

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ПЕТРОВ АНАТОЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 624.012:35:539.38

**НАПРУЖЕНО - ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БРУСКОВИХ КОЛОН ПРИ
ОСЬОВОМУ ТА ПОЗАЦЕНТРОВОМУ СТИСКАННІ**

Спеціальність 05.23.01 - будівельні конструкції,
будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівельної механіки та гідравліки Української державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Чихладзе Елгуджа Давидович,

завідувач кафедрою будівельної механіки та гідравліки

Української державної академії залізничного транспорту.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор

Єрмак Євген Михайлович,

професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та

споруд Української державної академії

залізничного транспорту;

- кандидат технічних наук, доцент

Кириленко Віталій Федорович,

доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій

Національної академії природоохоронного та курортного

будівництва.

Захист відбудеться **19 червня 2008 р.** о **13⁰⁰** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий « » _____ 2008р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
канд. техн. наук, доцент

Ватуля Г. Л.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. У наш час конструкції з бетону та залізобетону одержали широке поширення в промисловому та цивільному будівництві. Подальший їх розвиток має бути пов'язаний з пошуком нових конструктивних рішень, що забезпечують зниження працевитрат і ефективно використання матеріалів. Традиційні залізобетонні конструкції мають ряд істотних недоліків. Один з них - трудомісткість виготовлення. У збірних залізобетонних конструкціях досить гостро стоїть проблема стиків, що вимагають великої кількості закладних деталей. Недолік сталевих конструкцій - можлива втрата загальної та місцевої стійкості стислих елементів і низька вогнестійкість.

У розглянутих в дисертації сталобетонних конструкціях є можливим в значній мірі усунути ці недоліки, а в деяких випадках і зовсім їх уникнути. Бетон, укладений в обойму має підвищену міцність за рахунок трансформації одноосового напруженого стану в тривісний. Бетонне ядро, у свою чергу, перешкоджає втраті стійкості обійми. Брусківі колони мають практично ті ж самі переваги, що й колони із суцільною обіймою. У той же час вони вимагають меншої витрати металу, у порівнянні з останніми, при практично однаковій несучій здатності. Необхідно відзначити, що сталобетонні колони в цілому, а також брусківі зокрема, не мають масового застосування. Це можливо пояснити недостатньою розробленістю методів їхнього розрахунку й вузькою областю використання: великі навантаження та обмежені розміри перерізів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота була виконана здобувачем у рамках наукових тем: “Розробка способів посилення аварійних та передаварійних споруд та методів оцінки їх несучої здатності після посилення з урахуванням реальних властивостей матеріалів”, реєстраційний номер 0102U002542 (особистий внесок - чисельні дослідження); “Розробка теорії та методів розрахунку комбінованих конструкцій транспортних споруд” реєстраційний номер 0106U004122 (особистий внесок - одержання рішень НДС і чисельні дослідження брусківих колон при силових впливах).

Мета дослідження полягає в розробці методики розрахунку напружено-деформованого стану коротких і довгих брусківих колон при осьовому та позацентровому стисканні.

Завдання дослідження:

1. Провести огляд досліджень робіт вітчизняних і закордонних вчених, присвячених брусківим конструкціям.
2. Розробити математичний апарат для розрахунку брусківих колон при осьовому та позацентровому стисканні з урахуванням нелінійності деформування бетону, що працює в умовах об'ємного напруженого стану.
3. Розробити алгоритм і програму розрахунку брусківих колон на ПЕОМ, у тому числі, для довгих колон з урахуванням поздовжнього згинання.

4. Дослідити вплив величини кроку хомутів на несучу здатність брускової колони та розробити рекомендації із призначення раціонального кроку хомутів.

5. Провести експериментальні дослідження брускових колон, а також бетонних колон і сталевих каркасів при осьовому та позацентровому стисканні.

6. Виконати аналіз і порівняти отримані експериментальні й розрахункові дані.

7. Впровадити результати розрахунків у практику проектування та будівництва.

8. Провести порівняльний розрахунок брускової та залізобетонної колон і виконати економічний аналіз.

Об'єкт дослідження – брускові колони.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан брускових колон при дії статичного осьового та позацентрово прикладеного навантаження.

Методи дослідження – аналітичними методами отримано рівняння, що описує НДС брускової колони. Рішення рівняння здійснено чисельно, кроковим перебором деформованих станів з урахуванням нелінійного деформування бетону, що працює в умовах об'ємного напруженого стану. Експериментальними методами знайдено навантаження та прогини брускових і бетонних колон, а також сталевих просторових каркасів при осьовому та позацентровому стисканні.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Розроблено методика оцінки напружено-деформованого стану брускових колон при силових впливах з урахуванням об'ємного напруженого стану та тріщиноутворення в бетоні.

2. Отримано теоретичні та експериментальні дані про несучу здатність, деформації, напруження, внутрішні зусилля у брускових колонах при статичному прикладанні осьового та позацентрового поздовжнього навантаження.

3. Досліджено вплив величини кроку хомутів на несучу здатність брускової колони та розроблені рекомендації із призначення раціонального кроку хомутів.

4. Отримано нові дані про взаємний вплив просторового сталевих каркаса й бетонного ядра на несучу здатність брускових колон при осьовому та позацентровому стисканні.

5. Проведено чисельний аналіз впливу геометричних розмірів брускових колон на роботу бетонного ядра.

Практичне значення отриманих результатів. Використання брускових колон замість залізобетонних та сталевих, а також посилення названих конструкцій, дозволяє, при мінімальній витраті матеріалів збільшити несучу здатність. Це особливо важливо в об'єктах з обмеженими виробничими площами, зокрема в транспортному та енергетичному будівництві.

Впровадження здійснено у ВАТ “Харківметропроект” у вигляді алгоритму розрахунку на ПЕОМ.

Особистий внесок здобувача визначається аналізом літературних джерел, присвячених завданням оцінки несучої здатності брускових конструкцій; проведеними експериментальними дослідженнями; розробкою математичного апарата та алгоритму для розрахунку брускових колон при осьовому та позацентровому стисканні з урахуванням нелінійності деформування бетону в умовах об'ємного напруженого стану, у тому числі, при поздовжньому згинанні; дослідженням впливу величини кроку хомутів на несучу здатність брускової колони й розробці рекомендацій із призначення раціонального кроку хомутів; одержанням нових даних про взаємний вплив просторового сталевого каркаса і бетонного ядра на несучу здатність брускових колон при осьовому та позацентровому стисканні; чисельним аналізом впливу геометричних розмірів брускових колон на роботу бетонного ядра.

Апробація результатів дисертації. Результати теоретичних та експериментальних досліджень доповідалися на:

1. Науково-технічній конференції «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» (м. Рівне, 1999 р.).
2. Науково-технічній конференції «Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології» (м. Макіївка, 2001 р.).
3. Науково-технічній конференції «Математичні моделі процесів у будівництві» (м. Луганськ, 2004 р.).
4. Четвертій всеукраїнській науково-технічній конференції «Науково - технічні проблеми сучасного залізобетону» (м. Суми, 2005 р.).
5. Міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії й фахівців залізничного транспорту та підприємств (м. Харків, 2001 – 2007 р.).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 9 статей. З них 7 - у виданнях, рекомендованих ВАК України для результатів дисертаційних робіт, 1 стаття в інформаційному листку, 1 стаття у вигляді тез доповіді.

Обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатка та містить 127 сторінок машинописного тексту, у тому числі: 27 рисунків, 28 таблиць, 11 сторінок додатка. Список використаних джерел містить 115 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність, показано зв'язок роботи з державними науковими програмами, сформульовані мета і завдання досліджень, визначені об'єкт і предмет досліджень, описані методи рішення та наукова новизна, практичне значення результатів, впровадження, особистий внесок, апробація, публікації, а також дана загальна характеристика дисертації.

У **першому розділі** наведено огляд, присвячений теоретичному й експериментальному дослідженню роботи брускових конструкцій, а також

роботі бетону в умовах об'ємного напруженого стану. Описано особливості та основні підходи до визначення несучої здатності брускових колон.

Експериментальним і теоретичним дослідженням розглянутих конструкцій і пов'язаними з ними питаннями міцності та деформативності бетону та сталі присвячені роботи А.І. Абашидзе, Ю.Г. Аметова, О.М. Бамбури, О.Я. Берга, А.Н. Васильєва, Г.А. Гамбарова, А.А. Гвоздева, Г.А. Генієва, А.А. Долженка, В.І. Євдокімова, Є.М. Єрмака, В.Г. Жемчужникова, М.І. Карпенка, В.Ф. Кириленка, В.П. Кожушка, О.І. Козачевського, Н.А. Косолапова, Ю.О. Ландау, А.Ф. Миренкова, Г.А. Молодченка, Н.А. Переяславцева, В.А. Росновського, В.Н. Рудакова, Г.Ш. Салія, Р.С. Санжаровського, В.Ф. Сапожнікова, Л.І. Стороженка, В.А. Трулля, Е.Д. Чихладзе, О.Л. Шагіна, В.С. Шмуклера, О.В. Яшина та ін.

Наданий огляд показує, що в існуючих методиках розрахунку брускових колон на стискання не враховується анізотропія конструкції, робота хомутів при різних кроках, відношення сторін поперечного перерізу конструкції, різні схеми прикладання навантаження на колону, просторова робота бетонного ядра та особливості роботи бетону та каркасу.

У результаті огляду також відзначено, що техніко-економічні розрахунки, проведені по проектах головних будівель Шатурської, Ставропольської та Чигиринської ГРЕС показали, що в порівнянні з каркасами, виконаними з металу, застосування каркасів із брусків дозволяє зменшити витрати сталі для ГРЕС, потужністю 2400 тис. кВт на 5000 т, або на 28-40%. Однотипність армування і простота конструкції дозволяє механізувати та навіть автоматизувати процеси виготовлення брускових конструкцій. Із брусків можуть бути виготовлені та побудовані різні каркасні конструкції. Окремі бруски, використані як колони, можуть утворювати двохгілкову колону, розташовуючись паралельно. Бруски також можуть бути використані як стислі пояси ферм.

Другий розділ присвячено теорії розрахунку бетонних колон прямокутного перерізу із зовнішнім кутниковим армуванням на стискання при осьовому та позацентровому прикладанні навантаження, у тому числі, довгих колонах на поздовжнє згинання.

Розглянута в роботі конструкція (рис.1,а) являє собою бетонний брус квадратного або прямокутного перерізу, зовні армований по кутах сталевими кутниками, які жорстко з'єднані поперечними стержнями - хомутами. Брус закріплений по кінцях шарнірно, завантажений центрально прикладеними силами та рівними, у протилежні сторони спрямованими згинальними моментами (рис. 1,б). Зовнішнє навантаження передається на бетон і сталь одночасно.

Виділимо з розглянутої колони об'ємний сталобетонний елемент із розмірами поперечного перерізу a та b , висотою, рівною відстані між двома сусідніми хомутами s . Розглянемо роботу виділеного сталобетонного елемента при двох випадках прикладання навантаження – у центрі ваги перерізу та позацентрово. За невідомі приймемо сили контактної взаємодії між бетонним ядром і кутниками обойми X_1, X_2, \dots, X_n .

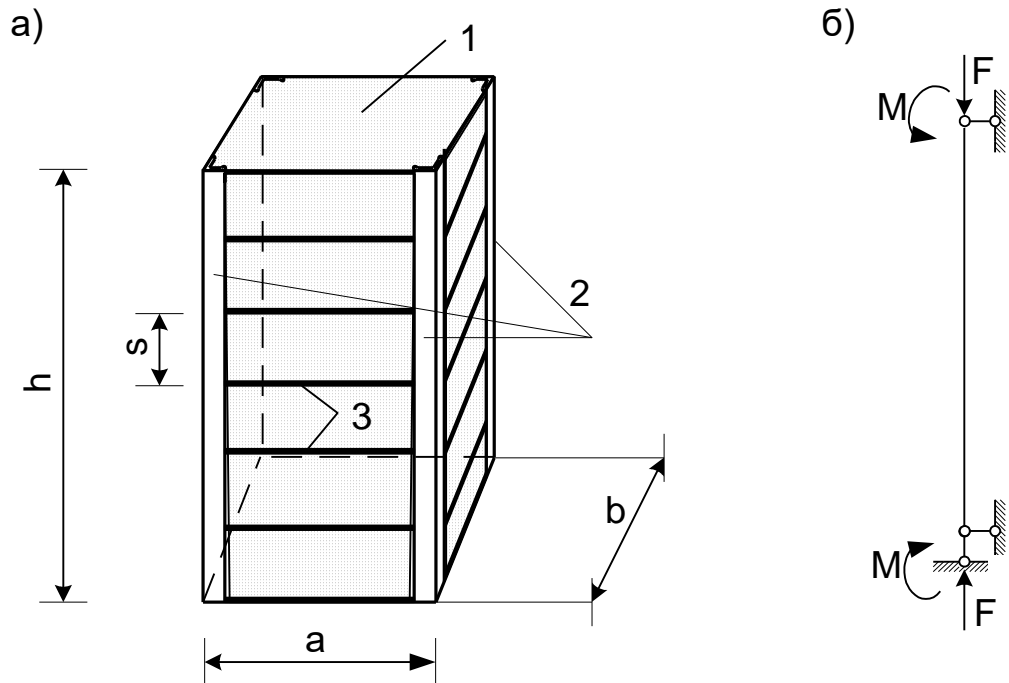


Рис. 1. Схема конструкції бруска та розрахункова схема:
 а) схема конструкції бруска: 1 - бетонне ядро; 2 - кутники; 3 - хомути;
 б) розрахункова схема

