

УДК 624.016

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ КОРОТКИХ СТАЛЕВИХ ТРУБ ЗАПОВНЕНИХ ВИСОКОМІЦНИМ БЕТОНОМ

*д.т.н., професор Стороженко Л.І., д.т.н., доцент Єрмоленко Д.А.,
аспірант Демченко О.В.*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
м. Полтава*

Сучасний рівень будівельного виробництва пред'являє до несучих конструкцій вимоги щодо високої надійності в сполученні з малою матеріалоємністю і низькими трудовими витратами при виготовленні і монтажі. Цим вимогам повною мірою відповідають трубобетонні конструкції. Трубобетонні конструкції в порівнянні з залізобетонними більш індустріальні при виготовленні й монтажі, мають меншу вагу і зручніші при транспортуванні. При їхньому виготовленні не потрібні арматурні каркаси, опалубка і закладні деталі. Використовувати конструкції з трубобетону вигідніше всього в елементах, що сприймають великі зусилля.

Проте широкому впровадженню трубобетонних конструкцій в практику будівництва перешкоджають деякі відомі їхні недоліки [1]. Один з них пов'язаний з особливістю роботи трубобетонних під навантаженням. Через різницю в коефіцієнтах Пуассона бетону і сталі ($V_b \approx 0,2$, $V_s \approx 0,3$) при експлуатаційних навантаженнях, бетонне осердя і сталеве обойма працюють не ефективно – обойма прагне відірватися від внутрішнього ядра. І тільки при навантаженнях близьких до руйнівних, коли в бетоні інтенсивно починають проявлятися процеси мікротріщеноутворення (при цьому значення V_b може зростати до 0,5 і навіть трохи вище), ефект зовнішньої сталевий обойми починає позитивно позначатися на роботі трубобетонних елементів.

Проведені всебічні експериментальні дослідження трубобетонних елементів. Як свідчать результати цих досліджень ефективними є трубобетонні несучі конструкції із заповненням бетоном відносно малої міцності. Застосовуються ці конструкції в основному в промислових будівлях. Але останнім часом широко використовується трубобетон у громадському та житловому будівництві [2]. Найбільшу економічну ефективність виявляє застосування трубобетону у висотному будівництві. Основним завданням висотного будівництва є зниження ваги будівель, їх матеріаломісткості, зменшення обсягу несучих конструкцій і трудовитрат. Поставлені завдання традиційними методами та матеріалами не вирішити, ставляться питання створення ефективних матеріалів і конструкцій високої надійності і мінімальної ваги [3]. Для вирішення цих проблем необхідно впровадження нових технологій і високоміцних матеріалів.

Зазначене вище, а також відсутність загальновизнаних інженерних методик розрахунку несучої здатності трубобетонних конструкцій з урахуванням ефекту обойми, недолік експериментальних даних про роботу високоміцних бетонів зумовлює актуальність досліджень з оцінки несучої здатності трубобетону із застосуванням високоміцних бетонів (В40 і вище).

Метою проведення експериментальних досліджень є визначення несучої здатності трубобетону із застосуванням високоміцних бетонів при центральному стисненні та встановлення характеру руйнування залежно від фізико-механічних характеристик осердя та геометричних характеристик оболонки. Крім того, ставилась задача розробити склади бетонів із максимально можливим використанням матеріалів вітчизняної будівельної галузі.

Відповідно до мети було розроблено програму експериментальних досліджень, яка передбачала випробовування міцності трубобетонних елементів різних серій стискаючим поздовжнім зусиллям залежно від міцності бетонного осердя, товщини оболонки та способу передачі навантаження: ТБ - навантаження передається на комплексний переріз; БВТ - навантаження передається на бетонне осердя. Ущільнення бетонної суміші відбувалось вібруванням. Зовнішня бокова поверхня дослідних зразків була пофарбована чорним лаком. Схеми дослідних зразків наведено на рисунку 1.

