

ПОЛТАВСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

ТАРАНОВСЬКИЙ Олег Леонідович

УДК 624.016.5

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАННИЙ СТАН
ГНУЧКИХ СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ З
ЦЕНТРИФУГОВАНОГО ТРУБОБЕТОНУ

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 1993

Робота виконана на кафедрі конструкції з металу,
дерева та пластмас Полтавського Інженерно-будівельного
Інституту.

Науковий керівник - доктор технічних наук,
професор Л.І.Стороженко

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор О.Л.Шагін

- кандидат технічних наук, с.н.с.
І.Д.Белов

Ведуча організація - Механобрчормет
(м. Кривий Ріг)

Захист відбудеться " 6. " *КВІТНЯ* 1993 року
в .14⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої Ради К.058.46.01
при Полтавському Інженерно-будівельному Інституті за адресою:
314601, Полтава, Першотравневий проспект, 24.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Полтавсь-
кого Інженерно-будівельного Інституту.

Автореферат розіслано " 3. " *березня* 1993 року

Вчений секретар
спеціалізованої Ради,
кандидат технічних наук,
доцент


В.О. БОНДАР

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00825808 (V)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

73-26.000

В останні роки в Україні та за її межами широке розповсюдження отримують сталевобетонні конструкції. При їхньому використанні сталева арматура у вигляді листів, профільованого настилу, замкнених циліндрових та прямокутних профілів стає зовнішньою. В багатьох випадках вона працює ефективніше, ніж стержнева. При використанні зовнішньої арматури не потрібна опалубка, а також опорядження поверхні елемента. При зведенні цих конструкцій можна використовувати індустриальні методи безпосередньо на будівельному майданчику. До сталевобетону відноситься труобетон, який використовується в основному у вигляді стиснутих несучих конструкцій.

Труобетонні елементи порівнюючи з залізобетонними конструкціями мають переваги за рахунок раціонального поєднання бетону і сталі при їхній сумісній роботі. В цьому випадку труба виконує роль поздовжньої та поперечної арматури. Бетон за рахунок об'ємного напруженого стану оприймає напруги, що значно перевищують призмату міцність. Це дозволяє отримати економію сталі та бетону.

Недоліки труобетону, що пов'язані з вкладанням бетону в трубу та контролем його якості, можна усунути ущільнювачі бетоном методом центрифугування, який отримав широке розповсюдження при виробництві залізобетонних конструкцій з стержневим армуванням. В цьому випадку забезпечується підвищена міцність порівнюючи з вібруванням. До цього часу отримані деякі результати досліджень центрифугованих труобетонних елементів, що працюють на стиснення та згин. Але зовсім відсутні дослідження гнучких стиснутих труобетонних елементів з центрофугованим ядром. Тому задача про дослідження міцності та деформації стиснутих елементів із сталених труб, заповнених центрифугованим бетоном та розробка методу їхнього розрахунку з врахуванням гнучкості є актуальною.

Мета дослідження. Розробка методів розрахунку несучої здатності та оцінки напружено-деформованого стану гнучких стиснутих труобетонних елементів з центрофугованими ядрами на основі їх експериментального дослідження.

Автор захищає:

- методи оцінки напружено-деформованого стану та розрахунку несучої здатності стиснутих труобетонних елементів з цент-

рофугованими бетонними ядрами з врахуванням гнучкості;

- результати експериментальних досліджень несучої здатності та деформації гнучких трубобетонних елементів з центрифугованими бетонними ядрами з різними за величиною ексцентриситетами;

- результати дослідного проектування несучих конструкцій та оцінки їхньої техніко-економічної ефективності.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- розроблені методи розрахунку несучої здатності центрифугованих трубобетонних елементів при стисненні з урахуванням гнучкості;

- запропоновані методи оцінки об'ємного напружено-деформованого стану стиснутих центрифугованих трубобетонних елементів з врахуванням гнучкості;

- отримані нові дані про роботу під навантаженням стиснутих центрифугованих трубобетонних елементів з різними висотами за результатами їхніх експериментальних досліджень.

Практична цінність роботи.

За результатами досліджень зроблено висновок про доцільність застосування в будівництві в якості несучих конструкцій центрифугованих трубобетонних елементів. Розроблено метод розрахунку несучої здатності цих конструкцій з врахуванням гнучкості. Виконано дослідне проектування трубобетонних конструкцій з центрифугованими бетонними ядрами. На основі отриманих залежностей складено алгоритм та програму для розрахунку напружено-деформованого стану гнучких трубобетонних елементів з центрифугованим бетонним ядром на ЕОМ ЕС-1036. На основі проведених експериментальних досліджень замість традиційних конструкцій з збірного залізобетону розраховані та запроектовані трубобетонні несучі конструкції для будови автовокзалу в м. Дніпропетровську і для сінних складів в радгоспі ім. Леніна та колгоспі "Україна" Апостоловського району Дніпропетровської області.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 6 друкованих працях.

Апробація роботи. Основні положення дисертації доповідались та були обговорені на Республіканській науково-технічній конференції "Удосконалення залізобетонних конст-

рукації, що працюють на складні види деформації їх впровадження в судівельну практику" (Полтава, 1989), на науково-технічних конференціях Полтавського ІБІ та Криворізького гірнорудного Інституту в 1988-1991 рр.

Об'єм виконаної роботи. Дисертація складається з передмови, п'яти глав, основних висновків, списку літератури з 162 назв, всього 188 сторінок, в тому числі 123 сторінки машинописного тексту, 58 малюнків, 9 таблиць.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Перша глава присвячена огляду конструкції із труботону та методів їх розрахунку. Відзначені переваги та недоліки труботону. Проаналізовані праці, що присвячені дослідженню конструкції з центрифужованого залізобетону.