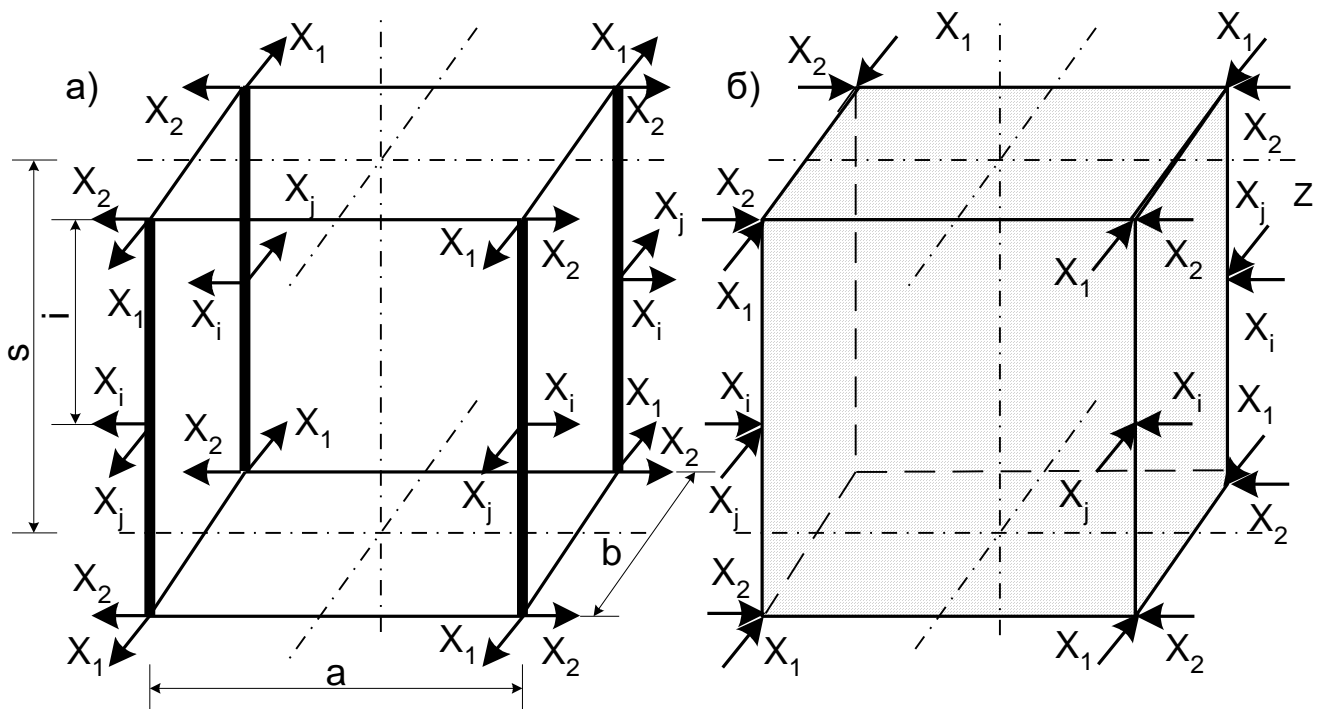


Рис. 2. Розрахункові схеми обойми (а) і ядра (б) при осьовому стисканні

Розкриємо статичну невизначеність розглянутої конструкції методом сил. Розрахункові схеми обойми і ядра показані на рис. 2 при осьовому та рис. 3 при позacentровому стисканні

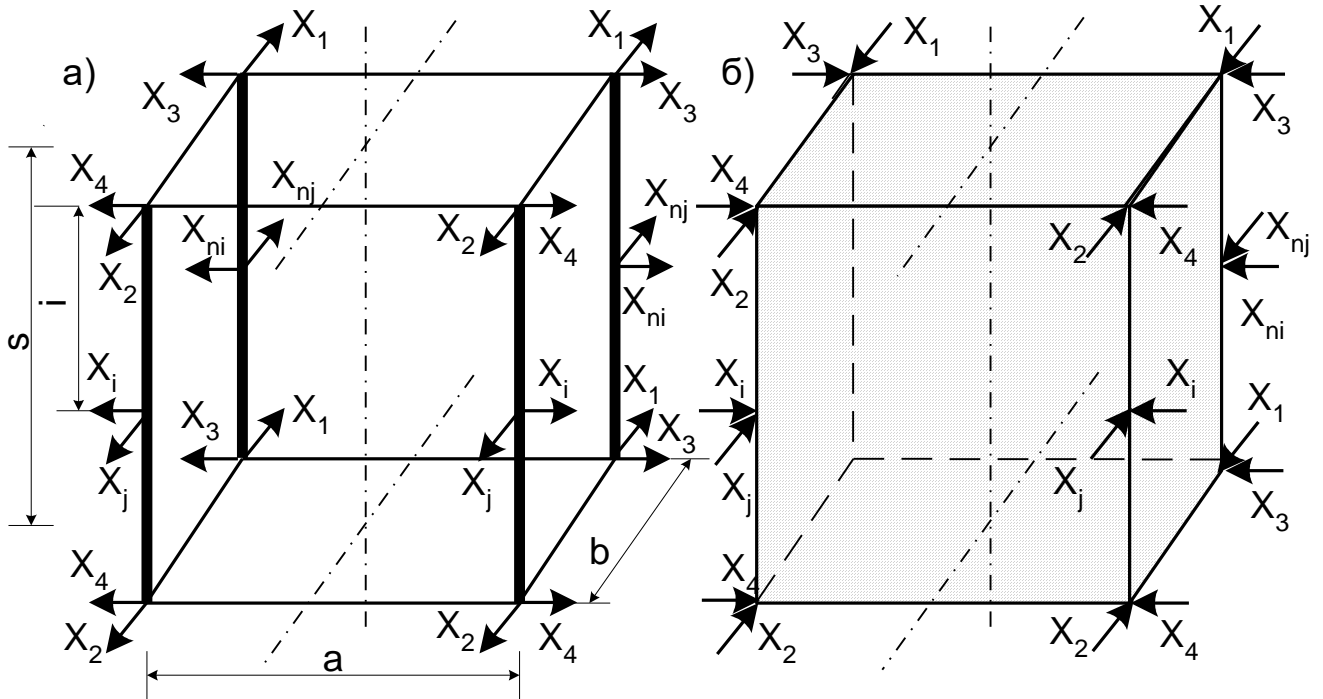


Рис. 3. Розрахункові схеми обойми (а) і ядра (б) при позacentровому стисканні

Сили контактної взаємодії, що діють між бетонним ядром і сталеву оболлюю, визначимо з умов рівності переміщень на границі контакту. Запишемо ці умови у вигляді систем канонічних рівнянь методу сил (1).

$$A \cdot \bar{X} = -\bar{H} \text{ або } A \cdot \bar{X} = -\bar{R}, \quad (1)$$

де

$$A = \begin{Bmatrix} (\delta_{11} - \delta_{11}^*)(\delta_{12} - \delta_{12}^*) \cdots (\delta_{1n} - \delta_{1n}^*) \\ (\delta_{21} - \delta_{21}^*)(\delta_{22} - \delta_{22}^*) \cdots (\delta_{2n} - \delta_{2n}^*) \\ \cdots \cdots \cdots \cdots \\ (\delta_{n1} - \delta_{n1}^*)(\delta_{n2} - \delta_{n2}^*) \cdots (\delta_{nn} - \delta_{nn}^*) \end{Bmatrix}; \quad (2)$$

$$\bar{X} = \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdots \\ X_n \end{Bmatrix}; \quad \bar{H} = \begin{Bmatrix} \Delta_{1F} - \Delta_{1F}^* \\ \Delta_{2F} - \Delta_{2F}^* \\ \cdots \\ \Delta_{nF} - \Delta_{nF}^* \end{Bmatrix}; \quad \bar{R} = \begin{Bmatrix} \Delta_{1C} - \Delta_{1C}^* \\ \Delta_{2C} - \Delta_{2C}^* \\ \cdots \\ \Delta_{nC} - \Delta_{nC}^* \end{Bmatrix}. \quad (3)$$

У формулах (2) і (3) прийняті такі позначення. Елементи $(\delta_{kl} - \delta_{kl}^*)$ матриці А являють собою різниці поперечних переміщень точки k сталевій

обойми і бетонного ядра від одиничних сил. Елементи $(\Delta_{кF} - \Delta_{кF}^*)$ матриці стовпця Н – різниці поперечних переміщень сталеві обойми та бетонного ядра від зовнішніх поздовжніх зусиль, а елементи $(\Delta_{кC} - \Delta_{кC}^*)$ – від заданих зсувів.