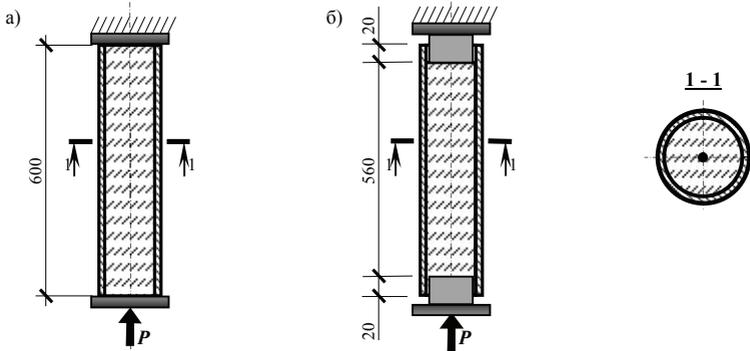


Рис. 1. Схеми завантаження дослідних зразків:
а – комплексний переріз (серія ТБ); б – на бетон (серія БВТ)

Висота дослідних зразків складала 600 мм ($L/D=4$). Оболонка виконана зі сталевих труб $\varnothing 159$ із товщиною стінки 3.5 та 4.0 мм. Механічні характеристики матеріалу труб наведено у таблиці 1.

Т а б л и ц я 1

Характеристики матеріалів труб-оболонок

Номер труби	Поперечний переріз, мм	Межа текучості σ_u , МПа	Межа тимчасового опору σ_y , МПа	Несуча здатність труби, кН
1	159×3,5	259	343	480
2	159×4,0	375	431	650

Для виготовлення бетонів використано: портландцемент загальнобудівельного призначення ПЦ І-500 Н (м.Балаклея); гранітний щебінь фракції 5-10 мм (ДСТУ Б В. 2.7-75-98); кварцовий пісок Миколаївського родовища $M_k=2,34$ (ДСТУ Б В.2.7-32-95). До складів бетонів введено суперпластифікатор Glenium 51 на основі полікарбоксилатного ефіру у

вигляді добавки. З бетону було виготовлено куби та циліндри. Характеристики розроблених складів бетонів наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристики складів бетонів

Номер складу бетону	Міцність за кубами σ_{cub} , МПа	Міцність за циліндрами σ_{cil} , МПа	Призмova міцність σ_c , МПа	Модуль пружності $E_0 \times 10^5$, МПа	Коефіцієнт Пуассона ν_0	Гранична деформація $\varepsilon_c \times 10^{-5}$
1	36,4	36,9	32,5	0,265	0,21	148
2	63,5	63,0	54,3	0,323	0,18	191
3	71,9	75,4	65,0	0,367	0,19	221
4	77,6	81,5	70,3	0,393	0,19	218
5	86,9	93,4	80,5	0,401	0,19	196

Під час завантаження фіксувалось два характерні для трубобетону зусилля [4]: зусилля P1 – досягнення матеріалом оболонки межі текучості; зусилля P2 – максимальне зусилля (табл. 3).

Таблиця 3

Результати випробовувань дослідних зразків

Марка зразка	Несуча здатність (P1), кН	Несуча здатність (P2), кН	Відношення P2/P1	<i>m1</i>	<i>m2</i>
C1	—	669*	—	—	—
C2	—	987*	—	—	—
C3	—	1178*	—	—	—
C4	—	1275*	—	—	—
C5	—	1462*	—	—	—
T-1	420	480	1,14	—	—
T-2	560	650	1,16	—	—
ТБ-1-1	825	1250	1,52	0,75	1,15
ТБ-1-2	1300	1645	1,27	0,92	1,17
ТБ-1-3	1385	1705	1,23	0,87	1,07
ТБ-1-4	1550	1810	1,18	0,91	1,07
ТБ-1-5	1650	1770	1,07	0,88	0,94
ТБ-2-2	1350	1775	1,32	0,96	1,26
ТБ-2-3	1600	2020	1,26	1,00	1,26
ТБ-2-4	1700	2090	1,23	1,00	1,23
ТБ-2-5	1900	2400	1,26	1,01	1,28
БВТ-1-6	900	1275	1,42	0,82	1,17
БВТ-1-7	1300	1530	1,18	0,92	1,09
БВТ-1-8	1600	1750	1,09	1,00	1,10
БВТ-1-9	1850	2130	1,15	1,09	1,26
БВТ-1-10	2000	2275	1,14	1,06	1,21

