

18. Руководство по применению торкрет-бетона при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений. Шифр м10.1/06. – М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2007.

19. Коваленко В.В. Защита металлической крепи от коррозии с использованием торкрет-бетона. Моног. – Д.: Национальный горный университет, 2012. — 108 с. — ISBN 978-966-350-324-0.

20. <http://msd.com.ua/dobavki-v-beton-spravochnoe-posobie/dobavki-dlya-torkretirovaniya-betona/>

Рукопись поступила 25.09 2015

УДК 624.015

О.А. Паливода, ассистент, С.О. Жуков, д-р техн. наук, проф.
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

МЕТОДИКА ІНЖЕНЕРНОГО РОЗРАХУНКУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗІ ЗМІЦНЕНИМИ ЯДРАМИ

В даний час необхідно посилювати режим економії, ефективність використання ресурсів, знижувати матеріаломісткість в будівництві.

Сучасні будівельні конструкції повинні відповідати всім вимогам економичності, ресурсозбереження, які пред'являються до будівництва. Основний напрямок їх розвитку – це скорочення витрати сталі (14-16 %), економія цементу (10-12%) і економія лісових матеріалів (12-14 %). Ці завдання можна вирішувати, в тому числі і за рахунок зниження матеріаломісткості та зменшення поперечного перерізу конструкцій, за рахунок раціонального поєднання бетону і сталі при їх спільній роботі та за рахунок застосування високоміцних матеріалів. Цим вимогам задовольняють будівельні конструкції з труобетону. При відносно малому поперечному перерізі такі конструкції здатні витримувати значні зусилля, при цьому бетон за рахунок об'ємного напруженого стану сприймає напруги, що значно перевищують призову міцність, що економить сталь і бетон. Застосовуючи високоміцні бетони, бетони, ущільнені пресуванням, центрифугуванням, можна отримати значну економію цементу, так як за рахунок індустріальних технологічних факторів ущільнення бетонної суміші міцність бетону значно підвищується. Підвищити міцність бетону можна і за рахунок застосування непрямого армування, що дозволяє при малій витраті сталі значно підвищити міцність конструкцій.

Удосконалення відомих ефективних способів зміцнення бетону стосовно труобетонних конструкцій зі зміцненим осердям, придатних до індустріалізації, є актуальною і важливою задачею.

Метою представлених в даній статті досліджень було експериментальне вивчення труобетонних елементів з бетонними ядрами, зміцненими різними методами; розробити методи розрахунку несучої здатності і напружено-деформованого стану труобетонних елементів зі зміцненими ядрами.

Ключові слова: труботетон, зміцнене бетонне ядро, сталева оболонка, напруження, деформації, міцність.

В настоящее время необходимо усиливать режим экономии, эффективность использования ресурсов, снижать материалоемкость в строительстве.

Современные строительные конструкции должны отвечать всем требованиям экономичности, ресурсосбережения, которые предъявляются к строительству. Основное направление их развития — это сокращение расхода стали (14-16%), экономия цемента (10-12%) и экономия лесных материалов (12-14%). Эти задачи можно решать, в том числе и за счет снижения материалоемкости и уменьшения поперечного сечения конструкций, за счет рационального сочетания бетона и стали при их совместной работе и за счет применения высокопрочных материалов. Этим требованиям удовлетворяют строительные конструкции из труботетона. При относительно малом поперечном сечении такие конструкции способны выдерживать значительные усилия, при этом бетон за счет объемного напряженного состояния воспринимает напряжения, значительно превышающие призмную прочность, что экономит сталь и бетон. Применяя высокопрочные бетоны, бетоны, уплотненные прессованием, центрифугированием, можно получить значительную экономию цемента, так как за счет индустриальных технологических факторов уплотнения бетонной смеси прочность бетона значительно повышается. Повысить прочность бетона можно и за счет применения косвенного армирования, что позволяет при малом расходе стали значительно повысить прочность конструкций.

Совершенствование известных, поддающихся индустриализации эффективных способов упрочнения бетона применительно к бетонным ядрам труботетонных строительных конструкций является актуальной и важной задачей.

