

ТРУБОБЕТОННІ ЕЛЕМЕНТИ ЗІ ЗМІЦНЕНИМ ОСЕРДЯМ

Розроблено методику експериментальних досліджень трубобетонних елементів зі зміцненим осердям. Наведено конструкцію й опис дослідних зразків. Отримано дані про міцність, деформативність та характер руйнування трубобетонних елементів із зміцненим осердям залежно від способу зміцнення осердя.

Ключові слова: трубобетон, бетон, жорстке армування, стрижневе армування, кільцевий переріз.

Вступ. У сучасному будівництві виникає необхідність застосовувати стиснені елементи (колони, стійки різного призначення), які б мали велику несучу здатність. Цим вимогам повністю відповідає трубобетон, що складається зі сталевих труб, заповнених бетоном. Завдяки своїм численным перевагам (підвищена міцність бетону осердя за рахунок об'ємного напруженого стану, відсутність опалубки при будівництві, значна економія працевитрат та енергії при зведенні) трубобетон отримав широке розповсюдження в будівництві як у нашій країні, так і за її межами. Одним із недоліків трубобетону, який дещо стримує його застосування, є значні витрати сталі, що підвищує вартість усього будівництва.

Відомо, що в стиснутих трубобетонних елементах діюче зусилля сприймається як трубою оболонкою, так і бетонним осердям. Якщо якимось чином збільшити несучу здатність осердя, то можна зменшити витрати сталі для отримання трубобетонного елемента з наперед заданою несучою здатністю. Тому використання зміцненого осердя приведе до значного зменшення витрат сталі й економії коштів при зведенні конструкції. Таким чином, дослідження стиснутих трубобетонних елементів зі зміцненим осердям є актуальним завданням.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Попри всі економічні труднощі в Україні продовжуються дослідження й будівництво із застосуванням сталезалізобетонних конструкцій. З останніх робіт слід виділити дослідження трубобетону з кільцевими центрифугованими ядрами, що проведені в Криворізькому національному університеті [1]. 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. Значний інтерес являє ряд досліджень, у яких висвітлено специфічні умови роботи трубобетону [2]: при крученні, згині, при повторних навантаженнях, в умовах високих температур. Цікаві роботи присвячені виявленню особливостей поведінки трубобетону в місцях обпирання, у вузлах з'єднання і т.п. [3].

Значні роботи з дослідження сталезалізобетонних конструкцій проводяться у наш час і в Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка [1], в Українській державній академії залізничного транспорту [4], в Національному університеті «Львівська політехніка» [5]

Виділення не розв'язаної раніше частини загальної проблеми. На сьогодні проведені всебічні експериментальні дослідження трубобетонних елементів, розроблені методи їх розрахунку. Але конструктивні вирішення і дослідження трубобетонних елементів зі зміцненими ядрами, шляхом введення додаткових компонентів практично відсутні.

Метою проведення експериментальних досліджень трубобетонних елементів із зміцненим осердям є вивчення питань міцності, особливостей деформування та характеру руйнування при осьовому стиску залежно від способу зміцнення осердя.

Основний матеріал і результати. Для отримання експериментальних результатів, які дадуть можливість достатньою мірою судити про особливості роботи трубобетонних елементів при осьовому стиску залежно від способу зміцнення осердя були запроектовані та виготовлені такі групи зразків (рис. 1, табл. 1 і 2).

