

УДК 623.014.36

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.157.2015.61647>

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 сталебетонних 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 сталебетонних колон, а також вплив сил зчеплення між бетоном і сталлю на несучу здатність сталебетонних колон.

Ключові слова: *сталебетон, зовнішнє армування, тензодатчики, бетонне ядро, стальна оболонка, сталебетонний елемент.*

Разработаны способы расчета сталебетонных 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 сталебетонных колонн; выполнены исследования о влиянии сил сцепления между бетоном и сталью на несущую способность сталебетонных колонн.

Ключевые слова: *сталебетон, внешнее армирование, тензодатчики, бетонное ядро, стальная оболочка, сталебетонный 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 обійми, заповненої бетоном.

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

стальна обійма значно захищена від втрати місцевої та загальної стійкості.

Концентроване розташування листової арматури на зовнішніх гранях сталебетонних 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 сталевобетонних 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 сталевобетон. 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 сталевобетонних конструкцій. Показано вплив матеріалів на несучу здатність і деформації сталевобетонних елементів. Визначено геометричні характеристики поперечного перерізу конструкції зі сталевобетону. 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 методику розрахунку сталевобетонних елементів прямокутного поперечного перерізу на міцність при осьовому стиску. Показано взаємодію сталюї 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 сталевобетонної конструкції.

Мета дослідження. Завданням приведених у роботі досліджень є визначення

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

Основні завдання дослідження:

- розроблення способу розрахунку сталевобетонних 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 сталевобетонних колон;
- перевірка міцності сталевобетонних 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 сталевобетонних колон.

Основна частина дослідження. У наведеному дослідженні виконано таке:

- розроблено способи розрахунку сталевобетонних 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 сталевобетонних колон;
- перевірено міцність сталевобетонних 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 сталевобетонних колон.

Експериментальні дослідження сталевобетонних зразків проведено на осьовий стиск при передачі поздовжнього навантаження на бетон і сталь одночасно; на сталююю обійму в зразку, заповненому бетоном; на сталююю обійму в зразку без бетонного ядра.

Розглянемо дослідження напруженого стану сталевобетонних колон при різних способах передачі поздовжнього навантаження. При підготовці висновку теоретичних залежностей для визначення несучої здатності сталевобетонних 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.