Поперечні переміщення в обоймі від одиничних впливів $\delta_{кi}$ визначимо в замкнутому вигляді. Розрахунок зробимо методом сил, з урахуванням деформацій, викликаних згинальними моментами і поздовжніми силами. При осьовому стисканні маємо 4 групи невідомих (рис. 2). Всі вони утворюють самоврівноважені системи сил. Тому можемо побудувати епюри та визначити переміщення, хоча рама не має наземних опор. При позацентровому стисканні маємо 8 груп невідомих (рис. 3). На відміну від випадку осьового стискання, не всі вони будуть утворювати самоврівноважені системи сил. Тому при побудові епюр, точки обойми, що знаходяться на нейтральній осі, будемо вважати нерухожими в напрямку осі Y.

Для визначення переміщень у бетонному ядрі від одиничних впливів вирішуємо плоску задачу зі змінними по полю параметрами деформування $\bar{\nu}$ і \bar{E} , залежності для яких приймаємо по рекомендаціях НДІЗБ (Росія). Рішення даної задачі зводиться до рішення диференціального рівняння (4) зі змінними параметрами деформування $\bar{\nu}$ і \bar{E} .

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[\frac{1 - \bar{\nu}^2}{\bar{E}} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \frac{\bar{\nu}(1 + \bar{\nu})}{\bar{E}} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right] + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[\frac{1 - \bar{\nu}^2}{\bar{E}} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \frac{\bar{\nu}(1 + \bar{\nu})}{\bar{E}} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right] + \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left[\frac{2(1 + \bar{\nu})}{\bar{E}} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} \right] = 0 \quad (4)$$

Воно справедливо для кожної точки в шуканій області рішення. У зв'язку із чисельним методом рішення цього рівняння, безперервну залежність зводимо до дискретної та будемо оперувати зі значеннями шуканого рішення в наперед заданих точках. Як чисельний метод використаємо метод кінцевих різниць. У згорнутому виді кінцеве рівняння МКР для точки з координатами (I,J) можна представити в наступному вигляді:

$$\sum_{\chi=-2}^2 \sum_{L=-2}^2 \varphi(I + \chi, J + L) B(I + \chi, J + L) = 0; \quad (5)$$

де χ та $L = -2, -1, 0, 1, 2$

Переміщення в обоймі від зовнішнього навантаження при осьовому прикладанні навантаження визначимо як:

$$\Delta_{1F} = \Delta_{4F} = \frac{aN_s v}{2E_s A_2}; \quad (6)$$

$$\Delta_{2F} = \Delta_{3F} = \frac{bN_s v}{2E_s A_2}. \quad (7)$$

При позацентровому прикладанні навантаження формули для визначення переміщень мають вигляд:

$$\Delta_{1C} = \Delta_{8C} = -2vK\theta^2; \quad (8)$$

$$\Delta_{2C} = \Delta_{7C} = 2vK(b - \theta)^2; \quad (9)$$

$$\Delta_{3C} = \Delta_{6C} = -vK\theta a; \quad (10)$$

$$\Delta_{4C} = \Delta_{5C} = vK(b - \theta)a. \quad (11),$$

де θ - розмір, що характеризує положення нейтральної лінії,
 K - кривизна.

Схеми деформування обійми показані на рис. 4.

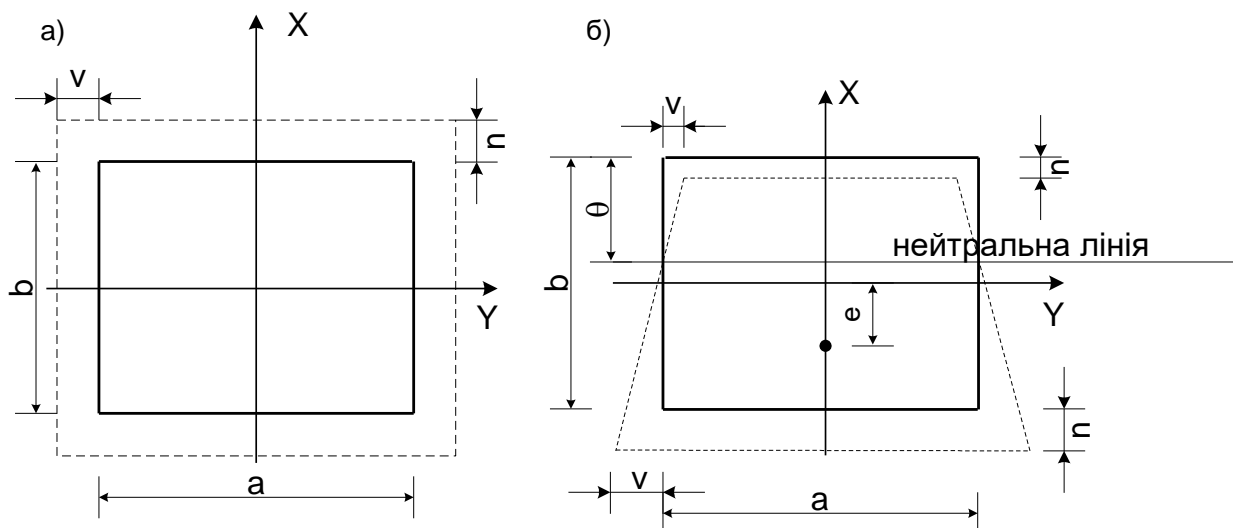


Рис. 4. Схеми деформування обійми: а) - при центральному стисканні;
 б) - при позацентровому стисканні

Для того, щоб визначити переміщення в бетонному ядрі від зовнішнього навантаження при центральному стисканні - вирішуємо просторову задачу теорії пружності для призматичного тіла, виконаного з ізотропного матеріалу зі змінними параметрами деформування \tilde{E} і $\tilde{\nu}$, завантаженого двома рівними і протилежно спрямованими зосередженими поздовжніми силами, прикладеними в геометричному центрі ваги поперечного перерізу. Шукані переміщення одержимо у вигляді:

$$\Delta_{1F}^* = \Delta_{4F}^* = \frac{2N_b}{b\tilde{E}} \tilde{\nu}. \quad (12)$$

$$\Delta_{2F}^* = \Delta_{3F}^* = \frac{2N_b}{a\tilde{E}} \tilde{\nu}. \quad (13)$$

При позацентровому прикладанні навантаження приймаємо у вигляді змушеної деформації $\varepsilon = K \cdot x$ (рис. 5).