На сьогоднішній час відомі праці присвячені дослідженню труботонних конструкцій О.М.Алперіної, Ш.Т.Баркаві, І.Д.Белова, Б.М.Броуде, Г.А.Гамбарова, О.О.Гвоздева, М.Г.Добудоло, О.А.Долженко, В.І.Ефіменко, М.М.Жербіна, А.Б.Квадараса, В.М.Кебенко, О.І.Кікіна, К.Клепеля, Ю.Козака, С.Г.Кусябгазієва, В.Ф.Мареніна, Г.П.Передерія, В.А.Росновського, Р.С.Санжаровського, М.Ф.Скворцова, Л.І.Стороженко, В.М.Сурдіна, В.А.Трулля, В.М.Фонова, Е.Д.Цхладзе, О.Л.Шагіна, К.П.Шапласа, І.С.Ярового, Ч.Сонга, Т.Масахіді, С.Янга і інших. Запропоновані теоретичні залежності, що дозволяють розраховувати труботонні елементи. Виконані експериментальні дослідження особливостей роботи труботону.

Відомі дослідження з області центрифужованих залізобетонних конструкцій І.Н.Ахвердова, В.М.Баташева, Р.Р.Вадлуги, С.А.Дмитрієва, Т.М.Пецольда. Доведено, що дякуючи центрифужуванню збільшується міцність бетону. Несучі конструкції з центрифужованого бетону є індустріальними при виготовленні, мають підвищену несучу здатність.

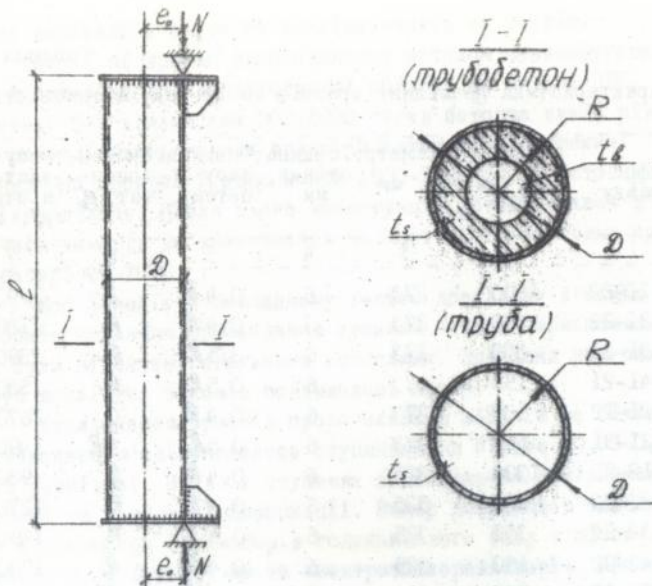
Враховуючи, що ядро з бетону, що знаходиться в сталій оболонці, має підвищену несучу здатність за рахунок об'ємного напруженого стану, а центрифужований бетон має підвищену міцність, ефективність роботи центрифужованого труботону дуже висока. Це доведено в працях А.Б.Квадараса, в виконаних під керівництвом Л.І.Стороженко працях А.-К.М.Халеда, В.І.Ефі-

менко, М.Кіфаха, О.І.Тесьолкіна, С.А.Харченко. Запропоновані методи розрахунку коротких стиснутих елементів і елементів, що працюють на згин з центрифугованого трубобетону. Але до цього часу були відсутні дослідження стиснутих гнучких центрифугованих трубобетонних елементів. У цьому зв'язку при виконанні цієї роботи були поставлені такі задачі:

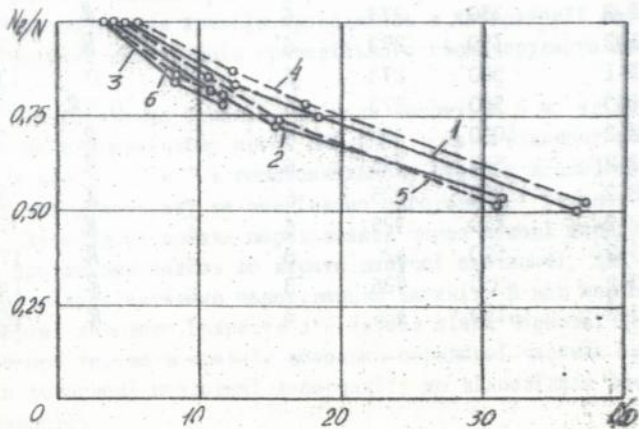
- розробити методи розрахунку міцності та оцінки напружено-деформованого стану гнучких елементів з центрифугованого трубобетону при позацентровому стисненні;
- експериментально дослідити напружено-деформований стан та несучу здатність гнучких елементів з центрифугованого трубобетону при позацентровому стисненні в залежності від різної гнучкості, діаметру труб-оболонки, величини ексцентриситету прикладання навантаження;
- виконати дослідне проектування гнучких несучих конструкцій з центрифугованого трубобетону, виявити їхню техніко-економічну ефективність.

Друга глава присвячена методиці проведення експерименту та дослідженню фізико-механічних властивостей прийнятих до виготовлення зразків матеріалів. Характеристика дослідних зразків приведена в табл. I. Діаметр труб складав 273, 325 та 426 мм. Товщини стінок труб - 6 та 8 мм. Товщина шару центрифугованого бетону в залежності від радіусу труби приймалася в межах $(0,4 \dots 0,6) R$. В основному зразки досліджувались на позацентрове стиснення з ексцентриситетом, що дорівнював радіусу R , хоч деякі зразки випробовували з ексцентриситетами $0,5 R$ та 0 . Поряд з трубобетонними зразками випробовувались зразки з порожніх труб. При цьому для виявлення впливу центрифугованого бетону на роботу дослідного зразка серії зразків з порожніх труб відповідали всім серіям зразків з трубобетону. Загальний вигляд зразків приведено на мал. I.

