

УДК 624.012

ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ ВАРИАНТІВ ЗМІЦНЕННЯ ОСЕРДЯ СТИСНУТИХ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

ПАЛИВОДА О. А. ^{1*},
ЄФІМЕНКО В. І. ², *д.т.н., проф.*

^{1*} Кафедра будівельних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», вул. XXII партз'їзду, 11, 50027, м. Кривий Ріг, Україна, тел. +38 (0564) 09-06-28, e-mail: palyvoda87@mail.ru

² Кафедра архітектури та містобудування, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», вул. XXII партз'їзду, 11, 50027, м. Кривий Ріг, Україна, тел. +38 (0564) 09-06-13, e-mail: arkada2009@ukr.net

Анотація. Мета. Необхідно визначити найбільш оптимальні варіанти серед запропонованих способів зміцнення осердя труобетонних елементів, що працюють на центральний стиск. **Методика.** Запропонований алгоритм визначення найбільш прийнятних конструктивних рішень для труобетонних елементів, що мають підвищену міцність, базується на порівнянні коефіцієнтів ефективності роботи досліджуваних зразків, що відповідають різним способам зміцнення ядра. Для отримання результатів, які дають можливість в достатній мірі судити про ефективність труобетонних елементів при осьовому стиску в залежності від способу зміцнення осердя, були запроєктовані та виготовлені три групи зразків: 1) з осердями з високоміцного бетону; б) з осердями, зміцненими поздовжньою стрижневою арматурою; в) багат шарові осердя різного типу. Під час експериментальних досліджень були визначені несуча здатність та напружений стан даних зразків. Про раціональність використання труобетонних елементів було вирішено судити за значеннями коефіцієнтів ефективності їх роботи. **Результати.** Встановлено, що зі збільшенням несучої здатності труобетонного елемента будь-яким із запропонованих методів, ефективність роботи бетону осердя знижується. При аналізі значень коефіцієнтів ефективності роботи труобетону в цілому $m_{b,cf}$ та ефективності роботи бетонного осердя $\eta_{b,cf}$ виявилось, що найбільше значення першого показника спостерігалось в елементах кільцевого перерізу, а відповідно найбільше значення другого – в елементах зі сталевих труб, заповнених високоміцним бетоном. Окрім того, 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. **Наукова новизна.** Запропоновані нові конструктивні форми стиснутих труобетонних елементів зі зміцненим осердям, в яких забезпечується сумісна робота сталеві оболонки та ядра. Визначені впливи різних конструктивних схем на деформативність, несучу здатність та ефективність роботи розглянутих елементів. **Практична значимість.** Представлені пропозиції щодо оцінки раціональності використання зміцнених труобетонних елементів із різними конструктивними рішеннями.

Ключові слова: труобетон; зміцнене осердя; ефективність; суцільний переріз; кільцевий переріз

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ УПРОЧНЕНИЯ ЯДРА СЖАТЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ПАЛИВОДА А. А. ^{1*},
ЕФИМЕНКО В. И. ², *д.т.н., проф.*

^{1*} Кафедра строительных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», ул. XXII партсъезда, 11, 50027, г. Кривой Рог, Украина, тел. +38 (0564) 09-06-28, e-mail: palyvoda87@mail.ru

² Кафедра архитектуры и градостроительства, Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», ул. XXII партсъезда, 11, 50027, г. Кривой Рог, Украина, тел. +38 (0564) 09-06-13, e-mail: arkada2009@ukr.net