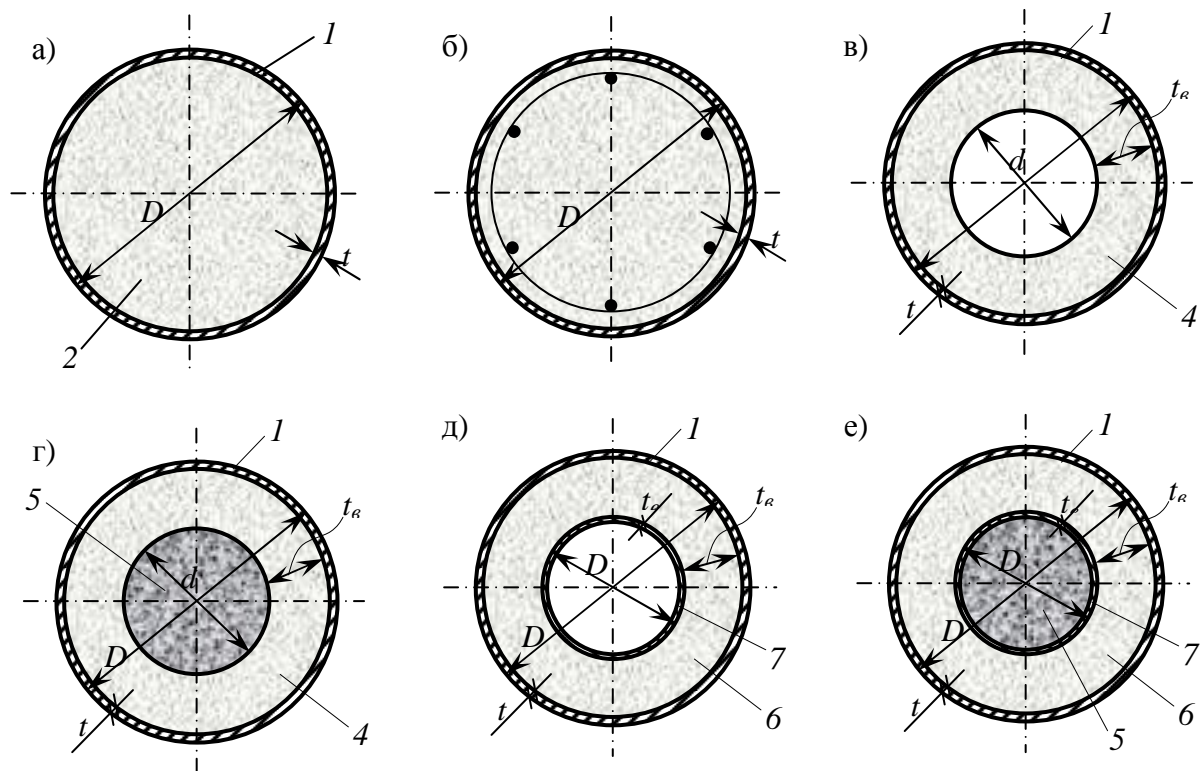


Рисунок 1 – Перерізи дослідних зразків: а – групи I; б – групи II; в – групи III; г – підгрупи IIIа; д – підгрупи IIIб; 1 – труба-оболонка; 2 – осердя з високоміцного бетону ; 3 – бетонне осердя з поздовжньою арматурою; 4 – центрифугований бетон; 5 – бетон, що заповнює порожнину; 6 – бетон між трубами; 7 – внутрішня труба

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	54,2
	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. Трубобетонні зразки групи II армовані поздовжньою стрижневою арматурою 6d12A-III.

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 залежно від наявності додаткової труби в осерді розділені на дві підгрупи: IIIа і IIIб.

Одночасно з відповідними основними зразками планувалося виготовлення зразків із порожніх труб для експериментального визначення коефіцієнта ефективності труботону. Ці зразки мали маркування, наприклад Т-І-1 – труби першого діаметра для зразків першої групи. З метою визначення фізико-механічних властивостей сталі вирізалися спеціальні смужки згідно з ГОСТом.

Таблиця 2 – Характеристика дослідних зразків групи III (підгрупи IIIa та IIIб)

Під-група 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	Т-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	Т-IIIб-I'	169,0×	–	–	–
	Т-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

Разом і з відповідними основними зразками планувалося виготовлення 3-х комплектів стандартних бетонних кубиків (150×150×150 мм) і призм (150×150×600 мм) для визначення фізико-механічних властивостей бетону. Призми мали маркування, наприклад Б-І-1 – бетон першого складу для зразків першої групи.

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

Усі зразки випробовувалися після 28 діб витримування, необхідного для набрання міцності бетоном. Завантажувалися через шарніри по фізичній осі. Загальний вигляд деяких зразків при осьовому завантаженні наведений на рисунку 2. Ступені завантаження складали в основному 0,1 від руйнівної сили на початку випробування і 0,05 – при досягненні граничного стану за несучою здатністю.

