

ПОЛТАВСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

ШКІРЕНКО СЕРГІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 624.016.5

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТРУБОБЕТОННИХ
ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ КРУЧЕННІ І КРУЧЕННІ ЗІ ЗГИНОМ

Спеціальність: 05.23.01 - Будівельні конструкції,
будівлі та споруди

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Полтава - 1992



Робота виконана
Інституті

- Науковий керівник - доктор технічних наук,
професор Л.І.Стороженко
- Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор Л.К.Лука
- кандидат технічних наук,
доцент В.В.Бондаренко
- Ведуча організація - Укрміськбудпроект
(Полтавська філія)

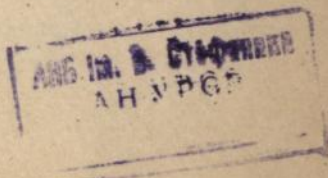
Захист відбудеться "26" СІЧНЯ 1993 року
в 14 год. на засіданні спеціалізованої Ради К.068.46.01
при Полтавському Інженерно-будівельному Інституті за адресою:
314601, Полтава, Першотравневий проспект, 24.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Полтавського
Інженерно-будівельного Інституту.

Автореферат розісланий "21" СЕРПНЯ 1992 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Ради,
кандидат технічних наук,
доцент

В.О.БОНДАРЬ



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Сучасний рівень будівельного виробництва пред'являє до несучих конструкцій вимоги високої надійності в поєднанні з невеликою матеріаломісткістю при виготовленні та монтажі. Цим вимогам відповідають трубобетонні конструкції, являючи собою сталеві труби, які заповнюються бетоном.

Трубобетонні конструкції мають ряд переваг в порівнянні з традиційними залізобетонними, за рахунок раціонального поєднання бетону і сталі в комплексному перетині. Сталева труба в трубобетонному елементі виконує роль поздовжньої і поперечної арматури. При об'ємному напруженому стані, коли втрачається несуча здібність бетон сприймає напруження, перевищуючі призову міцність.

Недостатньо дослідженою областю роботи трубобетона являється його поведінка при складних деформаціях, які включають кручення і кручення зі згином. Робота трубобетонних елементів при крученні і крученні зі згином являє також значний інтерес у зв'язку із розширенням області його використання, у тому числі в спорудах, зводжуваних новими, прогресивними методами.

Таким чином, задача про дослідження напружено-деформованого стану трубобетонних елементів при крученні і крученні зі згином є актуальною. Вирішення цієї задачі доповнить методіку розрахунку трубобетонних конструкцій і розширить область використання трубобетона в різних спорудах як несучих конструкцій.

Мета роботи. Оцінка напружено-деформованого стану при крученні і крученні зі згином на підставі теоретичних досліджень.

Автор захищає

- методи оцінки напружено-деформованого стану трубобетонних елементів при крученні і крученні зі згином;
- результати експериментальних досліджень несучої здатності і деформативності трубобетонних елементів при короткочасному і повторному навантаженні крутячим і згинаючим моментами в залежності від геометричних характеристик перетинів і фізико-механічних властивостей використовуваних матеріалів;

- результати дослідницького проектування несучих конструкцій із трубобетону.

Наукова новизна роботи:

- запропонований метод оцінки напружено-деформованого стану трубобетонних елементів при крученні і крученні зі згином;

- запропоновані залежності для визначення несучої здатності трубобетонних елементів при крученні і крученні зі згином;

- експериментально досліджена робота трубобетонних елементів при різних розрахункових схемах навантаження крутячим та згинаючим моментами в залежності від геометричних характеристик перетинів і фізико-механічних властивостей використовуваних матеріалів;

- експериментально досліджена робота трубобетонних елементів при повторному навантаженні крутячим та згинаючим моментами;

- запропонована конструкція установки для випробування трубобетонних елементів при навантаженні крутячим та крутячим зі згинаючим моментами.

Практичне значення роботи:

- по результатам роботи зроблений висновок про доцільність використання в будівництві трубобетонних конструкцій, випробуваних дів крутячого і згинаючого моментів;

- запропонований метод розрахунку несучої здатності таких конструкцій;

- виконано дослідницьке проектування трубобетонних конструкцій, випробуваних дів крутячого моменту і спільну дів крутячого і згинаючого моментів;

- на підставі одержаних теоретичних залежностей розроблена програма розрахунку трубобетонних конструкцій при крученні і крученні зі згином з допомогою ПЕОМ.

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано в тринадцяти друкованих роботах.

Апробація роботи. Основні положення дисертації виставлялися на Українській республіканській науково-технічній конференції "Удосконалення залізобетонних конструкцій, працюючих на складні види деформації і їх впровадження в будівельну практику" (Полтава, 1989 р.), на 42, 43, 44 наукових конференціях Полтавського ІБІ в 1990-1992 рр., на Всесоюзній конференції

"Прогресивні методи провадження проектних і дослідницьких робіт при реконструкції сталевих каркасів і споруд" (м. Суми, 1991 р.), на Українській республіканській науково-технічній конференції "Посилення і реконструкція виробничих будівель і споруд, побудованих із металу" (м. Київ, 1992 р.).