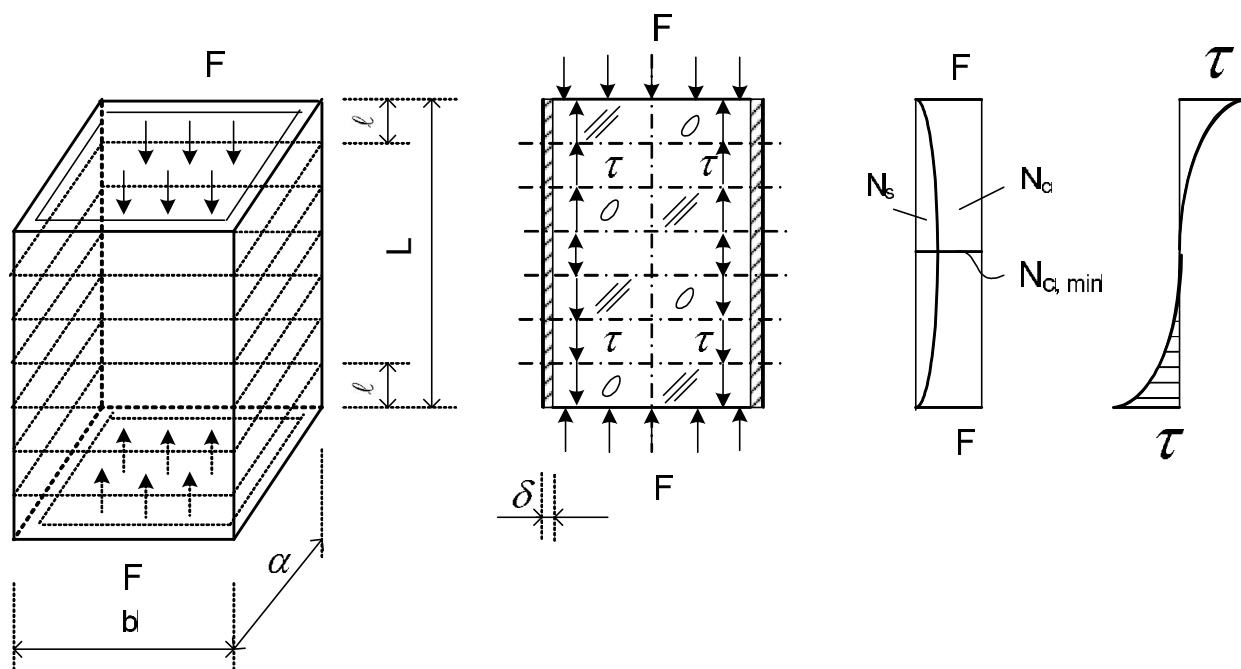


Рис. 1. Навантаження на бетон

Запишемо умови рівноваги:

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

де N_s – розрахунковий опір сталевій оболонки за нормального зусилля;

N_c – розрахункове нормальне зусилля стиску в бетонному ядрі;

N_{Ed} – розрахункове значення зовнішньої прикладеної осової сили.

Умова сумісності деформацій:

$$\Delta L_c = \Delta L_s, \quad (2)$$

$$\frac{N_s L}{E_s A_s} = \frac{N_c L}{E_c A_c},$$

де E_s – розрахункове значення модуля пружності сталевій оболонки;

E_c – модуль пружності бетону;

A_s – площа поперечного перерізу сталевій оболонки;

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

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

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).

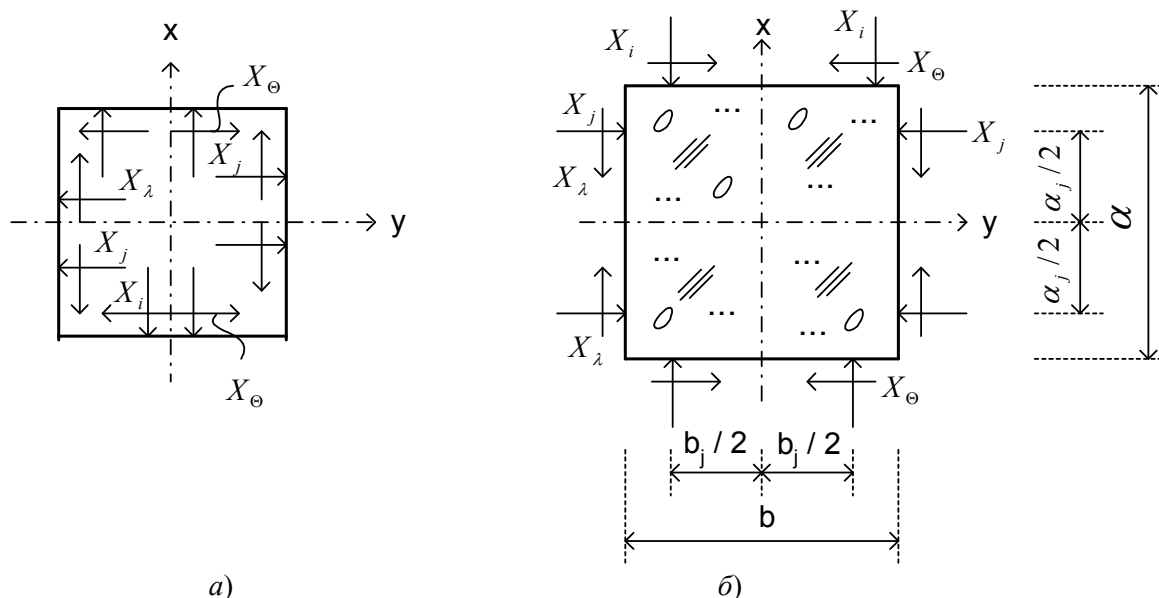


Рис. 2. Розрахункові схеми обойми (а) і ядра (б)

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_Θ , X_λ -станів, розв'язується в рівничній формі диференціальне рівняння плоскої задачі:

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

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.

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

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.

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

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

Результати випробувань сталених об'ємів у зразках без бетонного ядра показують, що розрахунки критичних напружень і границі несучої здатності надають надмірну порівняно з експериментальними результатами відносну 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 сталебетонних колонах наявність обойми, 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 сталебетонних 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 об'єму складає в середньому 0,46 несучої здатності при завантаженні бетону і об'єми одночасно.

Результати випробувань сталобетонних колон, у яких відсутнє зчеплення між бетоном і сталюю 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. Плугін

Глазунов Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики и гидравлики Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. 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.