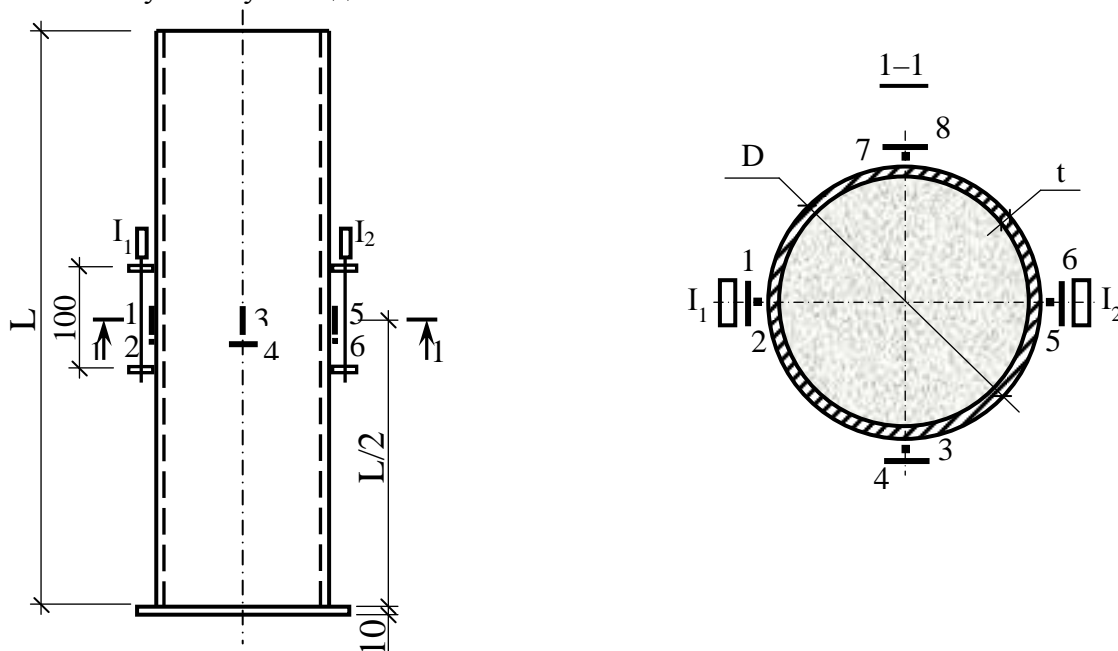


Рисунок 2 – Схема розташування вимірювальних приладів при центральному стисненні зразків

Поздовжні деформації при випробуванні зразків вимірювалися за допомогою індикаторів годинникового типу із ціною поділки 0,01 мм та електротензорезисторів. Схема завантаження зразків при осьовому стисненні й розташування індикаторів годинникового типу наведені на рисунку 2.

До металевої поверхні труби приварювали гайки для кріплення індикаторів і прогиномірів до дослідних зразків. Перед наклеюванням електротензорезисторів поверхня зразків ретельно прочищали та знежирювали. Електротензорезистори наклеювалися за допомогою клею БФ-2. Для зняття показників використовувався прилад АИД-2М.

Були заплановані три групи (*I, II, III*) експериментальних зразків трубобетонних елементів зі зміцненими осердями, які виготовлялися з використанням бетонів, що мали різні фізико-механічні властивості (табл. 3), та з різних труб (табл. 4). Тому розглянемо результати їх дослідження окремо за кожною з груп.

Таблиця 3 – Фізико-механічні характеристики випробуваного бетону для зразків групи I

Склад бетону	Кубикова міцність, МПа	Призмova міцність $f_{ck,prism}$, МПа	Модуль дефрмацій $E_b \times 10^{-4}$, МПа	Коефіцієнт Пуассона ν
1	26,8	18,8	1,98	0,16
2	82,3	64,2	2,20	0,14
3	98,7	80,0	2,40	0,13

