

ПОЛТАВСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ГОЛОВКО ГЕНАДІЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН
ЦЕНТРАЛЬНО СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ
СТАЛЕВИХ ТРУБ КВАДРАТНОГО ПЕРЕРІЗУ,
ЗАПОВНЕНИХ БЕТОНОМ

05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Полтава - 1996

34
Кв. 36.299
Дисертацією є рукопис.

Праця виконана на кафедрі конструкцій із металу, дерева та
пластмас Полтавського технічного університету ім. В. Стефаника

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00743816 (Т)

Науковий керівник

Офіційні опоненти

доктор технічних наук,
професор Бабич Є.М.

кандидат технічних наук,
доцент Шкурупій О.А.

Ведуча організація

Державний науково - дослідний
інститут будівельних конструкцій

Захист дисертації відбудеться 24 грудня 1996 року о 14 годині
на засіданні спеціалізованої ради Д-25-01-02 по спеціальності
"Будівельні конструкції, будівлі та споруди" при Полтавському
технічному університеті за адресою:

314601, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, ауд. 234

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці університету.

Відгуки на автореферат просимо надсилати на ім'я вченого
секретаря у двох примірниках, завірених печаткою.

Автореферат розіслано 22 листопада 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
кандидат технічних наук, доцент

Семко О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАЦІ

Актуальність роботи. Сучасний рівень будівництва вимагає від несучих конструкцій більш високої надійності в поєднанні з меншою матеріаломісткістю і меншими працезатратами при виготовленні та монтажі. Цим вимогам в повній мірі відповідають конструкції із трубобетону.

Зараз в будівництві на Україні і особливо за кордоном широке застосування здобувають трубобетонні конструкції. При їх використанні стальна арматура у вигляді замкнутих профілів стає зовнішньою. У більшості випадків, особливо в стиснутих елементах з малими ексцентриситетами прикладення навантаження, вона працює ефективніше, ніж стержнева. При спорудженні трубобетонних конструкцій є можливість використати індустріальні методи виробництва безпосередньо на будівельному майданчику. Конструкції із трубобетону найчастіше використовують в основному у вигляді колон.

При відносно малому поперечному перерізі трубобетонні конструкції порівняно з залізобетонними мають ряд переваг і за рахунок раціонального сполучення бетону і сталі при їх сумісній роботі здатні витримувати значні зусилля. Труба-оболонка таких конструкцій виконує одночасно функції як поздовжнього, так і поперечного армування, а бетон за рахунок об'ємного напруженого стану сприймає поздовжні напруження, що значно перевищують його призову міцність. Це дозволяє інтенсивніше використовувати міцнісні властивості матеріалів і приводить до суттєвої економії бетону.

На даний час досліджена робота трубобетону кільцевого перерізу як несучих конструкцій, що працюють на стиск і згин. Однак робота трубобетонних елементів квадратного перерізу є

мало дослідженою, хоч промисловістю вони випускаються для потреб будівництва в досить широкому діапазоні. Відсутність рекомендацій по розрахунку і проектуванню трубобетонних конструкцій, виготовлених із сталевих труб квадратного перерізу, в значній мірі стримує їх широке використання в будівництві. Таким чином задача про дослідження трубобетонних конструкцій, виготовлених із сталевих труб квадратного перерізу, є дуже важливою та актуальною.

Мета праці:

- експериментально дослідити особливості роботи під навантаженням та характер втрати несучої здатності трубобетонних зразків, виготовлених із сталевих труб квадратного перерізу і заповнених бетоном, в залежності від висоти зразка, розмірів поперечного перерізу, товщини стінок та класу бетону по міцності;

- розробити метод оцінки напружено-деформованого стану трубобетонних елементів квадратного перерізу при центральному стиску та скласти програму обчислень переміщень, деформацій та напружень за допомогою ПЕОМ;

- розробити методику розрахунку несучих конструкцій із сталевих труб квадратного перерізу, заповнених бетоном, скласти рекомендації по їх проектуванню.

Автор захищає:

- метод оцінки напружено-деформованого стану та несучої здатності з врахуванням гнучкості центрально стиснутих трубобетонних елементів, виготовлених із тонкостінних сталевих труб квадратного перерізу;

- результати експериментальних досліджень несучої здатності та деформацій трубобетонних елементів, виготовлених із тонкостінних сталевих труб квадратного перерізу;

- розроблені рекомендації по проектуванню несучих конструкцій із трубобетонних елементів, виготовлених із тонкостінних сталевих труб квадратного перерізу.

Наукова новизна роботи:

- розроблений метод розрахунку несучої здатності з врахуванням гнучкості центрально стиснутих трубобетонних елементів, виготовлених із тонкостінних сталевих труб квадратного перерізу;

- запропонований метод оцінки напружено-деформованого стану центрально стиснутих трубобетонних елементів квадратного перерізу;

- одержані нові відомості про роботу під навантаженням центрально стиснутих трубобетонних елементів, виготовлених із тонкостінних сталевих труб квадратного перерізу з різними класами бетону, різними висотами, поперечними перерізами та товщинами стінки труби в результаті їх експериментальних досліджень.

