ПОЛТАВСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Спільчук Віктор Михайлович

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ КІЛЬЦЕВОГО ПЕРЕРІЗУ

05.23.01 - будівельні конструкції, будови та споруди

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Полтава 1996

624

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00757117 (S)

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на к[illegible] пластмас Полтавського технічного університету.

Науковий керівник	доктор технічних наук, професор Стороженко Л.І.
Офіційні опоненти	доктор технічних наук, професор Фомиця Л.М. кандитат технічних наук, доцент Козир О.О.
Ведуча організація	кооперативно-державний проектно-вишукувальний інститут "Полтаваагропроект"

Захист дисертації відбудеться "17" грудня 1996 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої ради Д-25-01-02 по спеціальності "Будівельні конструкції, будови 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 "16" листопада 1996 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради
кандидат технічних наук, доцент Семко О.В.

АВ-36.0414

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАЦІ

Актуальність роботи. Сучасний рівень будівельного виробництва вимагає від несучих конструкцій високої надійності в поєднанні з малою матеріаломісткістю і низькими працезатратами при виготовленні та монтажі. Трубобетонні конструкції є прикладом того, як при вдалій компоновці поперечного перерізу з врахуванням міцнісних характеристик матеріалів та геометричних характеристик перерізу можна значно збільшити несучу здатність елемента в цілому.

За останній час у будівництві будівель і споруд на Україні і особливо за кордоном широке застосування здобувають трубобетонні конструкції. При спорудженні трубобетонних конструкцій є можливість використати індустріальні методи виробництва безпосередньо на будівельному майданчику. При відносно малому поперечному перерізі трубобетонні конструкції порівняно з залізобетонними мають ряд переваг за рахунок раціонального сполучення бетону та сталі і здатні витримувати значні зусилля.

При компонуванні поперечного перерізу важливу роль відіграє співвідношення значень міцнісних те геометричних параметрів трубобетонних елементів. Для того, щоб інтенсивніше використовувати переваги трубобетонних елементів необхідно визначитись з їх оптимальними співвідношеннями. Для трубобетонних елементів, повністю заповнених бетоном, така проблема вирішувалася, при цьому в якості критерія оптимальності використовувалася приведена собівартість конструкції. Вважалося, що ціни на матеріали для виготовлення трубобетонних елементів залишаються постійними відносно часу. Така передумова не дає змоги використовувати отримані результати в сьогоднішніх умовах. Для трубобетонних елементів

ІЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

кільцевого перерізу проблема оптимальності не вирішувалася взагалі. Відсутність рекомендацій по розрахунку і проектуванню оптимальних конструкцій в значній мірі стримує їх широке використання в будівництві. Таким чином проблема оптимальності трубобетонних елементів по різних критеріях, при різних значеннях навантаження та схемах його передачі є дуже важливою та актуальною і потребує детального вивчення.

Мета праці:

- розробка методу оптимизації міцнісних та геометричних параметрів поперечних перетинів трубобетонних елементів з бетонним осердям кільцевого перерізу;

- експериментальне дослідження міцності і характеру втрати несучої здатності трубобетонних елементів кільцевого перерізу в залежності від їх конструктивної схеми та схеми навантаження вісьовою силою.

Автор захищає:

- методи розрахунку несучої здатності стиснутих трубобетонних елементів кільцевого перерізу;

- методи оптимізації параметрів трубобетонних елементів з бетонним осердям кільцевого перерізу;

- результати експериментальних та теоретичних досліджень стиснутих трубобетонних елементів .

Наукова новизна роботи:

- запропоновано метод оптимізації параметрів трубобетонних елементів з бетонним осердям кільцевого перерізу;

- на основі експериментальних досліджень отримано нові відомості про особливості роботи трубобетонних елементів з бетонним осердям кільцевого перерізу.

Практичне значення роботи:

- розроблені і подані в вигляді, зручному для оптимизації залежності для визначення оптимальних параметрів трубобетонних елементів з осердями кільцевого та повністю заповненого бетоном поперечних перерізів;

- визначена область раціонального застосування трубобетону в стиснутих елементах, в межах якої забезпечується його максимальна ефективність порівняно з аналогічними залізобетонними конструкціями;

- отримані нові результати практичного застосування трубобетону в будівництві.

Реалізація роботи. Результати досліджень використані при проектуванні та будівництві трубобетонних колон адміністративної будови АО "Житлобуд".

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи опублікований в 7 друкованих роботах.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на 46-48 наукових конференціях Полтавського технічного університету та на конференції "Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування та будівництво" (м. Полтава 1994 - 1996 р.р. та м. Кривий Ріг, 1996 р.) .

Обсяг виконаної роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, загальних висновків, списку літератури із 142 найменувань і додатку. Робота викладена на 170 стор., що включають до свого складу 118 стор. основного тексту, 48 малюнків і 4 таблиці.

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 обгрунтовується необхідність теоретичних та експериментальних досліджень в напрямку оптимізації трубобетонних елементів, актуальність, наукова новизна та практичне значення роботи.

В першій главі проведено аналіз конструкцій із трубобетону, методів їх розрахунку та оптимізації. Відзначені переваги та недоліки трубобетону. Зроблено аналіз праць, присвячених дослідженню конструкцій із зовнішнім армуванням та праць, присвячених питанням оптимальності контрукцій.

На даний час відомі роботи, присвячені дослідженню особливостей напружено-деформованого стану трубобетонних конструкцій при різних способах навантаження О.М. Алперіної, Ю.В. Бондаренко, І.Д. Бєлова, Г.А. Гамбарова, Г.А. Генієва, О.О. Гвоздєва, О.Б.Голишева, О.А. Долженко, М.Г. Добудогло, В.І.Єфіменко, А.Б. Квядараса, О.І. Кікіна, К. Клепеля, С.Г. Кусябгалієва, А.Ф. Ліпатова, Л.К. Лукші, О.Е. Лопатто, В.І. Маракуци, В.Ф. Мареніна, І.Г. Людковського, Г.П. Передерія, В.О. Пермякова, В.А. Росновського, Р.С. Санжаровського, М.Ф. Скворцова, Л.І. Стороженка, В.М. Сурдіна, В.А. Трулля, В.М. Фонова, С.О. Харченка, Е.Д. Чіхладзе, О.Л. Шагіна, І.С. Ярового та інших. Запропоновані ними теоретично-експериментальні залежності дозволяють розраховувати трубобетонні елементи при статичному навантаженні.