Обсяг виконаної роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох глав, основних висновків, списку літератури із 164 найменувань, усього 206 сторінок, в тому числі 132 сторінки машинописного тексту, 70 малюнків, 12 таблиць, 4 фотографії на 2 сторінках.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Перша глава дисертації присвячена огляду основних вітчизняних і зарубіжних досліджень особливостей роботи трубобетонних елементів. Відомо, що з усіх видів скісного армування залізобетонних конструкцій, труба-оболонка найбільш ефективно забезпечує роботу бетону при об'ємному напруженому стані.

У наш час відомі роботи, присвячені дослідженням особливостей напружено-деформованого стану трубобетонних конструкцій при різних видах навантаження, - О.М.Алперіної, Ш.Т.Баркаві, В.В.Бондаренку, Б.М.Броуде, Г.А.Гамбарова, О.О.Гвоздева, М.Г.Добудогло, О.А.Долженко, В.І.Ефїменко, М.М.Жербіна, Ісмаїл Дж. Абдуль-Карима, А.Б.Квядараса, В.М.Кебенко, О.І.Кикіна, К.Клепеля, В.Козака, С.Г.Кусябгалєва, А.Ф.Липатова, Л.К.Лукші, О.Е.Лопатто, І.Г.Модковського, В.Ф.Маренїна, Г.П.Передерїя, В.А.Росновського, Р.С.Санжаровського, Н.Ф.Скворцова, Л.І.Стороженко, В.М.Сурдіна, В.А.Трулля, В.М.Фонова, Е.Д.Чихладзе, О.Л.Шагіна, К.П.Шапаласа, І.С.Ярового, Сонга Ч., Масахіди Т., Янга С.Р. і інших. Різноманїтність теорії, поданих робіт трубобетону під навантаженням, можна пояснити тим, що трубобетон, на відміну від елементів, армованих іншими видами скісної арматури, не має яскраво вираженого моменту руйнування.

В зв'язку з поширенням області використання трубобетонних конструкцій, які мають більшу економічну ефективність порівняно із звичайними залізобетонними конструкціями, доцільно визначити область можливого використання трубобетону в ряді

конструкції, випробовуваних для крутячих моментів. Більшою частиною кручення в залізобетонних конструкціях виникає як супутний ефект силової дії на споруди. Однак кручення може бути головним ефектом дії зовнішніх сил, наприклад при розрахунку бортових балок, елементів опор ЛЕМ I т.п.

Зі сказаного вище можна зробити висновок про необхідність дослідження напружено-деформованого стану трубобетонних елементів при деформаціях, включаючи кручення. У наш час в області розвитку методу розрахунку трубобетонних конструкцій, випробовуваних для чистого кручення і кручення разом з іншими видами деформації, відомі роботи проводжувані в Білоруському політехнічному Інституті, а також дослідження, які проводяться в Китаї. Внаслідок експериментально-теоретичних досліджень Ісмаїла Дж. Абдуль-Карима, проведених в БПІ під керівництвом Л.К.Луки, одержані залежності для визначення несучої здатності трубобетонних елементів при чистому крученні і крученні зі стиском. На підставі огляду досліджень сформульовані задачі цієї дисертаційної роботи.

Друга глава присвячена теоретичному дослідженню напружено-деформованого стану трубобетонних елементів при крученні і крученні зі згином.

Для виведення теоретичних залежностей оцінки напружено-деформованого стану трубобетонних елементів при чистому крученні використовувалася розрахункова схема елемента, який складається із суцільного бетонного циліндра і кругової оболонки-труби. Прийнято, що r_1 і r_2 - внутрішній і зовнішній радіуси труби, G_c , G_s - модулі зсуву бетону і сталі. Поперечний перетин елемента складається із двох областей: області бетонного ядра і області труби-оболонки. Коло радіусом r_1 взято за ліній розділу. Припускається, що об'ємні сили відсутні, а ядро і оболонка спаяні між собою. На основі принципу Сен-Венана визнається, що для скручуваного стержня, на достатньо великій відстані від його кінців, напруги залежать від величини крутячого моменту T і не залежать від того, яким чином розподілені по торцевим перетинам елемента сили, які створюють цей момент.

Головний момент зовнішніх напруг, прикладених до основи:

$$T = \sum_A \iint (\alpha \tau_{xy} - \gamma \tau_{xz}) dx dy = \gamma \sum G \iint (\alpha^2 + y^2 + \alpha \frac{\partial \varphi}{\partial y} - \gamma \frac{\partial \varphi}{\partial x}) dx dy;$$

$$T = \gamma D,$$

де γ - відносний кут закручення;

$$D = \sum_{k=1}^2 \iint G_k (\alpha^2 + y^2 + \alpha \frac{\partial \varphi}{\partial y} - \gamma \frac{\partial \varphi}{\partial x}) dx dy - \text{жорсткість при крутінні};$$

$\varphi(x, y)$ - функція кручення.