Практичне значення роботи:

- за результатами роботи доведена доцільність використання в будівництві в якості несучих конструкцій трубобетонних елементів, виготовлених із тонкостінних сталевих труб квадратного перерізу;

- розроблений метод розрахунку несучої здатності таких конструкцій з врахуванням гнучкості;

- на основі одержаних залежностей складений алгоритм і програма для оцінки напружено-деформованого стану центрально стиснутих трубобетонних елементів, виготовлених із тонкостінних сталевих труб квадратного перерізу на ПЕОМ;

- розроблений метод розрахунку несучої здатності за допомогою готових таблиць;

розроблені рекомендації по проектуванню несучих конструкцій, виготовлених із тонкостінних сталевих труб квадратного перерізу, заповнених бетоном.

Реалізація роботи. Результати досліджень використані при розробленні рекомендацій по проектуванню несучих конструкцій, виготовлених із тонкостінних сталевих труб квадратного перерізу, заповнених бетоном.

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи опублікований в 12 друкованих роботах.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на наукових семінарах кафедри, вузівських, республіканських і міжнародних науково-технічних конференціях у м. Полтава (1993 - 1996 р.р.), м. Кривий Ріг (1996р.), м. Макіївка (1996р.), м. Рівне (1996р.), м. Львів (1996р.), м. Київ (1996р.), м. Крініца (Польща, 1996р.).

Обсяг виконаної роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти глав, загальних висновків, списку літератури із 171 найменувань і додатку. Робота викладена на 187 стор., що включають до свого складу 120 стор. основного тексту, 64 малюнка і 11 таблиць.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі конструкцій із металу, дерева та пластмас Полтавського технічного університету під керівництвом доктора техн. наук, професора Стороженка Л.І.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується необхідність теоретичних та експериментальних досліджень центрально стиснутих елементів із тонкостінних сталевих труб квадратного перерізу, заповнених бетоном, актуальність, наукова новизна та практичне значення роботи.

В першій главі проведено аналіз конструкцій із труобетону і методів їх розрахунку. Відзначені переваги та недоліки труобетону. Зроблено аналіз праць, присвячених дослідженню конструкцій з іншими видами побічного армування, і праць, що характеризують роботу труобетонних елементів, виготовлених із сталевих труб кільцевого та прямокутного перерізу як в нашій країні, так і за кордоном.

На даний час відомі роботи, присвячені дослідженню особливостей напружено-деформованого стану труобетонних конструкцій при різних способах навантаження О.М. Алперіної, І.Д. Бондаренко, Ю.В. Бондаренко, Г.А. Гамбарова, О.О. Гвоздева, О.А. Долженка, М.Г. Добудогло, В.І. Єфіменко, М.М. Жербіва, А.Б. Квядараса, В.М. Кебенка, О.І. Кікіна, К. Клепеля, Ю. Козака, С.Г. Кусябгалієва, А.Ф. Ліпатова, Л.К. Лукіш, О.Е. Лопятто, В.І. Маракуди, В.Ф. Мареніна, І. Мігачі, І.Г. Людковського, Г.П. Передерія, В.О. Пермькова, В.А. Росновського, Р.С. Санжаровського, М.Ф. Скворцова, Л.І. Стороженка, В.М. Сурдіна, В.А. Трулля, С.О. Харченка, В.М. Фонова, Е.Д. Чіхладзе, О.Л. Шагіна, І.С. Ярового, та інших. Запропоновані ними теоретично-експериментальні залежності дозволяють розраховувати труобетонні елементи при статичному навантаженні.

Різноманітність теорій, що розкривають особливості роботи труобетону під навантаженням, можна пояснити тим, що труобетон, на відміну від елементів, армованих іншими видами арматури, не має яскраво вираженого моменту руйнування.

На основі проведеного аналізу досліджень роботи труобетону зроблено висновок, що на даний час залишається мало досліджуваною робота труобетонних елементів, виготовлених із тонкостінних сталевих труб квадратного перерізу.

Зроблено огляд праць, в яких досліджувалась робота труботонних елементів із сталевих труб квадратного перерізу, заповнених бетоном: О.М. Тайдук, М. Грауерса, Занг Занг-Гуо, Зуо Мінг-Шенга, Л.І. Стороженка, Е.Д. Чікладзе та інших. Проаналізувавши методи розрахунку та рекомендації щодо доцільності використання труботонних конструкцій квадратного перерізу було зроблено висновок, що існуюча методика СНиП 2.01.03.84* не дозволяє врахувати всіх факторів, які характеризують роботу труботону. На підставі огляду формулюються задачі дослідження роботи труботонних елементів із сталевих труб квадратного перерізу при центральному стиску:

1) експериментально дослідити особливості роботи під навантаженням та характер втрати несучої здатності труботонних зразків, виготовлених із сталевих труб квадратного перерізу, заповнених бетоном, в залежності від висоти зразка, розмірів поперечного перерізу, товщини стінок та класу бетону по міцності;

2) розробити методику оцінки напружено-деформованого стану труботонних елементів квадратного перерізу при центральному стиску та скласти програму обчислень переміщень, деформацій та напружень за допомогою ПЕОМ;

3) розробити методику розрахунку несучих конструкцій із сталевих труб квадратного перерізу, заповнених бетоном, скласти рекомендації по їх проектуванню.

Друга глава присвячена методиці проведення експерименту і дослідженню фізико-механічних властивостей прийнятих до виготовлення матеріалів.

Для всебічного вивчення роботи труботонних елементів, виготовлених із сталевих труб квадратного перерізу, була складена

програма експерименту, яка наведена в таблиці. Програма була складена таким чином, щоб дослідити роботу трубобетонних елементів в залежності від фізико-механічних властивостей використаних матеріалів, геометричних характеристик перерізу, висоти і схем передачі навантаження на елемент, а також порівняти особливості роботи і несучої здатність з зразками, виготовленими із бетону, залізобетону та порожніх труб.