Аннотация. Цель. Необходимо определить наиболее оптимальные варианты среди предложенных способов упрочнения ядра труобетонных элементов, которые работают на центральное сжатие. **Методика.** Предложенный алгоритм определения наиболее приемлемых конструктивных решений для труобетонных элементов, которые обладают повышенной прочностью, базируется на сравнении коэффициентов эффективности работы исследуемых образцов, которые соответствуют разным способам упрочнения ядра. Для получения результатов, которые дадут возможность в достаточной мере судить об эффективности труобетонных элементов при осевом сжатии в зависимости от способа укрепления сердечника, были запроектированы и изготовлены три группы образцов: 1) с сердечниками из высокопрочного бетона; б) с сердечниками, укрепленными продольной стержневой арматурой; в) многослойные сердечники различного типа. Во время экспериментальных исследований были определены несущая способность и напряженное состояние данных образцов. О рациональности использования труобетонных элементов было решено судить по значениям коэффициентов эффективности их работы. **Результаты.** Установлено, что с увеличением несущей способности труобетонного элемента любым из предложенных методов, эффективность работы бетона сердечника снижается. При анализе значений коэффициентов эффективности работы труобетона в целом $m_{b,cf}$ и эффективности работы бетонного сердечника $\eta_{b,cf}$ оказалось, что наибольшее значение первого показателя наблюдалось в элементах кольцевого сечения, а соответственно

наибольшее значение второго – в элементах из стальных труб, заполненных высокопрочным бетоном. Кроме того, при определении, какой способ укрепления сердечника необходимо принимать при проектировании конструкции, необходимо учитывать индивидуально как особенности условий работы данной конструкции, так и ее технико-экономические показатели. **Научная новизна.** Предложены новые конструктивные формы сжатых трубобетонных элементов с укрепленным сердечником, в которых обеспечивается совместная работа стальной оболочки и ядра. Определены влияния различных конструктивных схем на деформативность, несущую способность и эффективность работы рассмотренных элементов. **Практическая значимость.** Представлены предложения по оценке рациональности использования усиленных трубобетонных элементов с различными конструктивными решениями.

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

FIND THE OPTIMAL STRENGTHENING CORE OF COMPRESSED TUBE CONFINED CONCRETE ELEMENTS

PALYVODA O. A.^{1*},
EFIMENKO V. I.², *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

^{1*} Department of building constructions, State Higher Education Establishme «Kryvyi Rih National University», 11, XXII Partzjizdu str., 50027, Kryvyi Rig, Ukraine, Tel.: +38 (056) 409-06-28, e-mail: palyvoda87@mail.ru

² Department of architecture and urban planning, State Higher Education Establishme «Kryvyi Rih National University», 11, XXII Partzjizdu str., 50027, Kryvyi Rig, Ukraine, Tel.: +38 (056) 409-06-13, e-mail: arkada2009@ukr.net

Abstract. Purpose. To identify the best options for strengthening the core of compressed tube confined concrete elements. **Methodology.** The proposed algorithm for determining the most suitable design solutions for tube confined concrete elements with increased strength. It is based on a comparison of the effectiveness of the coefficients of samples To obtain experimental results that will enable to judge sufficiently on the operation characteristics of these elements in axial compression depending on how the core is strengthened the following groups of samples were designed and manufactured: a) samples of the of high-strength concrete cores; b) samples of core strengthened by longitudinal reinforcement. c) multi-core samples of various types. During experimental studies identified strength and stress-strain state of these samples. *The analysis of the obtained values of the efficiency coefficients of studied samples is performed.* It will give insight on the rationality of the use of a specific method. **Findings.** By reinforcing the core by different methods we can significantly increase both core strength and bearing capacity of the tube confined concrete element on the whole. But the effectiveness of the concrete core in this case is somewhat reduced. The highest rate coefficient of efficiency of the tube confined concrete in general $m_{b,cf}$ observed in cores annular section. And the highest rate coefficient of the performance concrete core $\eta_{b,cf}$ observed in cores filled with high-strength concrete. In determining how to strengthen the core it must be taken when designing structures, it should be considered individually as a particular operation environment of the construction and its technical and economic properties. **Originality.** The proposed new structural forms of the tube confined concrete elements with reinforced cores. The influence of various design schemes to deformation, strength and effectiveness of tube confined concrete elements. **Practical value.** 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.

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 найбільш оптимальних серед них, з урахуванням більшості факторів впливу. Це дасть змогу більш раціонально підходити до вибору конструктивних рішень трубобетонних конструкцій для певних умов та вимог.

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 [4]. Пізніше більш предметно її висвітлює Л. І. Стороженко [9]. Проте сьогодні питання ефективності роботи стиснутих труобетонних елементів, зокрема тих, що мають підвищену міцність, набули ще більшої актуальності та потребують подальшого поглибленого вивчення [13 – 16].

