

УДК 624.012

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗІ
ЗМІЦНЕНИМ ОСЕРДЯМ**

Д-р техн. наук В.І. Єфіменко, асист. О.А. Паливода

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
С УПРОЧНЕННЫМ ЯДРОМ**

Д-р техн. наук В.И. Ефименко, ассист. А.А. Паливода

**STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF TUBE CONFINED CONCRETE ELEMENTS
WITH REINFORCED CORES**

Doct. of techn. sciences V. Yefimenko, assistant O. Palyvoda

Розглянуто проблеми, що обмежують застосування трубобетонних конструкцій підвищеної міцності. Представлено методика та результати експериментальних досліджень трубобетонних елементів зі зміцненим осердям. Наведено конструкцію та опис дослідних зразків. Отримано дані про їх міцність, деформативність та характер руйнування в залежності від способу зміцнення осердя. Виконано аналіз особливостей розвитку деформацій та характеру руйнування стиснутих трубобетонних елементів суцільного та кільцевого перерізів зі зміцненими осердями при осьовому стиску в залежності від розмірів поперечного перерізу, товщини стінки труби та міцності бетонного ядра. Проведено аналіз отриманих значень коефіцієнтів ефективності роботи запропонованих

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

зразків. Висвітлено пропозиції щодо визначення найбільш оптимальних варіантів зміцнення осердя стиснутих трубобетонних елементів.

Ключові слова: трубобетон; зміцнене осердя; ефективність; суцільний переріз; кільцевий переріз.

Рассмотрены проблемы, ограничивающие применение трубобетона. Представлено методика и результаты экспериментальных исследований трубобетонных элементов с упрочненным ядром. Наведено конструкцію и описание исследуемых образцов. Получено данные о их прочности, деформативности и характере разрушения в зависимости от способа упрочнения ядер. Выполнено анализ особенностей развития деформаций и характера разрушения сжатых трубобетонных элементов сплошного и кольцевого сечений с упрочненными сердечниками при осевом сжатии в зависимости от размеров поперечного сечения, толщины стенки трубы и прочности бетонного ядра. Проведено анализ полученных значений коэффициентов эффективности работы рассматриваемых образцов. Освещены пропозиции по определению наиболее оптимальных вариантов упрочнения ядра сжатых трубобетонных элементов.

Ключевые слова: трубобетон; упрочненное ядро; эффективность; сплошное сечение; кольцевое сечение.

The problems that limit the use of tube confined concrete are studied. The technique and results of experimental studies of tube confined concrete elements with reinforced core are proposed. The design and description of the studied samples are provided. Data of strength, deformations and destruction nature of concretetestedsteel tubular elements with reinforcement core are supplied. The analysis of features of deformation development and fracture of compressed tube confined concrete elements of solid and circular section with reinforced cores under axial compression, depending on the cross-sectional dimensions, wall thickness and strength of the concrete core is carried out. The analysis of the obtained values of the efficiency coefficients of studied samples is performed. The propositions to determine the most optimal variants of core reinforcement of compressed tube confined concrete elements are given.

Keywords: tube confined concrete; reinforced core; effectiveness; solid section; circular section.

Вступ. Важливими завданнями сучасної будівельної галузі, окрім скорочення термінів виробництва та зменшення енергетичних і трудових затрат, є більш повне й ефективне використання матеріалів та конструкцій, запровадження нових простіших методів будівництва, пошук нових поєднань сталі та бетону, а також створення нових прогресивних конструктивних елементів (форм та перерізів).

Значною мірою вищевказані вимоги здатні задовольнити трубобетонні конструкції зі зміцненим осердям. Аналізуючи запропоновані конструктивні рішення даних елементів, виникає необхідність у пошуку найбільш ефективних серед них.

Таким чином, вивчення ефективності роботи стиснутих трубобетонних елементів

зі зміцненим осердям дасть можливість зробити висновки про раціональність їх використання.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Аналізуючи різноманітність способів зміцнення трубобетонних конструкцій, постає проблема визначення їх оптимальних варіантів з урахуванням більшості факторів впливу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попри всілякі труднощі, в Україні продовжуються дослідження і будівництво із застосуванням сталезалізобетонних конструкцій. Зважаючи на ґрунтовність досліджень багатьох вчених стосовно роботи звичайного трубобетону та все більш жорсткі вимоги щодо економії та раціонального використання матеріалів,

зростає увага до вивчення трубобетонних конструкцій підвищеної міцності.

Тематика ефективності роботи трубобетону була порушеною різними вченими ще у 70-ті роки минулого століття. Пізніше більш предметно її висвітлює Л.І. Стороженко [1]. Проте сьогодні, на наш погляд, питання ефективності роботи стиснутих трубобетонних елементів, зокрема тих, що мають підвищену міцність, набули ще більшої актуальності та потребують подальшого поглибленого вивчення.

Вагомий внесок у даному напрямку зроблений представниками Полтавської та Криворізької шкіл трубобетону [2-8]. Зокрема питання ефективності роботи бетонного ядра ґрунтовно розглянуті у джерелах [5,6].

У джерелах [2-4] наведені дослідження трубобетону із кільцевими центрифугованими ядрами. Виконані роботи показали, що в цьому випадку бетонне ядро працює дуже ефективно, а такі конструкції доцільно використовувати як при стиску з різними ексцентриситетами, так і при роботі на згин.

У дослідженнях, проведених під керівництвом С.О. Харченка [8], отримані висновки, що з поміж розглянутих варіантів зміцнення осердя стиснутих елементів найбільш ефективно працює ядро із фібробетону. При цьому зауважено, що застосування трубобетонних конструкцій з ядром із фібробетону доцільно, якщо до конструкції ставляться вимоги стійкості до впливу ударних навантажень, вібрацій, підвищеної морозостійкості.

Праця О.В. Семка [7] ще раз доводить тісний зв'язок надійності роботи сталезалізобетонних конструкцій із ефективністю.

Мета роботи та задачі дослідження.

Необхідно визначити оптимальні варіанти з поміж запропонованих способів зміцнення осердя (використання високоміцного бетону, армування бетонного ядра поздовжньою арматурою, осердя кільцевого перерізу) стиснутих трубобетонних елементів шляхом порівняння коефіцієнтів ефективності їх роботи.

Основний матеріал і результати.