Для оцінки впливу масштабного фактору на напружено-деформований стан досліджувались зразки із труб перерізом 100×100 , 160×160 і 180×180 мм з товщиною стінки відповідно 3, 4, 6 мм.

Згідно плану експеримента були виготовлені дослідні зразки із трубобетону з різними класами бетону по міцності (ТБ-1-1, ТБ-1-2, ТБ-2-1, ТБ-2-2, ТБ-3-1, ТБ-3-2); з різними способами передачі навантаження (ТБ-3-2 -на комплексний переріз, ТБО-3-2 -на об'їму, ТБЯ-3-2 -на бетонне ядро); з різними висотами елементів(ГТБ-2-1-1, ГТБ-2-1-2, ГТБ-2-1-3).

Дослідні зразки виготовлялися із глутозварних труб квадратного перерізу (мал 1). Бетонування проводилось в промислових умовах.

Для контролю фізико-механічних властивостей бетону одночасно з виготовленням дослідних зразків виготовлялись бетонні призми і куби. Дослідження зразків проводилось на пресі ПММ - 500. Зразки досліджувались при досягненні проектної міцності бетону, але не раніше ніж через 28 діб після бетонування. Випробування трубобетонних зразків проводилось при вісьовій дії навантаження. Завантаження здійснювалось ступенями, що дорівнювали 0.1 - 0.05 від граничного навантаження. На всіх ступенях навантаження вимірювались поздовжні і поперечні деформації трубобетонних зразків за допомогою електротензорезисторів типу ПКБ 50 - 100.

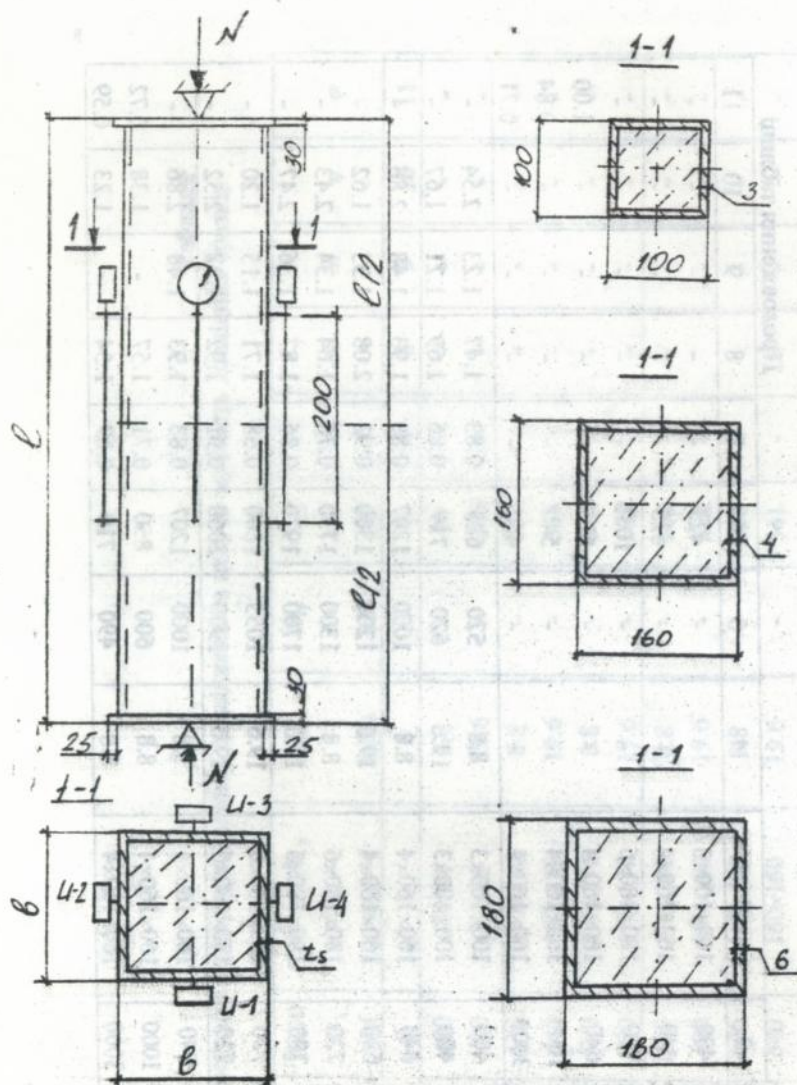
Таблиця

Програма експериментальних досліджень та несуча здатність дослідних зразків

Серія	Висо- та, мм	Переріз, мм	R_b , МПа	N_1 , кН	N_2 , кН	ψ	μ	τ	η	φ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Б-1-1	400	94×94	8.8	-	80	-	-	-	-	-
Б-1-2	400	94×94	19.6	-	166	-	-	-	-	-
Б-2-1	640	152×152	8.8	-	190	-	-	-	-	-
Б-2-2	640	152×152	19.6	-	355	-	-	-	-	-
Б-3-1	720	178×178	8.8	-	248	-	-	-	-	-
Б-3-2	720	178×178	19.6	-	505	-	-	-	-	-
ЖБ-1-1	400	100×100	8.8	-	168	-	-	-	-	-
ЖБ-1-2	400	100×100	19.6	-	302	-	-	-	-	-
ЖБ-2-1	640	160×160	8.8	-	356	-	-	-	-	-
ЖБ-2-2	640	160×160	19.6	-	561	-	-	-	-	-
ЖБ-3-1	720	180×180	8.8	-	518	-	-	-	-	-
ЖБ-3-2	720	180×180	19.6	-	983	-	-	-	-	-