Для всіх серій зразків було заплановано виготовити окремо бетонні ядра центрифугованих елементів (висота 150 мм), куби та призми для визначення фізико-механічних властивостей бетону. Для визначення граничного стану плинності, тимчасового супротивлення та модуля пружності сталі порожні труби випробовувались на центральний стиск, а також із відповідних



Мал. 1. Конструкції дослідних зразків



Мал. 2. Залежність відносної несучої здатності зразків від відносної висоти

— труботонні елементи;
 - - - елементи з порожніх труб

Таблиця І

Характеристика дослідних зразків та їх несуча здатність

Шифр зразку	Висота l , см	Діаметр D , мм	Товщина стінки, мм	Товщина шару бетону	Ексцентриситет, %	Несуча здатність N , кН
1	2	3	4	5	6	7
ТБЦ-11-22	1000	273	6	0,4 R	R	790
ТБЦ-21-22	500	273	5	0,4 R	R	1180
ТБЦ-31-21	350	273	6	0,5 R	R	1390
ТБЦ-41-21	150	273	6	0,5 R	R	1580
ТБЦ-21-12	500	273	6	0,4 R	0	2670
ТБЦ-21-31	500	273	6	0,5 R	0,5 R	1490
ТБЦ-12-22	1000	325	6	0,4 R	R	980
ТБЦ-22-22	500	325	5	0,4 R	R	1270
ТБЦ-32-22	350	325	6	0,4 R	R	1490
ТБЦ-42-22	150	325	6	0,4 R	R	1780
ТБЦ-23-22	500	426	8	0,4 R	R	2090
ТБЦ-33-22	350	426	8	0,4 R	R	2280
ТБЦ-43-22	150	426	8	0,4 R	R	2570
Т-11-2	1000	273	6	-	R	390
Т-21-2	500	273	6	-	R	580
Т-31-2	350	273	6	-	R	650
Т-41-2	150	273	6	-	R	750
Т-21-1	500	273	6	-	0	1380
Т-21-3	500	273	6	-	0,5 R	780
Т-12-2	1000	325	6	-	R	550
Т-22-2	500	325	6	-	R	690
Т-32-2	350	325	6	-	R	850
Т-42-2	150	325	6	-	R	980
Т-23-2	500	426	8	-	R	1770
Т-23-2	350	426	8	-	R	1490
Т-43-2	150	426	8	-	R	1680

труб вирізались смуги та досліджувались на розтяг.

Дослідні зразки виготовлялись методом центрифугування в м. Апостоново Дніпропетровської області на заводі ЗБК. На протязі 5-7 хвилин при 800-1000 об/хв бетонна суміш рівномірно розподілялась вздовж труби. В автоматичному режимі "ущільнення" на протязі 7 хвил. н при 1500-1700 об/хв бетонна суміш ущільнювалась. Після цього конструкція розміщувалася в пропарочній камері, де знаходилася на протязі 10-12 годин при температурі 65-70°C.

Щоб запобігти завчасному змяттю дослідних зразків та зробити можливим прикладання зусилля з ексцентриситетом горці були підсилені сталевими консолями. Зовнішня поверхня труб дослідних зразків покривалась лаком.

Дослідження зразків проходились в віці 28 та більше діб. Навантаження здійснювалось ступенями не більше (0,05-0,1) N від руйнівної. На всіх ступенях навантаження вимірялись поздовжні та поперечні деформації. Вимір деформації здійснювався з допомогою Індикаторів годинникового типу з цінов відзначок 0,01 і 0,001 мм та електротензорезисторів. При цьому Індикаторами з відзначками 0,01 мм вимірялись поздовжні деформації на основі 200 мм, Індикаторами з відзначкою 0,001мм фіксувались деформації в поперечному напрямку на основі 40мм. При навантаженні зразків позацентрово прикладеним зусиллям вимірялись прогини прогинограми Максимова.

Випробування зразків проводились в лабораторії кафедри будівельних конструкцій Криворізького гірничорудного Інституту.

Випробування зразків, що мали висоту до 6 м, здійснювалось на гідравлічному пресі ПММ-1000 в вертикальному стані, а при висоті 10 м - в горизонтальному стані з допомогою гідравлічного домкрату та спеціально виготовленої установки.

Зусилля на зразки передавались через ножові шарніри. Всі зразки доводились до втрати несучої здатності, яка характеризувалась активним нарощуванням вигинів. В цей період на поверхні лакового покриття з'являлися лінії Чернова. Це говорило про те, що в крайніх волокнах середньої частини зразків були досягнені поздовжні деформації, що відповідали початку плинності.

Для виготовлення дослідних зразків були застосовані бето-
ни ясау по міцності В30. Для виготовлення бетону застосо-
вувався дрібний щебінь (фракція 2-5), річковий пісок ($M_k =$
 $I,5$), підібрані згідно /1/ і /2/. В'яжучим був прийнятий
портландцемент з активністю 400.

В віці 28 діб призмova міцність бетону складала $R_{b,m} =$
 22 МПа , початковий модуль пружності $E_b = 2,6 \cdot 10^4 \text{ МПа}$.