На основі проведеного аналізу досліджень роботи трубобетону зроблено висновок, що на даний час залишається не досить дослідженою проблема оптимізації трубобетонних конструкцій.

Зроблено огляд праць, в яких досліджувалися проблеми оптимізації параметрів конструкцій В.М. Кебенка, Кікіна О.І., Р.С.Санжаровського, В.А. Трулля, Я.М.Ліхтарнікова, В.М.Байкова

та інших. Проаналізувавши методи оптимізації трубобетонних та інших конструкцій, зроблено висновок, що в більшості випадків при дослідженні по оптимізації їх параметрів в якості критерія оптимальності було вибрано приведену собівартість конструкції, але при цьому не враховувалася динаміка зміни цін на матеріали. На підставі огляду формулюються задачі дослідження по оптимізації параметрів стиснутих трубобетонних елементів:

- експериментально дослідити особливості роботи під навантаженням та характер втрати несучої здатності трубобетонних елементів з бетонним осердям кільцевого перерізу;
- провести дослідження по застосуванню та адаптації існуючих методів оцінки несучої здатності трубобетонних елементів для вирішення задач оптимізації;
- розробити методику оптимізації міцнісних та геометричних параметрів трубобетонних конструкцій з бетонним осердям кільцевого перерізу;
- випробувати методику оптимального проектування трубобетону при проектуванні і будівництві будівель та споруд.

Друга глава присвячена методам розрахунку несучої здатності трубобетонних елементів кільцевого перерізу та приведенню їх до вигляду, зручного для побудови математичної моделі оптимізації, перевірці роботи трубобетонних елементів кільцевого перерізу з бетонним осердям з віброваного бетону та перевірці методів розрахунку при їх порівнянні з експериментальними даними.

Для всебічного вивчення роботи трубобетонних елементів кільцевого перерізу була складена програма експерименту, яка наведена в таблиці. В таблиці прийняті слідуючі позначення ТБ-трубобетонний елемент суцільного перерізу, ТР-труба, символ * біля значення товщини стінки означає, що зразки даної серії

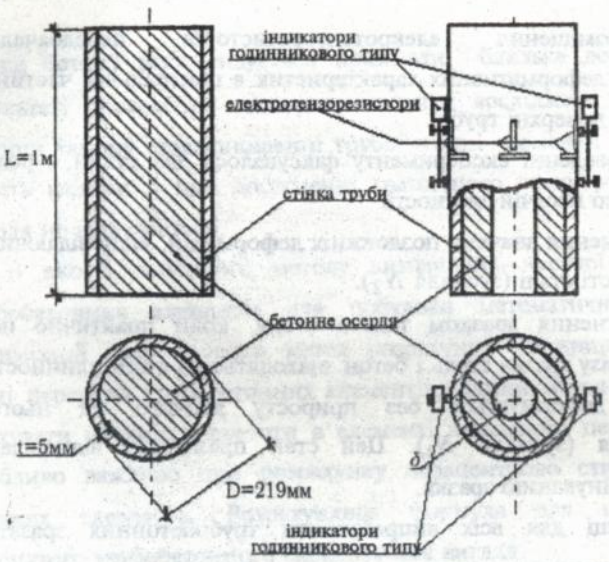
суцільного перерізу і умовна товщина стінки бетону дорівнює радіусу бетонного осердя.

Таблиця

Експериментальне дослідження трубобетонних зразків

Серія	Ексцентриситет e_0, мм	Товщина стінки бетону δ, мм	Міцність бетону R_b,МПа	N_1 кН	N_2 кН	Коефіцієнти ефективності трубобетону ψ	η
1	2	3	4	5	6	7	8
ТБ-1-1	0	104.5*	24.37	1935	2598	1.34	1.15
ТБ-1-2	0	104.5*	33.27	2092	2150	1.03	1.38
ТБ-1-3	0	104.5*	45.07	2390	3100	1.30	1.82
ТБ-1-4	20	104.5*	24.37	1533	2200	1.44	1.09
ТБ-1-5	20	104.5*	33.27	1757	2500	1.42	1.19
ТБ-1-6	50	104.5*	24.37	1116	2350	2.11	1.05
ТБ-2-1	0	60	24.37	1787	2000	1.12	1.45
ТБ-2-2	0	60	33.27	1908	2300	1.21	1.66
ТБ-2-3	0	60	45.07	2164	2601	1.20	2.11
ТБ-2-4	20	60	33.27	1553	1800	1.16	1.29
ТБ-2-5	50	60	33.27	1175	1300	1.11	1.09
ТБ-3-1	0	55	24.37	1716	1800	1.05	1.47
ТБ-3-2	0	55	33.27	1832	2200	1.20	1.69
ТБ-3-3	0	55	45.07	2082	2200	1.06	2.15
ТБ-3-4	20	55	24.37	1350	1390	1.03	1.12
ТБ-3-5	20	55	33.27	1454	1701	1.17	1.26
ТБ-3-6	20	55	45.07	1600	1632	1.02	1.46
ТБ-3-7	50	55	24.37	1079	1200	1.11	1.08
ТБ-3-8	50	55	33.27	1144	1200	1.05	1.22
ТБ-3-9	50	55	45.07	1214	1400	1.15	1.23
ТБ-4-1	0	40	24.37	1607	1650	1.03	1.92
ТБ-4-2	0	40	33.27	1694	1800	1.06	2.12
ТБ-4-3	0	40	45.07	1904	2001	1.05	2.59
ТБ-4-4	20	40	24.37	1133	1400	1.24	1.16
ТБ-4-5	20	40	33.27	1184	1600	1.35	1.25
ТБ-4-6	20	40	45.07	1377	1100	1.31	1.57
ТБ-4-7	50	40	24.37	790	800	1.01	1.06
ТБ-4-8	50	40	33.27	896	1300	1.45	1.08
ТБ-4-9	50	40	45.07	1181	1500	1.27	1.13
ТР-5-1	20	0	-	95	-	-	-
ТР-5-2	50	0	-	75	-	-	-
ТР-5-3	0	0	-	107	-	-	-