для зразків групи II

Склад бетону	Кубикова міцність, МПа	Призмova міцність $f_{ck,prism}$, МПа	Модуль дефрмацій $E_b \times 10^{-4}$, МПа	Коефіцієнт Пуассона ν
1	15,1	13,9	1,25	0,17
2	27,6	24,3	2,00	0,16
3	33,6	29,0	2,13	0,17

для зразків підгрупи III

Склад бетону	Кубикова міцність, МПа	Призмova міцність $f_{ck,prism}$, МПа	Модуль дефрмацій $E_b \times 10^{-4}$, МПа	Коефіцієнт Пуассона ν
1	39,6	28,8	2,40	0,18
2	27,6	21,0	2,00	0,17

Таблиця 4 – Фізико-механічні характеристики сталі труб

Серія зразків	Діаметр і товщина стінки труби D_{xt} , мм	Напруження при стиску		Напруження при розтягу R_y , МПа
		R_y , МПа	R_u , МПа	
T-I-1	110,6x1,9	308	445	540
T-I-2	163,0x5,5	317	475	562
T-I-3	204,4x5,2	336	413	523

У результаті експериментальних досліджень була визначена несуча здатність випробуваних трубобетонних зразків. У нашому випадку, згідно рекомендаціями [6] 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 поздовжніми деформаціями величини, що відповідала межі плинності сталі, а N_2 – повному руйнуванню зразка. У випадку, коли руйнування у загальноприйнятому значенні не відбувалося, за N_2 приймалося значення максимального зусилля, яке був здатний сприйняти випробовуваний елемент.

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

Про раціональність використання труботетону можна судити за значеннями коефіцієнтів ефективності. Перший з них характеризує роботу труботетонного 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 труботетонного 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 урахує ефективність роботи бетону в труботетонному 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 обчислених за формулами (1) – (3) коефіцієнтів ефективності $n, m_{b,cf}, \eta_{b,cf}$ наведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Експериментальні значення несучої здатності випробуваних зразків груп I, II та підгруп IIIa, IIIб

Серія зразків	Несуча здатність, кН		Коефіцієнти ефективності		
	N_1	N_2	n	$m_{b,cf}$	$\eta_{b,cf}$
Т-I-1	188	-	-	-	-
Т-I-2	640	-	-	-	-
Т-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
Т-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
Т-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

При комплексному кільцевому перерізі, коли осердя було підсилене внутрішньою поздовжньою трубою, коефіцієнт ефективності роботи труботетонного елемента $m_{b,cf}$ обчислювався 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.

