

УДК 623.014.36

**ВПЛИВ СПОСОБІВ ПЕРЕДАЧІ НАВАНТАЖЕННЯ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ
СТАЛЕБЕТОННИХ КОЛОН**

Канд. техн. наук Ю.В. Глазунов

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПЕРЕДАЧИ НАГРУЗКИ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ
СТАЛЕБЕТОННЫХ КОЛОНН**

Канд. техн. наук Ю.В. Глазунов

**INFLUENCE OF THE PROCESS OF OUTER APPLICATION ON THE RISE STRONG STEEL-
CONCRETE COLUMNS**

Cand. of techn. sciences Y. Glazunov

Розроблено способи розрахунку сталобетонних колон на центральний тиск при передачі поздовжнього навантаження на бетон, на сталь; одержано експериментальні дані про вплив способів передачі поздовжнього навантаження на характер деформування та руйнування сталобетонних колон, а також вплив сил зчеплення між бетоном і сталлю на несучу здатність сталобетонних колон.

Ключові слова: сталобетон, зовнішнє армування, тензодатчики, бетонне ядро, сталеві оболонки, сталобетонний елемент.

Разработаны способы расчета сталобетонных колонн на центральное сжатие при передаче продольной нагрузки на бетон, на сталь; получены экспериментальные данные о влиянии способов передачи продольной нагрузки на характер деформирования и разрушения сталобетонных колонн; выполнены исследования о влиянии сил сцепления между бетоном и сталью на несущую способность сталобетонных колонн.

Ключевые слова: сталобетон, внешнее армирование, тензодатчики, бетонное ядро, стальная оболочка, сталобетонный элемент.

A method of strength calculation of rectangular section of steel-concrete columns depending on the process of longitudinal loading has been developed. Theoretical and experimental data have been compared. Cite experiment and theoretical investigation steel concrete constructions depending on the process of longitudinal loading has been developed and method their calculation. There was executed the experimental and theoretical researches of the steel-concrete elements, working by center compression.

Keywords: steel-concrete, method their calculation, rectangular section, process of longitudinal loading, have been compared.

Вступ. Основні напрямки прогресу в будівництві належним чином пов'язані з застосуванням ефективних конструкцій. До таких конструкцій належать конструкції з зовнішнім армуванням, зокрема колони, складені з прямокутної обойми, заповненої бетоном.

Економічність конструкцій із зовнішнім армуванням, порівняно з традиційними залізобетонними, забезпечується за рахунок більш раціонального використання матеріалів. Бетон, замкнений в обойму, має збільшену міцність за рахунок бокового стискування;

сталеві обойми значно захищені від втрати місцевої та загальної стійкості.

Концентроване розташування листової арматури на зовнішніх гранях сталобетонних конструкцій дозволяє знизити їх масу, зменшити розміри перерізу порівняно з залізобетонними конструкціями та одержати економію сталі при однаковій висоті.

Постановка проблеми у загальному вигляді, її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Конструкції з зовнішнім армуванням належать до найбільш ефективних і економічних конструкцій. Вони

одержали розповсюдження в різних галузях будівництва в нашій країні та за кордоном.

Бетон в сполученні зі сталлююю арматурою виявляється основним матеріалом для житлово-громадянського, промислового, енергетичного, транспортного та сільськогосподарського будівництва.

Широке застосування сталебетонних колон стримується через недостатню розробленість способів розрахунку, які повинні відображувати особливості зовнішнього поздовжнього навантаження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [1-3] зазначено важливість впровадження конструкцій із зовнішнім армуванням як найбільш економічних конструкцій порівняно з традиційними залізобетонними. Економічність таких конструкцій забезпечується за рахунок більш раціонального використання матеріалів.

У науковій праці [1] зазначено, що армування бетону зовнішньою оболонкою сприяє підвищенню міцності такого конструктивного елемента, як сталебетон. Досягаються найкращі показники щодо роботи бетону при навантаженні, у результаті чого зменшуються усадочні деформації і підвищується опір бетону дії агресивного середовища.

У роботі [2] надано дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів, які знаходяться у складі сталебетонних конструкцій. Показано вплив матеріалів на несучу здатність і деформації сталебетонних елементів. Визначено геометричні характеристики поперечного перерізу конструкції зі сталебетону. Показано теоретичні рішення для оцінки напружено-деформованого стану згинальних стержнів з урахуванням об'ємного напруженого стану бетонного ядра [8-9].