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Т-1	400	100×100×3	-	-	425	-	-	-	-	-
Т-2	640	160×160×4	-	-	625	-	-	-	-	-
Т-3	720	180×180×6	-	-	1055	-	-	-	-	-
ГТ-2-0-1	640	160×160×4	-	-	625	-	-	-	-	1.00
ГТ-2-0-2	1000	160×160×4	-	-	540	-	-	-	-	0.84
ГТ-2-0-3	3000	160×160×4	-	-	460	-	-	-	-	0.71
ТБ-1-1	400	100×100×3	8.8	520	623	0.83	1.47	1.23	2.54	-
ТБ-1-2	400	100×100×3	19.6	620	717	0.86	1.69	1.21	1.67	-
ТБ-2-1	640	160×160×4	8.8	1000	1207	0.83	1.93	1.48	2.86	-
ТБ-2-2	640	160×160×4	19.6	1200	1300	0.92	2.08	1.33	1.62	-
ТБ-3-1	720	180×180×6	8.8	1300	1730	0.76	1.64	1.34	2.43	-
ТБ-3-2	720	180×180×6	19.6	1700	1970	0.86	1.87	1.36	2.47	-
ТБО-3-2	720	180×180×6	19.6	1055	1800	0.58	1.71	1.15	1.20	-
ТБЯ-3-2	720	180×180×6	19.6	1900	2060	0.91	1.92	1.32	2.52	-
ГТБ-2-1-1	640	160×160×4	8.8	1000	1207	0.83	1.93	1.48	2.86	-
ГТБ-2-1-2	1000	160×160×4	8.8	600	850	0.71	1.57	-	1.38	0.72
ГТБ-2-1-3	3000	160×160×4	8.8	490	710	0.69	1.54	-	1.23	0.59



Мал. 1. Конструкції дослідних зразків

Схема розміщення електротензорезисторів передбачала дослідження деформативних характеристик в одному, середньому по висоті елемента, перерізі. В перерізі було наклеєно по 24 електротензорезистора в поздовжньому та поперечному напрямках. Для дублювання вимірів поздовжніх деформацій установлювались індикатори годинникового типу з ціною поділки 0.01 мм.

Для контролю фізико-механічних властивостей бетону одночасно з виготовленням дослідних зразків виготовлялись бетонні призми і куби. Зразки досліджувались при досягненні проектної міцності бетону, але не раніше ніж через 28 днів після бетонування.

Третя глава дисертаційної роботи присвячена аналізу результатів експериментальних досліджень центрально стиснутих трубобетонних елементів із сталевих труб квадратного перерізу.

При проведенні експерименту фіксувалось два стани в ролі граничного по несучій здатності.

1. Досягнення значень поздовжніх деформацій, відповідаючих межі плинності сталі (N_1).

2. Досягнення зразком такого стану, коли практично по всьому перерізу зразка сталь і бетон знаходяться в стані плинності і елемент деформується без приросту діючого на нього навантаження (N_2). Цей стан практично відповідає повному зруйнуванню зразка.

В таблиці для всіх випробуваних трубобетонних зразків наведені значення граничного стану по несучій здатності, які відповідають пунктам "1" і "2" (значення N_1 і N_2).

Коефіцієнт що характеризує співвідношення між зусиллями N_1 і N_2 , вираховувався за формулою

$$\psi = \frac{N_1}{N_2}$$

Досить велика різниця між N_1 і N_2 свідчить про високу надійність елементів, виготовлених із сталевих труб квадратного перерізу, заповнених бетоном. Із таблиці видно, що коефіцієнт ψ змінювався в межах 0.69 - 0.92 при навантаженні на комплексний переріз. Для зразків з прикладенням навантаження тільки на об'їму - $\psi=0.58$, для зразків з прикладенням навантаження тільки на ядрі - $\psi=0.91$.

Відомо, що в стиснутих труботетонних елементах стальна труба перешкоджає розвитку тріщин відриву в бетоні, завдяки чому в ядрі виникає об'ємний напружений стан. Оцінює ефективність роботи бетонного ядра з урахуванням об'ємного напруженого стану коефіцієнт

$$\eta = \frac{\sigma_b}{R_b}$$

де σ_b - напруження в бетоні при досягненні зразком граничного стану по несучій здатності.

В усіх випадках значення коефіцієнта η були більші одиниці і досягали величини 1.62-2.86, що доводить, що в граничному стані напруження в бетоні значно перевищують призмову міцність.

Коефіцієнт ефективності елемента в цілому

$$\pi = \frac{N_{tb}}{N_1 + N_b}$$

де N_{tb} - несуча здатність труботетонного елемента;

N_b, N_1 - несучая здатність бетонного ядра та сталеві труби, випробуваних роздільно.

Коефіцієнти ефективності π труботетонних зразків в усіх випадках були більшими за одиницю (1.15 - 1.48), що свідчить про їх високу ефективність.

Було вираховано коефіцієнт

$$\eta = \frac{N_{\text{тб}}}{N_1}$$

З таблиці виходить, що коефіцієнт η був в межах від 1.47 (ТБ-1-1) до 2.08 (ТБ-2-2). Таким чином заповнювати труби бетоном в усіх випадках вигідно.