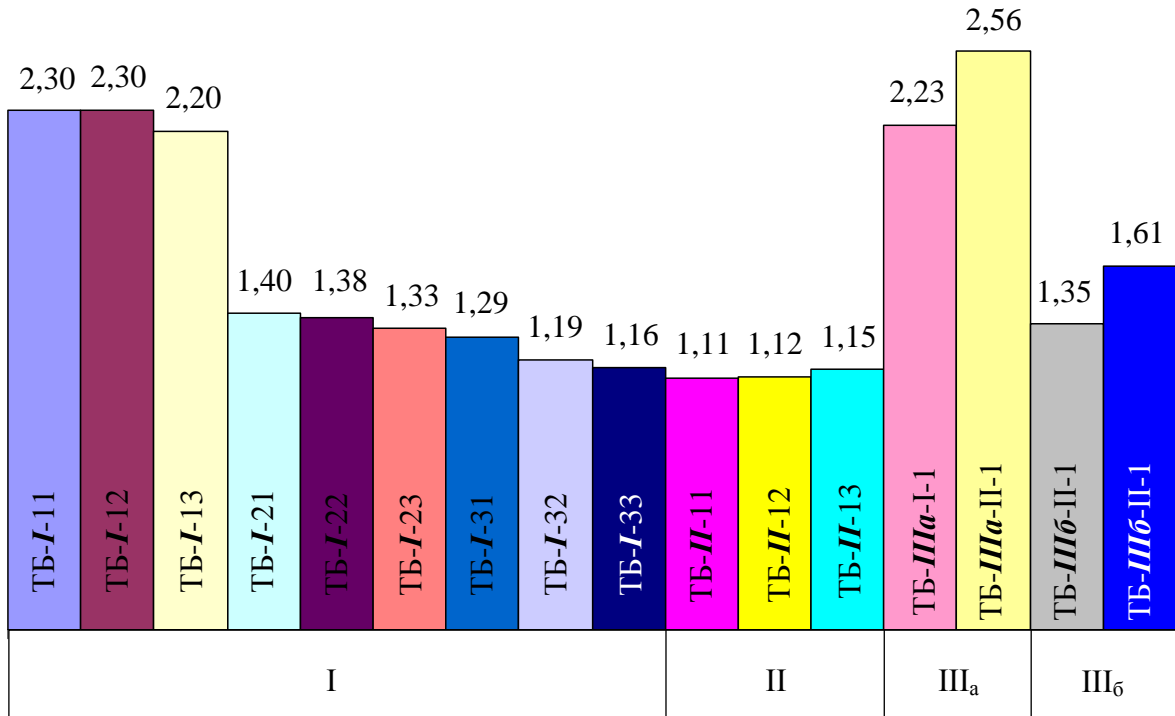


Рисунок 3 – Гістограма значень коефіцієнта $m_{b,cf}$ випробуваних зразків

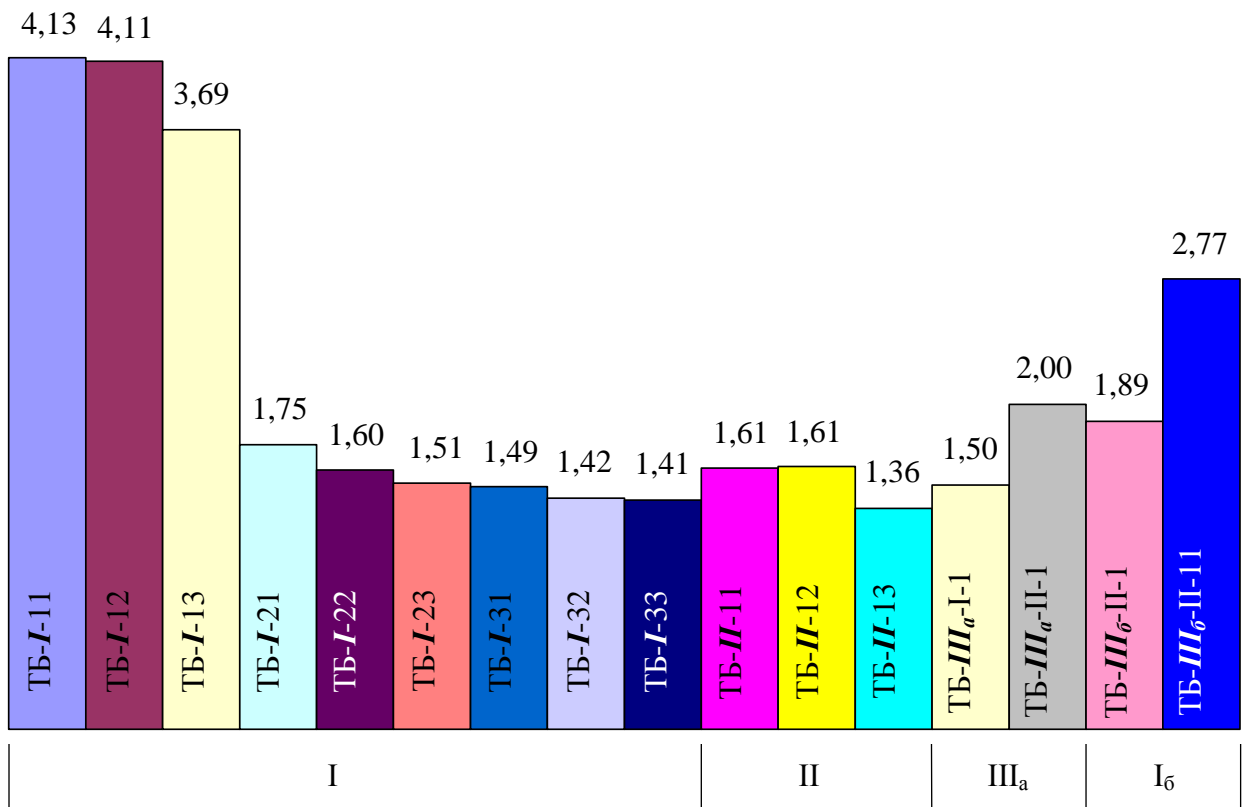


Рисунок 4 – Гістограма значень коефіцієнта $\eta_{b,cf}$ випробуваних зразків

На рисунках 4 і 5 наведена гістограма значень коефіцієнтів ефективності труобетонних 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-ІІа-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, $m_{b.cf} = 1,11$).