У роботах [3-5] розроблено методика розрахунку сталебетонних елементів прямокутного поперечного перерізу на міцність при осьовому стиску. Показано взаємодію сталююю оболонки і бетонного ядра, яке працює в умовах об'ємного напруженого стану зі змінними параметрами деформування. Наведено чисельні розрахунки напружено-деформованого і граничного стану перерізу сталебетонної конструкції.

Мета дослідження. Завданням приведених у роботі досліджень є визначення

впливу способів передачі зовнішнього поздовжнього навантаження на несучу здатність сталебетонних коротких колон прямокутного перерізу.

Основні завдання дослідження:

- розроблення способу розрахунку сталебетонних колон на центральний стиск при передачі поздовжнього навантаження на кожний конструктивний елемент окремо;
- визначення наявності сил зчеплення між бетоном і сталлююю та їх вплив на несучу здатність сталебетонних колон;
- перевірка міцності сталебетонних балочних конструкцій при роботі на згин, з визначенням сил зсуву по площині з'єднання листової арматури і бетону по довжині балки;
- одержання експериментальних даних про вплив способів передачі поздовжнього навантаження на характер деформування та руйнування сталебетонних колон.

Основна частина дослідження. У наведеному дослідженні виконано таке:

- розроблено способи розрахунку сталебетонних колон на центральний стиск при передачі поздовжнього навантаження на кожний конструктивний елемент окремо;
- визначено наявність сил зчеплення між бетоном і сталлююю та їх вплив на несучу здатність сталебетонних колон;
- перевірено міцність сталебетонних балочних конструкцій при роботі на згин з визначенням сил зсуву по площині з'єднання листової арматури і бетону по довжині балки;
- одержано експериментальні дані про вплив способів передачі поздовжнього навантаження на характер деформування та руйнування сталебетонних колон.

Експериментальні дослідження сталебетонних зразків проведено на осьовий стиск при передачі поздовжнього навантаження на бетон і сталь одночасно; на сталлююю об'єму в зразку, заповненому бетоном; на сталлююю об'єму в зразку без бетонного ядра.

Розглянемо дослідження напруженого стану сталебетонних колон при різних способах передачі поздовжнього навантаження. При підготовці висновку теоретичних залежностей для визначення несучої здатності сталебетонних конструкцій передбачається таке:

- колона під навантаженням залишається прямою – не зазнає поздовжнього вигину;

• бетонне ядро і оболонка зв'язані між собою силами зчеплення в дискретних точках по довжині і перерізу (рис. 1);

• розподіл поздовжніх контактних зусиль по периметру перерізу приймається рівномірним.