Міцність центрифугованого бетону виявлялась при дослід-
женні центрифугованих кілець. В наслідок центрифугування міц-
ність бетону підвищилась в середньому на 27% і відповідала
 $30,4 \text{ МПа}$. Величина коефіцієнту підвищення міцності бетону за
рахунок центрифугування дорівнювала $1,38$. По виміренім дефор-
маціям розраховувався коефіцієнт Пуасона ν_b і початковий мо-
дуль пружності E_b , а також був побудований графік змінюван-
ня модуля деформації. Модуль деформації при зростанні напру-
жень в бетоні дещо зменшувався (до 15%), що говорило про роз-
виток пластичних деформацій. З зростанням напружень збільшу-
вався коефіцієнт поперечних деформацій ν_b , що говорило про
розвиток мікро- та макротріщин згідно з теорією О.Я.Берга.

Деформативні характеристики центрифугованого бетону ви-
являлись за результатами випробування тих же зразків, що і
на міцність. Величина модуля деформації $E_{b,y}$ при зростанні
напруження зменшувалась до 15%. При зростанні навантажень
коефіцієнт Пуасона $\nu_{b,y}$ збільшувався і досягав величини
 $0,31$. Значення початкового модуля пружності центрифугованого
бетону було на 9% вище, ніж віброваного, що співпадає з ре-
зультатами досліджень інших авторів.

За результатами досліджень отримані залежності $\sigma_y - \epsilon_y$
для сталених смуг, що були вирізані із труб та досліджених
на розтяг. Відношення σ_y / σ_u приблизно дорівнювало $0,6-0,8$,
що відповідало показникам високоміцної сталі на розтяг. В се-
редньому $\sigma_u = 460$; $\sigma_y = 275 \text{ МПа}$.

Третя глава дисертації присвячена аналізу результатів
експериментальних досліджень стиснутих центрифугованих трубо-
бетонних елементів з врахуванням гнучкості.

Як уже було відзначено, за неочучу здатність гнучких сти-
снутих центрифугованих трубобетонних елементів вважається зу-
сила, при якому в найбільш стиснутих або найбільш розтягну-

тих волоках дослідних зразків виникали поздовжні деформації, що відповідали початку плинності сталі. Значення цих зусиль для всіх випробуваних зразків наведені в табл. I. В таблиці наведені також результати випробування зразків із сталевих труб, не заповнених бетоном.

Значення несучої здатності зразків коливались в значних межах в залежності від висоти елементів, діаметру труб, ексцентриситету, при якому було прикладене навантаження.

Експериментальним значенням коефіцієнту, що враховував гнучкість, прийнято

$$\varphi_e^{експ} = \frac{N_c}{N}, \quad (1)$$

де N - несуча здатність короткого зразку;

N_c - несуча здатність гнучкого зразку.

Значення цих коефіцієнтів коливалось для зразків з труб $D = 273$ мм в межах 1,00...0,50, для зразків з труб $D = 325$ мм в межах 1,00...0,55, для зразків $D = 426$ мм в межах 1,00...0,81. Приблизно в таких межах коливався коефіцієнт $\varphi_e^{експ}$, врахований для випробуваних елементів з порожніх труб.

Пі враховувалися значення коефіцієнту

$$\eta = \frac{N_{тб}}{N_T}, \quad (2)$$

де $N_{тб}$ - несуча здатність центрифугованого трубобетонного елементу;

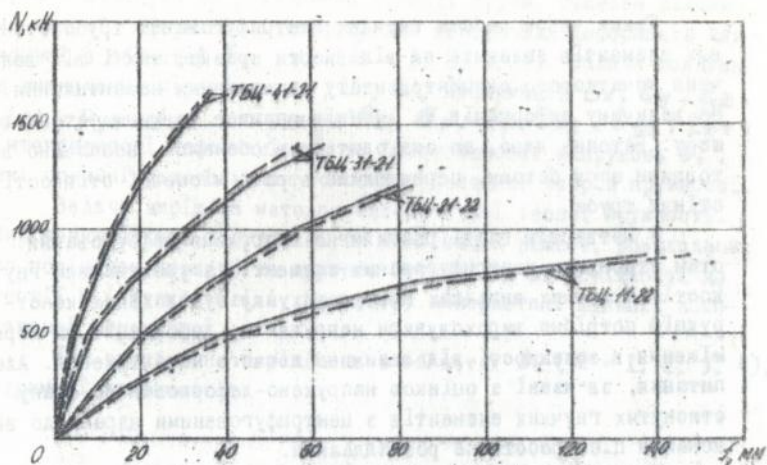
N_T - несуча здатність порожнієї труби.

Цей коефіцієнт коливався в межах від 1,52 (зразки серії ТБЦ-23-22) до 2,14 (зразки серії ТБЦ-31-21). Таким чином заповнювати труби бетоном у всіх випадках доцільно, тому що це в значній мірі підвищує їхню несучу здатність.

Безумовно цікавими є залежності відносної несучої здатності випробуваних елементів ($N_c/N = \varphi_e^{експ}$) від відносної висоти e/D . Для всіх випробуваних зразків вони змінюються в межах 1,0...0,5. Цікавим є те, що всі дані як для трубобетонних елементів, так і для порожніх труб, співпадають між собою дуже близько (мал. 2).