Програма була складена таким чином, щоб дослідити роботу трубобетонних елементів в залежності від фізико-механічних властивостей використаних матеріалів, геометричних характеристик перерізу та конструктивних особливостей. Загальний вигляд дослідних зразків та схема розташування вимірювальних пристроїв наведено на малюнку.



Малюнок. Загальний вигляд дослідних зразків та схема розташування вимірювальних пристроїв.

Досліджувались короткі трубобетонні елементи, в яких висота зразка приблизно дорівнювала п'яти діаметрам, тому вплив гнучкості не враховувався. При навантаженні зусилля передавались на комплексний переріз.

Дослідні зразки виготовлялися на спеціалізованій базі металоконструкцій ПСУ - 38 з суцільнозварних прямошовних труб (сталь ВСт3пс, ГОСТ 10706-76*). Бетонування проводилось в промислових умовах на заводі ЗБВ - 1 м. Полтави.

Для контролю фізико-механічних властивостей бетону одночасно з виготовленням дослідних зразків виготовлялись бетонні призми і куби. Дослідження зразків проводилось на пресі ПММ - 500 в лабораторії кафедри ЗБіКК Полтавського технічного університету. На всіх ступенях навантаження вимірювались поздовжні і поперечні деформації трубобетонних зразків за допомогою електротензорезисторів типу ПКБ 50 - 100.

Схема розміщення елекротензорезисторів передбачала дослідження деформативних характеристик в центральній частині елементів на поверхні труб.

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

1. Досягнення значень поздовжніх деформацій, відповідаючих межі плинності сталі (зусилля N_2).

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 (зусилля N_1). 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_2 і N_1).

Коефіцієнт ψ визначається за формулою $\psi = \frac{N_1}{N_2}$. Значення коефіцієнта ψ наведені в таблиці. Його коливання в межах 1.01...2.11 свідчить про надійність трубобетонних елементів.

Визначено коефіцієнт ефективності роботи бетонного ядра в трубі $\eta = \frac{\sigma_b}{R_b}$, де σ_b - напруження в бетоні ядра при досягненні зразком граничного стану по несучій здатності.

Коливання кефіцієнту η в межах (1.055 ... 2.59) свідчить про складний напружено-деформований стан, в якому знаходиться бетон. Із аналізу значення η витікає, що трубобетонні зразки мають несучу здатність до 2.6 разів більшу, ніж елементи із звичайного залізобетону.

Аналіз результатів дослідів показує, що зменшення товщини стінки бетону негативно впливає на значення коефіцієнтів ефективності трубобетону. Тому мінімальне значення товщини

стінки бетону рекомендується приймати близьке до $D/4$. В результаті проведення експериментальних досліджень виявлено, що при такому співвідношенні трубобетонні елементи працюють досить надійно і при досягненні граничного стану руйнування осердя не відбувається.

В якості основного методу визначення несучої здатності трубобетонних елементів для побудови математичної моделі оптимізації було вибрано метод розрахунку по приведених до сталі перерізах трубобетонних елементів. Даний метод дає змогу врахувати наявність пустоти в елементі кільцевого перерізу, що особливо важливо при розрахунку позацентрово стиснутих та гнучких елементів. Розрахункова формула для центрально стиснутого трубобетонного елементу має вигляд

$$N = A_{red} R_s , \qquad (1)$$

де A_{red} - приведена до сталі площа перерізу.

$$A_{red} = A_s + A_b \cdot \frac{R_b^*}{R_s},$$

де R_b^* - розрахунковий опір бетону в трубобетонному елементі, який визначається по формулі

$$R^*_b = 0.65 \cdot B \cdot (1 - 16.1 \cdot \mu_{bt} \cdot \beta). \qquad (2)$$

При розрахунку на стійкість позацентрово стиснутих елементів вводиться коефіцієнт повздовжнього прогину. Розрахункова формула визначення несучої здатності позацентрово стиснутого трубобетонного елементу має вигляд

$$\frac{N}{\varphi_e A_{red}} \le R_y \gamma . \qquad (3)$$

Значення φ_e визначаються в залежності від розрахункового опору сталі R_y, приведеної гнучкості $\bar{\lambda}_{red}$ та умовного ексцентриситету m_{ef}.

Для подальшої роботи по побудові математичної моделі для вирішення задачі оптимизації міцнісних та геометричних

параметрів трубобетонних елементів, а також для забезпечення більшої ефективності обчислювальних процесів в процедурах пошуку найкращих рішень функції мети та обробки даних в системі обмежень, необхідно адаптувати розглянутий алгоритм визначення несучої здатності трубобетонних елементів шляхом заміни деяких табличних коефіцієнтів аналітичними залежностями.

Табличний коефіцієнт B в формулі (2) запропоновано подати в вигляді аналітичного виразу, який залежить від призмової міцності бетону. Канонічне рівняння, що характеризує дану залежність та має найменшу суму квадратичних відхилень має вигляд

$$y = A + K \cdot x .$$

Невідомі параметри A і K визначаємо по методу найменших квадратів. В результаті підбору значень вказаних параметрів були визначені $A = -1.04$ і $K = 1.42$. Після проведених розрахунків та перетворень рівняння регресії має вигляд

$$B = -1.04 + 1.42 \cdot R_b . \qquad (4)$$

Величина точності апроксимації призмової міцності бетону від класу бетону B склала $\eta = 0.99 \approx 1$, що дає змогу застосовувати дану залежність для визначення B.