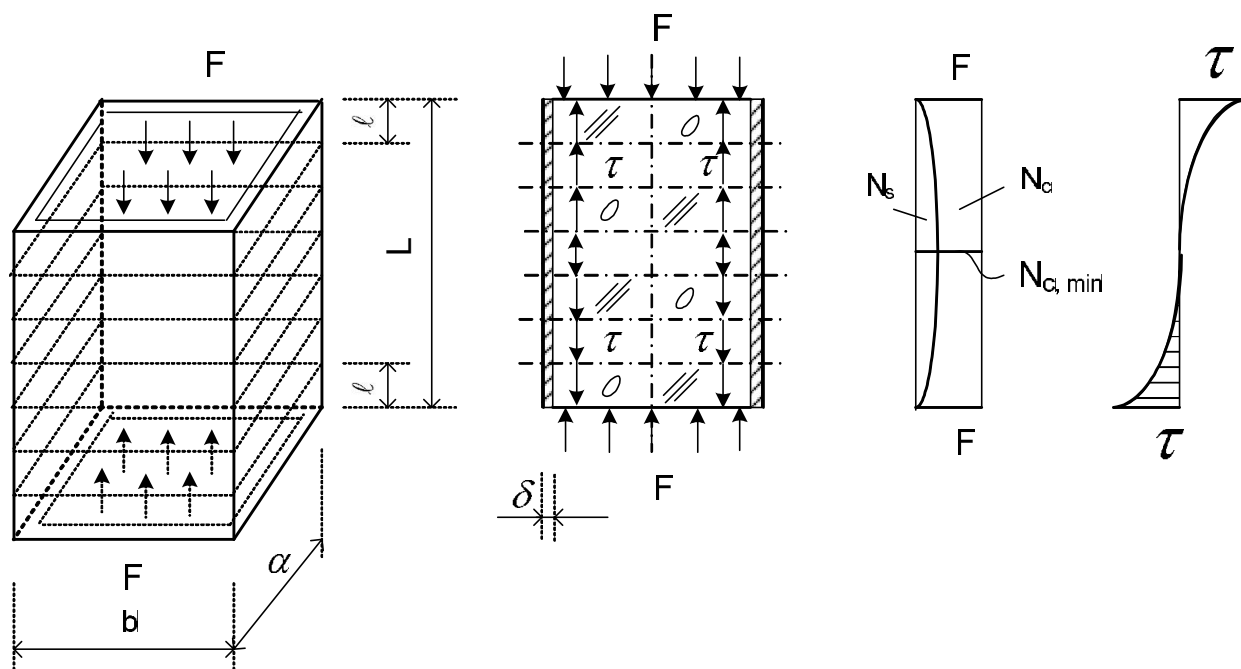


Рис. 1. Навантаження на бетон

Запишемо умови рівноваги:

$$N_s + N_c = N_{Ed} \quad (1)$$

де N_s – розрахунковий опір сталевій оболонці за нормального зусилля;
 N_c – розрахункове нормальне зусилля стиску в бетонному ядрі;
 N_{Ed} – розрахункове значення зовнішньої прикладеної осьової сили.

Умова сумісності деформацій:

$$\Delta L_c = \Delta L_s,$$

$$\frac{N_s L}{E_s A_s} = \frac{N_c L}{E_c A_c} \quad (2)$$

де E_s – розрахункове значення модуля пружності сталевій оболонці;

E_c – модуль пружності бетону;

A_s – площа поперечного перерізу сталевій оболонці;

A_c – площа поперечного перерізу бетону.

Площа перерізу оболонки:

$$A_s = 2bh + 2(b - 2h)h = 4h(b - 2h) \quad (3)$$

Площа перерізу бетону:

$$A_c = (b - 2h)^2 \quad (4)$$

Сили зчеплення, які припадають на кожен елементарну ділянку ℓ , визначаються як

$$\frac{b'_s - b'_c}{2} = \frac{\nu_s N_s}{E_s} \cdot \frac{1}{4h} - \frac{\nu_c N_c}{E_c} \cdot \frac{1}{b - 2h} = \frac{\nu_s N_s}{E_s} \cdot \frac{1}{8h} - \frac{\nu_c N_c}{E_c} \cdot \frac{1}{2(b - 2h)} \quad (5)$$

Чисельна реалізація виконана на ПЕОМ. На рис. 1 показано епюри розподілу зусиль в обоймі N_s , бетонному ядрі N_c , а також епюри дотичних зусиль τ по довжині колони.

Для визначення несучої здатності колони при передачі навантаження на бетон знаходимо

спочатку несучу здатність ядра в середньому перерізі колони $N_{c, \min}$ (рис. 1). Розрахункову схему обойми і ядра зобразимо у вигляді контактуючих між собою елементів (рис. 2).