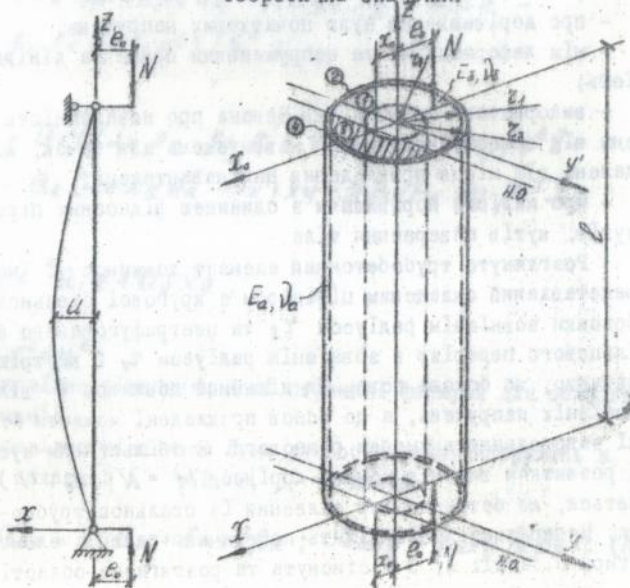
Як уже було відмічено, в процесі експериментальних досліджень вимірювались поздовжні та поперечні деформації та вигини досліджуваних зразків. Отримано численний експериментальний матеріал, що характеризує деформований стан стиснутих елементів під навантаженням з врахуванням їхньої гнучкості. З початку залежностей поздовжніх та поперечних деформацій від навантаження виходить, що всі вони мають криволінійний характер. Це пояснюється тим, що із збільшенням навантаження згинальний момент збільшується не тільки з ростом N але і з збільшенням ексцентриситету, дякуючи вигинам зразків. Виявляються також особливості роботи бетону під навантаженням, в якому пластичні деформації починають розвиватись з самого початку завантаження. Тому криволінійність залежностей $N - \epsilon$ найяскравіший характер мала в стиснутій зоні зразків. У всіх випадках деформації інтенсивніше зростали в перетинах, що знаходились в середній частині зразків. Це пояснюється тим, що в цьому перетині згинальний момент був збільшений за рахунок вигинів, що розвивались. Деформації в стиснутій зоні зразків були дещо меншими, ніж в розтягнутій. На перших етапах завантаження деформації по поперечному перетині розподілялись по трикутній епюрі і практично дотримувалась гіпотеза плоских перетинів. Нейтральна вісь була трохи зміщена в бік стиснутої зони. Це пояснюється тим, що в стиснутій зоні активно працював бетон, сприймаючи поздовжні деформації.

На мал. 3 наведені значення вигинів для трубобетонних зразків, що мали діаметр 273 мм. Вигини вимірювались в середині елементу. З графіків виходить, що для зразків висот 5 та 10 м вигини були досить значними і досягали 140 мм. Залежності $N - f$ для порожніх труб також мали криволінійний характер. Вигини зразків з порожніх труб при одних і тих же навантаженнях були значно більшими, ніж вигини трубобетонних елементів. Для всіх випробуваних зразків було характерним рівномірне розподілення кривизни по висоті. В досліджених зразках не знайдено однак з'явлення шарніру пластичності в зоні дії найбільших моментів в середній частині зразків, що співпадає з висновками, одержаними для трубобетону суцільного перерізу іншими авторами.



Мал. 3. Порівняння експериментальних та теоретичних значень прогинів трубобетонних елементів, що мали діаметр 273 мм.

— експериментальні;
 - - - - - теоретичні значення



Мал. 4. Розрахункова схема гнучкого ексцентровано стиснутого елемента

Таким чином робота гнучких центрифужованих трубобетонних елементів залежить як від висоти зразка, так і від величини початкового ексцентриситету прикладення навантаження. На величину деформацій та вигинів впливає товщина бетонного шару. Бетонне ядро, що знаходиться в оболонці, незалежно від товщини шару бетону, перешкоджає втраті місцевої стійкості стінки труби.

В четвертій главі розглянено напружено-деформований стан стиснутих центрифужованих елементів з урахуванням гнучкості. В деяких випадках при розрахунку будівельних конструкцій потрібно враховувати напруження, деформації та переміщення в залежності від величини діючого навантаження. Але питання, зв'язані з оцінкою напружено-деформованого стану стиснутих гнучких елементів з центрифужованими ядрами до виконання цієї роботи не розглядалися.

При вирішенні задачі в пружній стадії прийняті наступні передумови та гіпотези теорії пружності:

- про суцільність та безперервність тіла до і після деформації;
- про дорівнювання нулю початкових напружень;
- між деформаціями та напруженнями прийнята лінійна залежність;
- використано принцип Сен-Венана про незалежність напружень від способу здійснення навантажень для точок, що досить удалені від місця прикладення цих навантажень;
- про магість порівнянчи з одиницею відносних переміщень, зсувів, кутів повернення тіла.

Розглянуто трубобетонний елемент довжиною l (мал. 4), представлений складеним циліндром з кругової сталеві труби-оболонки зовнішнім радіусом r_1 та центрифужованого бетону кільцевого перерізу з зовнішнім радіусом r_2 і внутрішнім r_3 . Прийнято, що бокова поверхня ділянки довжиною l вільна від зовнішніх напружень, а до основ прикладені моменти $M = N e_0$, які задовольняють умовам рівноваги. З збільшенням зусилля та розвитком вигинів момент дорівнює $M = N (e_0 + \nu)$. Вважається, що бетонний шар оклеєний із сталевю трубою-оболонкою. Нейтральна лінія ділить поперечний переріз елемента на чотири часті: 1; 3 - стиснута та розтягнена області бетону;

2; 4 - стиснута та розтягнена області труби. Вважаємо відомими модулі деформації і коефіцієнти поперечних деформацій для кожної з областей E_k, ν_k ($k = 1, 2, 3, 4$). Задача полягає в визначенні переміщень u, v, w , деформацій $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$, напружень $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$, інтенсивності деформації ϵ_i та інтенсивності напружень σ_i , які повинні задовольняти основним рівнянням теорії пружності.

