

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗГИНАЛЬНИХ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ КВАДРАТНОГО ПЕРЕРІЗУ

У статті розглянуто експериментальні дослідження несучої здатності згинальних трубобетонних елементів квадратного перерізу. Подана методика проведення експериментального дослідження, характеристика дослідних зразків. Наведені значення несучої здатності зразків, що були випробувані на центральний стиск.

В статье рассмотрено экспериментальные исследования несущей способности изгибающих трубобетонных элементов квадратного разреза. Подана методика проведения экспериментального исследования, характеристика исследуемых образцов. Представлены значения несущей способности образцов, что были испытаны на центральное сжатие.

Article gives the determination of the volume-strained form in the concrete-filled tube elements of the square sections. The method of the performing of the research, the characteristic of the experimental models are presented. The bearing capacity of the experimental models which was researched on the central compression is preferred.

Ключові слова: несуча здатність, трубобетонний елемент, центральний стиск.

Постановка проблеми. Протягом останніх років у нашій країні проводяться активні наукові роботи з дослідження трубобетонних конструкцій. На сьогодні вивчені особливості роботи трубобетонних елементів циліндричного перетину залежно від їх геометричних характеристик, фізико-механічних властивостей бетону осердя та матеріалу оболонки, напружено-деформованого стану, способу прикладання навантаження і його тривалості. Досліджені трубобетонні елементи квадратного перерізу, що працюють на стиск. Але відсутні дослідження трубобетонних елементів квадратного перерізу, які працюють на згин, не вивчені особливості роботи цих елементів.

Таким чином, дослідження міцності й деформативності трубобетонних елементів квадратного перетину, що працюють на згин, є актуальним науковим завданням, яке має велике теоретичне та практичне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Широко вивчені трубобетонні елементи круглого перерізу [3, 4, 5, 6]. Експериментальними дослідженнями несучої здатності трубобетонних елементів квадратного перерізу під керівництвом Л.І. Стороженка займалися Г.В. Головка [2, 7, 8] і В.В. Васюта [1, 7, 8]. Відомі роботи Е.Д. Чихладзе, присвячені вивченню трубобетонних елементів прямокутного перерізу [9, 10].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття. Доведена висока техніко-економічна ефективність труботону. Спеціально для будівництва випускаються гнуті зварені профілі квадратного поперечного перерізу. Але недостатньо дослідженими є конструктивні елементи із труб квадратного перерізу, що заповнені бетоном.

Формулювання цілей статті. Метою статті є висвітлення експериментальних досліджень несучої здатності згинальних елементів зі сталевих труб квадратного перерізу, заповнених бетоном, залежно від геометричних розмірів поперечного перетину та міцності бетону.

Виклад основного матеріалу. Були випробувані такі групи зразків:

1. Бетонні куби з ребром 100 мм і призми з розмірами 100x100x400 мм, виготовлені з бетонів складів 1, 2 та 3 (відповідно класи бетонів за міцністю В10, В20, В30).

2. Центральні стиснуті елементи з порожніх труб із перерізом 100x100x3; 160x160x4; 180x180x6 мм із висотою відповідно 400, 640 і 720 мм (серії Т-1, Т-2, Т-3).

3. Центральні стиснуті елементи з труб із перерізом 100x100x3; 160x160x4; 180x180x6 мм із висотою відповідно 400, 640 та 720 мм, що заповнені бетоном складів 1, 2, 3 (серії ТБ-11, ТБ-21, ТБ-31, ТБ-12, ТБ-22, ТБ-32, ТБ-13, ТБ-23, ТБ-33).

4. Згинальні елементи з порожніх труб із розрахунковим прогоном $l_0 = 2000$ мм, які завантажувалися двома силами з відстанями між ними $l_{mp} = 500$ мм і $l_{mp} = 1500$ мм із перерізами 100x100x3; 160x160x4; 180x180x6 мм (серії ТЗ-1-1, ТЗ-2-1, ТЗ-3-1) та з відстанями між силами $l_{mp} = 1500$ мм із перерізами 180x180x6 мм (серії ТЗ-3-2).