Целью представленных в данной статье исследований было экспериментальное изучение труботетонных элементов с бетонными ядрами, упрочненными различными методами; разработать методы расчета несущей способности и напряженно-деформированного состояния труботетонных элементов с упрочненными ядрами.

Ключевые слова: труботетон, упрочненное бетонное ядро, стальная оболочка, напряжения, деформации, прочность.

Currently, it is necessary to strengthen the economy mode, resource efficiency, reduce material consumption in the construction.

Modern building construction must meet all requirements of profitability, resource that apply to construction. The main direction of development – is reducing the consumption of steel (14-16%), saving of cement (10-12%) and saving forest materials (12-14 %). These problems can be solved, including by reducing the consumption of materials and reduce the cross-sectional designs, by the judicious combination of concrete and steel when they work together, and through the use of high-strength materials. Satisfy these requirements of the concrete filled steel tubular structures constructions. With a relatively small cross-section of such structures are able to withstand considerable effort, with concrete due to the volume of stress state perceives tension significantly above the prism strength that saves steel and concrete. Applying high-strength concretes, concretes, compacted by pressing, centrifugation, can be obtained significant cement savings, since due to the industrial

technology factors compacting concrete strength of the concrete is significantly increased. Increase the strength of concrete and can be due to the use of lateral reinforcement, which allows low-flow significantly increase the strength of steel structures.

Perfection of known, measurable industrialization effective ways of hardening concrete in relation to the concrete cores concrete filled steel tubular structures constructions is an urgent and important task.

The purpose of this article presented research was an experimental study of concrete filled steel tubular structures elements with concrete cores, hardened by various methods; develop methods for calculating the bearing capacity and the stress-strain state of the concrete filled steel tubular structures elements with hardened cores.

Keywords: concrete filled steel tubular structures, reinforced concrete core, steel shell, stress, deformation, strength.

Проблема та її зв'язок з науковою і практичною задачею.

Будівельна галузь України переживає глибоку кризу. З урахуванням нинішнього стану будівництва та забезпечення його ресурсами, удосконалення трубобетонних конструкцій шляхом зміцнення бетону осердя є актуальною і важливою задачею. Серед усіх інших відомих способів – це найбільш ефективний, як технологічно, так і економічно.

Метою представлених досліджень є експериментальне вивчення трубобетонних елементів зі зміцненим осердям; розробити методи розрахунку несучої здатності та напружено-деформованого стану таких елементів.

Аналіз досліджень і публікацій. До теперішнього часу запроєктовано і побудовано багато будівель із застосуванням трубобетону. Сталеві труби, заповнені бетоном, застосовуються в Китаї [1-3], Канаді [4; 5], США [6], Японії [7]. У СНД також побудовано ряд оригінальних споруд [8-10]. Трубобетон застосовується навіть у таких відповідальних спорудах, як мости [11]. Разом із тим здебільшого дослідження спрямовуються на вплив різнотипного складу бетону ядра на характеристики конструкцій. Ідея ж зміцнення ядра залишається поза увагою дослідників.

Постановка задачі. Завдяки ряду специфічних якостей: підвищеної тріщиностійкості, стійкості до ударних і теплових впливів, трубобетон набуває все більшого поширення [12-15], у зв'язку з чим експерименти були спрямовані на уточнення механізму розвитку напружено-деформованого стану трубобетонних елементів зі зміцненим осердям для більш достовірної та конкретної оцінки їх характеристик.

Відомо, що в стиснутих трубобетонних елементах діюче зусилля сприймається як трубною 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 забезпечить зниження

витрат сталі й економію коштів при виготовленні конструкції, в чому й полягає головна задача дослідження.

Виклад матеріалу і результати. У ході експериментів випробовувалися групи та серії зразків в різному виконанні і різних режимах. При обробці результатів експериментів визначалися деформації трубобетонних елементів зі зміцненими осердями. При цьому враховувалися дослідження інших авторів [16-18].

