

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПАЛИВОДА ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 624.015.5

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН І НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ
ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗІ ЗМІЦНЕНИМИ ОСЕРДЯМИ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Державному вищому навчальному закладі «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Єфіменко Віктор Іванович,
Державний вищий навчальний заклад
«Криворізький національний університет»
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри архітектури та містобудівництва

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Єрмоленко Дмитро Адольфович,
Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри автомобільних доріг,
геодезії, землеустрою та сільських будівель

кандидат технічних наук, доцент
Андрійчук Олександр Валентинович,
Луцький національний технічний університет
Міністерства освіти і науки України,
доцент кафедри автомобільних доріг та аеродромів

Захист відбудеться 30 вересня 2016 року в ауд. 5.303 о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.062.12 у Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розісланий «__» серпня 2016 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент

О.В. Степанчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В сучасному будівництві виникає необхідність застосовувати стиснені елементи, які б мали велику несучу здатність. Цим вимогам повністю відповідає труботетон, що складається зі сталевих труб, заповнених бетоном. Завдяки своїм чисельним перевагам (підвищена міцність бетону осердя за рахунок об'ємного напруженого стану, відсутність опалубки при будівництві, значна економія працевитрат та енергії при зведенні) труботетон отримав широке розповсюдження в будівництві як у нашій країні, так і за її межами. Одним із недоліків труботетону, який дещо стримує його застосування, є значні витрати сталі, що підвищує вартість всього будівництва.

Відомо, що в стиснутих труботетонних елементах діюче зусилля сприймається як трубою оболонкою, так і бетонним осердям. Якщо якимось чином збільшити несучу здатність осердя, то можна зменшити витрати сталі для отримання труботетонного елемента з наперед заданою несучою здатністю. Тому використання зміцненого осердя приведе до значного скорочення витрат сталі й економії коштів при зведенні конструкції. Таким чином, дослідження стиснутих труботетонних елементів зі зміцненим осердям є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами. Дисертаційні дослідження виконані автором у рамках пріоритетного напрямку науки і техніки України згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 409 від 5 травня 1997 р. «Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та мереж». Робота виконувалася в рамках науково-дослідних тем Криворізького національного університету: «Обстеження та визначення технічного стану конструкцій і споруд ПАТ «Суша балка», розробка рішень по продовженню терміну їх експлуатації» (державний реєстраційний номер 0115U003965), «Обстеження, паспортизація будівель та споруд ПАТ «Кривбасзалізрудком» з розрахунком залишкової несучої здатності будівельних конструкцій, розробка схем посилення пошкоджених конструкцій» (державний реєстраційний номер 0113U007661).

Мета роботи – розробити конструктивні способи підвищення міцності бетонного осердя труботетонних елементів та дослідити експериментальним і теоретичним шляхом особливості роботи під навантаженням труботетонних елементів зі зміцненим осердям.

Задачі дослідження:

- запропонувати конструктивні рішення труботетонних елементів зі зміцненими осердями;
- провести експериментальні дослідження визначення несучої здатності та особливостей деформування запропонованих стиснутих труботетонних елементів зі зміцненими осердями та обрати найефективніші технічні рішення;
- виявити характер руйнування та закономірності зміни напружено-деформованого стану досліджуваних елементів;
- розробити аналітичні та чисельні методи оцінки напружено-деформованого стану і методику розрахунку міцності досліджуваних конструктивних елементів;
- розробити інженерну методику розрахунку центрально стиснутих труботетонних елементів зі зміцненими осердями;

– здійснити впровадження результатів дисертаційного дослідження в практику проектування і будівництва.

Об'єкт дослідження – стиснуті трубобетонні елементи зі зміцненими осердями.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан та несуча здатність стиснутих трубобетонних елементів зі зміцненими осердями.

Методи дослідження – експериментальні й теоретичні дослідження напружено-деформованого й граничного станів стиснутих трубобетонних елементів зі зміцненими осердями. Теоретичні принципи досліджень граничного стану базуються на методі граничної рівноваги, розрахунок напружено-деформованого стану ведеться на ПК із використанням деформаційної моделі, враховуючи реальні діаграми деформування матеріалів.

