМУВАННЯМ

© Холод П.Ф., 2007

Зосереджено увагу на експериментальному і теоретичному дослідженні залізобетонних стиснутих елементів, зміцнених просторовими арматурними каркасами та заздалегідь стислим високоміцним армуванням. Проведено експериментальне випробування зразків на стиск з ексцентриситетом. Запропоновано розрахунковий метод на основі існуючих норм розрахунку колон із заздалегідь стислим високоміцним армуванням. Проведено порівняння експериментальних і теоретичних результатів.

**This article focuses on the experimental and theoretical study of the reinforced concrete compressed members reinforced by spatial cage with pre-compressed high strength reinforcement. Experimental testing under eccentrically compression of 5 model specimens has been done. The engineering method on the basis of existing norms for analysis of columns with pre-compressed high strength reinforcement has been proposed. Comparison of experimental and theoretical results has been done.**

**Вступ.** Однією з найважливіших проблем будівництва сьогодні є проектування ефективних конструкцій з мінімальною затратою будівельних матеріалів. Цьому сприяє застосування в будівництві залізобетонних конструкцій з високоміцною арматурою [1, 3, 5].

Однак повне використання характеристик міцності високоміцної арматури в стиснутих залізобетонних елементах обмежується граничною деформативністю бетону, за якого максимальне стискуєче напруження в арматурі не може перевищувати 400–500 МПа. Окремими авторами в стадії виготовлення виконано попередній обтиск високоміцної арматури, який дає можливість повніше використати її характеристики [6–7]. Отримане зусилля попереднього обтиску передається безпосередньо на бетон, що, як правило, призводить до утворення тріщин. Це негативно впливає на роботу цих конструкцій.

У цій роботі запропоновано новий спосіб армування таких колон з застосуванням просторових арматурних каркасів з попередньо стиснутою високоміцною арматурою, в яких реактивні зусилля від обтиску передаються на арматуру низьких класів, яка входить в каркас і об'єднана з високоміцною торцевими металевими плитами.

Запропонований метод армування стиснутих елементів дає змогу ефективно використовувати міцність високоміцної сталі, і за рахунок цього отримати підвищення несучої здатності залізобетонних колон без збільшення проценту армування, а також отримати значну економію сталі.

**Мета роботи** – розробити конструкцію залізобетонних колон для каркасних багатоповерхових будинків під великі навантаження з мінімальною витратою матеріалів і високим рівнем уніфікації та вдосконалену інженерну методику розрахунку зазначених конструкцій [2, 4].

**Експериментально-теоретичні дослідження.** За позацентрового стиску будівельні норми рекомендують розраховувати стиснуті елементи зі звичайним армуванням за наближеною методикою з врахуванням ексцентриситету прикладення поздовжньої сили. Для розрахунку елементів прямокутних перерізів зі змішаним симетричним армуванням з попередньо обтиснутою

високоміцною попередньо розтягнутою арматурою [1] пропонується використовувати ці ж норми, тільки з врахуванням зусиль попереднього обтиску високоміцної та попереднього розтягу звичайної арматур за умовою (рисунок):

$$N \cdot e \leq R_b \cdot b \cdot x(h_0 - 0,5x) + \sigma_{sc} A_{sp}^1 (h_0 - a_p^1) + \sigma_{spc}^1 A_{spc}^1 (h_0 - a_{pc}^1). \quad (1)$$

Вплив прогину елемента вираховується шляхом збільшення ексцентриситету прикладення сили, перемноженого на коефіцієнт:

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}. \quad (2)$$

Розрахунковий ексцентриситет визначаємо за формулою

$$e = (e_0 + e_a)\eta + 0,5(h_0 - a_0). \quad (3)$$

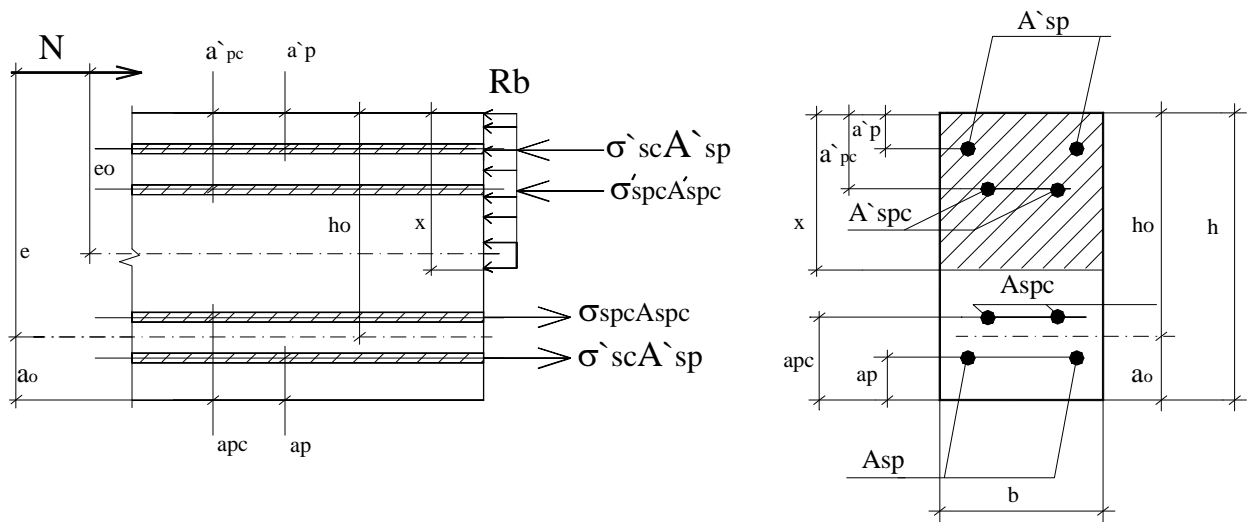
Умовна критична сила згідно з нормами визначається із умови

$$N_{cr} = \frac{E_b \cdot I}{l_0^2} \delta, \quad (4)$$

де  $\delta$  враховує непружні деформації під час роботи залізобетонних конструкцій на стиск:

$$\delta = 8 \left[ \left( \frac{0,11}{0,1 + \frac{\delta_e}{\varphi_p}} + 0,1 \right) + \alpha \frac{I_s}{I} \right]; \quad (5)$$

$$\delta_e = \frac{e_0}{h} \geq \delta_{e, \min}. \quad (6)$$



Розрахункова схема позакентрово стиснутого елемента

Аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що на величину  $\delta_{e, \min}$  має певний вплив процент армування конструкцій, тому згідно з рекомендаціями [2]

$$\delta_{e, \min} = 0,5 - 0,01 \frac{h_0}{h} - 0,01 R_b + 10 \mu. \quad (7)$$

У зв'язку з розподіленням розташуванням арматури в перерізі колони розрахунок міцності виконується за уточненою методикою СНиП 2.03.01-84 (загальний випадок).

Відносна висота стиснутої ділянки перерізу визначається за формулою

$$\xi_k = \frac{w}{1 + \frac{\sigma_{SR}}{\sigma_{sc,u}} \left(1 - \frac{w}{1,1}\right)} \quad (8)$$

У формулі (8) приймається найбільше значення  $\sigma_{SR}$  і  $\sigma_{sc,u}$ , тобто для високоміцної арматури

$$\sigma_{sR} = R_{spc}^1 + 400; \quad (9)$$

$$\sigma_{sc,u} = 400 \text{ при } \gamma_{a2}=1 \dots 1,1; \quad (10)$$

$$\sigma_{sc,u} = 500 \text{ при } \gamma_{b2}=0,9. \quad (11)$$

При визначенні  $\xi_{el}$ :

$$\sigma_{sR} = \beta R_{spc}. \quad (12)$$

$\beta=0,8$  – згідно з СНиП 2.03.01-84

Висоту стиснутої ділянки перерізу і напруження в  $i$ -му стрижні поздовжньої арматури  $\sigma_{si}$  визначаємо із сумісного розв'язування рівнянь:

$$R_b A_b = \Sigma(\sigma_{spci} A_{spci} + \sigma_{spi} A_{spi}); \quad (13)$$

за  $\xi_i \leq \xi_{Ri}$ ;

$$\sigma_{si} = R_s \left[ \eta - (\eta - 1) \left( 2 \frac{\xi_i}{\xi_{Ri}} - 1 \right) \right] \leq \eta R_s; \quad (14)$$