Аналітичний вираз, що характеризує залежність коефіцієнту ефекту обруча β від міцності бетону на стиснення в трубобетонному елементі можна подати в вигляді рівняння регресії

$$y = \frac{1}{A + K \cdot x^C},$$

яке після відповідних перетворень має вигляд

$$\beta = \frac{1}{-347.79 + 344.87 \cdot R_b^{0.005}} . \qquad (5)$$

Величина точності апроксимації склала $\eta = 0.95 \approx 1$, а середньоквадратичне відхилення - 0.098.

Після підстановки (4) і (5) в (2) та відповідних перетворень отримуємо аналітичну залежність по якій визначаємо міцність бетону в трубобетоному елементі

$$R_b^* = -0.676 + 0.923 \cdot R_b + \frac{16.1 \cdot A_s \cdot (-0.676 + 0.923 \cdot R_b)}{A_b \cdot (-347.79 + 344.87 R_b^{0.005})}. \quad (6)$$

Оцінку точності визначення міцності бетону в трубобетонному елементі в об'ємному напруженому стані виконуємо по аналогії з попередніми випадками. Коефіцієнт кореляції склав $\eta = 0.999 \approx 1$, що підтверджує абсолютне співпадання еталонних значень призмової міцності та результатів, отриманих при застосуванні аналітичної залежності (6).

Для визначення несучої здатності позацентрово стиснутих гнучких елементів застосовуємо формулу (3). Коефіцієнт φ_e визначаємо як функцію від приведеного відносного ексцентриситету та умовної гнучкості $\varphi_e = f(m_{ef}, \overline{\lambda})$. Для розрахунку трубобетонного елементу використовуємо розглянутий раніше метод приведеного до сталі перерізу. Тому $m_{ef} = m_{ef\,red}$, а $\overline{\lambda} = \overline{\lambda}_{red}$ де $\overline{\lambda}_{red}$ та $m_{ef\,red}$ визначається для приведеного до сталі перерізу трубобетонного елементу.

Залежність коефіцієнта φ_e від $\overline{\lambda}_{red}$ запропоновано подати в вигляді рівняння регресії

$$z = \frac{1}{A + B + y^L}, \quad (7)$$

де A, B, L - коефіцієнти, які враховують залежність від x. Канонічне рівняння, що характеризує цю залежність та має найменшу суму квадратичних відхилень має вигляд

$$A, B, L = A0 \cdot x^0 + A1 \cdot x^1 + A2 \cdot x^2 + \ldots + AN \cdot x^n, \quad (8)$$

де $A0, A1, A2, AN$ - коефіцієнти поліному з показником n.

Рівняння (8) після відповідних перетворень для A, B, L подамо в вигляді

$$A = 8.58 \cdot 10^{-4} + 5.61 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda^{2.2};$$

$$B = 2.09 \cdot 10^{-4} + 2.69 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda - 1.32 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda^2;$$
$$L = 1.21 - 0.13 \cdot \lambda + 1.36 \cdot 10^{-2} \cdot \lambda^2 - 4.52 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda^3.$$

Коефіцієнти кореляції η для A, B, L склали відповідно 0.999, 0.997, 0.996, а середньоквадратичні відхилення $s \to 0$. Після підстановки в (8) значень A, B, L можемо визначити коефіцієнт φ_e в залежності від умовної гнучкості λ та відносного ексцентриситету m_{ef}

$$\varphi_e = [9.8 \cdot 10^{-4} + 5 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda_{red}{}^2 + \cdot$$
$$+(2.8 \cdot 10^{-4} + 2.65 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda_{red} - 1 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda_{red}{}^2) \times \qquad (9)$$
$$\times \; m_{ef_{red}}{}^{1.15-0.13\cdot\lambda_{red}+1.35\cdot10^{-2}\cdot\lambda_{red}{}^2-4.5\cdot10^{-4}\cdot\lambda_{red}{}^3}]^{-1}.$$

Величина точності апроксимації склала $\eta = 0.895 > 0.7$, а середньоквадратичне відхилення - 0.0098.

Таким чином, після визначення по (1) N_{tb} та по (9) φ_e для приведеного до сталі трубобетонного елементу маємо аналітичну залежність для визначення несучої здатності позацентрово стиснутих гнучких трубобетонних елементів

$$Nl_{tb} = N_{tb} \cdot \varphi_e .$$

Проведені експериментальні дослідження доказали можливість застосування методу визначення несучої здатності по приведених до сталі перерізах трубобетонних елементів кільцевого перерізу та використанні отриманих залежностей для побудови математичної моделі оптимизації трубобетонних елементів.

Третя глава дисертаційної роботи є викладенням в загальному вигляді основних положень математичної моделі оптимізації міцнісних та геометричних параметрів трубобетонних елементів кільцевого перерізу. Тут подано обгрунтування вибору основного критерію оптимальності, вигляд функції мети, зроблено аналіз особливостей параметрів функції мети, та в загальному вигляді сформовано систему обмежень, яка використовується при оптимізації параметрів трубобетонних елементів кільцевого перерізу.

Для вирішення даної задачі запропоновано застосувати в якості критерія оптимальності приведену собівартість конструкції з цінами франко-місце виготовлення. Перелік факторів, що впливають на оптимальність конструкції в кожному випадку унікальний. Оскільки врахувати всі фактори в явному вигляді досить складно, то запропоновано розглядати тільки ті, для яких існує зв'язок несуча здатність-вартість конструкції. Для трубобетонного елементу такими факторами будуть: міцність сталі-R_s, міцність бетону-R_b, діаметр елементу-D, товщина стінки труби-t, товщина стінки бетону-δ. В цьому випадку функція мети F буде мати вигляд $F = f(R_y, R_b, D, t, \delta)$, та вирішуватиметься з виконанням обмежень $T = f(N, e, L, R_y, R_b, D, t)$, де N, e, L - навантаження, ексцентриситет та розрахункова довжина відповідно.