Вагомий внесок у даному напрямку зроблений представниками Полтавської та Криворізької шкіл труобетону [1 – 3, 5 – 12]. Зокрема питання ефективності роботи бетонного ядра ґрунтовно розглянуті у джерелах [8, 10].

У джерелах [1 – 3] наведені дослідження труобетону 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 [11-12], отримані висновки, що з поміж розглянутих варіантів зміцнення осердя стиснутих елементів найбільш ефективно працює ядро із фібробетону. При цьому зауважено, що застосування труобетонних конструкцій з ядром із фібробетону доцільно, якщо до конструкції ставляться вимоги стійкості до впливу ударних навантажень, вібрацій, підвищеної морозостійкості.

Праця О. В. Семка [5] ще раз підтверджує тісний зв'язок надійності роботи сталезалізобетонних конструкцій із ефективністю.

Мета

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

Методика

Для отримання результатів, які дадуть можливість в достатній мірі судити про ефективність труобетонних 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 труобетону. 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 з нормами.

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
Characteristics of prototypes groups I and 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	–
	TB-I-11	110,6	2,75	50,0
	TB-I-12	110,6	2,75	64,2
	TB-I-13	110,6	2,75	80,0
	TB-I-21	163,0	5,50	50,0
	TB-I-22	163,0	5,50	64,2
	TB-I-23	163,0	5,50	80,0
	TB-I-31	204,4	5,20	50,0
	TB-I-32	204,4	5,20	64,2
	TB-I-33	204,4	5,20	80,0
	II	T-II-1	159,0	4,00
TB-II-11		159,0	4,00	13,9
TB-II-12		159,0	4,00	24,3
TB-II-13		159,0	4,00	29,1

Примітка. Труобетонні зразки групи II армовані поздовжньою стрижневою арматурою 6 d 12 А-III.

Таблиця 2

**Характеристика дослідних зразків групи III
Characteristics of prototypes group III**

Під-група зразків	Серія зразків	Характеристика зовнішньої труби D×t, мм	Характеристика внутрішньої труби $D_v \times t_v$, мм	Міцність бетону кільця $f_{ck,prism1}$, МПа	Міцність бетону заповнення $f_{ck,prism2}$, МПа
IIIa	T-IIIa-I	325,0×8,0	–	–	–
	TB-IIIa-I-I	325,0×8,0	–	38,9	–
	TB-IIIa-II-I	325,0×8,0	–	38,9	28,8
IIIб	T-IIIб-I'	169,0×6,0	–	–	–
	T-IIIб-I''	–	89,0×2,8	–	–
	TB-IIIб-II-I	169,0×6,0	89,0×2,8	21,0	–
	TB-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 [4] 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 сприйняти випробовуваний елемент.

Таблиця 3

Експериментальні значення несучої здатності зразків груп I, II та підгруп IIIa, IIIb
Experimental parameters of the load bearing capacity for prototypes of I, II and IIIa, IIIb

Серія зразків	Несуча здатність, кН		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-1	2150	-	-	-	-
ТБ-IIIa-I-1	4075	4800	0,85	2,23	1,50
ТБ-IIIa-II-1	4425	5500	0,80	2,56	2,00
ТБ-IIIb-II-1	1420	1950	0,73	1,35	1,89
ТБ-IIIb-II-2	1800	2320	0,78	1,61	2,77

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

Про раціональність використання трубобетону можна судити за значеннями коефіцієнтів ефективності. Перший з них характеризує роботу трубобетонного 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 трубобетонного 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 трубобетонному 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 трубобетонного 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} і A_{s1} відповідно розрахунковий опір сталі додаткової внутрішньої труби та площа її поперечного перерізу.

Результати

Аналіз ефективності зразків групи I. Аналізуючи залежності коефіцієнтів ефективності роботи трубобетонних елементів $m_{b,cf}$ та $\eta_{b,cf}$ від міцності бетону осердя та від діаметра труби, слід відмітити наступне: 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.

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.