У нашому випадку, коли початок координат вибрано в центрі кругових кіл Σ_1 і Σ_2 , ми можемо прийняти $\varphi = \text{const} = 0$

Зміщення і напруги визначені формулами:

$$u = -\gamma z y; \quad v = \gamma z x; \quad w = 0;$$

$$\tau_{kxz} = -\gamma G_k y; \quad \tau_{kyz} = \gamma G_k x.$$

Жорсткість при крутінні складового елемента згідно Н.І. Мусхелішвілі визначається:

$$D = \sum_{k=1}^2 \iint G_k (\alpha^2 + y^2) dx dy = G_s J_{sc} + (G_c - G_s) J_c,$$

де $J_{sc} = \frac{\pi z_2^4}{2}$ - полярний момент інерції трубобетонного елемента відносно центра;

$J_c = \frac{\pi z_1^4}{2}$ - полярний момент інерції бетонного ядра відносно центра.

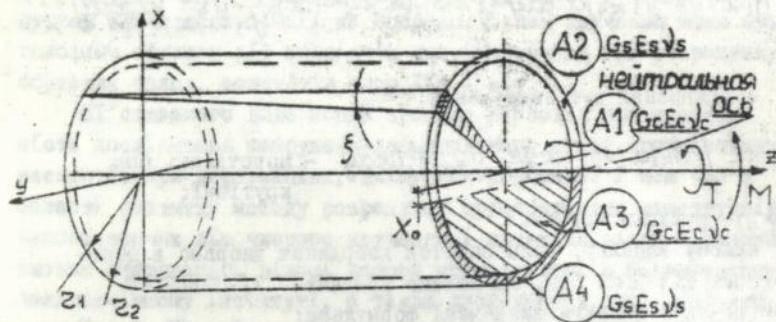
З основних рівнянь теорії пружності випливає, що в елементі колового перетину, обмеженому концентричними колами, при крученні поперечні перетини залишаються плоскими.

При вирішенні задачі кручення зі згином трубобетонного елемента використовувалась розрахункова схема елемента з поперечним перетином, який складається з чотирьох областей: А1, А2, А3, А4, які характеризуються різними фізико-механічними властивостями матеріалу (мал. 1).

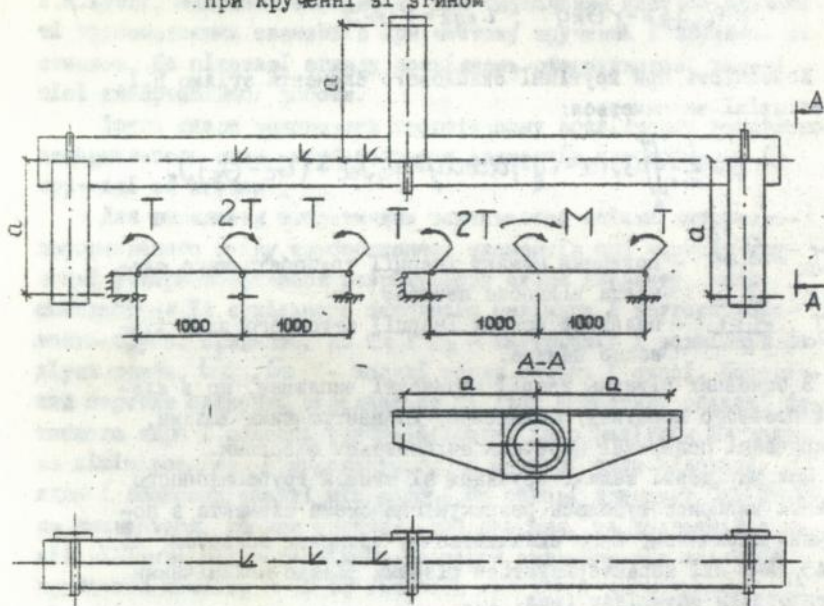
А1 - стиснута зона перетину бетону при навантаженні елемента крутячим і згинавчим моментами;

А2 - стиснута зона перетину сталі при навантаженні елемента крутячим і згинавчим моментами;

А3 - розтягнута зона перетину бетону при навантаженні еле-



Мал. 1. Розрахункова схема трубетонного елемента при крученні зі згином



Мал. 2. Трубетонні зразки що випробовані по першій розрахунковій схемі

мента крутячим і згинавчим моментами;

A4— розтягнута зона перетину сталі при навантаженні елемента крутячим і згинавчим моментами.

Мавчи рішення для випадку кручення складового елемента і використовувачи рішення для випадку чистого згину, на підставі принципу суперпозиції, оцінюється напружено-деформований стан трубобетонного елемента при спільній дії кручення зі згином.