Обмеження на параметри при детальнішому розгляді мають вигляд:

$D_{\min} \le D_i \le D_{\max}$; $D_{\min} = 0.2м; D_{\max} = 1.0м$;
$t_{\min} \le t \le t_{\max}$; $t_{\min} = 0.0057D_i; t_{\max} = 0.05D_i$;
$\delta_{\min} \le \delta_i \le \delta_{\max}$; $\delta_{\min} = \delta_{\max} - f(D_i, t_i, \mu_{\min/\max}, R_s, R_b, N, e, L$
$R_{s_{\min}} \le R_{s_i} \le R_{s_{\max}}$; $R_{s_{\min}} = 200; R_{s_{\max}} = 550МПа$;
$R_{b_{\min}} \le R_{b_i} \le R_{b_{\max}}$; $R_{b_{\min}} = 9.5; R_{b_{\max}} = 43МПа$;
$N_{\min} \le N_i \le N_{\max}$; $N_{\min} = 0.02кН; N_{\max} = 80000кН$;
$e_{\min} \le e_i \le e_{\max}$; $e_{\min} = 0D_i; e_{\max} = 3D_i$;
$L_{\min} \le L_i \le L_{\max}$; $L_{\min} = 5D_i; L_{\max} = 40D_i$.

Побудована математична модель вміщує функцію мети для вибраного критерію оптимізації та систему обмежень у вигляді рівнянь та в вигляді нерівностей, що дає змогу при вирішенні розглянути широкий спектр питань, пов'язаних з оптимізацією параметрів трубобетонних елементів кільцевого перерізу.

Четверта глава присвячена реалізації методу оптимізації параметрів трубобетонних елементів кільцевого перерізу. Тут подані алгоритми розрахунку значень оптимальних параметрів в

залежності від зовнішніх параметрів навантаження, ексцентриситету та довжини елементу. З допомогою створеного для ПЕОМ комплексу програм вирішена задача оптимізації, в результаті чого отримані для широких меж зовнішніх факторів значення оптимальних міцнісних та геометричних параметрів трубобетонних елементів кільцевого перерізу.

Враховуючи систему обмежень, для кожного набору N,e,L область параметрів оптимизації змінюється таким чином, щоб

$$f(L,e,P,P_{i_{\min}}) = N,$$

де P - вектор значень всіх міцнісних та геометричних параметрів трубобетонного елементу за винятком поточного параметру $P_{i_{\min}}$. При цьому граничні значення параметрів змінюються для кожного конкретного випадку. Таким чином область пошуку значень оптимальних параметрів також змінюється в залежності від впливу зовнішніх факторів і розповсюджується в основному тільки на ту частину значень параметрів оптимізації, яка задовольняє системі накладених на процес пошуку обмежень, завдяки чому значно зменшується об`єм обчислень в процесі вирішення задачі оптимизації. На основі проведених чисельних експериментів в залежності від поточного стану процесу оптимизації область існування оптимальних, з точки зору відповідності значень функції мети системі обмежень, складала від 0 до 100% від попередньо принятої на етапі початкової постановки задачі. Тобто, за певних умов оптимальні значення окремих параметрів оптимизації були визначені однозначно або деяка частина значень параметрів була виключена. Загальний ефект по витратах часу при даному підході складає від 40..50 до 500..600 разів в порівнянні з випадком, коли система обмежень традиційно залишається незмінною.

Область існування діаметра D визначається як вектор, який вміщує значення діаметру трубобетонного елементу у вказаних межах $D_{\min} \le D_i \le D_{\max}$. $D_{\min}$ визначаємо на основі слідуючих передумов:

$$t = (t / D)_{\max}; \qquad R_s = R_{s_{\max}}; \qquad R_b = R_{b_{\max}}; \quad \mu_i \to min;$$

$$\delta = f(A_s, A_b, \mu_i) = \frac{\pi(D - 2t)\sqrt{\left|\pi(D - 2t)^2\right| - 4\pi A_b}}{2\pi}, \qquad (10)$$

де $A_b = A_s / \mu_{\min}$ - необхідна площа бетону для заданих значень площі сталі і коефіцієнту армування.

Таким чином, маючи тільки одне невідоме $D_{\min}$ та рівняння несучої здатності трубобетонного елементу для коротких елементів, після відповідних перетворень маємо:

$$\frac{-1.93 \cdot D^5 + 82.483 \cdot D^4 + 0.0107 \cdot D^3}{0.782 \cdot D^2 - 0.0043} - \frac{(0.5856 + 0.782 \cdot N) \cdot D^2 + 0.0043 \cdot N + 0.00073}{0.782 \cdot D^2 - 0.0043} = 0$$

Вирішити дане рівняння аналітичними методами неможливо, тому для пошуку його коренів використовується процедура мінімізації Неддера і Міда.

Максимальний діаметр $D_{\max}$ визначаємо, задаючись слідуючими передумовами: при визначенні

$$t = (t / D)_{\min}; \qquad R_s = R_{s_{\min}}; \qquad R_b = R_{b_{\min}}; \qquad \mu_i \to max.$$

Мінімальні та максимальні значення товщини стінки труби визначаються на основі слідуючих передумов:

при визначенні $t_{\min}$

$$D = D_i = const; \qquad R_s = R_{s_{\max}}; \qquad R_b = R_{b_{\max}}; \qquad \mu_i \to min;$$

при визначенні $t_{\max}$

$$D = D_i = const; \qquad R_s = R_{s_{\min}}; \qquad R_b = R_{b_{\min}}; \qquad \mu_i \to max.$$

Для визначення граничних значень міцнісних характеристик сталі були відповідно прийняті слідуючі передумови:

для визначення $R_{s\min}$

$$D = D_i = const; \qquad t = t_i = const; \qquad R_b = R_{b_{\max}}; \qquad \mu_i \to min;$$

при визначенні $R_{s\max}$

$D = D_i = const;\quad t = t_i = const;\quad R_b = R_{b_{\min}};\quad \mu_i \to max.$

Визначення граничних значень міцнісних характеристик бетону не склало особливих труднощів, тому що для визначення останніх невідомими залишалися тільки мінімальне або максимальне значення міцності бетону і товщина стінки бетону з врахуванням коефіцієнту армування.