Для отримання результатів, які дадуть можливість в достатній мірі судити про ефективність трубобетонних елементів при осьовому стиску в залежності від способу зміцнення осердя були запроєктовані та виготовлені три групи зразків (рис. 1, табл. 1 і 2).

Група I. Зразки з осердями з високоміцного бетону.

Група II. Зразки з осердями, зміцненими поздовжньою стрижневою арматурою.

Група III. Багатошарові осердя різного типу. Ці зразки, в залежності від наявності додаткової труби в осерді розділені на дві підгрупи: **IIIa** і **IIIб**.

Одночасно з основними зразками планувалося виготовлення зразків із порожніх труб для експериментального визначення коефіцієнту ефективності трубобетону. Ці зразки мали маркування, наприклад **T-I-1** – труби першого діаметру для зразків першої групи. Для визначення фізико-механічних властивостей сталі вирізалися спеціальні смужки згідно ГОСТом.

Окрім того, було виготовлено 3 комплекти стандартних бетонних кубиків (150×150×150 мм) і призм (150×150×600 мм) для визначення фізико-механічних властивостей бетону. Призми мали маркування, наприклад **B-I-1** – бетон першого складу для зразків першої групи.

Таблиця 1

Характеристика дослідних зразків груп **I** та **II**

| Група зразків | Серія зразків | Зовнішній діаметр труби, D , мм | Товщина стінки труби, t , мм | Міцність бетону $f_{ck,prism}$, МПа |
|---------------|---------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| I | T-I-1 | 110,6 | 2,75 | – |
| | T-I-2 | 163,0 | 5,50 | – |
| | T-I-3 | 204,4 | 5,20 | – |
| | ТБ-I-11 | 110,6 | 2,75 | 50,0 |
| | ТБ-I-12 | 110,6 | 2,75 | 64,2 |
| | ТБ-I-13 | 110,6 | 2,75 | 80,0 |
| | ТБ-I-21 | 163,0 | 5,50 | 50,0 |
| | ТБ-I-22 | 163,0 | 5,50 | 64,2 |
| | ТБ-I-23 | 163,0 | 5,50 | 80,0 |
| | ТБ-I-31 | 204,4 | 5,20 | 50,0 |
| | ТБ-I-32 | 204,4 | 5,20 | 64,2 |
| | ТБ-I-33 | 204,4 | 5,20 | 80,0 |
| | II | T-II-1 | 159,0 | 4,00 |
| ТБ-II-11 | | 159,0 | 4,00 | 13,9 |
| ТБ-II-12 | | 159,0 | 4,00 | 24,3 |
| ТБ-II-13 | | 159,0 | 4,00 | 29,1 |

Примітка. Труобетонні зразки групи **II** армовані поздовжньою стрижневою арматурою бd12А-III.

Таблиця 2.

Характеристика дослідних зразків групи **III**

| Підгрупа зразків | Серія зразків | Характеристика зовнішньої труби $D \times t$, мм | Характеристика внутрішньої труби $D_e \times t_e$, мм | Міцність бетону кільця $f_{ck,prism1}$, МПа | Міцність бетону заповнення $f_{ck,prism1}$, МПа |
|------------------|---------------|---|--|--|--|
| IIIa | T-IIIa-I | 325,0×8,0 | – | – | – |
| | ТБ-IIIa-I-I | 325,0×8,0 | – | 38,9 | – |
| | ТБ-IIIa-II-I | 325,0×8,0 | – | 38,9 | 28,8 |
| IIIб | T-IIIб-I' | 169,0× | – | – | – |
| | T-IIIб-I'' | – | 89,0×2,8 | – | – |
| | ТБ-IIIб-II-I | 169,0×6,0 | 89,0×2,8 | 21,0 | – |
| | ТБ-IIIб-II-II | 169,0×6,0 | 89,0×2,8 | 21,0 | 18,8 |

При плануванні експерименту були прийняті певні обмеження. Довжина труобетонних елементів визначалась за формулою $L=4D$. Така довжина зразків дозволяє дослідити їх роботу на міцність без впливу поздовжнього вигину та інших особливостей, що пов'язані з роботою конструкцій на стійкість.

У результаті експериментальних досліджень була визначена несуча здатність випробуваних труобетонних зразків. У нашому випадку, згідно рекомендацій [9] при проведенні експериментальних

досліджень фіксувалися два зусилля, при досягненні яких можна було вважати, що несуча здатність зразків досягається: N_1 і N_2 . При цьому значення N_1 відповідало досягненню значення поздовжніми деформаціями величини, що відповідала межі плинності сталі, а N_2 – повному руйнуванню зразка. У випадку, коли руйнування у загально прийнятому значенні не відбувалося, за N_2 приймалося значення максимального зусилля, яке був здатний прийняти випробовуваний елемент.

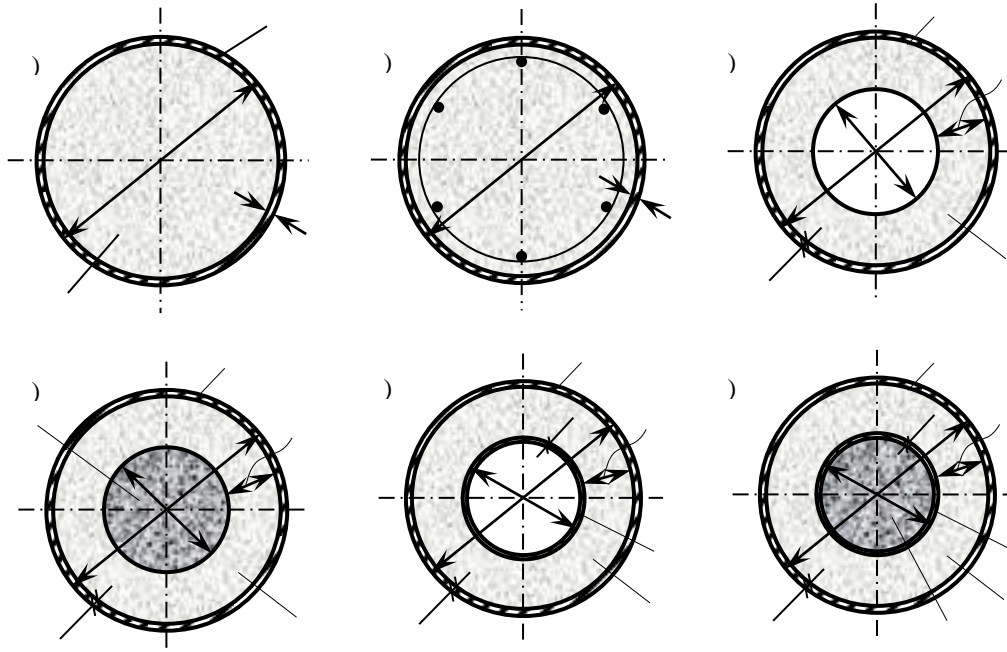


Рис. 1. Перерізи дослідних зразків:

a – групи I; **б** – групи II; **в,г** – підгрупи IIIa; **д,е** – підгрупи IIIб;