Висновки. Несуча здатність зразків зростала як зі збільшенням міцності бетону, так і зі збільшенням діаметра труб. При цьому несуча здатність зразків активніше зростала зі збільшенням діаметра труби, ніж зі збільшенням міцності бетону. Якщо від збільшення діаметра труби зі 100 до 200 мм вона зросла приблизно в чотири рази, то зі збільшенням міцності бетону від 50 до 80 МПа – всього на 20%. Різниця між зусиллями N_1 і N_2 в цих групах складала приблизно 20%, а величина коефіцієнта n коливаються в межах 0,85 – 0,90. Зі збільшенням міцності бетону та геометричних параметрів цей коефіцієнт зменшується, при цьому особливо різко (приблизно на 50%) він зменшується зі збільшенням діаметра труби.

На відміну від звичайних труобетонних, елементи з труб, заповнених високоміцним бетоном, руйнувалися крихко в результаті виникнення нахиленої тріщини в бетонному ядрі.

Література

1. Ефименко В.И. Центрифугированные труобетонные конструкции / В.И. Ефименко. – Кривой Рог: КТУ, 2008. – 257 с.
2. Стороженко Л.І. Сталезалізобетонні конструкції. Дослідження, проектування, будівництво, експлуатація / Л.І. Стороженко, В.М. Сурдін, В.І. Єфіменко, В.І. Вербицький. – Кривий Ріг: КТУ, 2007. – 448 с.
3. Тимошенко В.М. Несуча здатність та деформативність стиснених труобетонних елементів зі стиками: дис. ... канд. техн. наук / В.М. Тимошенко. – Полтава, 2000. – 209 с.
4. Чихладзе Э.Д. Экспериментальные исследования труобетонных колонн при различных схемах загрузки осевой нагрузкой / Э.Д. Чихладзе, А.Г.Кислов, Е.В.Синьковская // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) "Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону", Вип. 74: В 2-х кН.: Книга 1. – К.: НДІБК, 2011. – С. 217 – 221.
5. Клименко Ф.Є. Розробка, дослідження та застосування у будівництві сталобетонних конструкцій / Ф.Є. Клименко. – Львів: Світ, 2001. – 169 с.
6. Кикин А.И. Конструкции из стальных труб заполненных бетоном / А.И. Кикин, Р.С. Санжаровский, В.А. Труль – М.: Стройиздат, 1974. – 145 с.

В.И. Ефименко, д.т.н., профессор
А.П. Паливода, ас.

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ТРУОБЕТОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ С УПРОЧНЕННЫМИ ЯДРАМИ

Разработана методика экспериментальных исследований труобетонных элементов с упрочненными ядрами. Приведена конструкция и описание опытных образцов. Получены данные о прочности, деформативности и характере разрушения труобетонных элементов с упрочненными ядрами в зависимости от способа упрочнения ядер.

Ключевые слова: труобетон, бетон, жесткое армирование, стержневое армирование, кольцевое сечение.

V.I. Yefimenko, doctor of science, professor
A.P. Palyvoda, ac.
Kryvyi Rih National University

CONCRETE FILLED STEEL TUBULAR ELEMENTS WITH REINFORCEMENT CORES

The methodology of the experimental researches of concrete filled steel tubular elements with reinforcement cores is developed. The construction and description of study samples are given. Data of strength, deformations and destruction nature of concrete filled steel tubular elements with reinforcement core are supplied.

Keywords: *concrete filled steel tube, concrete, hard reinforcing, bar reinforcing, circular section.*

Надійшла до редакції 26.09.2014

© В.І. Єфіменко, О.П. Паливода