Аналізуючи залежність значень коефіцієнтів ефективності трубобетонних елементів $m_{b,cf}$ і $\eta_{b,cf}$ зі

стрижневим армуванням від міцності бетону осердя, варто зауважити, що величина коефіцієнта $m_{b,cf}$ залишається майже однаковою, а значення коефіцієнта $\eta_{b,cf}$ знижується на 15...18 % зі збільшенням міцності бетону. При цьому необхідно зазначити, що при наявності стрижневої арматури ефективність роботи бетону в осерді трубобетонного елемента зменшується.

Аналіз ефективності зразків підгрупи Ша. 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-Ша-1-1 несуча здатність N_1 дорівнювала 4075 кН, то при заповненні внутрішньої порожнини бетоном (серія ТБ-Ша-11-1) $N_1 = 4425$ кН, тобто несуча здатність зразків зросла майже на 10 %. Різниця між зусиллями N_2 виявилася ще більшою. Так для зразків серії ТБ-Ша-1-1 $N_2 = 4800$ кН, а для зразків серії ТБ-Ша-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-Ша-1-1 $m_{b,cf} = 2,23$, а для зразків серії ТБ-Ша-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, відповідно 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 додатково 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.

Підбиваючи підсумки порівняння ефективності роботи всіх досліджуваних елементів, необхідно виокремити отримані результати. Порівнюючи значення коефіцієнтів ефективності трубобетонних елементів $m_{b,cf}$ всіх випробуваних елементів, 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, $m_{b,cf} = 1,11$). Порівнюючи значення коефіцієнтів ефективності роботи бетонного осердя трубобетонних елементів $\eta_{b,cf}$ всіх випробуваних зразків, 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, $\eta_{b,cf} = 1,36$).

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновані нові конструктивні форми стиснутих трубобетонних елементів зі зміцненим осердям, в яких забезпечується сумісна робота сталевих оболонки та ядра. Визначені впливи різних конструктивних схем на деформативність, несучу здатність та ефективність роботи розглянутих елементів.

Представлені пропозиції щодо оцінки раціональності використання зміцнених трубобетонних елементів із різними конструктивними рішеннями.

Висновки

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. Аналіз значень коефіцієнтів ефективності роботи труботону в цілому $m_{b,cf}$ та ефективності роботи бетонного осердя $\eta_{b,cf}$ показав, що найбільший показник (2,56) $m_{b,cf}$ було отримано для елементів кільцевого перерізу, а найбільший показник $\eta_{b,cf}$ (4,13) спостерігався в елементах зі сталевих труб, заповнених високоміцним бетоном.

5. 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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Ефименко В.И. Напряженно-деформированное состояние в упругой стадии работы центрифугированных труботонных элементов при осевом сжатии / В.И. Ефименко, А.П. Сухан // Будівельні конструкції. – Київ, 2008. – Вип. 70. – С. 96 – 102.

Efimenko V.I., Suhan A.P. Napriazhenno-deformirovannoe sostojanie v uprugoy stadii raboty tseftrifugirovannykh trubobetonnykh elementov pri osevom szhatii [Stress-strain state of spun tube confined concrete elements]. Budivelni konstruksiji [Building structures], 2008, issue 70, pp. 96 – 102. http://www.nbu.gov.ua/old_jm/natural/Bud_kon/2008_70.pdf

2. Ефименко В.И. Центрифугированные труботонные конструкции / В.И. Ефименко. – Кривой Рог : КТУ, 2008. – 257 с.

Efimenko V.I. Tseftrifugirovannye trubobetonnye konstruksiji [Spun tube confined concrete structures]. Krivoy Rog, KTU Publ., 2008. – 257 p. <http://catalog.odn.odessa.ua/opac/index.php?url=/notices/index/IdNotice:159459/Source:default#>

3. Єфіменко В.І. Несучі конструкції зі сталевих труб, заповнених центрифугуванням бетоном : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.01 / Єфіменко Віктор Іванович; Придніпровська держ. акад. будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2009. – 38 с.