При визначенні $R_{b\min}$

$D = D_i = const;\ t = t_i = const;\ R_s = R_{s_i} = const;\quad \mu_i \to min.$

При визначенні $R_{b\max}$

$D = D_i = const;\ t = t_i = const;\ R_s = R_{s_i} = const;\quad \mu_i \to max.$

При визначенні граничних значень параметрів у всіх випадках по (10) уточнюється товщина стінки бетону δ.

Вирішивши задачу визначення оптимальних параметрів для всієї області існування навантаження, довжини елементу та ексцентриситету з урахуванням вказаного критерію маємо матрицю значень оптимальних параметрів у вказаних точках. Потім, побудувавши рівняння регресії в вигляді

$$Ax_1^0 + Bx_2^1 + Cx_3^2 + \ldots + I_i^{-1} + \ldots + I_k^{k-1} = 0$$

та визначивши коефіцієнти поліному маємо аналітичну залежність параметра, який розглядається, від набору зовнішніх факторів N, e, L і зовнішнього параметру оптимізації в випадку P, якщо такий є.

Слід зауважити, що в оптимізаційній моделі зовнішній параметр P виступає, як співвідношення вартості труби до вартості бетону в перерізі трубобетонного елементу. Це дає змогу розглянути практично всі варіанти співвідношення вартість сталі - вартість бетону і таким чином працювати з ціною, яка по суті в даній постановці є невизначена в вибраний момент часу, як з відносною величиною. Дане спрощення повністю виправдано і не

псує істинної картини, що довели проведені числові експерименти. Таким чином дійсне значення для оптимальності по любому критерію, зв'язаному з площею компонентів трубобетонного елементу (сталі і бетону), мають тільки співвідношення їхніх цінових характеристик і несучих здатностей або їх участь в роботі всієї трубобетонної конструкції, а не їх фактичні значення.

Аналогічно отримано рішення, коли в якості критерія виступає найменша вага конструкції або найменша площа перерізу.

Оптимальні значення параметрів трубобетонних елементів отримані за допомогою комплексу програм розроблених для ПЕОМ . Задача вирішувалася для широкої області значень навантаження, ексцентриситету, довжини елементу та значення відносного параметру.

В результаті проведеного чисельного експерименту визначено, що міцнісні характеристики сталі і бетону мало впливають на оптимальность трубобетонного елементу. У всіх випадках значення міцності сталі намагалося зайняти максимально можливе значення та регламентувалося, в основному, системою обмежень. Оптимальну міцність сталі труби характеризують такі величини:

$$A_{R_{sopt}} = 542.89; \qquad S_{R_{sopt}} = 26.14;$$

де $A_{R_{sopt}}$ -математичне очікування величини оптимального значення міцності матеріалу труби; $S_{R_{sopt}}$ - стандартне відхилення цієї величини.

Оптимальне значення міцності бетону також відносно мало змінювалося і складало 70-90% від максимального. Середнє значення склало $A_{R_{bopt}} = 36.17$, а стандартне відхилення $S_{R_{bopt}} = 4.52$.

У випадку, якщо в якості критерія оптимальності трубобетонних елементів виступають приведені до площі сталі і бетону характеристики вартості, ваги, площі і т.п., то оптимальні значення параметрів трубобетонних елементів визначаються по наведених нижче формулах.

Оптимальний діаметр трубобетонного D_{opt} елементу визначається по апроксимованій залежності зовнішніх факторів N, P, e, L від значення оптимального діаметру.

$$D_{opt} = f(N, P, e, L) = 2.84 - 1.25 \cdot 10^{-5} \cdot N + 0.006 \cdot N^{0.5} - 0.00028 \cdot P - -0.112 \cdot E - 0.302 \cdot E^{0.25} + 0.656 \cdot E^{0.5} - 0.00051 \cdot E^{0.5} \times \times N^{0.5} - 170 \cdot N^{-1} \cdot E^{0.5} - 8.23 \cdot L^{0.025} + 5.46 \cdot L^{0.05}. \quad (11)$$

Оптимальна товщина стінки сталі t_{opt} крім зовнішніх факторів N, P, e, L залежить і від значення оптимального діаметру трубобетонного елементу D_{opt} і визначається як $\ln(t_{opt}) = f(N, e, L, D_{opt})$ по залежності

$$t_{opt} = \exp(f(N, P, e, L, D_{opt})) = \exp(-2.76 + 4.71 \cdot 10^{-5} \cdot N + 3.975 \cdot 10^{-5} \cdot N \cdot e - 0.0047 \cdot P + +3.62 \cdot 10^{-5} \cdot P^2 + 8.77 \cdot 10^{-10} \cdot N^2 \cdot e^2 - 2.33 \cdot 10^{-10} \cdot D_{opt}{}^2 \cdot N^2 + +0.00061 \cdot L^2 - 31.4 \cdot D_{opt} + 95.2 \cdot D_{opt}{}^2 - 114.6 \cdot D_{opt}{}^3 + 47.9 \cdot D_{opt}{}^4). \quad (12)$$

Оптимальна товщина стінки бетону в першому наближенні визначається як $f(N, P, e, L, D, t)$ по залежності

$$\delta_{opt} = k \cdot t_{opt}, \quad (13)$$

де $k = \dfrac{t_{opt}}{\delta_{opt}}$.