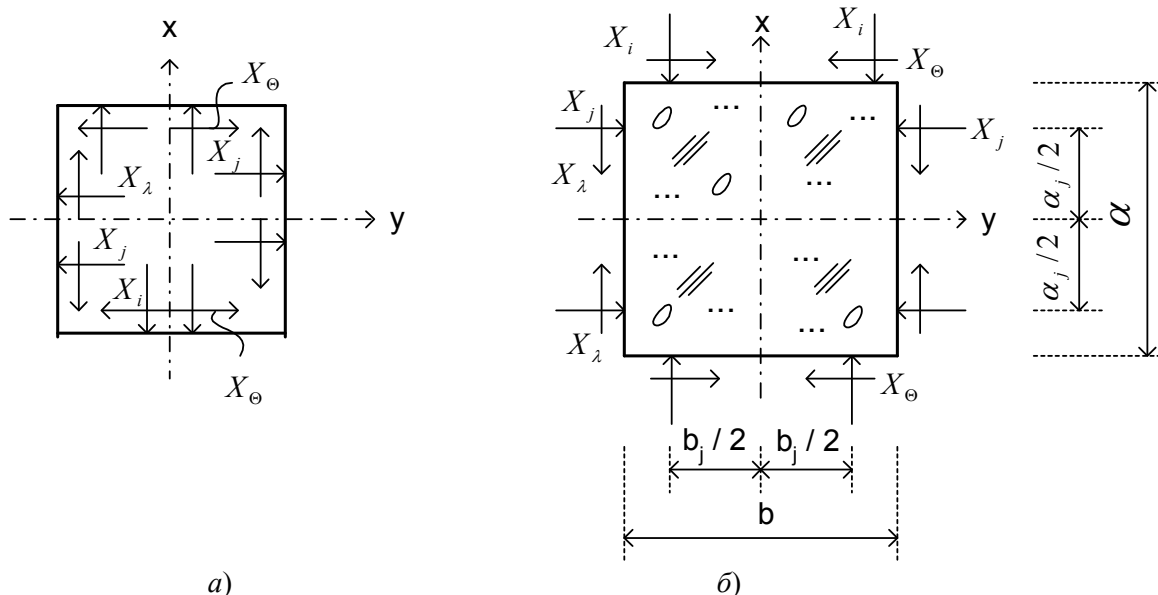


Рис. 2. Розрахункові схеми обойми (а) і ядра (б)

Сили взаємодії між ядром і обоймою знайдемо з умови рівності переміщень на границі контакту:

$$A\vec{X} = -\vec{H}, \quad (6)$$

де $(\delta_{ki} - \delta_{ki}^*)$, $(\delta_{kj} - \delta_{kj}^*)$, $(\delta_{k\Theta} - \delta_{k\Theta}^*)$, $(\delta_{k\lambda} - \delta_{k\lambda}^*)$ – елементи матриці A , які являють собою різницю поперечних переміщень точки k обойми і ядра від одиничних сил i, j, Θ, λ -станів;

елементи $(\Delta_{kF} - \Delta_{kF}^*)$ матриці-стовпця H – відповідно різниця поперечних переміщень від зовнішніх поздовжніх зусиль.

Для визначення поперечних переміщень у бетонному ядрі, які викликані силами $X_i, X_j, X_\Theta, X_\lambda$ -станів, розв'язується в рівничній формі диференціальне рівняння плоскої задачі:

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[\frac{1-\nu_c^2}{E_{cm}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \frac{\nu_c(1+\nu_c)}{E_{cm}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right] + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left[\frac{1-\nu_c^2}{E_{cm}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} - \frac{\nu_c(1+\nu_c)}{E_{cm}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right] + \frac{\partial^2}{\partial z \partial y} \left[\frac{2(1-\nu_c)}{E_{cm}} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z \partial y} \right] = 0 \quad (7)$$

де ν_c , E_{cm} – змінні параметри деформування.

Це рівняння в прилеглих до контуру точках складається через односторонні різниці. Для визначення функції φ на контурі використовуємо рамкову аналогію.

$$v = \Delta_{кр}^{*y} = F \int_0^{b/2} \frac{\nu_c}{E_{cm}} \partial y; \quad u = \Delta_{кр}^{*x} F \int_0^{a/2} \frac{\nu_c}{E_{cm}} \partial x.$$

Чисельна реалізація запропонованого розв'язання здійснюється на ПЕОМ при поступовому завантаженні [10]. Лінеаризацію нелінійної сторони задачі здійснюємо в процесі послідовних наближень, змінними параметрами яких є січний модуль пружності бетону E_{cm} і коефіцієнт поперечних деформацій ν_c . Вказані параметри одержуємо приведенням стиснутого і розтягнутого бетону до умовно ізотропного миттєво-пружного суцільного середовища.

Сталебетонні зразки були випробувані при передачі поздовжнього навантаження на бетон і сталь одночасно за наявності і відсутності сил зчеплення; на бетон; на стальну обойму у зразку, який заповнений бетоном; на одному торці на бетон, на другому – на сталь; на стальну обойму у зразку без бетонного ядра.

У процесі випробувань замірялися поздовжні і поперечні деформації сталеві обійми. Для цього по всьому периметру середнього перерізу у поздовжньому і поперечному напрямках наклеювалися тензодатчики.

Результати випробувань сталених обійм у зразках без бетонного ядра показують, що розрахунки критичних напружень і границі несучої здатності надають надмірну порівняно з експериментальними результатами відносно помилку, яка не перевищує 15 %.

У результаті проведених експериментальних досліджень у зразках були визначені граничні навантаження, при яких бетонні призми утримувались у металевих оболонках контактними силами зчеплення між сталлю і бетоном.