Efimenko V.I. Nesuchi konstruksiji zi stalevyh trub zapovnenykh tseftrifugovanim betonom. Avtoreferat Diss. [Bearings structures of steel pipes filled with spun concrete. Author's abstract.]. Dnipropetrovsk, 2009. 38 p. http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:FD1pfWHTm40J:www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe%3FC21COM%3D2%26I21DBN%3DARD%26P21DBN%3DARD%26Z21ID%3D%26Image_file_name%3DDOC/2009/09evizcb.zip%26IMAGE_FILE_DOWNLOAD%3D1+&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=ru

4. Кикин А.И. Конструкции из стальных труб заполненных бетоном / А.И. Кикин, Р.С. Санжаровский, В.А. Трулль – Москва : Стройиздат, 1974. – 145 с.

Kikin A.I., Sanzharovskiy R.S., Trull V.A. Konstruksiji iz stalnyh trub zapolnennyh betonom [The tube confined concrete structures]. Moskva, Stroyizdat Publ., 1974. – 145 p. <http://elima.ru/books/index.php?id=604>

5. Семко О.В. Надійність сталезалізобетонних конструкцій : автореф. дис. ... д-ра техн. наук 05.23.01 / Семко Олександр Володимирович; Полтавський нац. тех. ун-т ім. Ю. Кондратюка – Полтава, 2006. – 34 с.

Semko O.V. Nadiinist stalezalizobetonnykh konstruksiji. Avtoreferat Diss. [The reliability of steel-concrete composite structures. Author's abstract.]. Poltava, 2006. 34 p. http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=ARD&P21DBN=ARD&Z21ID=&Image_file_name=DOC/2006/06sovnsk.zip&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1

6. Стороженко Л.І. Високоєфективні бетони для заповнення труботонних конструкцій з використанням місцевих матеріалів / Л.І. Стороженко, Д.А. Єрмоленко,

О.В. Демченко, Р.В. Халява, Т.В. Халява // Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава, 2014. – Вип. 1. – С. 104 – 108.

Storozhenko L.I., Yermolenko D.A., Demchenko O.V., Khaliava R.V., Khaliava T.V. Vysokoeffektyvni betony dlia zapovneni trybobotonnykh konstruksiji z vykorystanniam mistsevykh materialiv [High-performance tube confined concrete to fill concrete structures using local materials]. Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo [branch of engineering, construction], 2013, issue 1, pp. 104 – 108. http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Znpgmb_2014_1_16.pdf

7. Стороженко Л.І. Експериментальні дослідження високоміцних бетонів для ядер труботонних елементів / Л.І. Стороженко, Д.А. Єрмоленко, О.В. Демченко // Ресурсоекономічні матеріали, будівлі та споруди. – Рівне, 2013. – Вип. 27. – С. 228 – 234.

Storozhenko L.I., Yermolenko D.A., Demchenko O.V. Eksperymentalni dosliszhennia vysokomitsnykh betoniv dlia yader trybobotonnykh elementiv [Experimental study of high-strength concrete for use in cores concrete filled stell tube elements]. Resursoekonomni materialy, budivli ta sporudy [Economic resource materials and buildings], 2013, issue 27, pp. 228 – 234. http://nbuv.gov.ua/j-pdf/rmkbs_2013_27_32.pdf

8. Стороженко Л.І. Труботон / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко, Д.А. Єрмоленко – Полтава : ПолтНТУ, 2009. – 306 с.

Storozhenko L.I., Lapenko O.I., Yermolenko D.A. Trubobeton [Tube confined concrete]. Poltava, PoltNTU Publ., 2009. – 306 p.

<http://lib.pntu.edu.ua/katalog/>

9. Стороженко Л.И. Эффективность сжатых элементов с различными способами армирования / Л.И. Стороженко // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1981. – Вып. 6. – С. 26 – 29.

Storozhenko L.I. Efektivnost szhatykh elementov s razlichnymi sposobami armirovaniya [The effectiveness of compression members with different ways of reinforcing]. Izvestiya vysshyyh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo i arkhitektura [Proceedings of the higher educational institutions. Construction and architecture], 1981, issue 6, pp. 26 – 29. <http://izvuzstr.sibstrin.ru/>

10. Сурдін В.М. Дослідження ефективності роботи бетонного ядра стиснутих труботонних елементів / В.М. Сурдін, В.І. Єфіменко, О.П. Сухан // Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. – Київ, 2006. – Вип. 65. – С. 205 – 208.