Коефіцієнт k визначається по залежності

$$k = 0.14 + 0.016 \cdot P^{0.1} - 5.47 \cdot 10^{-3} \cdot P^{0.5} + 4.54 \cdot 10^{-6} \cdot P^2 - 6.52 \cdot 10^{-5} P \cdot e^2 + +1.03 \cdot 10^{-13} \cdot P \cdot N^2 - 4.83 \cdot 10^{-5} \cdot P^2 \cdot t - 2.77 \cdot 10^{-7} P \cdot N^{0.5} \cdot D^{0.01} - 7.62 \cdot 10^{-9} \times \times N \cdot A_s^{-1} \cdot P^{0.5} - 1.06 \cdot 10^{-11} \cdot t \cdot N^2 - 1.45 \cdot t \cdot D,$$

де A_s - площа сталі.

Значення R_s приймаємо як найближче більше до $A_{R_{sopt}}$.

Міцність бетону приймаємо як найближче більше до $A_{R_{bopt}}$.

За допомогою розробленої методики запроектовані несучі трубобетонні колони оптимального перерізу для адміністративної будови АТ "Житлобуд". В якості критерія була вибрана найменша площа кільцевого перерізу трубобетонного елементу. Для врахування цього факту значення параметрів-множників для сталі і бетону $P_s/P_b=1$. Таким чином, встановивши однаковий приорітет для площі сталі і для площі бетону в процесі компонування поперечного перерізу за допомогою залежностей (11)-(13) отримуємо параметри трубобетонного елементу, які відповідають мінімально можливому діаметру елементу, оптимальному співідношенню товщин стінок сталі та бетону і, як результат мінімально можливому значенню площі поперечного перерізу. При цьому необхідно відмітити, що отримані параметри відповідають системі обмежень, в якій, крім обмежень на граничні значення параметрів, враховано рівняння рівноваги. Таким чином, оптимальні характеристики отримані вже з врахуванням конкретних значень зовнішніх факторів навантаження, ексцентриситету та довжини елементу і, як правило, не потребують слідуючих кроків для підбору параметрів поперечного перерізу під зовнішні фактори.

В додатку до дисертації вміщені таблиці, за допомогою яких, знаючи навантаження та висоту стиснутої трубобетонної конструкції можна підібрати її оптимальний переріз.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дана робота присвячена дослідженню питань оптимізації стиснутих трубобетонних елементів кільцевого перерізу. В результаті проведених досліджень зроблені слідуючі висновки.

1. Проведені дослідження дозволили застосувати та адаптувати існуючі методи оцінки несучої здатності трубобетонних елементів у вигляді зручному для вирішення задач

оптимізації міцнісних та геометричних параметрів конструктивних елементів кільцевого перерізу.

2. Експериментально досліджені особливості роботи під навантаженням та характер втрати несучої здатності трубобетонних елементів з бетонним осердям кільцевого перерізу.

3. На основі проведених експериментальних досліджень вивчені технологічні особливості реалізації геометричних параметрів бетонного осердя та визначені межі існування товщини стінки бетону. Граничним станом трубобетонних елементів кільцевого перерізу слід вважати такий стан, коли в матеріалі труби поздовжні деформації досягають величини, яка відповідає початку плинності сталі. Рекомендується приймати товщину стінки бетонного осердя трубобетонних елементів кільцевого перерізу не менше D/4.

4. Проведені експериментальні дослідження доказали можливість застосування методу визначення несучої здатності по приведених до сталі перерізах трубобетонних елементів кільцевого перерізу та використанні отриманих залежностей для побудови математичної моделі оптимізації трубобетонних елементів.

5. Зроблено обґрунтування та вибрано основний критерій оптимальності трубобетонних елементів кільцевого перерізу з врахуванням особливостей застосування трубобетону в будівництві.

6. Розроблено та перевірено методику оптимізації міцнісних та геометричних параметрів, а також вирішені питання оптимального проектування трубобетонних конструкцій з бетонним осердям кільцевого перерізу, що дозволяє більш повно та цілеспрямовано використовувати переваги трубобетону.

7. Реалізовано метод, який базується на застосуванні ітераційних процедур для оптимізації параметрів трубобетонних елементів.

8. Створено комплекс програм за допомогою якого для широкого діапазону навантажень, початкового ексцентриситету та довжини елементів отримані значення оптимальних параметрів трубобетонних елементів.

9. Вирішене питання реалізації механізму отримання оптимальних значень на основі інформації про оптимальність тих або інших параметрів, а також проблема подання результатів вирішення оптимізації в вигляді зручному для інженерної роботи.

10. Запропоновані методи оптимізації впроваджені на виробництві при проектуванні трубобетонних колон оптимального перерізу.

Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано в наступних статтях і препринтах:

1. Спільчук В.М. "Оптимізація параметрів поперечного перетину центрифугованих трубобетонних елементів" // Тези доповідей 46 наукової конференції Полт. ІБІ, Полтава, 1994. - частина 3, С.45.

2. Спільчук В.М. "Методи вирішення задач оптимізації параметрів трубобетонних конструкцій" // Тези доповідей 47 наукової конференції Полт. ІБІ, Полтава, 1995. - частина 3, С.39.

3. Спільчук В.М. "Експериментальне дослідження трубобетонних елементів кільцевого перерізу" // Тези доповідей 47 наукової конференції Полт. ІБІ, Полтава, 1995. - частина 3, С.40.

4. Спільчук В.М. "Загальні передумови при оптимізації параметрів перерізів трубобетонних елементів" // Тези доповідей

48 наукової конференції Полт. ТУ, Полтава, 1996.-частина 3, С.53.

5. Спільчук В.М. "Експериментальне дослідження трубобетонних елементів кільцевого перерізу" // Тези доповідей 48 наукової конференції Полт. ТУ, Полтава, 1996. - частина 3, С.54.

6. Спільчук В.М. "Некоторые вопросы выбора критерия при оптимизации трубобетонных конструкций" // Депонированная рукопись в ГНТБ Украины 26.07.96,№ 1625 - Ук 93, 1996. - 5с.