за  $\xi_{el,i} \geq \xi_i > \xi_{Ri}$ ;

$$\sigma_{si} = \left[ \beta + (1 - \beta) \left( \frac{\xi_{el} - \xi_i}{\xi_{el} - \xi_{Ri}} \right) \right] R_{si}; \quad (15)$$

за  $\xi_i > \xi_{el,i}$ ;

$$\sigma_{si} = \frac{\sigma_{sc,u}}{1 - \frac{\varpi}{1,1}} \left( \frac{\varpi}{\xi_i} - 1 \right) + \sigma_{spi}. \quad (16)$$

Для попередньо стиснутої арматури класу Ат-V  $\sigma_{spi}=0$ , а для попередньо розтягнутої арматури  $\sigma_{spi}$  дорівнює напруженням попереднього натягу.

У цих формулах:

$A_b$  – площа стиснутої ділянки бетону;

$A_{spi}$  – площа перерізу  $i$ -го стрижня поздовжньої попередньо розтягнутої арматури;

$A_{spci}$  – площа перерізу  $i$ -го стрижня поздовжньої попередньо стиснутої арматури;

$\sigma_{spi}$  – напруження в  $i$ -му стрижні поздовжньої арматури  $A_{spi}$ ;

$\sigma_{spci}$  – напруження в  $i$ -му стрижні поздовжньої арматури  $A_{spci}$ ;

$\xi_i$  – відносна висота стиснутої ділянки, яка дорівнює  $\xi_i = X/h_{oi}$ ,

де  $h_{oi}$  – віддаль від осі, яка проходить через центр ваги перерізу  $i$ -го стрижня арматури, і прямої, що проведена через найбільш віддалену точку стиснутої ділянки перерізу паралельно до нейтральної осі;

$\xi_{Ri}$ ,  $\xi_{el,i}$  – відносна висота стиснутої ділянки, яка відповідає напруженням в  $i$ -му стрижні, відповідно рівним  $R_{si}$  і  $\beta R_{si}$ , значення  $\xi_{Ri}$  визначають за формулою (8), значення  $\xi_{el,i}$  – також за формулою (8), приймаючи  $\sigma_{SR} = \beta R_{sR}$ .

За допомогою вищезапропонованої методики розрахунку міцності колон, армованих попередньо обтиснутою арматурою із високоміцних сталей, виконані розрахунки експериментально випробуваних зразків. Результати теоретичних обчислень та експериментальних досліджень наведено в таблиці.

### Результати досліджень залізобетонних колон

Шифр колон	Довжина, $l$ мм	Ексцентриситет, мм, $e$ ,	Гнучкість $\lambda_{ch}$	Рівень натягу арматури $\sigma_{сп}$ , МПа	Рівень стиску арматури, $\sigma_{сп}$ , МПа	Зусилля натягу (обтіку) арматури, $N$ , кН	Поява тріщини $N_{ггс}$ , кН	Несуча здатність дослідних колон, кН	
								експериментальна, $N_e$	теоретична, $N_T$
КСН <sub>e1</sub> -4а	800	35	4	252	310	316	1300	1300	1259
КСН <sub>e1</sub> -4б	800	35	4	257	317	323	1100	1200	1259
КСН <sub>e2</sub> -4а	800	70	4	262	323	329	500	850	854
КСН <sub>e2</sub> -4б	800	70	4	273	336	342	700	800	854
КСН2-2б	2000	35	10	257	317	323	1200	1400	1340

Порівняння експериментальних та отриманих за рекомендованою методикою величин здатності показує, що відхилення для центрально навантажених елементів з кутниковою зовнішньою арматурою становить у разі попередньо напружених зразків 12 %, а для ненапружених – 2 %. Більш близький збіг величин несучої здатності одержано під час аналізу експериментальних і теоретичних даних для аналогічних зразків колон тільки із стрижневою арматурою, а саме – для попередньо напружених відхилення дорівнюють 5 %, для звичайних – 0,2 %. У зразках з відсутністю зчеплення високоміцної арматури з бетоном відхилення для частково напружених елементів становили близько до 10 %, а для ненапружених змінювалися в межах від 7,5 до 13 %. Для випадку позацентрово навантажених елементів за початкового ексцентриситету  $e_0=35$  мм експериментальні величини відрізнялися від теоретичних значень в межах від +4 до –5 %, а для зразків з початковим ексцентриситетом  $e_0=70$  мм – від 0 до 6 %. В позацентрово навантаженому елементі з  $e_0=35$  мм і завдовжки 2000 мм ці величини відрізнялися на 5 %. Деяко більше відхилення одержано за результатами випробування зразків колон завдовжки 2000 мм за центрального їх навантаження, експериментальна величина несучої здатності більша від теоретичної на 17 %. В цей самий час випробування зразків завдовжки 3000 мм за центрального навантаження дали значно кращі результати. Відхилення величин їх реальної несучої здатності від теоретичних були в межах від –4 до +10 %.