5. Згинальні елементи з труб із розрахунковим прогоном $l_0 = 2000$ мм, що завантажувалися двома силами з відстанями між ними $l_{mp} = 500$ мм із перерізами 100x100x3; 160x160x4; 180x180x6 мм, які заповнені бетоном складів 1, 2 і 3 (відповідно класи бетонів за міцністю В10, В20, В30) (серії ТБЗ-11-1, ТБЗ-21-1, ТБЗ-31-1, ТБЗ-12-1, ТБЗ-22-1, ТБЗ-32-1, ТБЗ-13-1, ТБЗ-23-1, ТБЗ-33-1).

6. Згинальні елементи з труб із розрахунковим прогоном $l_0 = 2000$ мм, що завантажувалися двома силами з відстанями між ними $l_{mp} = 1500$ мм із перерізами 180x180x6 мм, які заповнені бетоном складів 1, 2 і 3 (відповідно класи бетонів за міцністю В10, В20, В30) (серії ТБЗ-31-2, ТБЗ-32-2, ТБЗ-33-2).

У кожній серії випробовувались по 2 (у балках) та по 3 (в кубах і призмах) зразків-близнюків.

Усі зразки випробовувалися після 28 діб витримування, необхідного для набрання міцності бетону. Випробування зразків проводилось у пресі ПММ-250. Зразки, що випробовувалися на центральний стиск (порожні та заповнені бетоном труби, бетонні призми), завантажувалися через шарніри по фізичній осі, положення якої встановлювалося методом пробних завантажень. При випробуванні на згин навантаження зразків здійснювалося за допомогою траверси з відстанню між зусиллями 500 і 1500 мм. Ступені

завантаження складали в основному 0,1 від руйнуючої сили на початку випробування та 0,05 – при досягненні граничного стану за несучою здатністю.

Виходячи з того, що труботбетону притаманні якості як сталевих, так і залізобетонних конструкцій, при проведенні експериментальних досліджень фіксувалися два параметри, які характеризували втрату несучої здатності згинальних елементів:

1. M_1 – момент, котрий діяв на згинальний елемент при досягненні поздовжніх деформацій у розтягненій зоні, що відповідали межі плинності труби.

2. M_2 – максимальний згинальний момент, який здатна була сприйняти труба.

Значення моментів M_1 і M_2 , що визначають несучу здатність згинальних труботбетонних елементів квадратного перерізу, наведені в таблиці 1 (при відстані між діючими зусиллями 500 мм).

У таблиці 1 також наведені значення несучої здатності труботбетонних елементів, ядра яких виконані з бетону різної міцності ($R_b = 7,8; 19,6; 26,4$ МПа). Про підвищення несучої здатності труб після їх заповнення бетоном можна робити висновки на підставі значень коефіцієнтів:

$$\psi_1 = \frac{M_1}{M_1^T}; \quad \psi_2 = \frac{M_2}{M_2^T}, \quad (1)$$

де M_1 і M_2 – несуча здатність згинальних труботбетонних елементів;

M_1^T та M_2^T – несуча здатність відповідних згинальних порожніх труб.

Таблиця 1 – Експериментальні значення несучої здатності згинальних елементів

Серія зразків	Несуча здатність, кНм		Коефіцієнти		
	M_1	M_2	n	ψ_1	ψ_2
Т-1	12,4	15,2	1,22	-	-
Т-2	31,2	38,6	1,24	-	-
Т-3	56,2	67,9	1,21	-	-
ТБЗ-11-1	16,4	22,5	1,37	1,32	1,48
ТБЗ-21-1	43,4	56,6	1,30	1,39	1,47
ТЗЗ-31-1	76,4	108,0	1,41	1,36	1,59
ТБЗ-12-1	17,2	25,4	1,48	1,44	1,84
ТБЗ-22-1	44,3	63,0	1,42	1,42	1,77
ТБЗ-32-1	82,0	110,0	1,34	1,46	1,71
ТБЗ-13-1	18,3	28,1	1,54	1,48	1,84
ТБЗ-23-1	47,7	68,2	1,43	1,53	1,77
ТБЗ-33-1	86,5	116,1	1,34	1,34	1,71

Коефіцієнт ψ_1 змінюється в межах 1,32 – 1,54. Коефіцієнт ψ_2 змінюється в межах 1,48 – 1,84. Таким чином, у результаті заповнення бетоном, несуча здатність згинальних труб квадратного перерізу підвищується на 30 – 50%.