Для визначення положення нейтральної лінії одержана і досліджена на екстремум функція яка описує дотичкові напруги. Вираз, який визначає положення нейтральної лінії:

$$x_0 = \sqrt{A_k'' / 6F_k''}.$$

Мавчи всі необхідні компоненти для оцінки напружено-деформованого стану трубобетонних елементів при крученні і крученні зі згином, визначаються шукані переміщення і деформації. Деформації при крученні зі згином в кожній із областей:

$$\epsilon_{kx} = a_1 \left((2\alpha_k A_k'' - 4\beta_k A_k \sqrt{k})x - \frac{2x\beta_k F_k'' (3y^2 - x^2)}{2^6} \right);$$

$$\epsilon_{ky} = a_1 \left((2\alpha_k A_k'' - \sqrt{k})x - \frac{2\beta_k F_k'' x (x^2 - 3y^2)}{2^6} \right);$$

$$\epsilon_{kz} = a_1 x;$$

$$\epsilon_{kxy} = -2a_1 \beta_k y \left(A_k'' + \frac{F_k'' (y^2 - 3x^2)}{2^6} \right);$$

$$\epsilon_{kxz} = -\frac{1}{2} \gamma_k y; \quad \epsilon_{kyz} = \frac{1}{2} \gamma_k x.$$

Коефіцієнти в цих формулах визначаються розрахунком по запропонованій методиці. Напруги в кожній з областей визначаються по закону Гука.

З ростом навантажувчих моментів T і M , залежність між складовими деформації і виникаючими при цьому напругами приймає нелінійний характер. Для зарахування пластичних деформацій застосовується рішення, основане на численому методі змінних параметрів пружності. При цьому використовуються відомі діаграми $\tau - \epsilon$ і $\sigma - \epsilon$ для бетону і сталі в пружній стадії і

за межов пружності. Приймається також, що відомо, як змінюється з ростом напруг коефіцієнт поперечних деформацій ν . Використовуючи гіпотезу "єдиної кривої", приймаємо залежності між інтенсивністю деформації і інтенсивністю напруг $\sigma_i - \epsilon_i$ подібними $\tau - \epsilon$, $\sigma - \epsilon$. Суть методу змінних параметрів пружності полягає в тому, що система рівнянь подається у формі рівнянь теорії пружності зі змінними "параметрами пружності" і застосовується метод послідовного їх обчислення до заданої точності (метод ітерацій). В кожному наближенні вирішується пружна задача зі змінними модулями пружності і зсуву, рівними січним модулям, які визначаються по деформаціям і коефіцієнту Пуассона. Нелінійна залежність напруг від деформації описується інтерполяційною формулою Лагранжа, вважаючи, що криві проходять через наперед задані точки. Кількість точок визначається конкретним виглядом діаграм, одержаних експериментально. Зміна коефіцієнту поперечної деформації і модуля деформації бетону, викликана ростом напруг, зв'язується залежність:

$$\nu = \nu_{\text{max}} \left(1 - \left(1 - \frac{\nu_0}{\nu_{\text{max}}} \right) \frac{E_0}{E} \right)$$

При крученні зі згином обчислюється значення модулів деформації G і E по чотирьох областях. В цьому випадку при роботі елемента в пружній стадії модуль G визначається як січний за допомогою відомих діаграм $\tau - \epsilon$ для бетону і сталі. Здійснюється два ітераційних цикли по G і два цикли по E . Інтенсивність деформації ϵ_i і інтенсивність напруг σ_i визначається по відомих залежностям, а замість фізичних рівнянь Гука приймаються відповідні залежності для пружно-пластичної стадії.

При повторних навантаженнях в залізобетонних елементах проявляються пластичні деформації. Вже після першого циклу при нульовому зовнішньому навантаженні в бетоні зберігається напружений стан. При наступних циклах навантаження пластичні деформації зменшуються. Це є наслідком зменшення дії компонентів напруг на зміни величин модулів деформації бетону. Після n -ого циклу елемент починає деформуватися пружно, тобто зі збільшенням навантаження в цьому елементі модулі деформації не зміню-

ється. Змінювання модулів деформації на кожному з циклів подається у вигляді:

- у випадку кручення зі згином

$$E_{\sigma_n} = \begin{cases} E_{\sigma_0}(\alpha_n - \beta_n \sigma_n) & - \text{при навантаженні;} \\ E_{\sigma_0} & - \text{при розвантаженні;} \end{cases}$$

- у випадку чистого кручення

$$G_{\sigma_n} = \begin{cases} G_{\sigma_0}(\alpha_n - \beta_n \sigma_n) & - \text{при навантаженні;} \\ G_{\sigma_0} & - \text{при розвантаженні.} \end{cases}$$

Приймається, що при розвантаженні модулі деформації бетону лишаються постійними, а при навантаженні з ростом інтенсивності напруг σ_n зменшуються. Вважається, що зменшення $G_{\sigma_n}, E_{\sigma_n}$ залежності від σ_n відбувається по лінійному закону і характеризується коефіцієнтами α_n і β_n : $\alpha_n = 1 + 0,2\beta_n$; $\beta_n = \beta_n / R_b$. Параметр β_n характеризує швидкість зменшення значень модулів деформації бетону на n -циклі навантаження:

β - параметр, який характеризує зменшення $E_{\sigma_n}, G_{\sigma_n}$ з ростом σ_n . Показник α визначається в залежності від зменшення E_{σ_n} і G_{σ_n} з ростом n .