Для оцінки несучої здатності трубобетонних елементів зі зміцненими ядрами сформульовано такі передумови:

- в якості несучої здатності приймається момент досягнення трубооболонкою текучості;
- поздовжня вісь трубобетонного елемента зі зміцненим осердям залишається прямою, до самого моменту руйнування;
- труби-оболонки з бетонним осердям працюють сумісно, крім випадків, які зазначаються окремо;
- зміцнене бетонне осердя трубобетонних елементів перебуває в умовах об'ємного напружено-деформованого стану;
- сталева труба-оболонка працює в умовах двовісного напруженого стану, а стержневе армування – в умовах лінійного напруженого стану і сприймає лише поздовжні зусилля.

У загальному вигляді несуча здатність стиснутих трубобетонних елементів зі зміцненим осердям без урахування гнучкості визначається за формулою

$$F \leq \sum N_i,$$

де F – поздовжнє зовнішнє стискаюче зусилля, що діє на трубобетонний елемент;

N_i – поздовжнє внутрішнє зусилля, що виникає в окремих елементах поперечного перерізу трубобетонного перерізу, $i = (c; a; s)$.

Далі наведено формули визначення несучої здатності трубобетонних елементів зі зміцненим осердям:

а) трубобетонні елементи з осердям з високоміцного бетону:

$$F \leq \alpha_c \cdot A_c \cdot f_{cd} + \alpha_a \cdot A_a \cdot f_{yd}$$

де A_c, A_a – площа поперечного перерізу бетону та конструкційного сталевого профілю (рис. 1,а);

f_{cd} – розрахункове значення міцності бетону на стиск;

f_{yd} – розрахунковий опір конструкційної сталі на границі текучості;

α_c, α_a – коефіцієнти, які характеризують ступінь використання міцності бетону та конструкційної сталі.

Експериментальні дослідження трубобетонних елементів з осердям із високоміцним бетоном довели, що до моменту появи текучості в оболонці остання із бетонним осердям працюють паралельно. Тому при розробці методики оцінки напружено-деформованного стану таких конструкцій вважаємо, що труба-оболонка та бетонне осердя працюють паралельно. За результатами власних досліджень значення коефіцієнту α_c варто приймати рівним 0.8, а коефіцієнту α_a рівним 1.

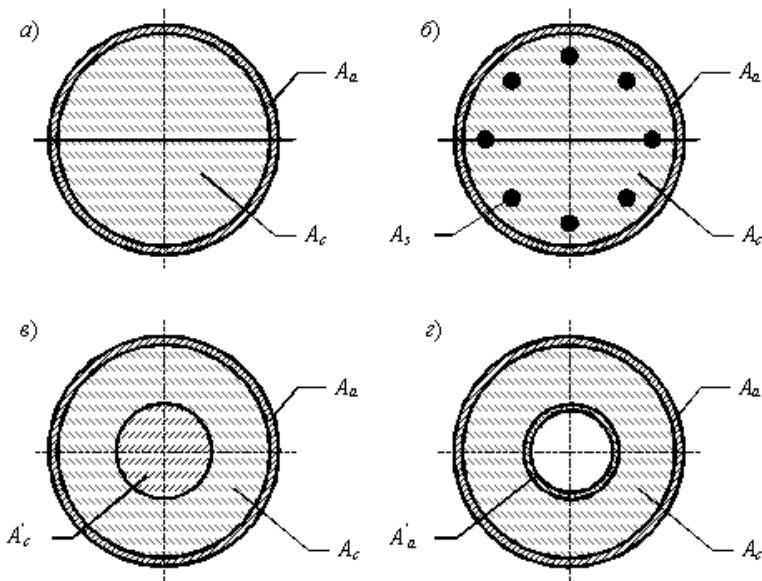


Рис. 1. Поперечні перерізи трубобетонних елементів зі зміцненим осердям: а – високоміцним бетоном; б – стрижневим армуванням; в – багатошаровим бетоном; з – багатошаровою оболонкою

б) трубобетонні елементи з осердям, що армовані поздовжньою арматурою:

$$F \leq A_c \cdot f_{cd}^* + \alpha_a \cdot A_a \cdot f_{yd} + \alpha_s \cdot A_s \cdot f_{sd},$$

де A_c, A_a, A_s – площа поперечного перерізу бетону, конструкційного стале-

всього профілю та арматурної сталі (рис. 1,б);
 f_{cd}^* – розрахункове значення міцності бетону на стиск в умовах
трубобетону;
 f_{yd} – розрахунковий опір конструкційної сталі на границі текучості;
 f_{sd} – розрахунковий опір конструкційної сталі на границі текучості;
 α_a, α_s – коефіцієнти, які характеризують ступінь використання міцності
бетону, конструкційної сталі та арматурної сталі.