7. Спильчук В.М. "Оптимизация параметров трубобетонных элементов кольцевого сечения" // Сборник трудов конференции "Сталежелезобетонные конструкции: исследование, проектирование и строительство", Кривой Рог, 1996. - с.36.

АННОТАЦИЯ

Спильчук В. М. "Оптимизация параметров трубобетонних элементов кольцевого сечения".

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

Экспериментально исследована работа трубобетонных элементов кольцевого сечения. Выявлены пределы варьирования геометрических параметров сечения трубобетонных элементов с бетонным ядром кольцевого сечения. Адаптирован для использования в математической модели оптимизации метод расчета по приведенным к стали сечениям.

При помощи созданной математической модели решена задача оптимизации для широкой области значений параметров и внешних факторов нагрузки, эксцентриситета и длины элемента в результате чего получены аналитические зависимости для определения значений оптимальных параметров трубобетона.

Ключові слова: трубобетон, елемент, несуча здатність, стиск, оптимізація, параметри оптимізації, критерій оптимальності.

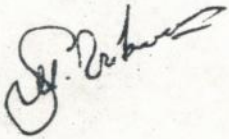
ANNOTATION

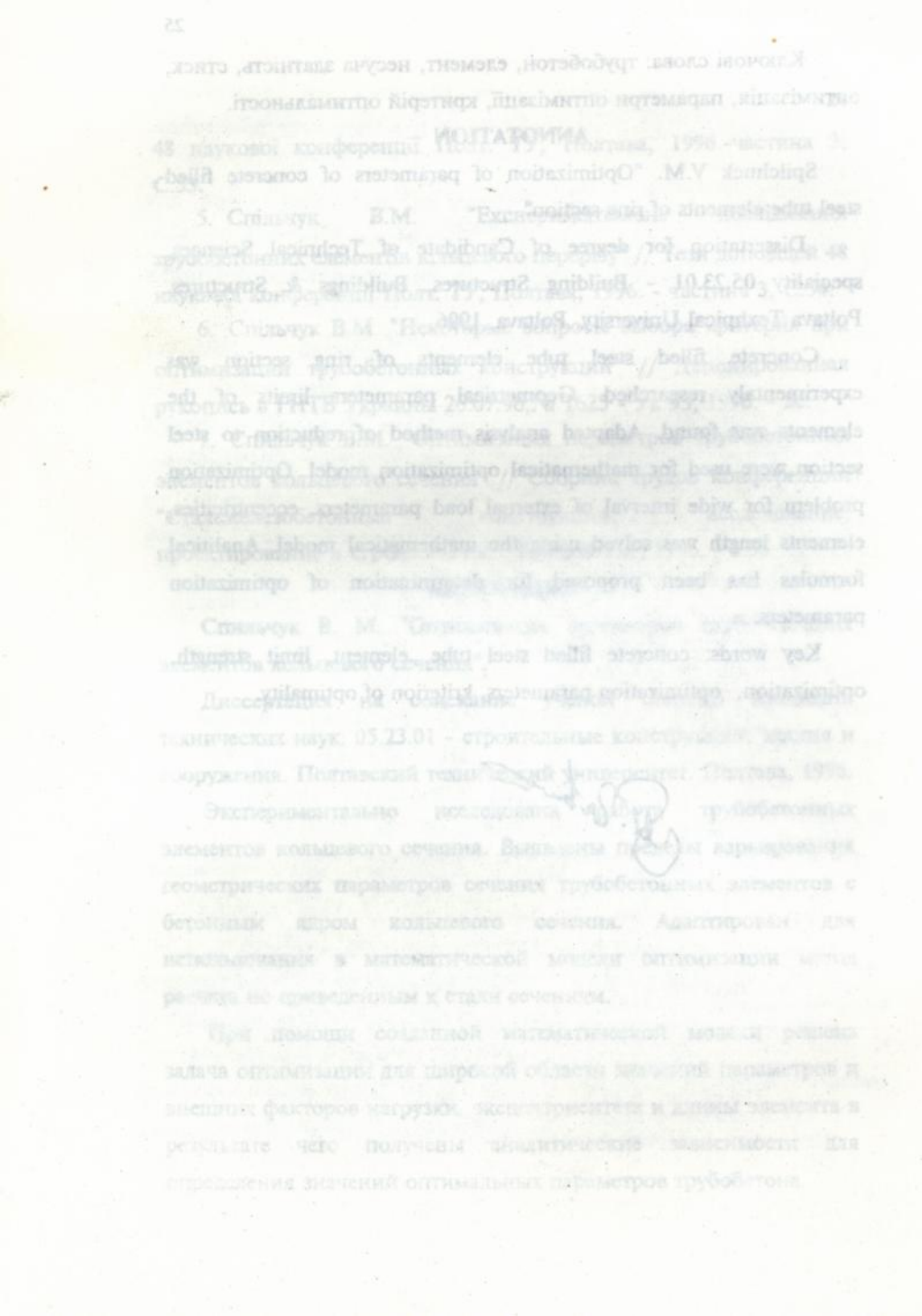
Spilchuck V.M. "Optimization of parameters of concrete filled steel tube elements of ring section".

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

Concrete filled steel tube elements of ring section was experimentaly researched. Geometrical parameters limits of the elements was found. Adapted analysis method of reduction to steel section were used for mathematical optimization model. Optimization problem for wide interval of external load parameters, eccentricities, elements length was solved using the mathematical model. Analitical formulas has been proposed for determination of optimization parameters.

Key words: concrete filled steel tube, element, limit strength, optimization, optimization parameters, kriterion of optimality.





435823

Ав 36.077

Підписано до друку 15.11.96р. Формат 60х84 1/16. Папір друкарський
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 1. Замовлення №955. Тираж 100 прим.
Безкоштовно. Дільниця оперативного друку статистичного управління Полтавської
області. м. Полтава, вул. Пушкіна, 103.