Пропонована методика оцінки напружено-деформованого стану трубобетонних елементів, випробуваних діл крутячого та згинавчого моментів при короточасному і повторному навантаженнях, більш детально розглядається в дисертації.

Для виводу розрахункових формул несучої здатності трубобетонних елементів при крученні та крученні зі згином використовувались рівняння головних моментів зовнішніх зусиль. Вважаючи граничним станом початок плинності в сталевій трубі, несуча здатність трубобетонного елемента при чистому крученні визначиться:

$$T = \frac{R_s G_{sc} J_{sc}}{\eta z_2 G_s} = \frac{R_s (G_s J_{sc} + (G_c - G_s) J_c)}{\eta z_2 G_s}$$

де η - коефіцієнт, що враховує пластичний стан бетонного ядра. $\eta = 1,4$.

Граничне значення крутячого і згинавчого моментів, яке

сприймає труботонний елемент при крученні зі згином:

$$T_{sc} = \left(\frac{R_c}{z_1} + \frac{R_s}{z_2} \right) \gamma_{sc} + 4a_1 \left(\frac{4\alpha - 15}{8\gamma z_1} (\beta_c F_c \frac{R_c}{z_1} - \beta_s F_s \frac{R_s}{z_2}) - \frac{\alpha + 2}{3\gamma} z_1 \right) \times \\ \times \left(z_1^2 (\beta_c A_c \frac{R_c}{z_1} + \beta_s A_s \frac{R_s}{z_2}) - \frac{\beta_s A_s R_s}{\gamma} (\delta(\alpha + 2) + \frac{z_2^2}{z_1}) \right) ;$$

$$M_{sc} = \frac{z_1^2}{1 + \cos \alpha} \left(\alpha \delta \alpha u R_y + 2 z_1 \beta_u R_{\omega} \omega \right) .$$

Складові цих формул визначаються розрахунком по запропонованій в дисертації методиці.

Для апробації запропонованої методики, за допомогою розробленого алгоритму і програми розрахунку на ПЕОМ типу **IBM PC** був виконаний числовий приклад оцінки напружено-деформованого стану труботонних елементів при крученні та крученні зі згином. Програма **SC TAB** написана на мові Фортран 77 для ПЕОМ і складається з її підпрограм.

Третя глава присвячена експериментальним дослідженням труботонних елементів при крученні та крученні зі згином.

В експериментах використовувались труби-оболонки двох типів: діаметром 102x3 мм і діаметром 159x3,5 мм. Розрахункова довжина досліджуваних зразків 2000 мм. До труб приварювались таврові (у разі статичного) чи двотаврові (у разі повторного навантаження) консолі. Розміри консолей і точка прикладання навантаження (міжосьова відстань α) визначались умовами пропорційності між крутячим та згинаючим моментами. Труботонні зразки, навантажувані по першій розрахунковій схемі (мал. 2) мали три консолі для прикладання крутячого моменту. Ця розрахункова схема дозволяла досліджувати роботу труботонних зразків при навантаженні крутячим та спільно крутячим і згинаючим моментами, і була прийнята за основу. При навантаженні по другій розрахунковій схемі випробувались зразки з двома консолями, розташованими на рівній відстані від середини прольота. Розрахункова відстань між консолями - 1000 мм. Три досліджувальних перетина знаходились між консолями аналогічно основній розрахунковій схемі. При навантаженні по цій розрахунковій схемі досліджувалась робота труботонних зраз-

кІв при одночасній дії крутячого і згинавчого моментів.

Серії трубобетонних зразків були розподілені на 4 групи. До першої відносились трубобетонні зразки, які мають призову міцність бетонного ядра $R_b = 16$ МПа. До другої групи - $R_b = 17,5$ МПа, до третьої - $R_b = 19$ МПа. Перші дві групи випробувались по основній розрахунковій схемі. Третя група випробувалась по двом розрахунковим схемам і вміщала в собі серії трубобетонних зразків, які мають різний діаметр труб-оболонки і товщину стінки труб, а також зразки, які мають приварені для зтворення сил зчеплення між ядром і оболонкою пластини в порожнині труб. До четвертої групи віднесені серії трубобетонних зразків, які випробувались на повторне навантаження, і які мають призову міцність бетонного ядра $R_b = 19$ МПа.

З метов рівняльного аналізу і визначення фізико-механічних властивостей використовуваних матеріалів випробувались зразки, які являють собою окремо сталеві труби і бетонні ядра.

Зразки випробувались за допомогою запроєктованої і виготовленої установки, яка дозволяє навантажувати зразки крутячим моментом по першій розрахунковій схемі та крутячим і згинавчим моментами по першій та другій розрахунковим схемам.