Розрахункове значення міцності бетону в трубобетоні f_{cd}^* визначаєть-
ся за формулою [19]

$$f_{cd}^* = 0,65 \cdot C \cdot (1 + 16,1 \cdot \mu_{pb} \cdot \beta),$$

де C – клас бетону за міцністю призми;

μ_{pb} – коефіцієнт армування трубобетону конструкційною сталлю оболонки;

β – коефіцієнт, що приймається залежно від класу бетону за міцністю на
стиск [там же].

Для випадків, коли є дані власних досліджень розрахункове значення
міцності бетону в трубобетоні f_{cd}^* визначається за формулою

$$f_{cd}^* = \eta \cdot f_{cd},$$

де f_{cd} – розрахункове значення міцності бетону на стиск;

η – коефіцієнт ефективності роботи бетону у трубобетоні.

Значення коефіцієнта α_a приймається рівним 1. Значення коефіцієн-
та α_s визначається за формулою

$$\alpha_s = \frac{f_{yd}}{f_{sd}}.$$

в) трубобетонні елементи з багат шаровим осердям:

$$F \leq \alpha_c A_c \cdot f_{cd} + \alpha'_c A'_c \cdot f'_{cd} + \alpha_a \cdot A_a \cdot f_{yd},$$

де A_c, A'_c, A_a – площа поперечного перерізу кільцевого шару бетону, внутрі-
шнього бетону та конструкційного сталевого профілю (рис. 1,в);

$\alpha_c, \alpha'_c, \alpha_a$ – коефіцієнти, які характеризують ступінь використання міцно-

сті бетону, конструкційної сталі та арматурної сталі.

г) трубобетонні елементи з осердям, що армовано додатковою оболонкою:

$$F \leq \alpha_c A_c \cdot f_{cd} + \alpha_a \cdot A_a \cdot f_{yd} + \alpha'_a \cdot A'_a \cdot f'_{yd},$$

де A_c, A_a, A'_a – площа поперечного перерізу кільцевого шару бетону, зовнішньої оболонки та внутрішньої оболонки (рис. 1,г);

$\alpha_c, \alpha_a, \alpha'_a$ – коефіцієнти, які характеризують ступінь використання міцності бетону та конструкційної сталі зовнішньої та внутрішньої оболонок;

f'_{yd} – розрахунковий опір конструкційної сталі на границі текучості внутрішньої оболонки.

Значення коефіцієнта α_a приймається рівним 1. Значення коефіцієнта α'_a визначається за формулою

$$\alpha_a = \frac{f_{yd}}{f'_{yd}}.$$

Несучу здатність трубобетонних елементів зі зміцненим осердям можна визначати шляхом приведення поперечного перерізу до сталевого. Тоді виникає можливість використовувати у підрахунках табульовані значення коефіцієнтів поздовжнього згину. Тоді несуча здатність визначається за формулою:

$$F \leq f_{yd} \cdot A_{red},$$

де f_{yd} – розрахунковий опір конструкційної сталі на межі текучості;

A_{red} – приведена до сталі зовнішньої труби площа поперечного перерізу.

Значення величини A_{red} визначається залежно від конструктивного вирішення зміцнення осердя трубобетонного елемента:

а) трубобетонні елементи з осердям з високоміцного бетону:

$$A_{red} = A_c \frac{E_c}{E_a} + A_a,$$

де A_c, A_a – площа поперечного перерізу бетону та конструкційної сталеві труби-оболонки;

E_c – модуль деформації бетону в момент досягнення граничного зусилля трубобетонним елементом;

E_a – модуль пружності конструкційної сталі труби-оболонки.