Переміщення в бетонному ядрі від заданої деформації визначаємо по

наступних формулах:

$$\Delta_{1C}^* = -\nu K \theta^2 + \nu K \left(\frac{a}{2}\right)^2 - K s^2; \quad (14)$$

$$\Delta_{2C}^* = \nu K (b - \theta)^2 - \nu K \left(\frac{a}{2}\right)^2 + K s^2; \quad (15)$$

$$\Delta_{3C}^* = \Delta_{6C}^* = -\nu K \theta a; \quad (16)$$

$$\Delta_{4C}^* = \Delta_{5C}^* = -\nu K (b - \theta) a; \quad (17)$$

$$\Delta_{7C}^* = \nu K (b - \theta)^2 - \nu K \left(\frac{a}{2}\right)^2 + K \left(\frac{s}{2}\right)^2; \quad (18)$$

$$\Delta_{8C}^* = -\nu K \theta^2 + \nu K \left(\frac{a}{2}\right)^2 - K \left(\frac{s}{2}\right)^2. \quad (19).$$

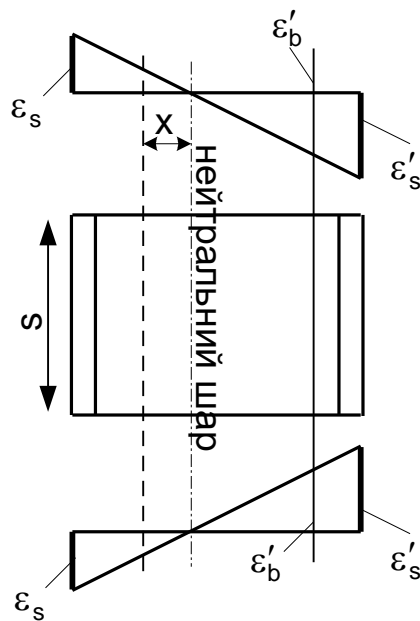


Рис. 5. Деформації в поперечному перерізі брускового елемента при позацентровому стисканні

Несуча здатність брускових елементів при осьовому та позацентровому стисканні визначається чисельно, кроковим перебором деформованих станів брускового елемента. Кожен деформований стан визначається кривизною (20).

$$K = K_0 \cdot I; \quad (20)$$

де K_0 – крок кривизни, I – номер деформованого стану.

Величина кроку кривизни знаходиться в залежності від величини діючої поздовжньої сили по формулі:

$$K_0 = 1.4 - \frac{N}{abR_b} \frac{10^{-4}}{a}; \quad (21)$$

де N – поздовжня сила, R_b – міцність бетону при осьовому стисканні.

Лінеаризація нелінійної сторони задачі здійснюється в процесі послідовних наближень, змінними параметрами деформування якого є січний модуль деформації бетону E та коефіцієнт поперечної деформації ν в кожній точці кінцево-різницевої сітки.

Дане рішення дозволяє одержати залежність між згинальним моментом і кривизною та здійснити розрахунок на поздовжнє згинання. Для цього розглянемо прямий сталобетонний стержень довжиною l , завантажений на торцях стискаючими силами F і моментами M_0 , що викликають плоске згинання (рис 6).

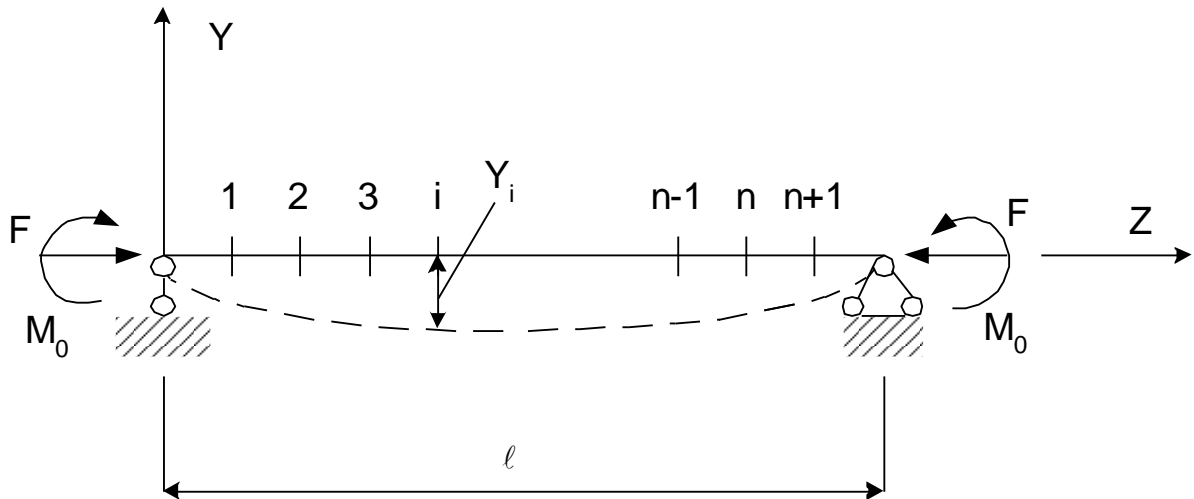


Рис. 6. Розрахункова схема стержня

Диференціальне рівняння вигнутої осі стержня має такий вигляд:

$$K_i = F(M_i) = \frac{M_i}{D_i} \quad (22)$$

де D_i – жорсткість при згинанні; M_i – згинальний момент у будь-якому перерізі стержня, який визначається за формулою:

$$M_i = F(e_0 + Y_i) + M_0 \quad (23),$$

де e_0 – випадковий ексцентриситет; Y_i – функція прогинів;

M_0 – торцевий момент, який визначається залежністю:

$$M_0 = F(e - e_0) \quad (24),$$

де P – поздовжнє зусилля; e – заданий ексцентриситет.

Кривизна перерізу визначається наступною формулою:

$$K_i = \frac{\partial^2 Y_i}{\partial x^2} \quad (25)$$

Рішення рівняння (25) здійснюється методом кінцевих різниць. Завдання полягає в тім, щоб знайти торцевий момент M_0 , що для заданого стержня викликав би в найнебезпечнішому перерізі (посередині прольоту) максимально припустимий момент, отриманий з розрахунку сталобетонного елемента одиначної довжини. У першому наближенні прогин приймається рівним нулю. Величина прогинів у вузлах сітки уточнюється в ітераційному процесі, що триває до досягнення необхідної точності.

В третьому розділі описані результати експериментальних досліджень. Для даних експериментальних досліджень було виготовлено 17 серій зразків, загальна кількість яких складає 168, з них 72 бетонних, 92 брускових та 4 металевих каркаси. Висота випробуваних зразків – 500 мм, відносні розміри поперечних перерізів $b/a = 1.0, 1.5$; з відстанями між хомутами – 50 і 100 мм. Для квадратних зразків з розмірами поперечного перерізу 125×125 мм застосовувалися кутники $25 \times 25 \times 4$ мм, а для прямокутних зразків з розмірами поперечного перерізу 125×188 мм – кутники $32 \times 32 \times 4$ мм. Хомути були виготовлені із дроту класу Вр-1, діаметром 4 мм.

Основні механічні характеристики випробуваних зразків, а також характеристики застосованих для їхнього виготовлення матеріалів, наведено в табл. 1-3.