Зразки серії SCR3-11 мали вікно в трубі-оболонці для спостереження за зчепленням бетонного ядра з трубов в процесі загруження зразка крутячим моментом. В отворі виставлялося і фіксувалося скріплювче пристосування, яке має анкерні стержні діаметром 3 мм. Друге скріплювче пристосування приварювалося до поверхні труби і фіксувало індикатор часового типу. В процесі навантажування здійснювались спостереження за показаннями індикатора часового типу. Зразки серії SCR3-A.1 мали діаметрально розташовані в порожнині труби пластини в місцях кріплення консолей, дозволяючих збільшити поверхню зчеплення бетонного ядра і оболонки в зоні прикладання навантаження.

Для всіх дослідних зразків по результатах експеримента був визначений граничний стан по несучій здатності, який відповідає досягненню текучості в крайніх волокнах сталеві труби під кутом 45° до подовжньої осі при крутінні, в стиснутій зоні при згині, і в стиснутій зоні під кутом 45° до створючої при спільній дії згину з крученням. При цьому деформації в да-них волокнах досягали значень приблизно $\epsilon = 200 \cdot 10^5$. Наванта-

ження, відповідавчі даним деформаціям, позначені через T_1 і M_1 . Так як при таких деформаціях зразки мали змогу сприймати зростаюче навантаження, було введено ще одне граничне значення навантажень T_2 і M_2 , характеризуюче значення моментів при деформаціях, які було вже неможливо зафіксувати приборами. В таблиці I приводяться значення крутячих і згинаючих моментів.

По зміряних в процесі експерименту деформаціях, які розвивалися при зростанні навантажень, побудовані графіки залежності куткових перемішень від крутячого моменту і графіки зміни відносних деформацій на поверхні зразків в трьох перетинах. З усіх графіків найбільш характерними для аналізу є графіки розвитку відносних деформацій під кутом 45° до створюючої поверхні зразка. Ці деформації зображуються графіками трьох типів. Графіки першого типу характеризують розвиток куткових і лінійних деформацій в декартовій системі координат, а другого типу - зображують розподіл деформацій по краях перетинів. На графіках третього типу зображуються продольні деформації в перерізі перетину.

Аналізуючи одержані експериментальні залежності, можна зауважити, що заповнення бетоном труб збільшує їх жорсткість при сприйманні крутячого моменту. При чистому крученні несуча здатність трубобетонного елемента в 1,5-1,7 разів більша, ніж у порожніх труб. Ефективна робота трубобетонних елементів при чистому крученні забезпечується спільною дією бетонного ядра і труби-оболонки. При означених навантаженнях, внаслідок зменшення сил зчеплення ядра з оболонкою і переходу сталі в пружно-пластичну стадію роботи, відбувається поступовий вихід бетонного ядра із роботи і зростаюче навантаження сприймає труба-оболонка. Надійне забезпечення спільної роботи ядра і оболонки можливо при застосуванні спеціальних конструктивних рішень. Це особливо необхідно при великих навантаженнях. Результати експериментальних досліджень дозволяють також встановити в якій мірі несуча здатність трубобетонних елементів при чистому крученні зростає зі збільшенням діаметру, товщини стінки труби і міцності бетонного ядра.

При крученні зі згином в трубобетонному елементі виникає складний об'ємний напружений стан, який покращує спільну ро-

Таблиця І

Несуча здатність сталевих і трубобетонних
зразків при крученні і крученні зі згином

Шифр серії зразків	Діаметр, мм	Товщина стін, мм	R_b , МПа	R_y , МПа	Вид деформації	T_1 , кН·м	M_1 , кН·м	T_2 , кН·м	M_2 , кН·м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SCR1-1	I02	3	I6	332	кручення	9,1	-	11,8	-
SCR1-2	I02	3	I6	332	кручення зі згином	8,9	8,4	11,3	13,5
SCR1-3	I02	3	I6	332	згин	-	13,2	-	16,6
SCR2-1	I02	3	I7,5	332	кручення	10,5	-	13,5	-
SCR2-2	I02	3	I7,5	332	кручення зі згином	10,2	8,7	14,7	12,2
SCR2-3	I02	3	I7,5	332	згин	-	14,7	-	17,3
SCR3-1.1	I02	3	I9	332	кручення	12,1	-	15,8	-
SCR3-2.1	I02	3	I9	332	кручення зі згином	11,7	14,6	13,1	16,1
SCR3-3.1	I02	3	I9	332	згин	-	19,2	-	23,4
SCR3-1.2	I59	3,5	I9	349	кручення	32,4	-	37,1	-
SCR3-2.2	I59	3,5	I9	349	кручення зі згином	31,3	38,7	34,5	42,7
SCR3-3.2	I59	3,5	I9	349	згин	-	45,1	-	54,3
SCR3-A.1	I02	3	I9	332	кручення	12,8	-	17,3	-
SCR3-B.1	I02	3	I9	332	кручення зі згином	11,1	14,2	13,4	15,7
SCR3-C.1	I02	3	I9	332	повторне кручення	11,3	-	12,4	-
SCR3-C.2	I02	3	I9	332	повторне кручення зі згином	10,2	13,4	12,4	14,9
S1-1	I02	3	-	332	кручення	7,5	-	10,3	-
S2-1	I02	3	-	332	кручення зі згином	6,1	-	7,2	-
S3-1	I02	3	-	332	згин	-	3,8	-	4,3
S1-2	I59	3,5	-	349	кручення	14,7	-	16,8	-
S2-2	I59	3,5	-	349	кручення зі згином	13,4	-	15,2	-
S3-2	I59	3,5	-	349	згин	-	13,6	-	14,8