1 – труба-оболонка; 2 – осердя з високоміцного бетону; 3 – бетонне осердя з поздовжньою арматурою; 4 – центрифугований бетон; 5 – бетон, що заповнює порожнину; 6 – бетон між трубами; 7 – внутрішня труба

Напружений стан зразків визначався за результатами виміряних під час проведення експерименту поздовжніх і поперечних деформацій.

Про раціональність використання труботбетону можна судити за значеннями коефіцієнтів ефективності. Перший з них характеризує роботу труботбетонного елемента в цілому

$$m_{b,cf} = \frac{N_{pb,cf}}{R_s A_s + R_{b,cf} A_b} \quad (1)$$

де $N_{pb,cf}$ – несуча здатність труботбетонного елемента;

A_s, A_b – площі поперечного перерізу труби й бетону відповідно;

$R_s, R_{b,cf}$ – розрахункові опори сталі й бетону відповідно.

Другий коефіцієнт враховує ефективність роботи бетону в труботбетонному елементі

$$\eta_{b,cf} = \frac{\sigma_b}{R_{b,cf}} \quad (2)$$

Важливим, на нашу думку є коефіцієнт n , що характеризує співвідношення між зусиллями N_1 , коли зразок досягає граничного стану за несучою здатністю при досягненні межі плинності в оболонці до повного руйнування зразка N_2 .

$$n = \frac{N_1}{N_2} \quad (3)$$

Значення цих зусиль та вирахованих за формулами (1) – (3) коефіцієнтів ефективності $n, m_{b,cf}, \eta_{b,cf}$ наведені в таблиці 3.

При комплексному кільцевому перерізі, коли осердя було підсилене внутрішньою поздовжньою трубою, коефіцієнт ефективності роботи труботбетонного елемента $m_{b,cf}$ вираховувався за формулою:

$$m_{b,cf} = \frac{N_{pb,cf}}{R_s A_s + R_{s1} A_{s1} + R_{b,cf} A_b} \quad (4)$$

де $R_{s1} A_{s1}$ відповідно розрахунковий опір сталі додаткової внутрішньої труби та площа її поперечного перерізу.

Експериментальні значення несучої здатності випробуваних зразків груп **I, II**, та підгруп **IIIa, IIIб**

| Серія зразків | Несуча здатність, κH | | Коефіцієнти ефективності | | |
|---------------|------------------------------|-------|--------------------------|------------|---------------|
| | N_1 | N_2 | n | $m_{b.cf}$ | $\eta_{b.cf}$ |
| T-I-1 | 188 | - | - | - | - |
| T-I-2 | 640 | - | - | - | - |
| T-I-3 | 1020 | - | - | - | - |
| ТБ-I-11 | 652 | 770 | 0,85 | 2,30 | 4,13 |
| ТБ-I-12 | 716 | 860 | 0,83 | 2,30 | 4,11 |
| ТБ-I-13 | 869 | 980 | 0,89 | 2,20 | 3,69 |
| ТБ-I-21 | 1840 | 2250 | 0,83 | 1,40 | 1,75 |
| ТБ-I-22 | 2100 | 2450 | 0,86 | 1,38 | 1,60 |
| ТБ-I-23 | 2400 | 2750 | 0,87 | 1,33 | 1,51 |
| ТБ-I-31 | 2970 | 3250 | 0,91 | 1,29 | 1,49 |
| ТБ-I-32 | 3386 | 3730 | 0,91 | 1,19 | 1,42 |
| ТБ-I-33 | 3636 | 3920 | 0,93 | 1,16 | 1,41 |
| T-II-1 | 1560 | - | - | - | - |
| ТБ-II-11 | 1080 | 1395 | 0,77 | 1,11 | 1,61 |
| ТБ-II-12 | 1310 | 1595 | 0,82 | 1,12 | 1,42 |
| ТБ-II-13 | 1490 | 1680 | 0,89 | 1,15 | 1,36 |
| T-IIIa-I | 2150 | - | - | - | - |
| ТБ-IIIa-I-I | 4075 | 4800 | 0,85 | 2,23 | 1,50 |
| ТБ-IIIa-II-I | 4425 | 5500 | 0,80 | 2,56 | 2,00 |
| ТБ-IIIб-II-I | 1420 | 1950 | 0,73 | 1,35 | 1,89 |
| ТБ-IIIб-II-II | 1800 | 2320 | 0,78 | 1,61 | 2,77 |
| ТБ-I-33 | | | | | |

Аналіз ефективності зразків групи I. На рис. 2 – 5 наведені графіки залежності коефіцієнтів ефективності роботи трубобетонних елементів $m_{b.cf}$ та $\eta_{b.cf}$ від міцності бетону осердя так від діаметра труби. Цікаво відмітити, що зі збільшенням міцності бетону та геометричних параметрів ці коефіцієнти зменшуються, при цьому особливо різко ($m_{b.cf}$ – приблизно на 50%, $\eta_{b.cf}$ – майже в три рази) їх значення зменшується зі збільшенням діаметра труби.

Таким чином, особливо ефективно осердя працювало в трубах малого діаметру при невеликій міцності бетону.

Також варто зазначити, що на відміну від звичайних трубобетонних, елементи з труб, заповнених високоміцним бетоном, руйнувалися хрумко в результаті виникнення нахиленої тріщини в бетонному ядрі. Це є одною з причин зменшення коефіцієнтів ефективності.