Момент досягнення зусилля P_1 фіксувалось за такими ознаками: стрілка зусиллевиміральної апаратури «застигала» на певній величині, але при цьому за електротензорезисторами спостерігався приріст відносних деформацій; лакове покриття втрачало «глянець». Далі зусилля продовжувало зростати. Досягнення зусилля P_2 характеризується інтенсивним деформуванням зразка. На час розвантаження довжина зразків зменшувалась на 5-8% початкової довжини.

Для того, щоб можна було співставити вплив досліджувальних факторів на міцність трубобетонних елементів доцільно скористатись коефіцієнтом ефективності конструктивного елемента в цілому (m) [5]. В таблиці 3 наведено значення коефіцієнтів m , які обчислено за формулами:

$$m_1 = \frac{P_1}{P_y + P_c}; \quad m_2 = \frac{P_2}{P_u + P_c},$$

де P_1 та P_2 – відповідне зусилля в дослідному зразку; P_y та P_u - відповідне зусилля труби-оболонці; P_c - несуча здатність бетонного осердя.

При досягненні величини руйнівного зусилля P_2 всі дослідні зразки мали значне перевищення несучої здатності трубобетонного елемента над сумарною – від 7 до 28%. А при досягненні зусилля P_1 спосіб передачі навантаження виявився суттєвим фактором, що впливає на ефективність конструктивного трубобетонного елемента із високоміцним бетоном. Спільним при досягненні зусиль P_1 та P_2 є вплив коефіцієнту армування. Так при його зростанні відбувається збільшення ефективності сумісної роботи труби-оболонки та осердя із високоміцного бетону.

Зовнішній вигляд зразків після випробування наведено на рисунках 2 та 3. З наведених світлин можна бачити, що незалежно від способу передачі навантаження характер руйнування всіх зразків був однаковий – зріз бетонного осердя за площиною, яка під кутом перетинає поздовжню вісь.



Рис. 2. Характер руйнування дослідних зразків серії ТБ із трубою 1



Рис. 3. Характер руйнування дослідних зразків серії БВТ із трубою 1

Проведені дослідження свідчать про те, що використання високоміцних бетонів в якості осердя трубобетонних елементів дозволяє повністю використовувати міцнісні властивості сталі. Крім того, використання в умовах трубобетону високоміцних бетонів, також дозволяє поліпшити його експлуатаційні характеристики та істотно підвищити несучу здатність конструктивного елемента в цілому не збільшуючи поперечного перерізу. На несучу здатність найбільший вплив виявляє міцність бетонного осердя. На загальну ефективність конструктивного трубобетонного елемента впливає коефіцієнт армування та спосіб передачі навантаження. Потребує детального аналізу процес деформування трубобетону із високоміцним бетоном.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Стороженко Л.І., Єрмоленко Д.А., Лапенко О.І. Трубобетон: Монографія. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. –306 с.
2. Mechanical Properties of High Strength Concrete Filled Steel Tubular Columns / Ke Feng Tan, Lai Bao Liu// Advanced Materials Research Vols. 472-475 (2012) – pp. 1119-1125.
3. Кришан А.Л. Сталетрубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром / Кришан А.Л., Гареев М.Ш., Сагадатов А.И // Бетон и железобетон, 2004, №6. - С. 11-14.
4. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Труль В.А. Конструкции из стальных труб заполненных бетоном. – М.: Стройиздат, 1974. – 145с.
5. Стороженко Л.І., Сурдін В.М., Єфіменко В.І., Вербицький В.І. Сталезалізобетонні конструкції. Дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. – Кривий Ріг: КТУ, 2007. – 448 с.