За експериментальне значення коефіцієнта, що враховує гнучкість, прийнято

$$\varphi_{\text{екс}} = \frac{N_1}{N_2}$$

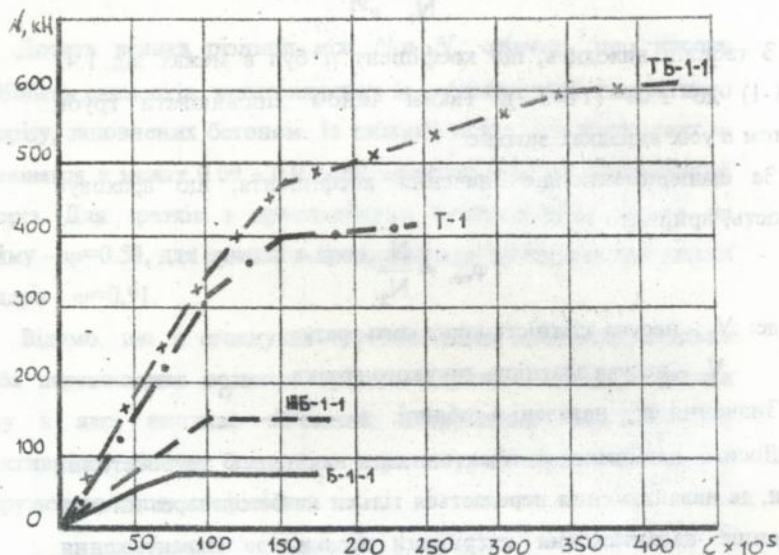
де: N_2 - несуча здатність короткого зразка,

N_L - несуча здатність гнучкого зразка.

Значення $\varphi_{\text{екс}}$ наведені в таблиці.

Досить надійними і ефективними виявились трубобетонні зразки, де навантаження передається тільки на бетон через штамп. Найменше навантаження витримали зразки, де навантаження передавалось тільки на сталеву обойму. Це дає змогу зробити висновок про доцільність передачі навантаження тільки на комплексний переріз або тільки на бетон.

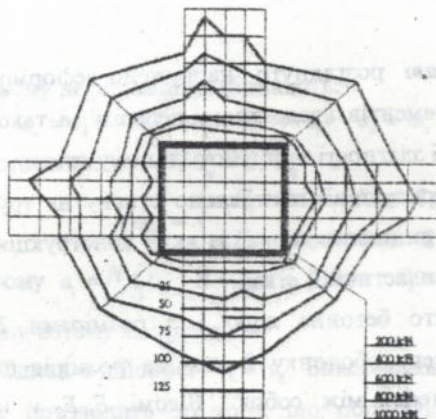
При аналізі експериментальних даних було виявлено, що трубобетонні елементи витримують навантаження в 2-2.5 рази більші ніж зразки з залізобетону, - в 1.5 - 1.9 рази більші ніж зразки з порожніх труб. Характер розвитку поздовжніх деформацій в залежності від навантаження трубобетонних, залізобетонних, бетонних зразків та зразків, виконаних з порожніх труб, зображений на мал.2. Під час експериментальних досліджень було виявлено, що поперечні та поздовжні деформації з ростом навантаження розвиваються нелінійно, що пояснюється особливостями деформування бетону в трубі. Поперечні деформації з початку навантаження розвивались в незначній мірі, а з наближенням до граничного стану інтенсивно зростали.



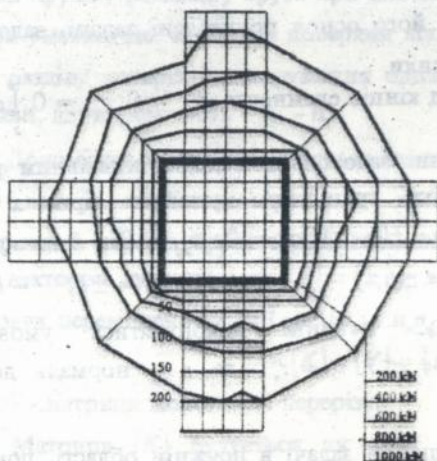
Мал. 2. Залежність поздовжніх деформації від навантаження

Для всіх зразків об'єм бетону на початку дослідження зменшувався, а наприкінці збільшувався так, що перевищував первісний. Гранничний стан труботегону при центральному стиску, відповідний початку плинності сталі в поздовжньому напрямку, приблизно співпадає з початком збільшення об'єму, що свідчить про появу значних деформацій, пов'язаних з процесом появи тріщин. Розподіл поздовжніх та поперечних деформацій від навантаження в одному з зразків наведений на мал. 3, 4.

За гранничний стан по несучій здатності в центрально стиснутих елементах, виконаних з тонкостінних сталевих труб квадратного перерізу, заповнених бетоном, треба приймати такий стан, коли досягаються поздовжні деформації, відповідні початку плинності сталі.



Мал. 3. Розподіл поперечних деформацій від навантаження в зразках серії ТБ-2-2.



Мал. 4. Розподіл поздовжніх деформацій від навантаження в зразках серії ТБ-2-2.

В четвертій главі розглянуто напружено-деформований стан труботонних елементів квадратного перерізу, а також методику розрахунку несучої здатності при центральному стиску.

В процесі експлуатації центрально стиснутих труботонних елементів можуть виникати умови, за яких конструкція працює як в пружній, так і в пластичній сталі.