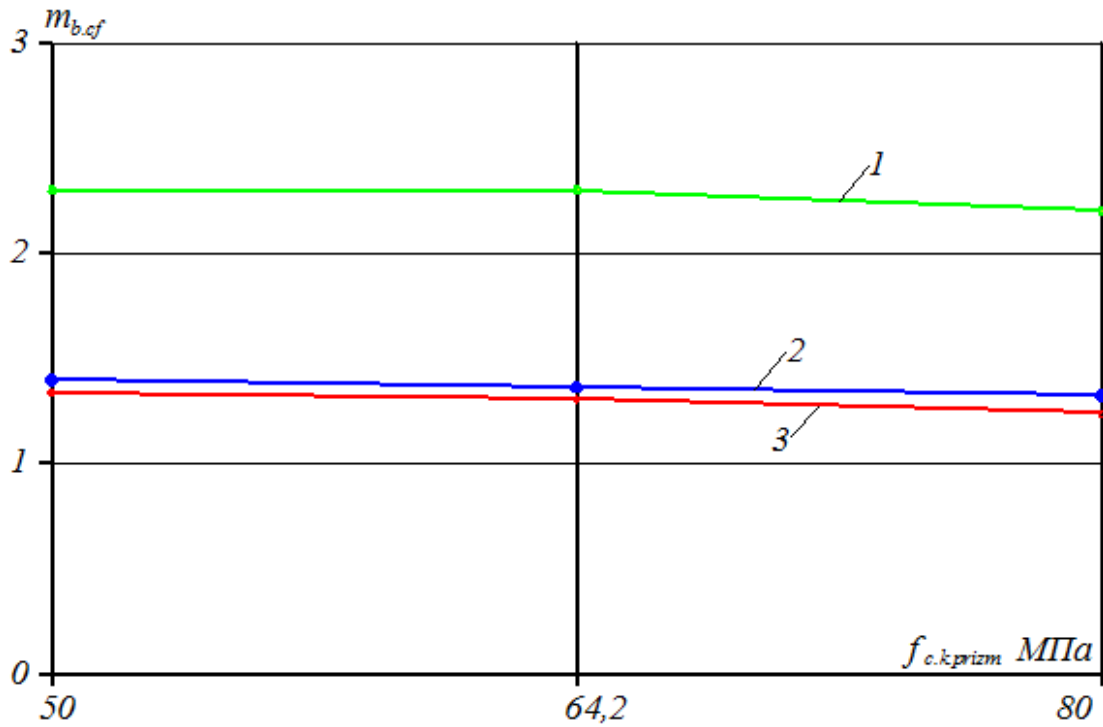


Рис. 2. Залежність коефіцієнта ефективності труботетонного елемента $m_{b.cf}$ від міцності бетону $f_{c.k.prizm}$, МПа: 1 – серії ТБ-І-11, ТБ-І-12, ТБ-І-13; 2 – ТБ-І-21, ТБ-І-22, ТБ-І-23; 3 – серії ТБ-І-31, ТБ-І-32, ТБ-І-33

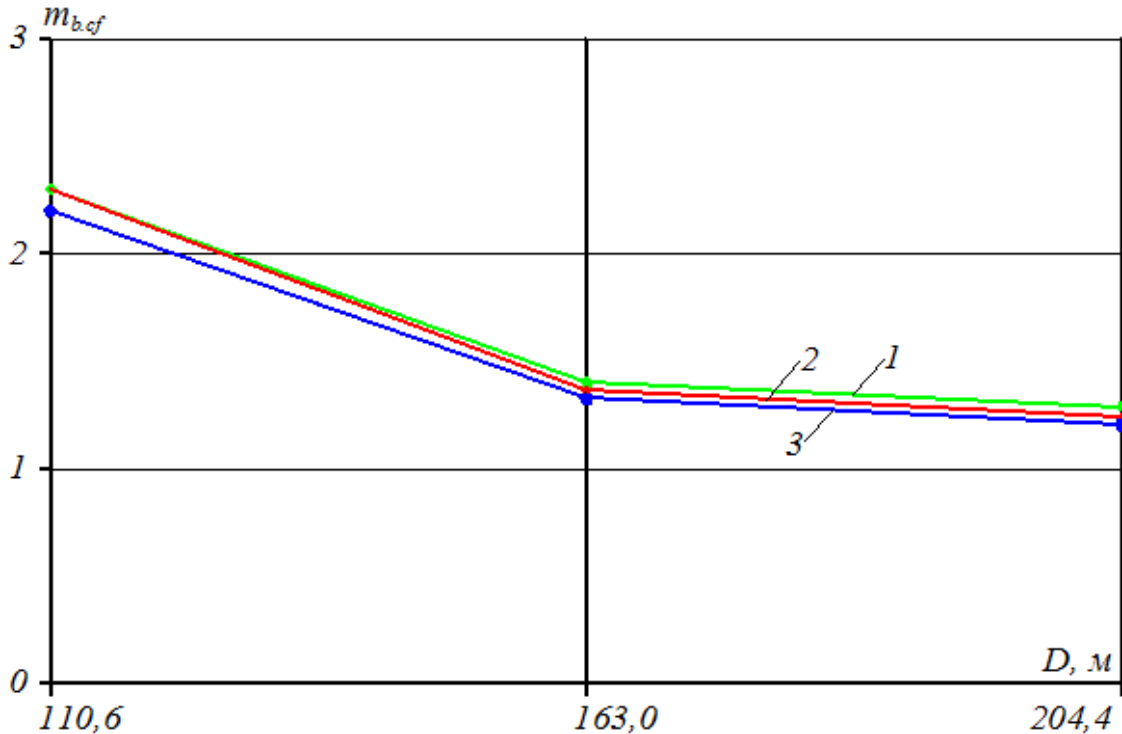


Рис. 3. Залежність коефіцієнта ефективності роботи осердя $m_{b.cf}$ від діаметра труби D : 1 – серії ТБ-І-11, ТБ-І-21, ТБ-І-31; 2 – серії ТБ-І-12, ТБ-І-22, ТБ-І-32; 3 – серії ТБ-І-13, ТБ-І-23, ТБ-І-33