Наукова новизна отриманих результатів:

– запропоновані нові конструктивні рішення стиснутих трубобетонних елементів зі зміцненим осердям, в яких забезпечується сумісна робота сталеві оболонки та ядра.

– визначені експериментально впливи різних конструктивних схем на деформативність та несучу здатність розглянутих елементів.

– отримані нові результати експериментально-теоретичних досліджень напружено-деформованого стану стиснутих трубобетонних елементів зі зміцненим осердям.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Запропоновані нові конструктивні рішення стиснутих трубобетонних елементів зі зміцненим осердям.

2. Представлені пропозиції щодо інженерного розрахунку стиснутих трубобетонних елементів зі зміцненим осердям.

3. Запропоновані конструктивні рішення стиснутих трубобетонних елементів зі зміцненим осердям для впровадження у будівництво.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у частині розробки проектної пропозиції несучих конструкцій каркасу опорної башти газовідвідних установок конвертеру №5 на ПАТ «АрселорМіттал» по вул. Криворіжсталі, 1 у м. Кривий Ріг. Окремі пропозиції були включені до проектної документації щодо зведення трубобетонних розпірок вентиляційного каналу у проекті: «Реконструкція ПАТ «Кривбасзалізрудком». Будівництво головної вентиляційної установки Північного вентиляційного стволу шахти «Експлуатаційна». Результати роботи використовуються в навчальному процесі Криворізького національного університету при викладанні дисципліни «Будівельні конструкції. Спецкурс» магістрантам будівельникам.

Загальний економічний ефект від упровадження досліджень автора в будівництво склав 47,3 тис. грн.

Особистий внесок здобувача. Запропоновані способи зміцнення осердя трубобетонних елементів, проведений значний обсяг експериментальних досліджень трубобетонних елементів зі зміцненими осердями, виявлені особливості їхньої роботи під навантаженням.

Результати виконаних досліджень, викладених в дисертації, представлені у ряді наукових публікацій. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать:

- проведений аналіз конструктивних рішень трубобетонних елементів зі зміцненими осердями [1, 2];
- виконаний аналіз напружено-деформованого стану елементів різних конструктивних форм [3–5];
- на основі значного обсягу експериментальних досліджень виявлено вплив окремо кожної з досліджуваних характеристик на ефективність та несучу здатність трубобетону [6, 8];
- розроблені чисельні й аналітичні методи розрахунку досліджуваних елементів [7, 9];

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи висвітлювались на міжнародних науково-технічних конференціях: IX міжнародна науково-практична конференція «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація», 7–9 жовтня 2014 р. м. Полтава; IV міжнародна науково-практична конференція «Створення високотехнологічних екокомплексів в Україні на основі концепції збалансованого (стійкого) розвитку», 18–20 травня 2015 р. м. Київ; Міжнародна науково-технічна конференція «Сталий розвиток промисловості та суспільства», 21–22 травня 2015 р. м. Кривий Ріг.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 9 праць у співавторстві, 8 з яких – у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, в т. ч. 1 у виданні, що включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 225 найменувань і 1 додатку. Повний обсяг роботи складає 165 сторінок друкованого тексту. У тому числі 119 сторінок основного тексту, 19 повних сторінок з рисунками і таблицями, 25 сторінок списку використаних літературних джерел, 2 сторінки додатку.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми; визначено мету, завдання, об'єкт, предмет та методи досліджень; наведено зв'язок із державними науковими програмами та особистий внесок здобувача; описано наукову новизну, практичне значення результатів, а також апробацію та впровадження дисертаційного дослідження.