Surdin V.M., Efimenko V.I., Sukhan A.P. Dosliszhennia efektyvnosti roboty betonnoho yadra stysnutykh trybobotonnykh elementiv [The efficacy of the concrete core of compressed tube confined concrete elements]. Stalezalizobetonni konstruksiji: doslidzhennia, proektuvannia, budivnytstvo, ekspluatatsiia [Tube confined concrete structures: research, construction, designing, exploitation], 2006, issue 65, pp. 205 – 208. http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe

11. Харченко С.А. Графическая интерпретация результатов исследования упрочнения бетонного ядра трубобетонных элементов / С.А. Харченко, С.А. Жуков, А.В. Паршин, А.А. Паливода // Гірничий вісник. – Кривий Ріг, 2014. – Вип. 97. – С. 43 – 48.

Kharchenko S.A., Zhukov S.A., Parshin A.A., Palivoda A.A. Graficheskaya interpretatsiya rezultatov issledovaniya uprochneniya betonnoogo yadra trubobetonnyh elementov [Graphical interpretation of the study results of hardening concrete core concrete elements]. Hirnychiy visnyk [Mining Gazette], 2014, issue 97, pp. 43 – 48.
http://journal.knu.edu.ua/gv_97.pdf

12. Харченко С.А. Исследование трубобетонных элементов с упрочненными ядрами / С.А. Харченко, С.А. Жуков, А.В. Паршин. – Кривой Рог : Минерал, 2008. – 140 с.

Kharchenko S.A., Zhukov S.A., parshin A.V. Issledovaniye trubobetonnykh elementov s uprochnennymi yadrami [studies of tube confined concrete elements with reinforced cores]. Krivoy Rog, Mineral Publ., 2008. – 140 p.
[http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=S&I21DBN=REF&P21DBN=REF&S21FMT=fullweb&S21ALL=\(%3C.%3EU%3D%0%9D5352-028%3C.%3E\)&FT_REQUEST=&FT_PREFIX=&Z21ID=&S21STN=1&S21REF=10&S21CNR=20](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=S&I21DBN=REF&P21DBN=REF&S21FMT=fullweb&S21ALL=(%3C.%3EU%3D%0%9D5352-028%3C.%3E)&FT_REQUEST=&FT_PREFIX=&Z21ID=&S21STN=1&S21REF=10&S21CNR=20)

13. Mechanical Properties of High Strength Concrete Filled Steel Tubular Columns / Ke Feng Tan, Lai Bao Liu // Advanced Materials Research Vols. 2012. – p. 1119 – 1125.
<http://www.ttp.net/1022-6680.html>

14. Yue-Ming Hu. Behavior and modeling of FRP-confined hollow and concrete-filled steel tubular columns / Ph.D. The Hong-Rong Polytechnic university. 2011. – 342 p.
http://repository.lib.polyu.edu.hk/jspui/bitstream/10397/4270/2/b24250399_ir.pdf

15. Yasuo Ichinohe, Teruo Matsutahi, Masavoshi Nakajanma, Hiroki Ueda, Keiichi Takada. Elasto-plastic behavior of concrete filled steel circular columns // The International Speciality Conference on Concrete Filled Steel Tubular Structures. – Fukuoka, 2009. – p. 131 – 136.
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:hvBpIjgCSDoJ:civiljournal.semnan.ac.ir/pdf_12_666a3fb4385f3356708ce135bede2a4a.html+&cd=4&hl=ru&ct=clnk&gl=ua

16. Feng Yu, Ditao Niu. Stress-strain model of PVC-FRP confined concrete column subjected to axial compression // International Journal of the Physical Sciences. Vol. 5(15), 2010. – PP.2304 – 2309.
http://www.researchgate.net/publication/268434679_Stress-strain_model_of_PVC-FRP_confined_concrete_column_subjected_to_axial_compression

Стаття рекомендована до публікації д-ром техн. наук, проф. С.О. Жуковим (Україна); д-ром техн. наук, проф. Д.А. Єрмоленком (Україна)

Стаття надійшла до редколегії: 25.04.2015.