Таблиця 1

Основні дані

№ серії	Шифр серії	Розмір перерізу, мм	Крок хомутів, мм	Кількість
1	МКМ 200-10	125 × 125	100	12
2	МКМ 200-5	125 × 125	50	12
3	МКМ 300-5	125 × 125	50	12
4	МКМ 400-5	125 × 125	50	12
5	БКМ 200-10	125 × 188	100	11
6	БКМ 200-5	125 × 188	50	11
7	БКМ 300-5	125 × 188	50	11
8	БКМ 400-5	125 × 188	50	11
9	МБМ 200	125 × 125	-	12
10	МБМ 300	125 × 125	-	12
11	МБМ 400	125 × 125	-	12
12	ББМ 200	125 × 188	-	12
13	ББМ 300	125 × 188	-	12
14	ББМ 400	125 × 188	-	12
15	МК 100	125 × 125	100	2
16	МК 50	125 × 125	50	1
17	БК 100	125 × 188	100	1

Таблиця 2

Характеристики сталі

Вид сталі	$\sigma_{вр}$, МПа	$E_s \times 10^5$, МПа	σ_T , МПа	$\varepsilon_T \times 10^{-3}$	ν_s
Кутник 32 × 32 × 4	427.91	2.1	300	1.428	0.28
Кутник 25 × 25 × 4	380.33	2.1	273	1.300	0.28
Дріт Вр-1	315.44	1.7	270	1.588	0.31

Таблиця 3

Характеристики бетону

Серії зразків	R_b , МПа	$\varepsilon_b \times 10^{-4}$	$E_b \times 10^4$ МПа	ν_b	Склад бетону				
					цемен т, кг	пісок , кг	щебе нь, кг	вода, л	доба вки, кг
1,2,9	21.79	7.65	2.85	0.2	288	680	1280	140	9
5,6,12	21.31	7.48	2.85	0.2	288	680	1280	140	9
3,10	15.25	6.35	2.40	0.2	366	620	1270	150	11.6
7,13	12.53	5.22	2.40	0.2	366	620	1270	150	11.6
4,11	34.72	9.44	3.68	0.2	409	590	1265	160	12.6
8,14	25.81	8.30	3.11	0.2	409	590	1265	160	12.6

Дослідні зразки випробовувалися на центральне та позацентрове стискання. Бетонні, сталобетонні зразки та сталеві каркаси колон випробовувалися на гідравлічному пресі ПСУ-250. У процесі випробувань вимірялися поздовжні й поперечні деформації. Навантаження на колону подавалися ступенями, рівними близько 10% від граничного, руйнівного навантаження. Деформації в сталевих каркасах фіксувалися датчиками, наклеєними в середньому по довжині перерізу. У зразках зі сталобетону по всьому периметру середнього по довжині перерізу в поздовжньому та поперечному напрямках наклеювалися тензодатчики, як на бетонному ядрі, так і на сталевому кутнику каркасу. Прогини вимірялися індикаторами годинникового типу.

Усереднені результати випробувань наведено в табл. 4-5.

Таблиця 4

Усереднені результати випробувань на центральне стискання

Міцність бетону МПа	Крок хомутів мм	Руйнівне навантаження, кН					
		Сталобетонні зразки		Бетонні зразки		Каркаси колон	
		b/a = 1	b/a = 1.5	b/a = 1	b/a = 1.5	b/a = 1	b/a = 1.5
14	50	460	610	240	300	-	-
21.5	50	600	910	388	477	184	-
21.5	100	580	810	-	-	177	224
25.8	50	-	1050	-	600	-	-
34.7	50	820	-	560	-	-	-

Як видно з таблиць - використання більш високих класів бетонів приводить до збільшення несучої здатності сталобетонних колон. Однак необхідно відзначити, що відношення несучої здатності бетонної конструкції до сталобетонної більше в колонах з меншою міцністю бетону. Підвищення ефективності зовнішнього армування зі зниженням міцності бетону викликано тим, що бетони низьких класів більш деформативні, ніж бетони високих класів. У зв'язку із цим, сили контактної взаємодії між бетонним ядром низького класу та обоймою з кутників більш, ніж у ядра з бетону високого класу.

Таблиця 5

Усереднені результати випробувань на позацентрове стискання

Міцність бетону МПа	Крок хомутів мм	Руйнівне навантаження, кН							
		Сталобетонні зразки				Бетонні зразки			
		b/a = 1		b/a = 1.5		b/a = 1		b/a = 1.5	
		e ₁	e ₂	e ₁	e ₂	e ₁	e ₂	e ₁	e ₂
14	50	270	180	410	290	111	27	152	30
21.5	50	370	240	560	280	200	45	210	40
21.5	100	410	260	550	260	-	-	-	-
25.8	50	-	-	690	280	-	-	471	61
34.7	50	440	280	-	-	289	66	-	-

Спостерігаючи процес руйнування випробуваних зразків, можна зробити наступні висновки. Руйнування бетонних зразків при осьовому стисканні відбувається внаслідок досягнення бетоном межі міцності. При позацентровому стисканні процес руйнування супроводжується розкриттям тріщин у розтягнутій зоні бетону. Сталеві каркаси, як при осьовому, так і при позацентровому стисканні руйнуються внаслідок втрати стійкості кутниками в середньому по довжині перерізі. У сталобетонних зразках з міцністю бетонного ядра більше 15 МПа при осьовому стисканні критерієм вичерпання несучої здатності з'явилося досягнення межі текучості в кутниках. У зразках з бетонним ядром меншої міцності (3 та 7 серії) руйнувалося бетонне ядро.

Таблиця 6

Порівняння випробуваних і теоретичних значень руйнівного навантаження брусків колон при центральному стисканні

№ серії	N _{теор.} , кН	N _{вип.} , кН	Δ, %
1	580	580	0
2	600	600	0
3	470	460	2.1
4	820	820	0
5	850	810	4.7

6	870	910	4.6
7	620	610	1.6
8	990	1050	6.1

При позацентровому стисканні в зразках 1, 2, 5, 6 серій руйнування сталеві обійми і бетонного ядра відбувалося практично одночасно. У зразках 4 та 8 серій спостерігалася текучість у кутниках. У зразках же 3 і 7 серій вичерпання несучої здатності наступало внаслідок досягнення граничних напружень у бетонному ядрі. Руйнування супроводжувалося розкриттям тріщин у розтягнутій частині бетонного ядра.

У дисертації виконано теоретичні розрахунки брускових колон на осьове та позацентрове стискання. Результати розрахунків на центральне стискання наведено в табл. 6.

Як видно з таблиці, розбіжності в значеннях дослідного та теоретичного руйнівного навантаження не перевищують 6.1 %.

Результати розрахунку на позацентрове стискання наведено в табл. 7.

Таблиця 7

Порівняння випробуваних і теоретичних значень руйнівного навантаження брускових колон при позацентровому стисканні

№ серії	e = 0.5 b			e = 0.25 b		
	Nтеор., кН	Nвип., кН	Δ, %	Nтеор., кН	Nвип., кН	Δ, %
1	230	260	11.5	350	410	17.1
2	230	235	2.2	330	380	15.2
3	160	180	12.5	230	270	17.4
4	280	280	0	410	440	7.3
5	300	265	11.7	510	530	3.9
6	310	290	6.5	530	560	5.7
7	260	280	7.7	360	400	11.1
8	340	300	11.8	600	680	13.3

Порівнюючи дослідні та теоретичні значення руйнівних навантажень, можна відзначити, що розбіжності між експериментальними дослідженнями та результатами розрахунку не перевищують 17.4% (середнє значення погрішності - 11.4%).