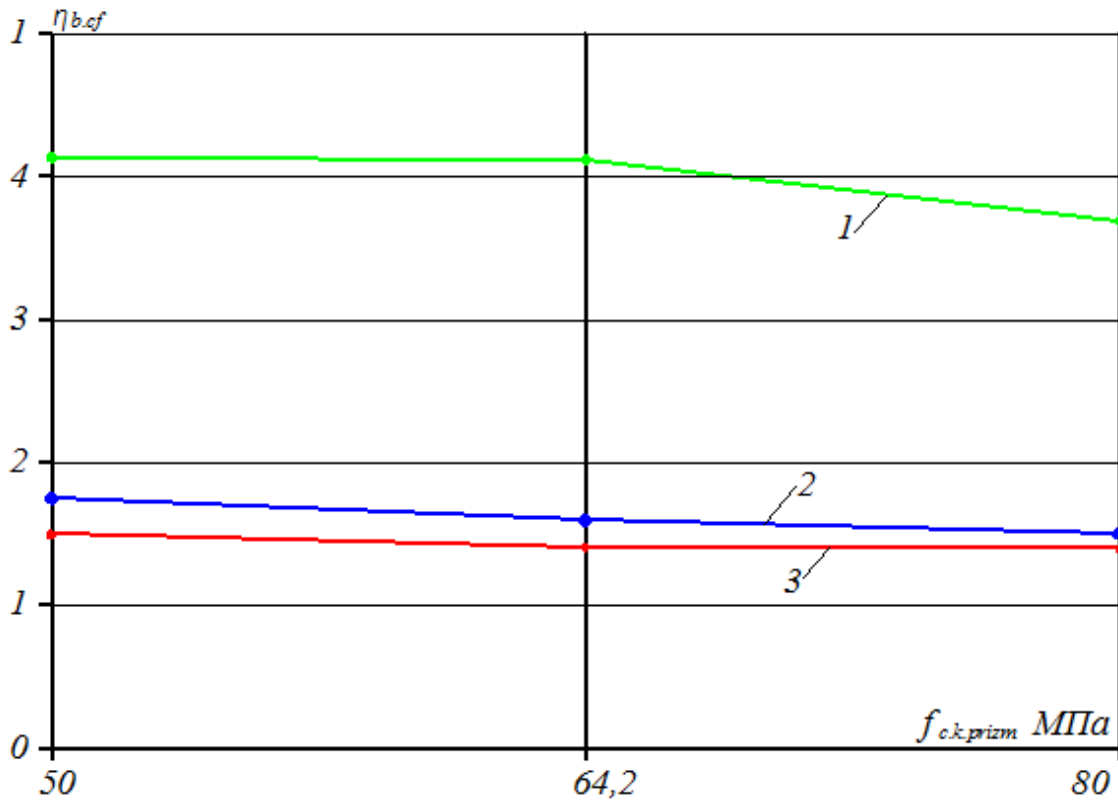


Рис. 4. Залежність коефіцієнта ефективності роботи осердя $\eta_{b.cf}$ від міцності бетону $f_{c.k.prizm}$: 1 – серії ТБ-І-11, ТБ-І-12, ТБ-І-13; 2 – серії ТБ-І-21, ТБ-І-22, ТБ-І-23; 3 – серії ТБ-І-31, ТБ-І-32, ТБ-І-33

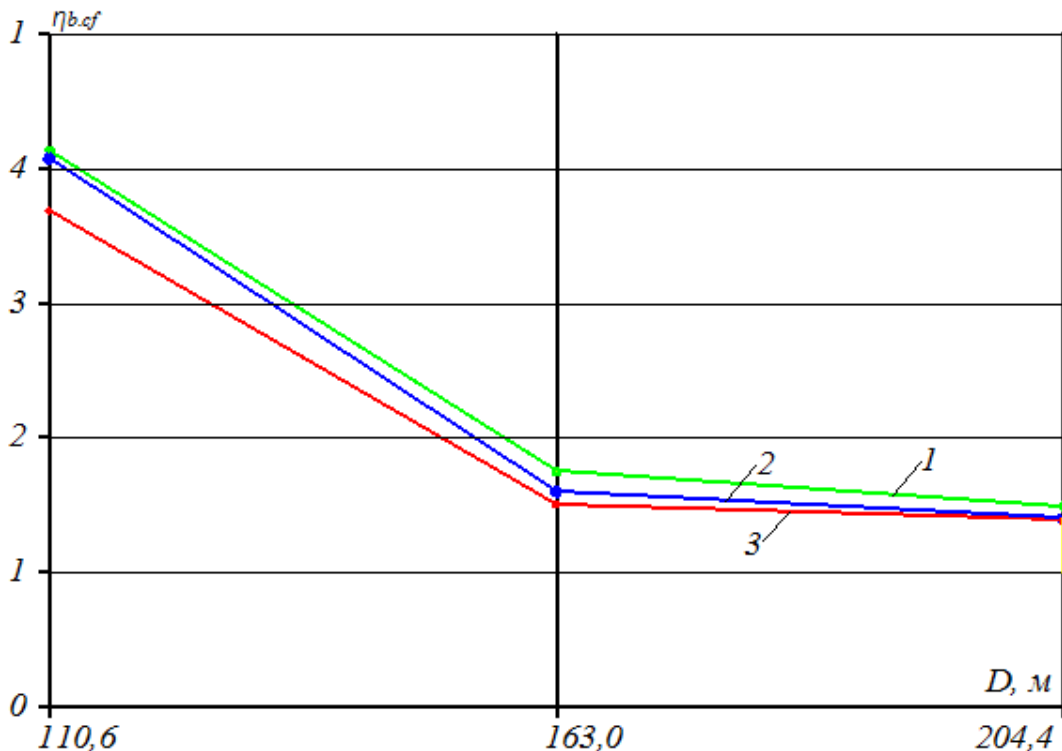


Рис. 5. Залежність коефіцієнта ефективності роботи осердя $\eta_{b.cf}$ від діаметра труби D : 1 – серії ТБ-І-11, ТБ-І-21, ТБ-І-31; 2 – серії ТБ-І-12, ТБ-І-22, ТБ-І-32; 3 – серії ТБ-І-13, ТБ-І-23, ТБ-І-33

Аналіз ефективності зразків групи II. Як і слід було очікувати, несуча здатність зразків даної групи зростала зі збільшенням міцності бетону приблизно в 1,5 рази. Різниця між зусиллями N_1 і N_2 для зразків даної групи складала приблизно 15 – 20%, а величина коефіцієнта n , як це видно з таблиці 3, коливалася в межах 0,77 – 0,89, що є значно більшою величиною, ніж для звичайних трубобетонних елементів.

На рис. 6 наведені графіки значень коефіцієнтів ефективності трубобетонних

елементів $m_{b.cf}$ і $\eta_{b.cf}$ зі стрижневим армуванням в залежності від міцності бетону осердя. У цьому випадку величина коефіцієнта $m_{b.cf}$ залишається майже однакою, а значення коефіцієнта $\eta_{b.cf}$ знижується на 15 – 18% зі збільшенням міцності бетону. При цьому можна зазначити, що при наявності стрижневої арматури ефективність роботи бетону в осерді трубобетонного елемента зменшується.