Задача вирішена методом математичної теорії пружності. Вирішення задачі побудовано як комбінація рішень, розкладених по поліномам першого та другого ступенів в відповідності до теорії Н.І.Мусхелішвілі. При цьому використані функції комплексної перемінної.

Для визначення переміщень в областях S_k ($k = 1, 2, 3, 4$), отримані залежності:

$$u_k = Q_1 [2\lambda_k A_k + (2\lambda_k A_k' - \nu_k)x - \beta_k F_k' x / r^2] + \\ + Q_2 [2\lambda_k A_k'' + (2\lambda_k A_k'' - 2\beta_k A_k'' - 0,5\nu_k)x^2 - \\ - (2\lambda_k A_k'' + 2\beta_k A_k'' - 0,5\nu_k)y^2 - 0,5z^2 - \\ - \beta_k F_k'' (x^2 - y^2) / r^4];$$

$$v_k = Q_1 [(2\lambda_k A_k' - \beta_k A_k' - \nu_k)y - \beta_k F_k' y / r^2] + \\ + Q_2 [(2\lambda_k A_k'' - \nu_k)xy - 2\beta_k F_k'' xy / r^4];$$

$$w_k = Q_1 z + Q_2 x z,$$

де $r^2 = x^2 + y^2$

Відповідно рівнянням Коші отримані формули для обчислення деформацій.

Відповідно рівнянням Гука для обчислення напружень в кожній з областей ($k = 1, 2, 3, 4$) маємо:

$$\sigma_{kx} = \lambda_k \alpha_k + \epsilon_{kx} / \beta_k; \quad \tau_{kxy} = \gamma_{kxy} / 2\beta_k; \quad (6)$$

$$\sigma_{xy} = \lambda_k Q_k + \epsilon_{xy} / \beta_k ; \quad \tau_{kxz} = 0, \quad (7)$$

$$\sigma_{yz} = \lambda_k Q_k + \epsilon_{yz} / \beta_k ; \quad \tau_{kxy} = 0, \quad (8)$$

де $Q = \epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz}$; $\lambda_k = \epsilon_k \nu_k / ((1 + \nu_k)(1 - 2\nu_k))$.

В дисертації приведені залежності для визначення параметрів, що входять в наведені вище формули.

При вирішенні задачі в пластичній стадії використовується метод змінних параметрів пружності та гіпотеза "єдиної кривої", згідно з якою по теорії А.А.Ільшина залежність між інтенсивністю деформації та інтенсивністю напружень $\sigma_i - \epsilon_i$ подібна до залежностей між деформаціями та напруженнями $\sigma - \epsilon$. Використані також пропозиції Л.І.Стороженко про визначення модулів деформації E та коефіцієнтів поперечних деформацій ν , що змінюються з збільшенням напружень.

По наведеному алгоритму складена програма для оцінки напружено-деформованого стану позацентрово-стиснутих гнучких центрифужованих трубобетонних елементів з допомогою ЕОМ.

Зроблено співставлення експериментальних і теоретичних значень деформації і перемішень випробуваних зразків.

Співставлення експериментальних і теоретичних значень вигинів приведено на мал. 3. На всіх етапах навантаження експериментальні та теоретичні значення співпадають задовільно. Різниця не перевищує 6%.

Таким чином отримані залежності дозволяють повністю описати напружено-деформований стан гнучких позацентрово стиснутих елементів з центрифужованими ядрами.

В п'ятій главі освітлені питання, що пов'язані з визначенням несучої здатності трубобетонних елементів з врахуванням гнучкості. Відмічено, що зараз відомі роботи та запропоновані методи врахування гнучкості при розрахунку стиснутих трубобетонних елементів суцільного поперечного перетину. Такі рекомендації містяться в роботах Р.С.Санжаровського, Л.І.Стороженко, І.С.Ярового.

З аналізу наведених методів розрахунку зроблено висновок, що їх сутність полягає в зменшенні несучої здатності короткого елемента множенням на коефіцієнт, що менший оди-

ниці, який враховує гнучкість і визначається в залежності від висоти елементу та ексцентриситету діючого навантаження. Ці способи відповідають рекомендаціям, що знаходяться в нормах по розрахунку залізобетонних і металевих конструкцій. Такий підхід вибрано і нами при розробці рекомендацій по розрахунку гнучких центрифугованих трубобетонних елементів.

Найнадійніший і точний метод визначення несучої здатності гнучких центрифугованих трубобетонних елементів отримано на основі оцінки напружено-деформованого стану трубобетону, розробленого в цій роботі. Можливе визначення по-здовжніх та поперечних напружень, деформацій і переміщень в трубобетонних елементах в залежності від величини діючого зусилля як в пружній стадії, так і з врахуванням пластичних деформацій. Раніше було домовлено, що в якості несучої здатності приймаються зусилля, при яких в найнапруженішому волокні досягаються деформації, що відповідають початку плинності. Таким чином не важко при оцінці напружено-деформованого стану зафіксувати величину цього зусилля. Порівняння експериментальних і теоретичних значень несучої здатності, що були вираховані в результаті оцінки напружено-деформованого стану елементів показало, що вони співпадають задовільно.

Можливе визначення несучої здатності центрифугованих трубобетонних елементів на основі вже розробленого підходу до врахування гнучкості при їхньому розрахунку.

Розрахункова формула для визначення несучої здатності стиснутих центрифугованих елементів з врахуванням гнучкості представлена у вигляді:

$$N \leq \varphi_{\text{гг}} N_{\text{прст}}$$

де $N_{\text{прст}}$ - найбільша несуча здатність центрифугованого трубобетонного елементу при осьовому стисненні;

$\varphi_{\text{гг}}$ - коефіцієнт поздовжнього згину при позацентровому стисненні.