боту ядра і оболонки на сприймання крутячого моменту за рахунок збільшення сил зчеплення між бетоном і сталлю.

При крученні і крученні зі згином із зростанням кількості циклів повторного навантаження процес перерозподілення деформації стабілізується, остатні деформації після кожного цикла зменшуються, робота трубобетонних елементів наближається до пружної.

Зрівняння експериментальних і теоретичних значень несучої здатності і деформації свідчить, що запропоновані методи розрахунку з достатньою точністю дозволяють оцінити напружено-деформований стан трубобетонних елементів при крученні та крученні зі згином в залежності від величини діючих зусиль. Розраховані значення деформації мають розбіжність з експериментальними значеннями до 7% і добре узгодження в межах навантажень T_1 і M_1 , що визначають початок текучості в сталевій трубі.

Четверта глава присвячена дослідному проектуванню і оцінці техніко-економічної ефективності трубобетонних конструкцій, працюючих при крученні і крученні зі згином.

Особливості трубобетонних конструкцій використовувались при проектуванні різних споруд. При розрахунку трубобетонних елементів в запроєктованих спільно з підприємством-фірмою м. Москви "Грандтер'ер Атрлум. Центр Ноу-Хау" атрлумних будівлях, за допомогою запропонованої методики, в числі інших навантажень, враховувалась дія крутячого моменту. Запропоновані оригінальні способи збудування таких будівель. На ці технічні рішення одержано авторські свідоцтва № 1746768 і № 1694825.

При проектуванні краплевидних резервуарів з оригінальною конструкцією оболонки і опорного кільця, яке спирається на стойки, розраховувався перетин трубобетонного кільця на спільну дію згинаючого і крутячого моментів. Про новизну цього технічного рішення засвідчує авторське свідоцтво № 1679021.

Одним із видів конструкцій, в яких значення крутячого і згинаючого моментів має вирішальне значення, є конструкції опор ЛЕМ. Портали ОРУ 35, 110 кВ являють собою окремі плоскі П-образні рами конструкції з затиснутими в основанні стойками і шарнірним з'єднанням траверс. До цього часу портали виконувались із збірних залізобетонних стоек і траверс з поперед-

ньо напружено-деформованого стану арматурованого бетону класу В40. Як більш ефективну в економічному відношенні Полтавському Шляховому підприємству електромереж запропонована трубобетонна конструкція шинного порталю.

Для зрівнявання техніко-економічної ефективності трубобетонних конструкцій із типовими залізобетонними, одержані дані по витратам основних матеріалів в розробленій трубобетонній конструкції і типовій залізобетонній конструкції шинного порталю ПЗ-ІІОш. Витрати бетону в трубобетонній конструкції при меншій трудомісткості виготовлення в 3,8 разів менше, ніж у типовій залізобетонній конструкції, витрати сталі менші на 8%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Робота присвячена експериментально-теоретичному дослідженню напружено-деформованого стану трубобетонних елементів при крученні і крученні зі згином. Основні результати роботи:

1. Запропонована на підставі проведених теоретичних досліджень методика дозволяє оцінити напружено-деформований стан трубобетонних елементів, працюючих на кручення і кручення зі згином при короточасній дії навантажень і повторних навантаженнях. В результаті розрахунків можна визначити переміщення деформації і напруги в будь-яких точках перетинів трубобетонної конструкції з початку прикладання навантаження до її граничного значення.

2. Одержані залежності дозволяють моделювати роботу трубобетону в конструкціях, що проектуєть з врахуванням спільної роботи бетону і сталі у комплексному перетині на різних стадіях навантаження крутячим і згинаючим моментами, при різних геометричних і фізико-механічних характеристиках.

3. На підставі методики оцінки напружено-деформованого стану виведені формули, що дозволяють визначити несучу здатність трубобетонних елементів при крученні і крученні зі згином.

4. Розроблення алгоритмів розрахунку і програма дозволяють за допомогою ПЕОМ оцінити напружено-деформований стан трубобетонних елементів в пружній і пластичній стадіях.

5. Запропонована і виготовлена установка дозволяє експе-

риментально дослідити роботу трубобетонних елементів при крученні і крученні зі згином.