У четвертому розділі показано ефективність використання брускових колон замість традиційних залізобетонних. Проведено порівняльний розрахунок залізобетонної і брускової колон.

У першому варіанті підбирався переріз залізобетонної і брускової колони. $N=1600$ кН, $M=12.8$ кН·м, $e_0=1.9$ см, бетон В20, $l=4.8$ м. Залізобетонна колона розраховувалась за нормами СНиП 2.03.01-84, брусковий по запропонованій методиці. Підібрані перерізи наведені на рис. 7.

У результаті підбора перерізу брускової колони вийшло, що максимальне навантаження $N=1600$ кН зможе витримати брусковий колона з розмірами поперечного перерізу бетонного ядра 25×25 см. При цьому використовуються кутники сталевий обійми $50 \times 50 \times 5$. Одержуємо економію бетону 30%, а економію сталі 20%.

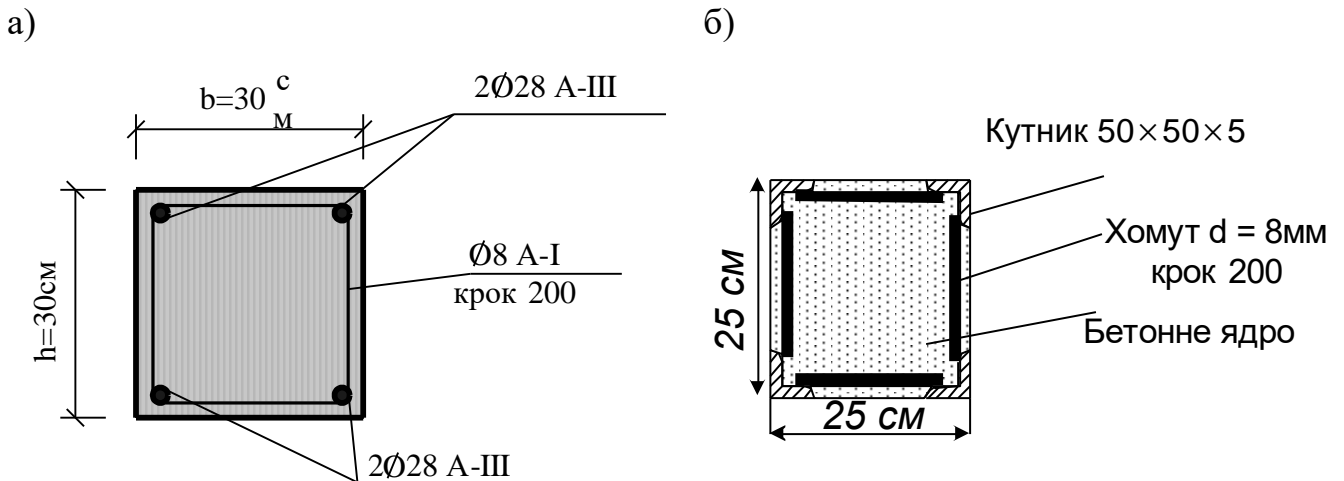


Рис. 7. Геометричні розміри колон: а) - залізобетонна колона;
б) - брусковий колона

У другому варіанті розрахована брусковий колона з характеристиками, аналогічними залізобетонній колоні (рис. 7) – $e_0=1.9$ см, бетон В20, $l=4.8$ м, площа поперечного перерізу арматури $A=24.64$ см², розміри поперечного перерізу - 30×30 см (рис. 8).

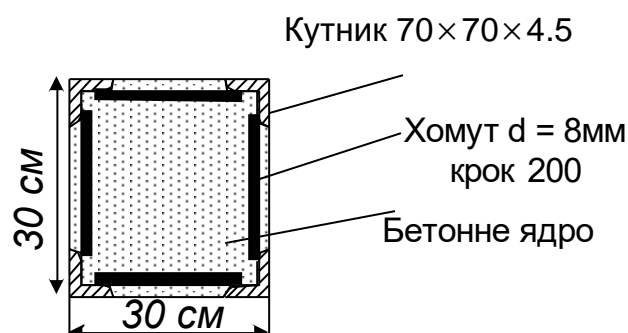


Рис. 8. Поперечний переріз брускової колони

Використовуючи алгоритм для розрахунку брускової колони, обчислимо руйнівне навантаження $N_{руй}=2500$ кН. Збільшення несучої здатності становить 56 %.

ВИСНОВКИ

1. Проведений огляд досліджень робіт вітчизняних і закордонних вчених, присвячений сталобетонним конструкціям, дозволяє с тверджувати, що на сьогодні робота цих конструкцій вивчена недостатньо. Зокрема, залишаються мало досліджені питання, пов'язані з розрахунком коротких і довгих брускових колон на міцність і жорсткість.

2. З урахуванням контактної взаємодії між бетонним ядром, що працює в умовах тривісного напруженого стану, і сталевою обоймою розроблено математичний апарат і запропоновано наступні методики розрахунку брускових колон:

- методика розрахунку брускових елементів прямокутного поперечного переріза на центральне та позацентрове стискання;
- методика розрахунку брускових колон прямокутного поперечного перерізу при поздовжньому згинанні.

3. На підставі запропонованих методик розроблені алгоритм і програма розрахунку брускових колон на ПЕОМ при осьовому та позацентровому стисканні.

4. Проведено чисельні розрахунки брускових колон квадратного та прямокутного поперечного перерізів з бетонним ядром різної міцності та різним кроком хомутів:

- отримано епюри контактної взаємодії між бетонним ядром і сталевим каркасом по перерізах, що збігається з хомутами та між ними;
- показано, що раціональний крок хомутів може бути знайдений з умови зменшення контактної тиску між бетонним ядром і кутниками на ділянці між хомутами не більше, ніж на 50%;
- найбільшою несучою здатністю володіють брускові колони квадратного перерізу;
- рекомендується для виготовлення нових брускових колон використовувати бетони класів з міцністю не більше 30 - 40 МПа;
- рекомендоване співвідношення сторін поперечного переріза колони b/a - не більше 1.5;
- несуча здатність сталобетонних колон вища, ніж сумарна несуча здатність бетонних колон і металевих каркасів, що пояснюється ефектом обойми.

5 Проведено експериментальні дослідження бетонних і брускових колон, а також металевих каркасів на центральне та позацентрове стискання. У результаті показано, що брускові конструкції не втрачають несучу здатність миттєво. Одержуючи деформації, що перевищують на 15- 20% граничні, колони ще тривалий час здатні витримувати значне навантаження.

6. Проведено порівняльний аналіз дослідної та теоретичної несучої здатності брускових колон. Аналіз показав гарну збіжність результатів розрахунку та експерименту. Розбіжності не перевищують 6.1% при центральному та 17.4% (середнє значення погрішності - 11.4%) при позацентровому стисканні.