Коефіцієнт $\varphi_{\text{гг}}$ розраховується в залежності від приведеної умовної гнучкості $\lambda_{\text{ред}}$ та приведенного відносного ексцентриситету $e_{\text{ред}}$.

Значення $\lambda_{\text{ред}}$ і $e_{\text{ред}}$ визначаються із залежностей

$$\lambda_{red} = \lambda \sqrt{R_y / E_s} \quad (10)$$

де λ - приведена гнучкість

$$\lambda = \frac{l}{i_{red}}$$

l - розрахункова висота елемента;

i_{red} - приведений до сталі радіус інерції

$$e_{red} = \eta m,$$

де η - коефіцієнт, що визначається по СНІП П-23-81*.

$$m = e_0 A_{red} / W_{red},$$

де e_0 - початковий ексцентриситет діючого зусилля.

В залежності від λ_{red} і e_{red} визначається значення коефіцієнту ϕ_{ee} за графіками, що наведені в дисертації.

Питання про визначення несучої здатності труботонного центрифугованого елемента N_{per} глибоко вивчено в працях А.К. Халеда і О.І. Тесьолькіна. Значення N_{per} рекомендується вираховувати за формулою:

$$N_{per} = R_s A_s + \xi R_a m A_b,$$

де ξ - коефіцієнт, що враховує ефект об'єми в центрифугованому елементі.

Його значення отримані на основі обробки виконаних до цього часу досліджень центрифугованого труботону і наведені в дисертації.

Установлено, що експериментальні та теоретичні значення, вираховані за наведеними вище формулами, співпадають задовільно. Таким чином при розрахунках гнучких стиснутих центрифугованих труботонних елементів можуть використовуватись як більш точний метод, оснований на аналізі об'ємного напружено-деформованого стану конструкції, так і простіший метод, що має передумовою використання готових таблиць та графіків.

На сьогоднішній день доказано, що використання труботону в будівництві економічно доцільно.

За проханням Державного проектного Інституту "Дніпро-

цивільпроект" за нашою участю були запроєктовані замість залізобетонних колон трубобетонні стояки висотою 14,325 м з труб діаметром 540 мм, що підтримувать структурне покриття Дніпропетровського автовокзалу.

За пропозицією тресту "Кривбасшахтопроходка" нами були запроєктовані стояки із труб, що уже були у вжитку, заповнених центрифугованим бетоном для колон складів сіна в радгоспі ім. Леніна та в колгоспі "Україна". Колони мали висоту 7,60 м та діаметр 273 мм.

Центрифуговані колони для складів сіна (120 шт) були виготовлені на Апостоловському ЗБК Дніпропетровської області. Була налагоджена технологія заповнення труб бетоном методом центрифугування, яка нічим не відрізнялась від тієї, що використовувалась для виготовлення випробуваних нами дослідних зразків.

За результатами техніко-економічного аналізу установлено, що економічний ефект від будівництва одної трубобетонної колони на Дніпропетровському автовокзалі становив 3847 крб порівняючи з залізобетонними (за цінами 1984 р). При цьому витрати цементу зменшились на 5,4 т, а трудовитрати в 2,1 разів.

На один склад сіна загальний економічний ефект за приведеними витратами рівнявся 8124 крб. Витрати цементу скоротилися в 5,6, а трудовитрати в 1,8 разів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Подана до захисту робота присвячена дослідженню напружено-деформованого стану та несучої здатності гнучких стиснутих центрифугованих трубобетонних елементів і має, в основному, експериментальний характер. Основні результати роботи слідуєчі.

1. Заповнення труб бетоном методом центрифугування можливе на існуючому обладнанні. При цьому гарантується зниження трудовитрат та висока якість бетону в ядрі.

2. Під час експериментальних досліджень були випробувані зразки, що мали висоту 1,5...10 м, діаметр 273-426 мм, які уявляли собою фактично натурні стиснуті конструкції.

3. За результатами експериментальних досліджень встановлено, в якій мірі на несучу здатність гнучкого стиснутого центрифугованого елемента впливають висота, діаметр, ексцентриситет прикладеного навантаження. Труобетонні елементи мали в 2...2,5 рази більшу несучу здатність, ніж аналогічні конструктивні елементи з порожніх труб.

4. В центрифугованих стиснутих елементах на всіх етапах завантаження бетон і сталь працюють сумісно. Епюри деформації по поперечному перетину були близькі до трикутних, а нейтральна вісь зміщена в бік стиснутої зони. Залежність між зусиллями, деформаціями та зміщеннями на всіх етапах роботи елемента була криволінійною, що пояснюється специфікою роботи під навантаженням бетонного ядра та всього елемента в цілому.

5. Наведений в дисертації метод оцінки напружено-деформованого стану стиснутих центрифугованих труобетонних елементів з врахуванням гнучкості дозволяє з допомогою ЕОМ враховувати поздовжні та поперечні напруження, деформації та зміщення на всіх етапах завантаження конструкції та їхню несучу здатність з врахуванням об'ємного напруженого стану бетону і сталі та пластичних деформації, що при цьому розвиваються.

6. Запропоновано спрощений метод визначення несучої здатності стиснутих центрифугованих труобетонних елементів з використанням готових таблиць та графіків, що забезпечує задовільне співпадання теоретичних і експериментальних значень.

7. Центрифуговані труобетонні елементи раціонально використовувати в конструкціях, що сприймають великі стискаючі зусилля. При цьому отримується значний техніко-економічний ефект, що полягає в економії матеріалів, трудовитрат та зниженні вартості.