З аналізу рисунка 1, де наведені значення коефіцієнта ψ_1 для всіх серій зразків, можна зробити висновок, що геометричні розміри практично не впливають на значення коефіцієнта ψ_1 , але зі збільшенням міцності бетону

ядра значення цього коефіцієнта значно зростають. Слід відмітити, що при збільшенні міцності бетону в три рази несуча здатність згинальних трубобетонних елементів зросла тільки на 12 – 13%.

Вплив розмірів поперечного перетину і міцності бетону на значення згинальних моментів M_1 та M_2 видно з рисунків 2 і 3.

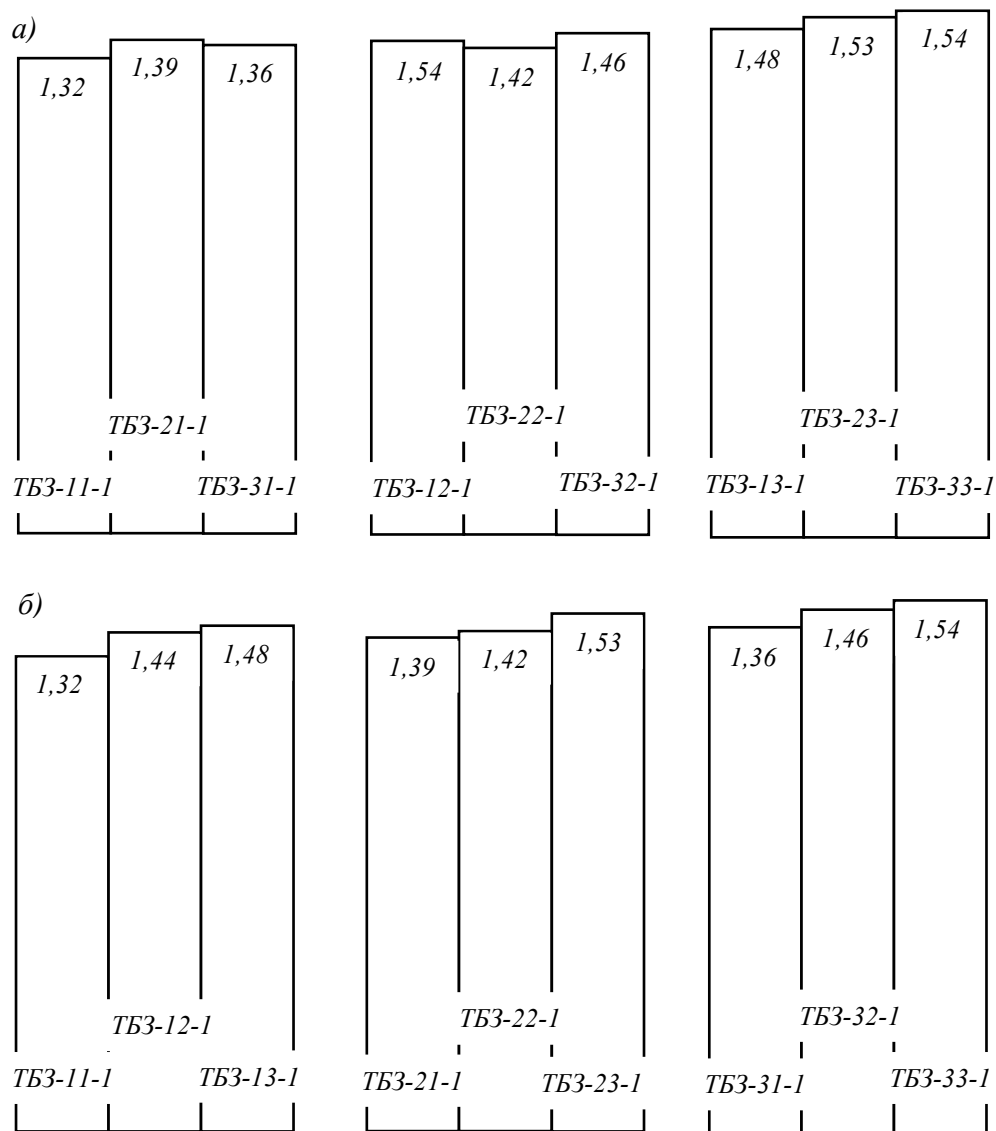
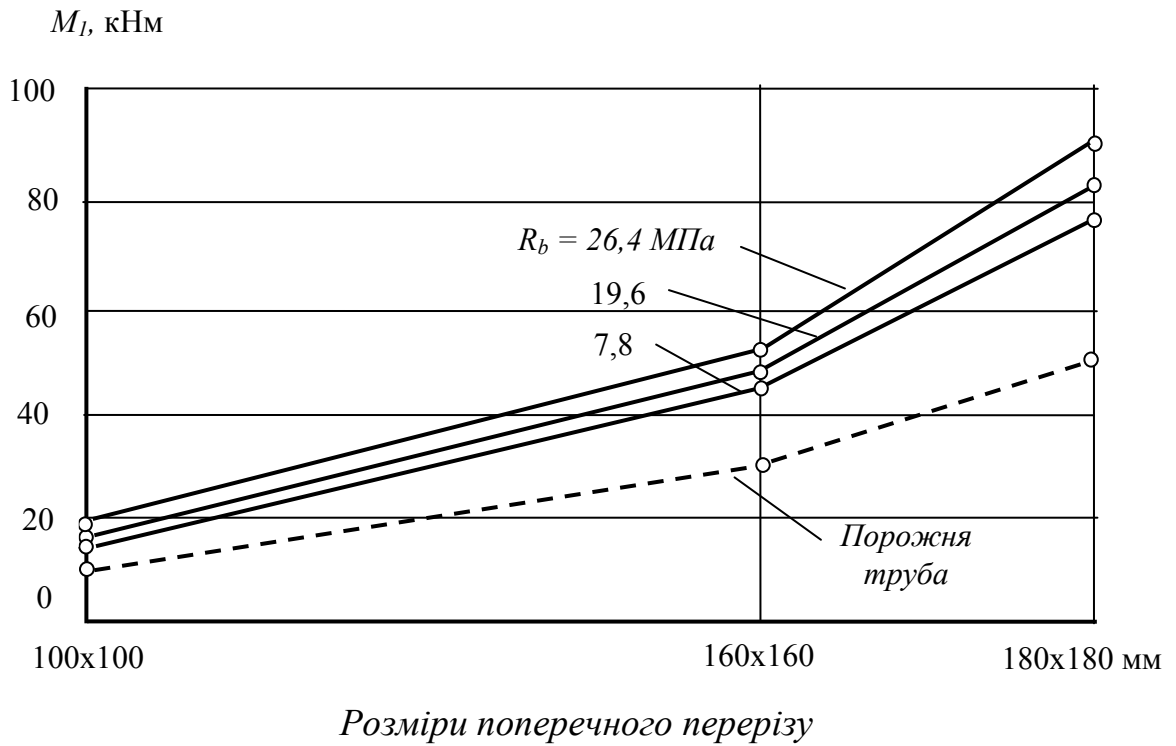