6. Проведені експериментальні дослідження підтверджують одержані теоретичні залежності. Виявлено, що надійність спільної роботи ядра і оболонки при чистому крученні забезпечується при застосуванні спеціальних конструктивних засобів, особливо при великих навантаженнях. При крученні зі згином в трубобетонному елементі виникає складний об'ємно-напружений стан, який покращує спільну роботу ядра і оболонки на сприймання крутячого моменту за рахунок збільшення сил зчеплення між бетоном і сталлю.

7. У граничному стані, визначеному початком текучості в трубі, трубобетонний елемент продовжує сприймати зростаюче навантаження.

8. З зростанням кількості циклів повторного навантаження процес перерозподілення деформації стабілізується, остатні деформації після кожного наступного цикла зменшуються, робота трубобетонного елемента наближається до пружної.

9. В результаті дослідного проектування зроблено висновок про доцільність і техніко-економічну ефективність застосування в будівництві трубобетонних елементів для конструкції, випробувуваних спільну дію крутячого і згинаючого моментів.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних роботах:

1. Мельніченко О.В., Саргісов С.К., Шкіренко С.В. Застосування трубобетонних конструкцій в будівлях атріумного типу з похилими корпусами //Тез. доп. респ. наук.-техн. конф. "Вдосконалення залізобетонних конструкцій, працюючих при складних деформаціях, і їх впровадження в будівельну практику". - Полтава: Б.в. 1989. - С. 57.

2. Шкіренко С.В. Методика дослідження трубобетонних елементів при крученні зі згином //42 наук. конф. проф., викл., наук. робітників, асп. і студентів Полт. ІБІ: Тез. докл. - Полтава: Б.в. 1990. - С. 114.

3. Мельніченко О.В., Саргісов С.К., Шкіренко С.В. Структура енергоекономічних атріумних будівель //36. тр. Полт. ІБІ. - Київ: УМК ВО. - 1991. - С. 158-164.

4. Шкіренко С.В. Експериментальне дослідження трубобетон-

них елементів при крученні і крученні зі згином //43 наук. конф. проф., викл., наук. робітників, асп. і студентів Полт. ІБІ: Тез. доп. - Полтава: Б.в. 1991. - С. 135-136.

5. Шкіренко С.В. Об'ємний напружено-деформований стан трубобетонних елементів, працюючих при крученні //43 наук. конф. проф., викл., наук. робітників, асп. і студентів Полт. ІБІ: Тез. докл. - Полтава: Б.в. 1991. - С. 138-140.

6. Стороженко Л.І., Шкіренко С.В. Експериментальне дослідження трубобетонних елементів при крученні зі згином. // Тез. доп. наук. конф. "Прогресивні методи ведення проектних і дослідницьких робіт при реконструкції сталевих каркасів будівель і споруд". - Суми: Б.в. 1991. - С. 52-53.

7. Стороженко Л.І., Шкіренко С.В. Експериментальне дослідження трубобетонних елементів при малоциклової дії крутячого моменту //44 наук. конф. проф., викл., наук. робітників, асп. і студентів Полт. ІБІ: Тез. доп. - Полтава: Б.в. 1992. - С. 143.

8. Шкіренко С.В. Експериментальне дослідження трубобетонних елементів при крученні і крученні зі згином. Зб. тр. Полт. ІБІ. - Київ: УМК ВО. - 1992. - С. 109-113.

9. Шкіренко С.В. Вплив методики розрахунку трубобетонних конструкцій при крученні зі згином на раціональне використання будівельних матеріалів //36. наук. тр. Полт. ІБІ. - Київ: УМК ВО. - 1992. - С. 71-77.

10. Барбарський В.І., Стороженко Л.І., Шкіренко С.В. Робота елементів із сталевих труб, заповнених бетоном при складних навантаженнях //П'ята Українська науково-технічна конференція по металевим конструкціям "Посилення і реконструкція виробничих будівель і споруд збудованих у металі": Тез. доп. - Київ: Б.в. 1992. - С. 51-52.

11. А.с. 174678 СРСР, МКІ, Е 04 21/14, Е 04 Н 1/00. Спосіб спорудження будівель і пристрій для його здійснення /С.К.Саркісов, Л.І.Стороженко, О.В.Мельніченко, С.В.Шкіренко //25.10.88.

12. А.с. 1694825 СРСР, МКІ Е 04 21/14. Спосіб спорудження будівель і пристрій для його здійснення /Л.І.Стороженко, В.Л.Гіверц, С.В.Шкіренко //13.03.89; Бл. № 44 - 30.11.91.

13. А.с. 1679021 СРСР, МКІ Е 04 Н 7/14. Краплевидний резервуар /Л.І.Стороженко, С.А.Харченко, С.В.Шкіренко //30.10.89; Бл. № 55 - 23.09.91.



Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.

Bill

Bill & Co.
1000

Подписано к печати 16. 12. 92г. Формат 60x84 1/16. Бумага белая писчая.
Печать офсетная. Объем 1 п. л. Тираж 101. Заказ №1752. Бесплатно.
Подразделение оперативной полиграфии управления статистики Полтавской области.
г. Полтава, ул. Пушкина, 103

AB 26.616