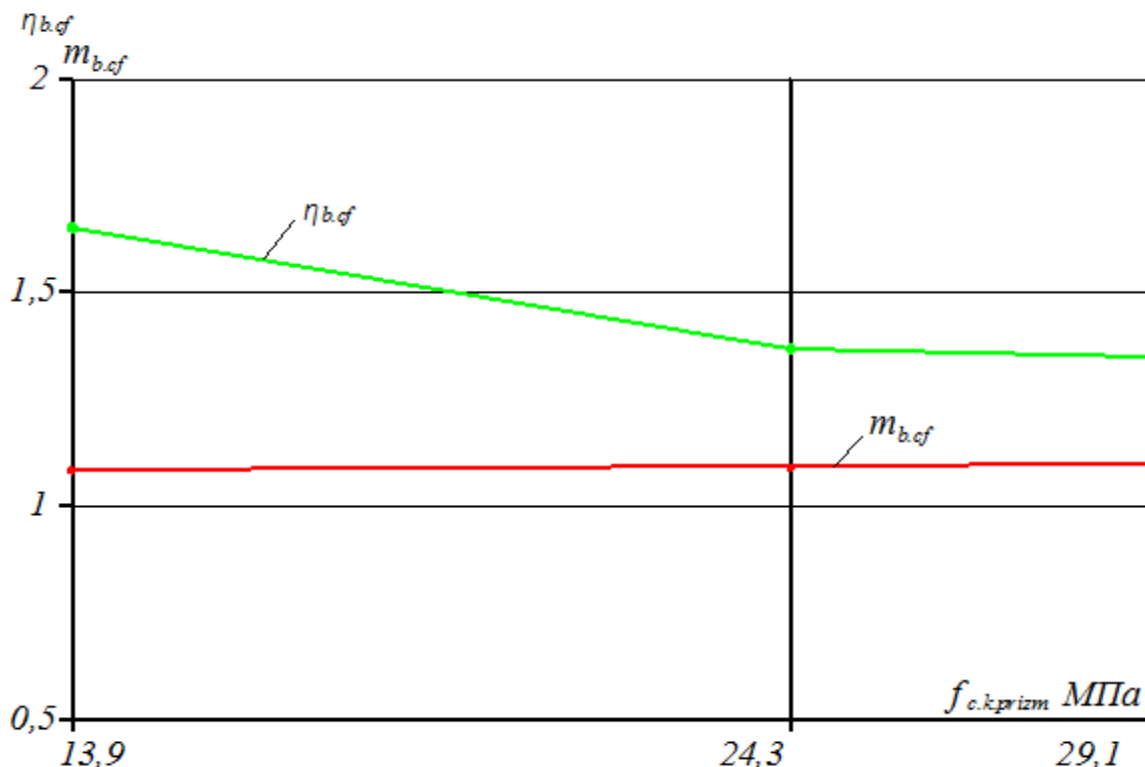


Рис. 6. Залежність коефіцієнтів ефективності $m_{b.cf}$ і $\eta_{b.cf}$ трубобетонних елементів серій ТБ-II-11, ТБ-II-12, ТБ-II-13 від міцності бетону $f_{c,k,prizm}$, МПа

Аналіз ефективності зразків підгрупи IIIa. Як і слід було очікувати, несуча здатність зразків зросла у випадку, коли внутрішня порожнина була заповнена бетоном. Так якщо у випадку незаповненої бетоном порожнини для зразків серії ТБ-IIIa-1-1 несуча здатність N_1 дорівнювала 4075 кН, то при заповненні внутрішньої порожнини бетоном (серія ТБ-IIIa-11-1) $N_1 = 4425$ кН, тобто несуча здатність зразків зросла майже на 10%. Різниця між зусиллями N_2 виявилася ще більшою, для зразків серії ТБ-IIIa-1-1 $N_2 = 4800$ кН, а для зразків серії ТБ-IIIa-11-1 $N_2 = 5500$ кН,

різниця складає майже 15%. Цікаво відмітити, що коефіцієнт n у цьому випадку відповідно дорівнював 0,85 і 0,80.

Окрім того, за табл. 3, можемо порівняти значення коефіцієнтів ефективності трубобетонних елементів $m_{b.cf}$ і $\eta_{b.cf}$ кільцевого перерізу. Так для зразків серії ТБ-IIIa-1-1 $m_{b.cf} = 2,23$, а для зразків серії ТБ-IIIa-11-1 ця величина виявилася дещо більшою, $m_{b.cf} = 2,56$. При заповненні внутрішньої порожнини бетоном величина коефіцієнта ефективності роботи осердя також збільшилася від $\eta_{b.cf} = 1,50$ до $\eta_{b.cf} = 2,00$. Таким чином, у цьому випадку

значення коефіцієнтів ефективності залежать від конструктивних особливостей осердя.

Аналіз ефективності зразків підгрупи ШБ. Аналогічно до попередньої серії, несуча здатність зразків зросла у випадку, коли внутрішня труба була заповнена бетоном. Так якщо у випадку незаповненої бетоном внутрішньої труби для зразків серії ТБ-ШБ-11-1 несуча здатність N_1 становила 1800 кН, то при заповненні внутрішньої труби бетоном (серія ТБ-ШБ-11-11) $N_1 = 2320$ кН, тобто несуча здатність зразків зросла майже на 28%. Різниця між зусиллями N_2 виявилася також суттєвою: для зразків серії ТБ-ШБ-11-1 $N_2 = 1950$ кН, а для зразків серії ТБ-ШБ-11-11 $N_2 = 2320$ кН, різниця складає майже 19%. Цікаво відмітити, що коефіцієнт n у цьому випадку відповідно дорівнював 0,73 і 0,78.

Також у табл. 3 наведені значення коефіцієнтів ефективності трубобетонних елементів $m_{b.cf}$ і $\eta_{b.cf}$ кільцевого перерізу з осердям, зміцненим додатковою внутрішньою трубою. Так для зразків серії ТБ-ШБ-11-1 $m_{b.cf} = 1,35$, а для зразків серії ТБ-ШБ-11-11 ця величина виявилася дещо більшою, $m_{b.cf} = 1,61$. При заповненні внутрішньої порожнини бетоном величина коефіцієнта ефективності роботи осердя також збільшилася від $\eta_{b.cf} = 1,89$ до $\eta_{b.cf} = 2,77$. Таким чином, у цьому випадку значення коефіцієнтів ефективності також залежать від конструктивних особливостей осердя.