Рис. 1 – Вплив на значення коефіцієнта ψ_1 :
 а) величини поперечного перетину;
 б) міцності бетону ядра

а)



б)

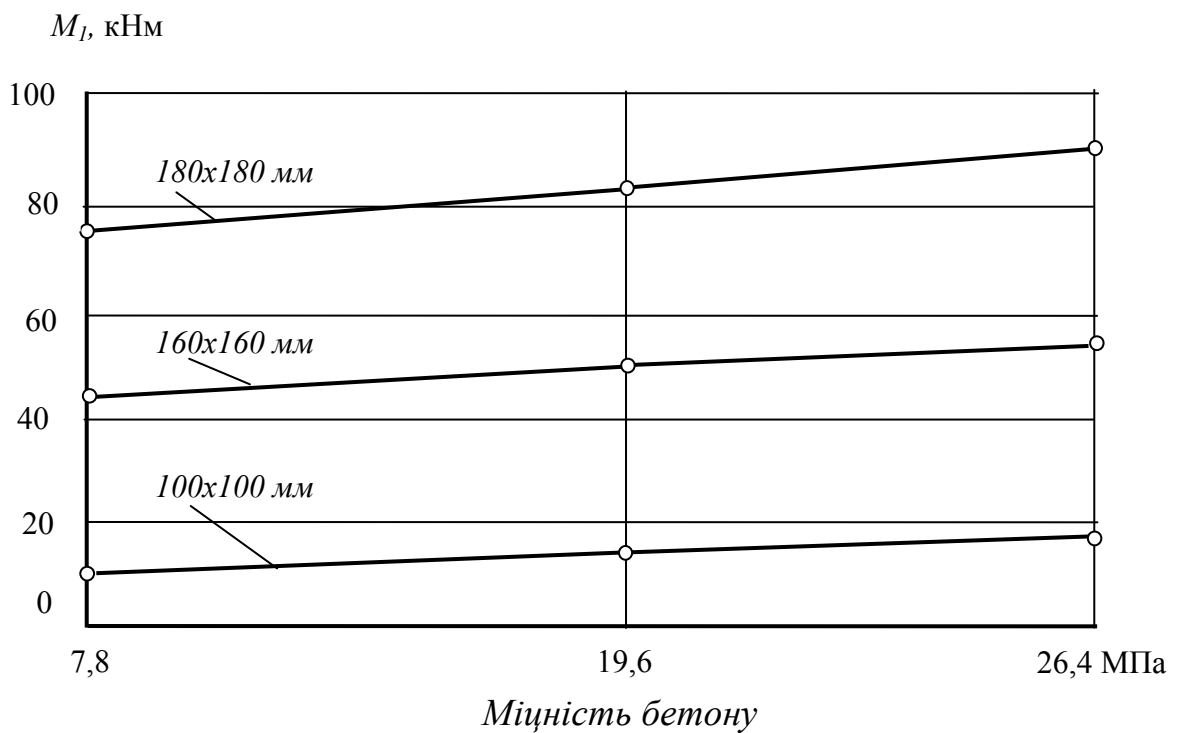


Рис. 2 – Залежність несучої здатності балок M_1 :
 а) від розмірів поперечного перерізу;
 б) від міцності бетону