Висновки з дослідження й перспективи подальшого розвитку в даному напрямку. На основі проведеного аналізу теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити висновок, що застосування сталобетону є ефективним у конструкціях, працюючих на

Поперечні переміщення в ядрі від поздовжніх зусиль F знайдено в результаті приблизного розв'язання просторової задачі теорії пружності для призматичного тіла одиничної довжини зі змінними параметрами деформування:

осьовий стиск, а також в елементах, які підлягають згину і позацентровому стиску. При цьому порівняно зі залізобетонними сталобетонні конструкції мають підвищену несучу здатність, жорсткість, тріщиностійкість, а порівняно з металевими – меншу металомісткість [1-5].

У сталобетонних колонах наявність обійми, яка здійснює опір переміщенню бетону в поперечному напрямку, призводить до збільшення міцності бетону, а наявність заповнювача у внутрішній частині оболонки збільшує її стійкість. Бетон і сталь у такому сполученні створюють найбільш сприятливі умови для спільної роботи [6-7].

У наведеному дослідженні розроблено і експериментально перевірено методику розрахунку сталобетонних колон на центральний стиск при передачі навантаження “на бетон”; “на оболонку”.

При передачі поздовжнього навантаження на бетон несуча здатність сталобетонних колон складає в середньому 0,8 несучої здатності при передачі навантаження одночасно на бетон і оболонку.

Несуча здатність при передачі навантаження на обійму складає в середньому 0,46 несучої здатності при завантаженні бетону і обійми одночасно.

Результати випробувань сталобетонних колон, у яких відсутнє зчеплення між бетоном і сталлю обіймою, показують, що сили зчеплення не виявляють істотного впливу на їх несучу здатність.

Використання в будівництві сталобетонних колон прямокутного перерізу, в основу конструкції яких покладено розроблені способи розрахунків, дозволяє при більших навантаженнях та обмежених розмірах поперечних перерізів знизити витрату сталі на 28-35 % порівняно з залізобетонними колонами.

Список використаних джерел

1. Грушко, И.М. Повышение прочности и выносливости бетона [Текст] / И.М. Грушко, А.Г. Ильин, Э.Д. Чихладзе. – Харьков: Изд-во при Харьковском гос. университете, 1986. – 150 с.
2. Стороженко, Л.І. Сталезалізобетонні конструкції [Текст] / Л.І. Стороженко, О.В. Семко. – Полтава, 2001. – 55 с.
3. Чихладзе, Э.Д. Расчет сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при осевом сжатии [Текст] / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Бетон и железобетон. – 1993. – № 1. – С. 13-15.
4. Лопатто, А.Э. О свойствах бетона, твердеющего в замкнутой обойме, и жесткости трубобетонных элементов [Текст] / А.Э. Лопатто // Строительные конструкции. – К., 1973. – С. 232.
5. Глазунов, Ю.В. Вплив способів передачі поздовжнього навантаження на несучу здатність сталебетонних коротких колон прямокутного перерізу [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Ю.В. Глазунов. – Харків, 1997. – 22 с.
6. Johnson, R.P. Composite structures of steel and concrete – beams, slabs, columns and frames for buildings [Текст] / R.P. Johnson // Blackwell Publishing: Wiley-Blackwell, 2004. - 248 p.
7. Architectural Institute of Japan (AIJ). Recommendations for design and construction of concrete filled steel tubular structures. Tokyo, 1997. 333 p.
8. Городецкий, А.С. Учет нелинейной работы железобетонных конструкций в практических расчетах [Текст] / А.С. Городецкий, М.С. Барабаш // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА, 2014. – Вып. 77. – С. 54-59.
9. Карпенко, Н.И. Развитие методов проектирования строительных конструкций, зданий и сооружений [Текст] / Н.И. Карпенко, В.И. Травуш // Сб. ст. Международ. науч.-техн. конф. «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». – Пенза, 2002. – С. 5-8.
10. Барабаш, М.С. Методи комп'ютерного моделювання для розрахунку сталезалізобетонних плит перекриття [Текст] / М.С. Барабаш, О.І. Лапенко // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування будівництво). – Полтава: ПолНТУ, 2012. – С. 12-17.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.А. Плуґін

Глазунов Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики та гідравліки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-70.
E-mail: budmekh@ukr.net.

Glazunov Yuriy Vladimirovich, candidate technical science, docent chair builds mechanic and hydraulic Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-70. E-mail: budmekh@ukr.net.

Стаття прийнята 25.09.2015 р.