б) трубобетонні елементи з осердям, армовані поздовжньою арматурою:

$$A_{red} = A_c \frac{E_c}{E_a} + A_a + A_s \frac{E_s}{E_a},$$

де A_s – площа поперечного перерізу арматурної сталі;

E_s – модуль пружності арматурної сталі.

в) трубобетонні елементи з багатошаровим осердям:

$$A_{red} = A_c \frac{E_c}{E_a} + A'_c \frac{E'_c}{E_a} + A_a,$$

де A'_c – площа поперечного перерізу внутрішнього бетону;

E_c – модуль деформації внутрішнього бетону в момент досягнення граничного зусилля трубобетонним елементом.

г) трубобетонні елементи з осердям, що армовано додатковою оболонкою:

$$A_{red} = A_c \frac{E_c}{E_a} + A_a + A'_a \frac{E'_a}{E_a},$$

Де A'_a – площа поперечного перерізу внутрішньої оболонки;

E'_a – модуль пружності конструкційної сталі внутрішньої труби-оболонки.

Результати порівняння експериментальних результатів визначення несучої здатності з теоретичними даними наведено у табл. 1. В ній в якості несучої здатності прийнято значення зовнішнього центрально прикладеного стискаючого зусилля, яке відповідає моменту появи текучості в матеріалі сталевій зовнішній труби.

Висновки.

1. Розроблено аналітичну методику визначення несучої здатності трубобетонних елементів зі зміцненими ядрами шляхом встановлення напружено-деформованого стану окремих елементів поперечного перерізу. Такий підхід дозволяє встановити ефективність застосування бетонів різних класів в якості ядра. А також оцінити ефективність конструктивних трубобетонних елементів зі зміцненими ядрами у порівнянні зі сталевими елементами.

Таблиця 1

Порівняння теоретичних та експериментальних даних

Серія зразків	Несуча здатність, кН				
	експериментальна	теоретична			
		за методикою п. 2	розходження, %	за методикою п. 3	розходження, %
ТБ-І-11	652	567	-13	619	-5
ТБ-І-12	716	652	-9	644	-10
ТБ-І-13	869	834	-4	826	-5
ТБ-І-21	1840	1693	-8	1582	-14
ТБ-І-22	2100	2016	-4	1974	-6
ТБ-І-23	2400	2160	-10	2256	-6
ТБ-І-31	2970	2584	-13	2673	-10
ТБ-І-32	3386	3251	-4	3014	-11
ТБ-І-33	3636	3163	-13	3200	-12
ТБ-ІІ-11	1080	961	-11	1015	-6
ТБ-ІІ-12	1310	1245	-5	1205	-8
ТБ-ІІ-13	1490	1386	-7	1371	-8
ТБ-ІІІа-І-І	4075	3790	-7	3790	-7
ТБ-ІІІа-ІІ-І	4425	3983	-10	4027	-9
ТБ-ІІІб-ІІ-І	1420	1264	-11	1292	-9
ТБ-ІІІб-ІІ-ІІ	1800	1710	-5	1602	-11

Порівняння результатів визначення коефіцієнту ефективності роботи бетону в трубобетонному елементі зі зміцненими ядрами наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняння теоретичних та експериментальних даних

Серія зразків	Коефіцієнт ефективності η		
	експериментальна	за методикою п. 2	розходження, %
1	2	3	4
ТБ-І-11	4,13	3,22	-28,3
ТБ-І-12	4,11	3,56	-15,4
ТБ-І-13	3,69	3,31	-11,5
ТБ-І-21	1,75	1,66	-5,4
ТБ-І-22	1,60	1,54	-3,9

Продовження табл.2

1	2	3	4
ТБ-І-23	1,51	1,59	+5,0
ТБ-І-31	1,49	1,23	-21,1
ТБ-І-32	1,42	1,42,	0,0
ТБ-І-33	1,41	1,34	-5,2
ТБ-ІІ-11	1,61	1,40	-15,0
ТБ-ІІ-12	1,42	1,22	-16,4
ТБ-ІІ-13	1,36	1,19	-14,3
ТБ-ІІІа-І-І	1,50	1,23	-22,0
ТБ-ІІІа-ІІ-І	2,00	1,68	-19,0
ТБ-ІІІб-ІІ-І	1,89	1,76	-7,4
ТБ-ІІІб-ІІ-ІІ	2,77	2,33	-18,9

2. Розроблено інженерний метод визначення несучої здатності стиснутих трубобетонних елементів зі зміцненим ядром шляхом приведення розрахункового поперечного перерізу до сталевого. Запропонована методика дозволяє оцінити несучу здатність не лише традиційних трубобетонних елементів, але і з додатковим армуванням стержнями або додатковими трубами.