7. Проведено порівняльний розрахунок брускової та залізобетонної колон. Отримано економію сталі на 20 % і бетону на 30 %. У другому

варіанті розрахунку при однакових витратах матеріалу несуча здатність збільшується на 56%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Петров А.Н., Ватуля Г.Л. Новые прогрессивные решения конструкций междуэтажных перекрытий и ферм покрытий из сталебетона // Информационный листок: ИЛ № 171-94. – Харьков, 1994. – С. 1-3.
Особистий внесок – запропоновано прогресивне рішення конструкції перекриття.
2. Петров А.Н. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния бетонных колонн с внешним армированием уголками // Вісник Рівненського державного технічного університету: Зб. наук. пр. - Вип. 3. – Рівне, 1999. – С. 238-242.
3. Чихладзе Е.Д., Петров А.М. Дослідження роботи брускових елементів при осьовому та позацентровому стиску // Зб.наук.пр. - Харків: ХарДАЗТ, 2000. - Вип. 42 - С. 85-89.
Особистий внесок – розробка алгоритму розрахунку брускових колон.
4. Гайдук О.М., Петров А.М. Напружено-деформований стан бетонних колон із зовнішнім армуванням кутниками // Зб.наук.пр. - Харків: ХарДАЗТ, 2001. – Вип. 48 - С.47-51.
Особистий внесок – аналіз впливу міцності бетону на ефект обойми.
5. Гайдук О.М., Петров А.М. Напружено-деформований стан брускових колон при позацентровому стиску // Науково-технічний журнал „Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті”. – Харків: ХарДАЗТ, 2001. - 5 спец. вип. - С.91.
Особистий внесок – зв'язок між напруженнями та деформаціями при об'ємному напруженому стані.
6. Кобзева Е.Н., Петров А.Н. Расчет брусковых конструкций при осевом и внецентренном сжатии // Зб.наук.пр. Вісник ДонДАБА. - Макіївка, 2001. - Вип. 2001-5 (30). — С. 152-155.
Особистий внесок – розробка методики розрахунку брускових колон.
7. Петров А.Н. Расчет несущей способности брусковых колонн при внецентренном сжатии / Залізничний транспорт України. - № 2 – Київ, 2002. – С. 34-35.
8. Кобзева Е.Н., Петров А.Н. Модель и методика исследования нелинейного деформирования брусковых конструкций // Зб. наук. пр. Луганського державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. - Луганськ, 2004. - Вип. №49/52. – С. 15-21.
Особистий внесок – розробка методики нелінійного деформування брускових колон.
9. Петров А.Н. Численные исследования работы брусковых колонн на внецентренное сжатие // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону. – Зб. наук. пр. у 2-х томах. - Т. 1. – Київ: НДІБК, 2005. – С. 234-238.

АННОТАЦИЯ

Петров А.Н. Напряженно-деформированное состояние брусковых колонн при осевом и внецентренном сжатии. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2008.

В диссертации рассматриваются брусковые колонны при осевом и внецентренном приложении нагрузки. Рассматриваемая в работе конструкция представляет собой бетонный брус квадратного или прямоугольного сечения, внешне армированный по углам стальными уголками, которые жестко соединены поперечными стержнями – хомутами. Брус закреплен по концам шарнирно, загружен центрально приложенными силами и равными, в противоположные стороны направленными изгибающими моментами.

Конструкция брусковой колонны внутренне статически неопределима. Статическая неопределимость сталебетонной колонны обусловлена комплексностью сечения, которое включает в себя бетонное ядро и стальную обойму. Раскрыта статическая неопределимость рассматриваемой конструкции методом сил. В состав основной системы включены два контактирующих между собой элемента брусковой колонны - стальная обойма и бетонное ядро. За неизвестные приняты силы контактного взаимодействия.

Предложенное решение реализовано численно, шаговым перебором деформированных состояний брускового элемента. Каждое деформированное состояние определяется кривизной. Линеаризация нелинейной стороны задачи осуществляется в процессе последовательных приближений, переменными параметрами деформирования которого являются секущий модуль деформации бетона и коэффициент поперечной деформации в каждой точке конечно–разностной сетки. Предусмотрена процедура исключения контактных сил, превысивших силы сцепления между бетоном ядра и обоймой. Процесс последовательных приближений на каждом шаге продолжается до достижения удовлетворительной сходимости по величинам модулей деформации.

Получены решения для расчета НДС брусковых колонн, в том числе и с учетом продольного изгиба. Шагово-итерационными методами осуществлена численная реализация полученных решений. В процессе последовательных приближений переменными параметрами являются секущий модуль деформации бетона и коэффициент поперечной деформации в каждой точке конечно–разностной сетки.

В диссертации осуществлено сопоставление опытных и теоретических данных. Проведен анализ влияния шага хомутов, геометрических размеров и класса бетона на эффект обоймы.

Проведен сравнительный расчет брусковой и железобетонной колонн.

Показаны преимущества применения брусковых колонн взамен железобетонных.

Ключевые слова: брусковая колонна, эффект обоймы, осевое и внецентренное сжатие, напряженно-деформированное состояние (НДС).

АНОТАЦІЯ

Петров А.М. Напружено-деформований стан брускових колон при осьовому та позацентровому стисканні. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди. - Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2008.

У дисертації розглядаються брускові колони при осьовому та позацентровому прикладанні навантаження. Розглянута в роботі конструкція являє собою бетонний брус квадратного або прямокутного перерізу, зовні армований по кутах сталевими кутниками, які жорстко з'єднані поперечними стержнями - хомутами.

Отримано рішення для розрахунку НДС брускових колон, у тому числі та з урахуванням поздовжнього згинання. Кроково-ітераційними методами здійснена чисельна реалізація отриманих рішень у процесі послідовних наближень, де змінними параметрами є січний модуль деформації бетону та коефіцієнт поперечної деформації в кожній точці кінцево-різницевої сітки.

У дисертації здійснено співставлення експериментальних і теоретичних даних. Проведено аналіз впливу кроку хомутів, геометричних розмірів і класу бетону на ефект обойми.

Проведено порівняльний розрахунок брускової та залізобетонної колон. Показано переваги застосування брускових колон замість залізобетонних.

Ключові слова: брускова колона, ефект обойми, осьове та позацентрове стискання, напружено-деформований стан (НДС).

ANNOTATION

Petrov A.N. Stress-strained state of bar columns under axial and eccentric compression. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of candidate of technical sciences by speciality 05.23.01 – building constructions, buildings and structures. – Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2008.

The dissertation is devoted to elaboration of methodology for carrying capacity determination of bar columns under axial and eccentric compression, taking

into account columns buckling. The column is composed of square or rectangular concrete bar with external corners reinforcement made by angles which have rigid connections. The numerical implementation was done using the step iteration method. During the implementation as the variable parameters considers concrete secant modulus of deformation and Poisson ratio.

The author provides the comparative analysis of theoretical and experimental results, together with impact analysis of clips' step, geometry and concrete class on the case effect.

Key words: bar column, case effect, stress-strained state, carrying capacity, axial and eccentric compression.

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

**НАПРУЖЕНО - ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БРУСКОВИХ КОЛОН ПРИ
ОСЬОВОМУ ТА ПОЗАЦЕНТРОВОМУ СТИСКАННІ**

ПЕТРОВ АНАТОЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

Відповідальний за випуск

Романенко В.В.

.....
Підписано до друку .05.08

Формат паперу 60x84 1/16 Папір для множних апаратів.

Друк офсетний. Умовн. -друк. арк. 0,9. Обл. -вид. арк. 1,0.
Зам. № . Тираж 100 экз. Безкоштовно.

Видавництво УкрДАЗТа. Свідоцтво ДК № 112 від 06.07.2000 р.
Друкарня УкрДАЗТа: 61050, м. Харків - 50, пл. Фейербаха, 7