Прийнято бетонне ядро 1 з розмірами $2b \times 2b \times l$, що заключено в сталеву оболонку 2 тих же розмірів з товщиною стінки t , які склеєні між собою. Відомі E_1, E_2, ν_1, ν_2 - модулі пружності та коефіцієнти Пуассона ядра та оболонки. Граничні умови, встановлені на границях розділу та закони зміни E_1, E_2, ν_1, ν_2 вважаються відомими. Прийнято, що зовнішні об'ємні сили відсутні, бокова поверхня складеного бруса вільна від зовнішніх навантажень, а до його основ прикладені задані, задовольняючі умовам рівноваги, сили.

На відстані від кінців елемента $\tau_{xz} = 0; \tau_{yz} = 0; \int \sigma_z dS = N$.

Напруження повинні задовольняти диференціальним рівнянням рівноваги, а також граничним умовам: при $x = \pm(b+t)$ $\sigma_x = 0, \tau_{yx} = 0$; при $y = \pm(b+t)$ $\sigma_y = 0; \tau_{xy} = 0$.

На лініях ($x = \pm b; -b \leq y \leq b$ и $y = \pm b; -b \leq x \leq b$) розділу тіл 1, 2 повинні виконуватися умови спаю: $u^{(1)} = u^{(2)}; v^{(1)} = v^{(2)}; \sigma_n^{(1)} = \sigma_n^{(2)}; \tau_n^{(1)} = \tau_n^{(2)}$, де n - нормаль до границі розділу тіл.

Розглянемо рішення задачі в пружній області, поклавши за основу роботи Л.І. Стороженка, присвячені об'ємному напружено-деформованому стану труботону.

Якщо визнати однаковими коефіцієнти Пуассона бетона та труби $\nu_1 = \nu_2 = \nu$, то об'ємний напружено-деформований стан відсутній, задачу розв'язують формули переміщень:

$$u = -a_1 \nu x; v = -a_1 \nu y; w = a_1 z, \quad (1)$$

при цьому деформації дорівнюють:

$$\varepsilon_x = u'_x = -a_1 v; \quad \varepsilon_y = v'_y = -a_1 v; \quad \varepsilon_z = w'_z = a_1; \quad \gamma_{xy} = u'_y + v'_x = 0, \quad (2)$$

а напруження: $\sigma_x = 0; \sigma_y = 0; \tau_{xy} = 0;$

$$\sigma_z = \begin{cases} a_1 E_1 & \text{для тіла 1;} \\ a_1 E_2 & \text{для тіла 2,} \end{cases} \quad (3)$$

при чому $a_1 = N/S; \quad S = E_1 S_1 + E_2 S_2; \quad S_1$ і S_2 - площі поперечного перерізу бетону та труби.

Однак в дійсності $v_1 \neq v_2$. Використання формул (1) - (3) при $v_1 \neq v_2$ призводить до того, що порушуються умови спаю, при цьому розриви зміщень: $g = a_1(v_1 - v_2)x; \quad h_1 = a_1(v_1 - v_2)y.$

Для видалення фіктивних розривів необхідно вирішити допоміжну задачу теорії пружності про плоску деформацію - треба знайти пружну рівновагу бруса при плоскій деформації в площині ху при умовах, що: а) бокова поверхня вільна від напружень; б) на лінії розділу матеріалів напруження однакові, а зміщення мають розриви, що дорівнюють $-g; -h_1.$

Допоміжна задача розв'язується методом скінчених елементів, тому що її аналітичне рішення досить важке. Разбиваємо поперечний переріз бруса на M елементів с N вузлами (мал.5). Між вектором вузлових сил $\{F\} = \{x_1, y_1; x_2, y_2; \dots; x_n, y_n\}$ та вектором вузлових переміщень $\{V\} = \{u_1 v_1; u_2 v_2; \dots; u_n v_n\}$ існує залежність

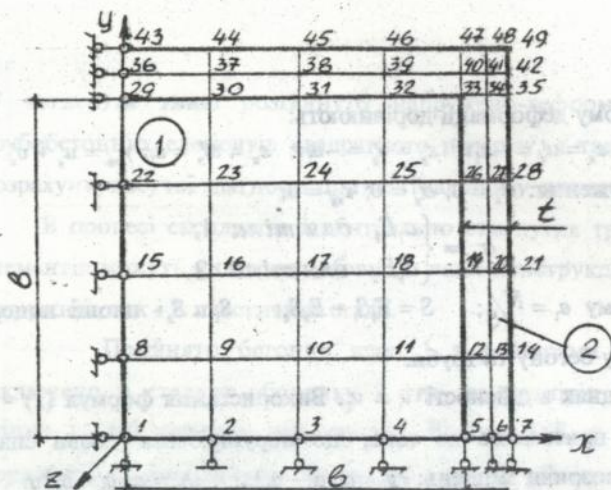
$$[K] \times \{V\} = \{F\}, \quad (4)$$

де $[K]$ - матриця жорсткості перерізу.