3. Запропоновані методики визначення несучої здатності та ефективності роботи бетону в трубобетонних елементах зі зміцненими ядрами забезпечують задовільне спів падання

Результати експериментальних досліджень трубобетонних елементів зі зміцненими ядрами доводять можливість використання таких елементів як ефективних будівельних несучих конструкцій.

Список використаних джерел

1. Shen Xi-ming. Design of Concrete Pilled Steel Tubular Column for Factory Building. Proceedings. The international speciality conference on concrete filled steel tubular structures. Held at Harbin, China, 1985. – p. 164-170.

2. Zhong Shan-tong. The Use of Concrete Filled Steel Tubular Structures in China. - Proceedings. The international speciality conference on concrete filled steel tubular structures. Held at Harbin, China, 1995. –p. 1-6.

3. Potyondy J.G. Concrete Pilled Tubular Steel Structures In Marine Environment. Proceedings. The international speciality conference on concrete filled steel tubular structures. Held at Harbin, China, 1985. – p. 27-31.

4. Furlong R.W. Asco M. – Desing of Steel-Encased Concrete Beam-Columns. "Proceeding ASCE", №. St. 13, 1998, vol. 94, p 267-281.

5. Furlong R.W. – Strength of Steel-Encased Concrete Beam-Columns. "Proceedings ASCE", №.St.1, 1969, vol 95. – p. 99-107.

6. Gardner K.J. Jacobson E.R. Structural Behavior of Concrete Pilled Steel Tubes as Columns. - J. Amer. Concrete Inst. Proc., 1967, vol. 64, n 7. – p. 404-413.
7. Практика и перспективы применения трубобетона: <http://snt.com.ru/praktika-i-perspektivy-primeneniya-trubobetona>
8. Санжаровский Р.С. Трубобетонные конструкции в строительстве // Промышленное строительство. – 1999. – № 5. – С. 22-23.
9. Современный трубобетон: http://imet-group.com/?page_id=388
10. Расул Хамиев. Трубобетон – технология будущего. <http://builder.kz/surveys/detail.php?ID=4386>
11. Уникальный железнодорожный мост через реку Исеть. <http://900igr.net/kartinki/geografija/Kamensk-Uralskij/024-ZHeleznodorozhnyj-most.html>
12. Jecic D. Zanghellini J. Mortiers et ciments armes de fibres. - Annales de l'institut technique du batiment et des travaux publics. 1977. Nr. 347. – p. 45-87.
13. Steel fibrons shotcrete. "Tunnele and tunneling", 1995, n 4. – P. 74-75.
14. Snyder M.J., Lankard D.R. Factors affecting the flexural strength of steell fibrons concrete. – "ACI Journal", 1972, n 2. – "Proceeding", vol 69. – p. 96-100.
15. Hannant O.I. Steel fibre reinforced concrete. – Prospects Fibre Renforc. Constr. Mater. London, 1972. – p. 47-53.
16. Hummel A. La technologie du beton à trente resistance. Revue des Mater aux. n 474, 1955.
17. Sakino K., Tomii M., Watanate K. Sustaining Load Capacity of Plain Concrete Stub Columns Confined by Circular Steel Tube. Proceeding. The international speciality conference on concrete filled steel tubular structures. Held at Harbin, China, 1985. – p. 112-118.
18. http://www.expert.ru/printissues/expert/2008/09/oni_ne_vidyat/
19. Стороженко Л.И. Расчёт трубобетонных конструкций / Л.И. Стороженко, П.И. Плахотный, А.Я. Черный. – К.: Будівельник, 1991. – 120 с.

Рукопис надійшов 07.08.2015