З метою ілюстрації підсумків порівняння ефективності роботи всіх досліджуваних елементів складено гістограми значень коефіцієнтів $m_{b.cf}$ та $\eta_{b.cf}$.

На рис. 7 наведена гістограма значень коефіцієнтів ефективності трубобетонних елементів $m_{b.cf}$ та $\eta_{b.cf}$ всіх випробуваних зразків, з якої видно, що найефективнішими у цьому відношенні виявилися зразки серій ТБ-І-11, ТБ-І-12 і ТБ-І-13 ($m_{b.cf} = 2,30$) та ТБ-Ша-11-1 ($m_{b.cf} = 2,56$). Мінімальними значення $m_{b.cf}$ виявилися в зразках з осердям, армованим поздовжньою стрижневою арматурою (зразки серії ТБ-ІІ-11, $m_{b.cf} = 1,11$).

На рис. 8 наведена гістограма значень коефіцієнтів ефективності роботи бетонного осердя трубобетонних елементів $\eta_{b.cf}$ всіх

випробуваних зразків, з якої видно, що найефективнішими у цьому відношенні виявилися також зразки серій ТБ-І-11, ТБ-І-12 і ТБ-І-13 ($\eta_{b.cf} = 4,13$) та ТБ-ШБ-11-11 ($\eta_{b.cf} = 2,77$). Мінімальним значення $\eta_{b.cf}$ виявилася, як і в попередньому випадку, в зразках з осердям, армованим поздовжньою стрижневою арматурою (зразки серії ТБ-ІІ-13, $\eta_{b.cf} = 1,36$).

Висновки. При використанні осердя з високоміцного бетону значно збільшується несуча здатність трубобетонних елементів, хоч ефективність роботи бетонного ядра зі збільшенням міцності бетону дещо зменшується. Окрім того, ефективність роботи елементів групи І суттєво знижується при збільшенні діаметра труби.

За рахунок армування осердя поздовжньою стрижневою арматурою можна значно підвищити як міцність осердя, так і несучу здатність трубобетонного елемента в цілому. Але ефективність роботи бетону осердя в цьому випадку дещо зменшується.

Ефективно працюють при стисненні трубобетонні елементи з центрифугованими осердями. Їх несучу здатність можна значно підвищити, підсилюючи осердя внутрішніми трубами із заповненими бетоном внутрішніми порожнинами. Такі конструктивні елементи кільцевого перерізу можуть ефективно працювати особливо тоді, коли необхідно отримати високу несучу здатність при обмеженій площі поперечного перерізу.

При аналізі значень коефіцієнтів ефективності роботи трубобетону в цілому $m_{b.cf}$ та ефективності роботи бетонного осердя $\eta_{b.cf}$ виявилася, що найбільше значення (2,56) $m_{b.cf}$ було для елементів кільцевого перерізу, а найбільше значення $\eta_{b.cf}$ (4,13) спостерігалось в елементах зі сталевих труб, заповнених високоміцним бетоном.

При визначенні, який спосіб зміцнення осердя необхідно приймати при проектуванні конструкції, необхідно враховувати індивідуально як особливості умов роботи даної конструкції, так і її техніко-економічні показники.