Матриця $[K]$ будується як сума матриць жорсткості $[k]$ окремих елементів,

$$[k] = \Delta [A]^{-T} [B]^T [C]^{-1} [B] [A], \quad (5)$$

де $[B]^T, [A]^T$ - транспоніровані матриці $[B]; [A]^{-1}; \Delta$ - площа трикутного елемента; $[A]^{-1}; [C]^{-1}$ - обернуті матриці до $[A]; [C].$



Мал.5. Розрахункова схема трубобетонного елемента

В нашому випадку $\{F\} = 0$, а частина переміщень із вектора $\{V\}$ повинна задовольняти умові на границі розділу тіл 1, 2: $g_1 = a_1(v_1 - v_2)x$; $h_1 = a_1(v_1 - v_2)y$, де x, y , - координати вузла спаяу тіл 1,2. При одиничній дії $a_1 = 1g/h$. Система отриманих рівнянь вирішується методом Холецкого, знаходяться переміщення $\{U\}$ вузлів сітки перерізу, а також деформації $\{\varepsilon\}$ та напруження $\{\sigma\}$ в елементах:

$$\{\varepsilon\} = [B][A]^{-1}\{U\};$$

$$\{\sigma\} = [C]^{-1}\{\varepsilon\}.$$

При цьому відміними від 0 будут переміщення u^*, v^* , деформації ε^*, γ_w , напруження $\sigma_x^*, \sigma_y^*, \tau_w^*, \sigma_z^*$, причому поелементно

$$\sigma_z^* = \nu(\sigma_x^* + \sigma_y^*).$$

Приймаємо в елементарному рішенні (1) - (3) $a_1 = 1$, складаємо його з рішенням допоміжної задачі. Отримане рішення, помножене на a_3 , буде рішенням поставленої на початку задачі, якщо a_3 знайти з умови

$$a_3 \int (\sigma_z |_{z=1} + \sigma_z^*) = N. \quad (6)$$

Одержане рішення задовольняє всім заданим раніше умовам.

Розрахунок в пластичній стадії зводиться до ітераційного розрахунку з зміною деформативних характеристик матеріалу скінечних елементів в залежності від середнього рівня напружень в ньому.

Описаний алгоритм рішення задачі реалізовано на ПЕОМ за допомогою програми "GLOBAL". Результати обчислень заносяться в файл у вигляді таблиць, де для кожної N вираховуються напруження $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$, деформації $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{yx}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$, переміщення v, u для бетону та сталі. Результати розрахунку по такій програмі дають добре сходження з експериментальними результатами (різниця до 7%).

Несучу здатність трубобетонних елементів, як коротких так і гнучких можна знайти шляхом приведення квадратного перерізу до сталевого, при чому з'являється можливість використання в розрахунку табличних коефіцієнтів поздовжнього згину ϕ . Несучу здатність коротких елементів рекомендується знаходити за формулою

$$N = R_c A_{red}, \quad (7)$$

$$A_{red} = A_s + A_b \alpha, \quad (8)$$

де α коефіцієнт приведення, який можна знаходити двома способами:

$$1. \quad \alpha_R = \frac{R_b \zeta}{R_s}, \quad (9)$$

$$2. \quad \alpha_E = \frac{E_b \zeta}{E_s}, \quad (10)$$

де ζ - коефіцієнт, що враховує об'ємно - напружений стан бетону в трубі. За результатами статистичної обробки експериментальних даних з урахуванням коефіцієнту надійності

по матеріалу ζ знаходиться в межах 1.4 - 1.2 в залежності від класу бетону по міцності. Із збільшенням класу бетону ζ зменшується.

Результати розрахунку несучої здатності по запропонованій методиці дають добре співпадання з експериментальними результатами (по способу 1 відхилення до 3.8-12.5%, по способу 2 - 8.8-20%). Необхідно відмітити, що для визначення несучої здатності трубобетонних елементів квадратного перерізу точнішим є спосіб 1, з застосуванням коефіцієнту α_R .

Таким чином у відповідності з розробленою методикою можливо визначення несучої здатності центрально стиснутих трубобетонних елементів квадратного перерізу з використанням наведених в СНиП II-23-81* табличних коефіцієнтів повздожнього згину ϕ .

П'ята глава присвячена розробці рекомендацій по проєктуванню несучих конструкцій, виготовлених із тонкостінних сталевих труб квадратного перерізу, заповнених бетоном.

При проєктуванні центрально стиснутих трубобетонних елементів квадратного перерізу без врахування гнучкості несучої здатність рекомендується знаходити по розробленій таблиці, яка включає несучі здатності всіх трубобетонних елементів квадратного перерізу з різними класами бетону по міцності при центральному стиску без врахування гнучкості, або по формулі

$$N/A_{red} \leq R_y \gamma_c.$$

Розрахунок на стійкість трубобетонних елементів квадратного перерізу при центральному стиску можна виконувати: або шляхом множення несучої здатності з запропонованої таблиці на коефіцієнт ϕ , або по формулі

$$N/\phi A_{red} \leq R_y \gamma_c.$$

Також розроблені таблиці для визначення приведенної площі A_{red} , геометричних характеристики I_{red} , i_{red} , W_{red} .

З використанням розроблених рекомендацій по проектуванню можливе ширше застосування трубобетонних елементів в якості несучих будівельних конструкцій та в складі скрізних систем.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячується експериментально-теоретичному дослідженню напружено-деформованого стану центрально стиснутих елементів із сталевих труб квадратного перерізу заповнених бетоном. Загальні результати роботи такі.

1. Експериментально досліджена несуча здатність центрально стиснутих трубобетонних елементів із сталевих труб квадратного перерізу в залежності від геометричних розмірів, міцнісних характеристик матеріалів та різних схем передачі навантаження.

2. Встановлено, що найвигіднішим є комплексне навантаження елементів, найневигіднішим - передача навантаження на оболонку. При досягненні граничного стану квадратна форма трубобетонного зразка намагається прийняти форму кола.

3. Розроблені три види стиків трубобетонних елементів квадратного перерізу, які мають однакові міцнісні характеристики.