Основні положення дисертації опубліковані в наступних працях.

1. Краснопольский В.Н., Масич Л.В., Тарановский О.Л.
К вопросу о влиянии качества заполнителей на прочность бетона. Деп. рук. 8395, ВНИС Госстроя СССР, вып. 8, 1988.

2. Масич Л.В., Краснопольский В.Н., Тарановский О.Л.
Исследование влияния свойств мелких заполнителей бетонов на расход вяжущего. Деп. рук. 8396, ВНИС Госстроя СССР, вып. 8, 1988.

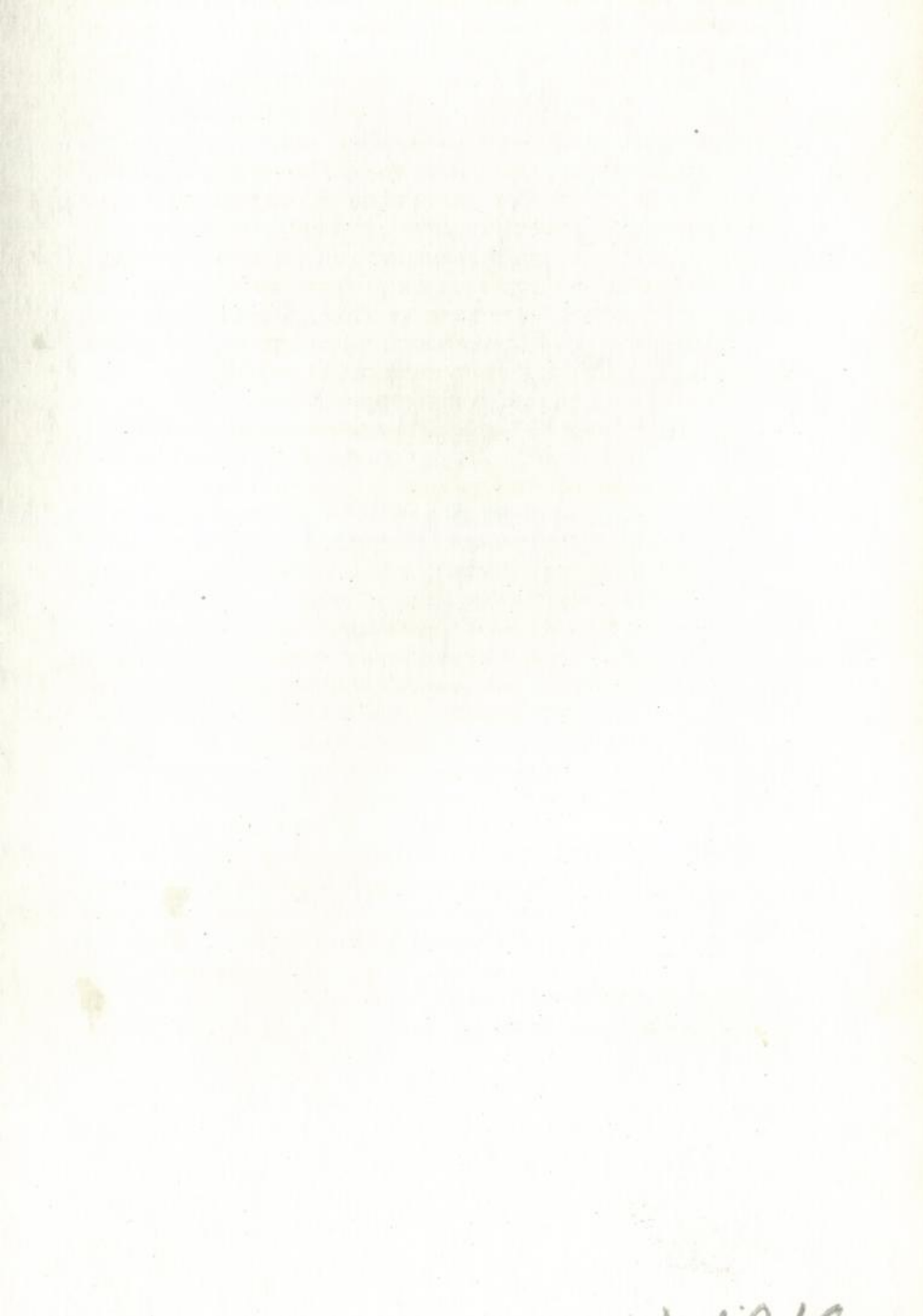
3. Харченко С.А., Тарановский О.Л. Трубобетонные элементы с упрочненными ядрами //Тезисы докл. респ. научн.-техн. конф. Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в строительную практику. - Полтава, 1989. - Часть I. - С. 182.

4. Стороженко Л.И., Тарановский О.Л. Сжатые элементы из центрифугированного трубобетона //Тезисы докл. 42 научн. конф. Полтавского ИСИ. - Полтава, 1990. - Сб. - С. 108.

5. Стороженко Л.И., Тарановский О.Л. Работа гибких сжатых трубобетонных элементов с центрифугированными ядрами //Тезисы докл. 43 научн. конф. Полтавского ИСИ. - Полтава, 1991. - Сб. - С. 131.

6. Харченко С.А., Тарановский О.Л. Особенности работы сжатых центрифугированных трубобетонных конструкций //Тезисы докл. 44 научн. конф. Полтавского ИСИ. - Полтава, 1992. - Сб. ч. 2. - С. 141.

м. ригія РІг вул. ХХІ ПартаІз у ІІ
Замова. № 36 РПІ КГРІ примірників ІОІ
Підліано до друку 24. П. 93 р.



AB 26.880