Вищенаведений аналіз теоретичних і експериментальних даних вказує на те, що запропонована методика розрахунку колон з попередньо обтиснутою високоміцною арматурою достатньою мірою враховує конструктивні особливості цих конструкцій і може бути використана під час проектування, для оцінки їх несучої здатності.

**Висновки.** Рекомендації з розрахунку міцності залізобетонних колон з попередньо обтиснутою високоміцною арматурою розроблені на основі наближеної методики СНіП 2.03.01-84 для стиснутих елементів з врахуванням їх конструктивних особливостей, а саме:

- величина напружень у високоміцній арматурі на кінцевій стадії роботи напруження елемента визначається з врахуванням напруження попереднього її обтіску, а також втрат попереднього обтіску напруження як на стадії виготовлення, так і під час експлуатації. При цьому враховується специфічний вплив втрат для випадку попереднього обтіску арматури;

- гранична величина напружень в попередньо розтягнутій арматурі із низьких класів визначається з врахуванням напруження попереднього її розтягу і всіх втрат напружень, що виникають в процесі виготовлення і експлуатації елементів, а також беруть до уваги граничну величину деформації бетону елемента на стиск;

– гнучкість елемента за умовних ексцентриситетів і  $\lambda_n \leq 20h$  рекомендується враховувати коефіцієнтом збільшення напружень “ $\varphi$ ” за рекомендацією норм;

– для випадку позацентрово стиснутих елементів використовують положення СНІП 2.03.01-84, рекомендовані для загального випадку розрахунку нормальних перерізів. При цьому напруження у високоміцній арматурі під час визначення висоти стиснутої ділянки перерізу приймаються без врахування напружень від попереднього її обтиску, тобто  $\sigma_{spi}=0$ ;

– величина коефіцієнта  $\delta$ , який враховує непружні деформації під час роботи залізобетонних конструкцій, визначається з врахуванням відсотка армування колон.

1. Ониськів Б.М., Холод П.Ф. Залізобетонні колони для каркасних багатопверхових будинків // *Перша Всеукраїнська науково-технічна конференція: Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону: Збірник тез.* – К., 1996. – С.330–333. 2. Чубаров В.Е., Маілян Д.Р. Сопротивление гибких железобетонных колонн с эффективным преднапряжением арматуры кратковременным однократным и многократным повторным нагрузкам // *Проблемы интенсификации и повышения культуры производства.* – Ростов-на-Дону, 1987. – С.203–205. 3. Чистяков Е.А., Мулин Н.М., Тарасов А.А. Колонны, армированные высокопрокатной сталью. – В кн.: *Совершенствование конструктивных форм, методов расчета и проектирования железобетонных конструкций, НИИЖБ/* – М., 1983/ – С.102–107. 4. Ониськів Б.М., Холод П.Ф. Методика розрахунку коротких стиснутих залізобетонних елементів, армованих високоміцною арматурою // *Вісник ЛПІ “Резерви прогресу в архітектурі та будівництві”.* – Львів: Світ, 1994. – № 278. – С.77–82. 5. Ониськів Б.М., Холод П.Ф. Залізобетонні колони для каркасних багатопверхових будинків: *Перша Всеукраїнська науково-технічна конференція // Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону: Збірник тез.* – К., 1996. – С.330–333. 6. Маілян Д.Р. Расчет преднапряженных гибких железобетонных колонн по деформированной схеме // *Вопросы прочности, деформативности и трещиностойкости железобетона.* – Ростов-на-Дону, 1980. – Вып. 8. – С.95–104. 7. Маілян Д.Р., Медінський В.Л., Азізов А.Г. Повышение эффективности использования высокопрочной стержневой арматуры в сжатых железобетонных элементах // *Новые виды арматуры и ее сварка.* – М., 1982. – С. 279–282.