4. Одержана на основі проведених теоретичних досліджень методика дає змогу оцінити напружено-деформований стан трубобетонних елементів квадратного перерізу при комплексному навантаженні. В результаті обчислень можна знайти переміщення, деформації та напруження з моменту прикладення навантаження і до досягнення граничного стану. Одержані залежності дозволяють моделювати та оцінювати сумісну роботу бетону та сталі на різних

стадіях навантаження при різних геометричних та фізико - механічних характеристиках. Розроблена програма "GLOBAL", яка дозволяє оцінити напружено - деформований стан трубобетонних елементів квадратного перерізу за допомогою ПЕОМ.

5. Одержані формули для знаходження несучої здатності трубобетонних елементів квадратного перерізу. Встановлено, що результати обчислень несучої здатності добре співпадають з експериментальними даними.

6. Розроблені рекомендації для розрахунку трубобетонних елементів квадратного перерізу, в які включені таблиці з несучими здатностями центрально сиснутих трубобетонних елементів квадратного перерізу без врахування гнучкості, а також інші, необхідні для обчислень таблиці, що значно спрощують проєктування конструкцій.

Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано в наступних статтях і препринтах:

1). Головка Г.В., Романов И.Ю. Изгибаемые трубобетонные элементы прямоугольного сечения // Тези доповідей 45 наукової конференції ПолтІБІ, Полтава, 1993. - С.289.

2). Головка Г.В. Особливості роботи трубобетонних елементів квадратного перетину // Тези доповідей 46 наукової конференції ПолтІБІ, Полтава, 1994. - частина 3, С.43.

3). Головка Г.В. Міцність та деформативність стиснутих трубобетонних елементів виготовлених із сталевих труб квадратного перетину. // Тези доповідей 47 наукової конференції ПолтТУ, Полтава, 1995. - частина 3, С.25.

4). Головка Г.В. Експериментальне дослідження центрально стиснутих елементів квадратного перерізу. // Тези доповідей 48 наукової конференції ПолтТУ, Полтава, 1996. - частина 3, С.49.

5). Головка Г.В. Несуча здатність стиків трубобетонних елементів квадратного перерізу. // Тези доповідей 48 наукової конференції ПолтТУ, Полтава, 1996. - частина 3, С.50.

6). Головки Г.В. Расчет несущей способности трубобетонных элементов квадратного сечения при осевом сжатии. //Научно-техническая конференция "Сталежелезобетонные конструкции: исследование, проектирование и строительство" Кривой Рог, 1996. - С.29.

7). Стороженко Л.И., Васюта В.В., Головки Г. В., Семко А.В. Несущая способность сжатых конструктивных элементов из стальных тонкостенных гнуто - сварных профилей квадратного сечения, заполненных бетоном // Международная конференция "Металлостроительство -96" / Сборник трудов.- Макеевка, 1996г. - Том 1. - С. 76-77.

8). Стороженко Л.И., Васюта В.В., Головки Г. В., Семко О.В. Експериментальне дослідження несучої здатності стиснутих трубобетонних елементів квадратного перерізу // Матеріали II Міжнародного симпозіуму "Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій" - Львів, 1996. - С. 269-271.

9) Стороженко Л.И., Васюта В.В., Головки Г.В. Несущие трубобетонные конструкции квадратного поперечного сечения//Матеріали науково-технічної конференції " Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону" - Київ, 1996. - С 170-172.

10). Storozhenko L., Vasyuta V., Golovko G. Concrete filled square steel tubular elements under compression //XLII Konferencja Naukowa Kiliw Pan i PZITB "Krynica '96" - Krakow, 1996. - p.103-110.

11). Стороженко Л.И., Васюта В.В., Головки Г. В. Розрахунок несучої здатності стиснутих трубобетонних елементів квадратного перерізу //Матеріали науково-технічної конференції. - Рівне, 1996. - С. 204-209.

12). Стороженко Л.И., Васюта В.В., Головки Г. В. Сортамент конструктивных элементов из трубобетона квадратного сечения. //Научно-техническая конференция "Сталежелезобетонные конструкции: исследование, проектирование и строительство" - Кривой Рог, 1996. - С.17.

АННОТАЦИЯ

Головки Г.В. "Напряженно-деформированное состояние центрально сжатых элементов из стальных труб квадратного сечения, заполненных бетоном".

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения. Полтавский технический университет. Полтава, 1996.

Экспериментально исследована работа центрально сжатых элементов из стальных труб квадратного сечения, заполненных бетоном. Предложен метод оценки напряженно-деформированного состояния и методика определения их несущей способности.

Разработаны рекомендации по проектированию сжатых элементов из стальных труб квадратного сечения, заполненных бетоном.

Ключові слова: труботетон, елемент, напружено-деформований стан, несуча здатність, стиск.

ANNOTATION

Golovko G.V. "Stress and deformation state of concrete filled square steel tubular elements under axial compression."

Dissertation for degree of Candidate of Technical Sciences, speciality 05.23.01 - Building Structures, Buildings & Structures. Poltava Technical University, Poltava, 1996.

Work of concrete filled square steel tubular elements under axial compression is experimentally researched. Both the estimation of stress and deformation state of this elements and method for estimation of limit strength has been proposed.

Proposed recommendations for design concrete filled square steel tubular elements.

Key words: concrete filled steel tube, element, stress and deformation state, limit strength, compression.

Golovko G.V.

432101

АВ 36.299

Підписано до друку 21.11.96р. Формат 60x84 1/16. Папір друкарський.
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 1. Замовлення № 920 Тираж 100.
Безкоштовно. Дільниця оперативного друку статистичного управління
Полтавської області. м. Полтава, вул. Пушкіна, 103.