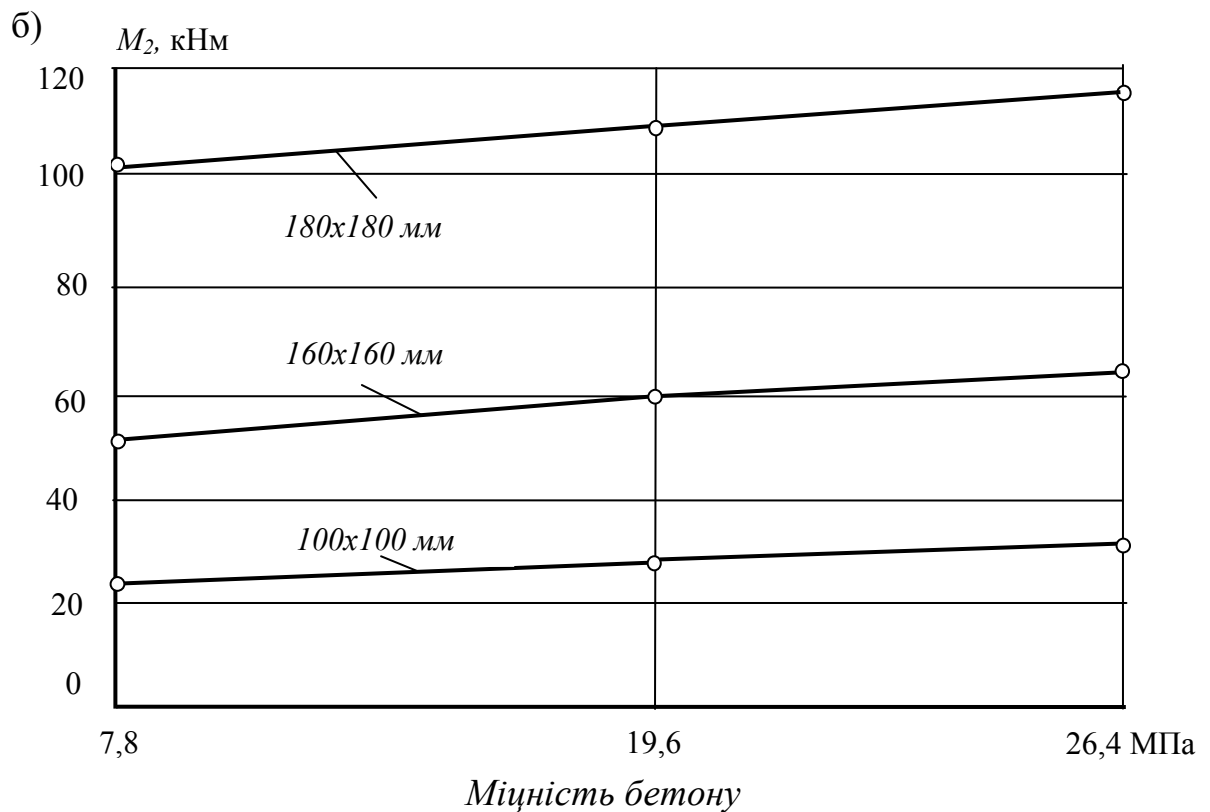
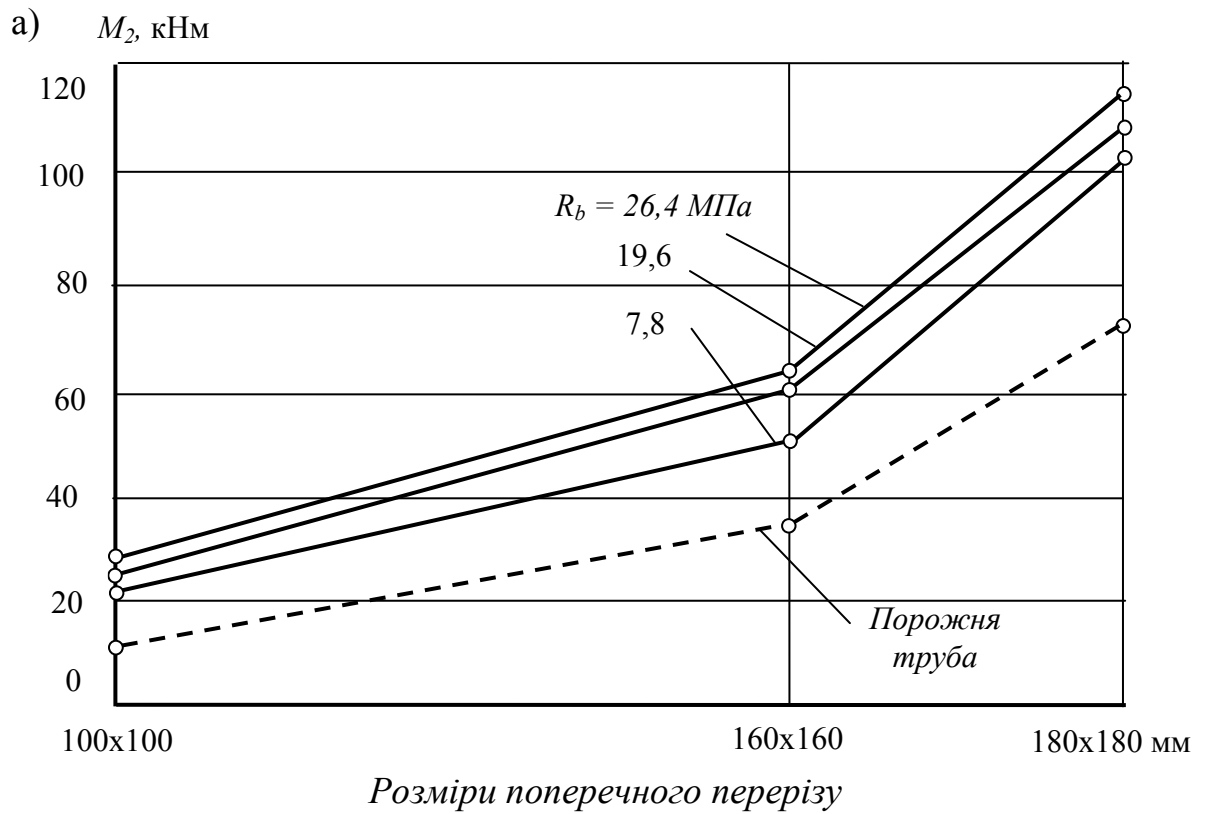


Рис. 3 – Залежність несучої здатності балок M_2 :
 а) від розмірів поперечного перетину;
 б) від міцності бетону

Із рисунків 2 і 3 можна зробити висновок, що несуча здатність залежно від геометричних розмірів коливається в значних межах. Якщо для згинальних елементів із перетином 100x100 мм несуча здатність M_2

коливалася в межах 22,5 – 28,1 МПа, то для елементів із перетином 180x180 мм вона змінювалася в межах 108 – 116,1 МПа. Для випробуваних зразків залежно від геометричних параметрів несуча здатність змінювалася в межах 400%.