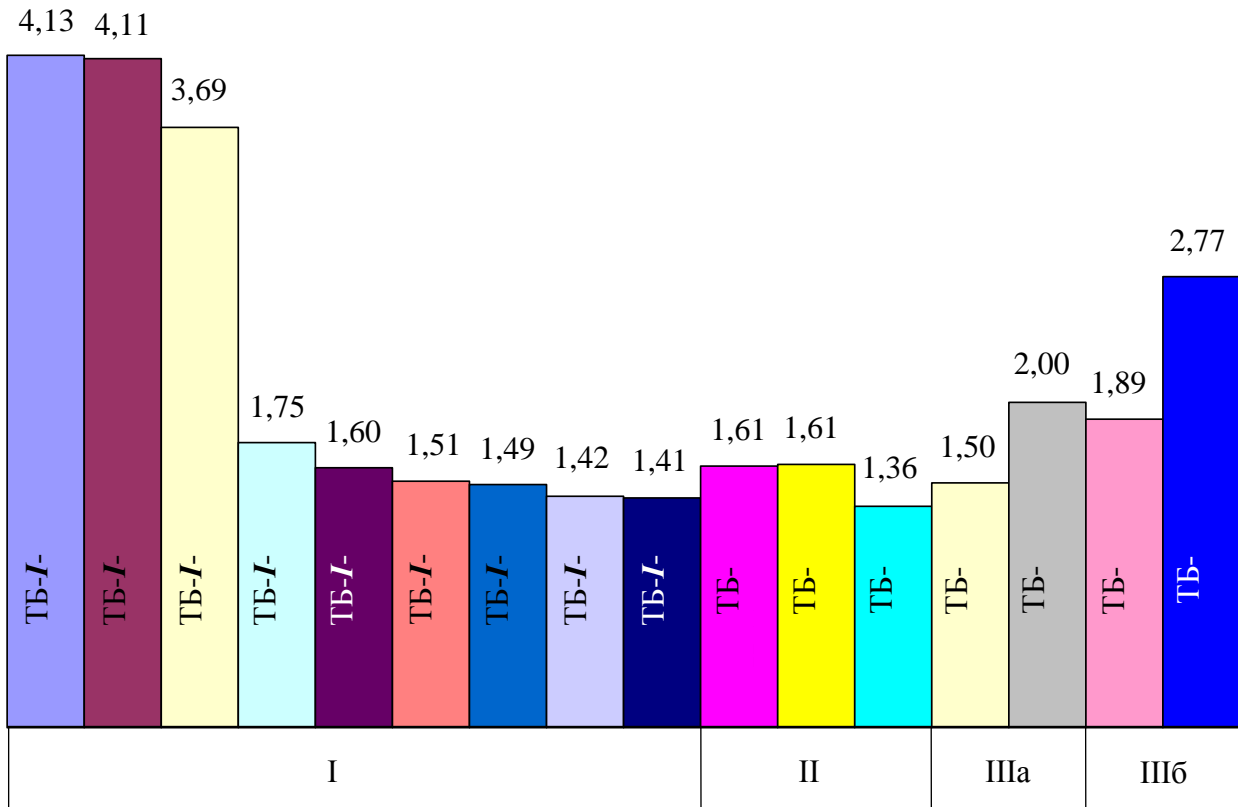


Рис.8. Гістограма значень коефіцієнта $\eta_{b,cf}$ випробуваних зразків

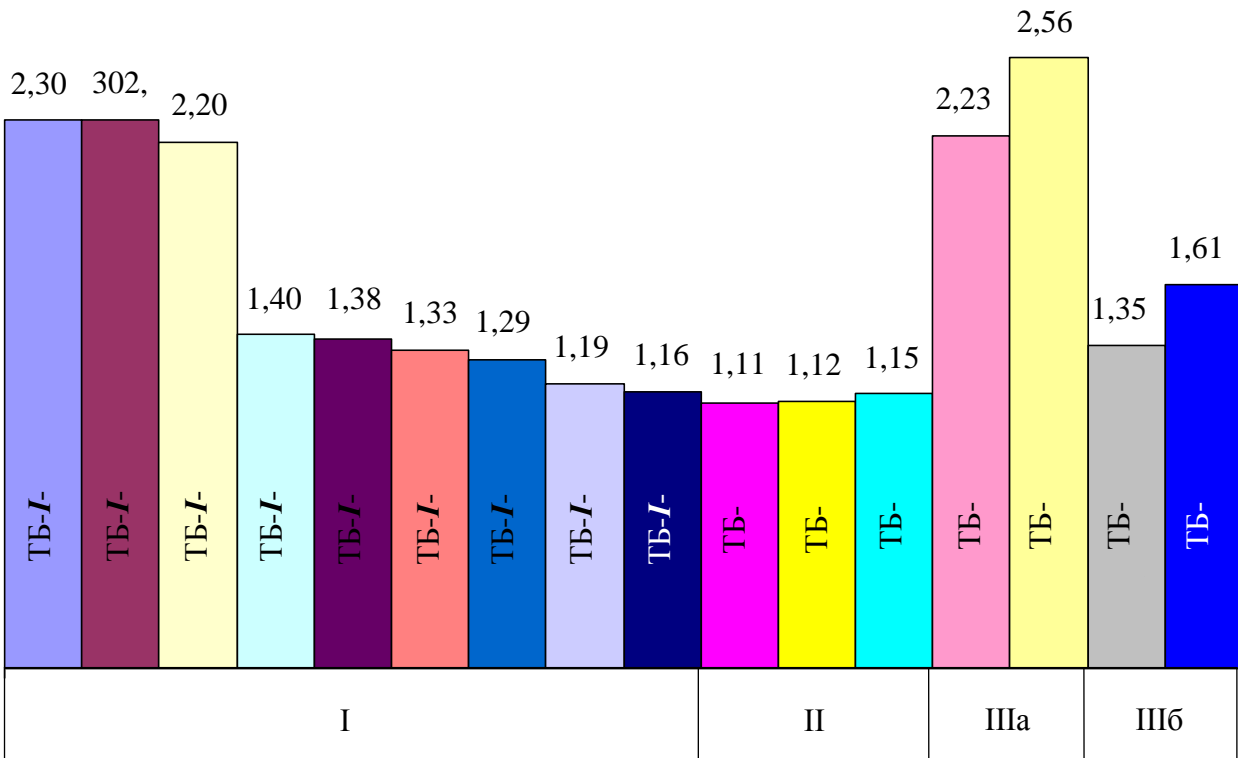


Рис. 7. Гістограма значень коефіцієнта $t_{b,cf}$ випробуваних зразків

Список використаних джерел

1. Стороженко Л.И. Эффективность сжатых элементов с различными способами армирования / Л.И. Стороженко // Изв. вузов «Строительство и архитектура». – 1981. – №6. – С. 26 – 29.

2. Ефименко В.И. Центрифугированные трубобетонные конструкции / В.И. Ефименко. – Кривой Рог: КТУ, 2008. – 257 с.
3. Ефименко В.И. Напряженно-деформированное состояние в упругой стадии работы центрифугированных трубобетонных элементов при осевом сжатии / В.И.Ефименко, А.П.Сухан // Зб. „Будівельні конструкції”. К.: НДІБК. – Вип. 70, 2008. – С. 96 – 102.
4. Єфіменко В.І. Несучі конструкції зі сталевих труб, заповнених центрифугованим бетоном: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.І. Єфіменко. – Дніпропетровськ, 2009. – 38 с.
5. Сурдін В.М. Дослідження ефективності роботи бетонного ядра стиснутих трубобетонних елементів / В.М. Сурдін, В.І. Єфіменко, О.П. Сухан // Міжвідомчий наук.-техн. збірник "Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація". Збірник наук. праць. – Київ: НДІБК, 2006. – Вип.65. – С. 205 – 208.
6. Стороженко Л.І. Трубобетон: монографія / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко, Д.А. Єрмоленко – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 306 с.
7. Семко О.В. Надійність сталезалізобетонних конструкцій: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / О.В. Семко. – Полтава, 2006. – 34 с.
8. Харченко С.А., Жуков С.А., Паршин А.В. Исследование трубобетонных элементов с упрочненными ядрами. – Кривой Рог: Минерал,2008. – 140 с.
9. Кикин А.И. Конструкции из стальных труб заполненных бетоном / А.И. Кикин, Р.С. Санжаровский, В.А. Трулль – М.: Стройиздат, 1974. – 145 с.

Єфіменко Віктор Іванович, д-р техн. наук, професор; кафедра архітектури та містобудування; ДВНЗ «Криворізький національний університет». Тел.: (056) 409-06-13. E-mail: arkada2009@ukr.net.

Паливода Олександр Анатолійович, асистент; кафедра будівельних конструкцій; ДВНЗ «Криворізький національний університет». Тел.: (056) 409-06-28. E-mail: palyvoda87@mail.ru.

Efimenko Victor Ivanovych, d-r science, professor; department of architecture and urban planning; SIHE «Kryvyi Rih National University». Tel.: (056) 409-06-13. E-mail: arkada2009@ukr.net.

Palyvoda Olexandr Anatoliyovych, assistant; department of building constructions;SIHE «Kryvyi Rih National University». Tel.: (056) 409-06-28. E-mail: palyvoda87@mail.ru.