Важливим фактором, який підтверджує високу надійність випробуваних згинальних елементів, є різниця між значеннями моментів M_1 і M_2 . Про величину цього параметра можна судити зі значення коефіцієнта

$$n = \frac{M_2}{M_1}. \quad (2)$$

Значення коефіцієнта n наведені в таблиці 1. Якщо для згинальних елементів із порожніх труб значення цього коефіцієнта коливається в межах 1,21 – 1,24, то для трубобетонних згинальних елементів його значення змінюється в межах 1,34 – 1,54. Таким чином, згинальні трубобетонні елементи значно надійніші, ніж елементи з порожніх труб.

Згідно з програмою експериментів група згинальних зразків випробовувалася з довжиною траверси (відстанню між прикладеними зусиллями) $l_0 = 1500$ мм. Максимальні значення поперечних сил, що сприймалися балками, дорівнювали: для зразків ТБЗ-13-2 – 17,5 кН, для зразків ТБЗ-23-2 – 90,9 кН, для зразків ТБЗ-33-2 – 154,8 кН.

Незважаючи на те, що діючі зусилля майже втричі перевищували ті, що сприймалися при довжині траверси $l_0 = 500$ мм, видимі сліди руйнування зразків у приопорній зоні не спостерігалися. І в цьому випадку в трубобетонному елементі при згині відбувалися прогини, а елементи втрачали несучу здатність приблизно при таких же значеннях моментів M_1 і M_2 , що й при довжині траверси $l_0 = 500$ мм.

Висновки. При заповненні згинальних елементів із квадратних сталевих труб бетоном значно підвищується їх несуча здатність. При досягненні граничного стану за несучою здатністю виключене крихке руйнування зразків, елементи сприймають навантаження при значних прогинах.

Література

1. Васюта В.В. Прочность и деформативность внецентренно сжатых конструктивных элементов из стальных труб квадратного сечения, заполненных бетоном: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / В.В. Васюта. – Полтава, 1996. – 22 с.
2. Головка Г.В. Напружено-деформований стан центрально стиснутих елементів із сталевих труб квадратного перерізу, заповнених бетоном: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Г.В. Головка. – Полтава, 1996. – 20 с.
3. Стороженко Л.И. Трубобетонные конструкции / Л.И. Стороженко. – К.: Будівельник, 1978. – 82 с.
4. Стороженко Л.И. Объемное напряженно-деформированное состояние железобетона с косвенным армированием: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук / Л.И. Стороженко. – Кривой Рог, 1985. – 40 с.
5. Стороженко Л.И. Расчет трубобетонных конструкций / Л.И. Стороженко, П.И. Плахотный, А.Я. Черный. – К.: Будівельник, 1991. – 120 с.
6. Стороженко Л.И. Изгибаемые трубобетонные конструкции / Л.И. Стороженко, В.И. Ефименко, П.И. Плахотный. – К.: Будівельник, 1993. – 104 с.

7. Стороженко Л.И. Експериментальне дослідження несучої здатності стиснутих трубобетонних елементів квадратного перерізу / Л.И. Стороженко, В.В. Васюта, Г.В. Головка, О.В. Семко // Матеріали 11-го міжнародного симпозиуму „Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій”. – Львів, 1996. – С. 269 – 271.

8. Стороженко Л.И. Несущие трубобетонные конструкции квадратного поперечного сечения / Л.И. Стороженко, В.В. Васюта, Г.В. Головка // Матеріали науково-технічної конференції „Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону”. – К., 1996. – С. 170–172.

9. Чихладзе Э.Д. Несущая способность сталебетонных конструкций в условиях статического и динамического нагружения: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук / Э.Д. Чихладзе. – М., 1989. – 34 с.

10. Чихладзе Э.Д. Расчет сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при осевом сжатии / Э.Д. Чихладзе, А.Д. Арсланханов // Бетон и железобетон. – 1993. – № 1. – С. 13–15.

Надійшла до редакції 19.11.2008

© Л.М. Стовба