У **першому розділі** здійснено огляд літературних джерел, в яких розглянуто загальні відомості про трубобетонні конструкції та їх дослідження. Наведено їх переваги та недоліки, область застосування. Експериментальним і теоретичним дослідженням трубобетонних конструкцій та пов'язаних з ними питань міцності й деформативності бетону і сталі присвятили роботи О.М. Алперіна, Ю.Г. Аметов, І.Д. Белов, О.О. Гвоздев, О.А. Долженко, В.Н. Кебенко, Ф.Є. Клименко, О.І. Лапенко, Л.К. Лукша, І.Г. Людковський, А.Ф. Маренін, А.І. Міщенко, М.В. Микула, В.Ф. Пенц, Г.П. Передерій, В.В. Пінський, В.А. Росновський, В.Н. Рудаков, Р.С. Санжаровський,

О.В. Семко, Л.І. Стороженко, В.М. Сурдін, В.А. Труль, С.О. Харченко, Е.Д. Чихладзе, О.Л. Шагін, С.В. Шкіренко, І.С. Яровий та багато інших науковців. Відомі ґрунтовні роботи зарубіжних учених в області трубобетону, проведені в Західній Європі, США, Китаї, Японії (Kilpatrick A., Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Harris D.K., Z. Shantong, Matsumura H.).

Розглянуті можливі способи зміцнення осердя трубобетонних елементів, завдяки яким можлива суттєва економія сталі при створенні оболонки, що дозволить підвищити техніко-економічні характеристики конструкції. Цьому напрямку присвячені роботи Л.І. Стороженка, М.В. Микули, А.Л. Кришана, С.В. Ковриги, О.В. Демченко.

Проте проведений аналіз нормативної літератури та робіт вітчизняних і закордонних дослідників, свідчить про те, що не існує достатньої уваги дослідженню та широкому впровадженню в будівництво трубобетонних конструкцій зі зміцненими осердями.

За наслідками аналізу розглянутих джерел зроблені висновки, розкрита суть проблеми і сформульовані завдання дослідження.

Другий розділ присвячений опису програми експериментальних випробувань. Метою проведення експериментальних досліджень було встановити несучу здатність, а також виявити особливості зміни деформованого стану та характеру руйнування трубобетонних елементів при осьовому стиску в залежності від способу зміцнення осердя.

Для отримання експериментальних результатів, які дадуть можливість в достатній мірі судити про особливості роботи трубобетонних елементів при осьовому стиску в залежності від способу зміцнення осердя були запроектовані та виготовлені наступні групи зразків.

Група I. Зразки з осердям з високоміцного бетону.

Група II. Зразки з осердям, зміцненими поздовжньою стрижневою арматурою.

Група III. Багатошарові осердя різного типу. Ці зразки, в залежності від наявності додаткової труби в осерді розділені на дві підгрупи: IIIa і IIIб.

Структурно-логічна схема експериментальних досліджень наведена на рис. 1. В позначеннях серій зразків перший символ свідчить про те, до яких груп відносяться досліджувані зразки, а останні цифри – позначають характеристику прийнятих труби та бетону.

На рис. 2а наведений переріз зразків групи I, а в табл. 1 – їхні геометричні розміри та значення фізико-механічних характеристик бетону. Ці зразки мають позначення, наприклад ТБ-I-11. Діаметр труб в зразках цієї групи коливався в межах 110,6–204,4 мм, міцність бетону – в межах 50–80 МПа.

На рис. 2б наведений переріз зразків групи II, ядра в яких зміцнені за допомогою поздовжньої стрижневої арматури. Ці зразки мають позначення, наприклад ТБ-II-11. Їхні геометричні розміри та проектні значення фізико-механічних характеристик матеріалів наведені в табл. 1. Діаметр труб зразків цієї групи складав 159 мм, міцність бетону коливалась в межах 15–30 МПа.

Геометричні розміри та проектні значення фізико-механічних характеристик сталі та бетону зразків групи III наведені в табл. 2. Підгрупи цих зразків IIIa і IIIб відрізняються наявністю допоміжної внутрішньої труби, що зміцнює осердя.

В зразках групи Ша (рис. 2в, 2г), які мають позначення, наприклад ТБ-Ша-111, внутрішня труба відсутня, а осердя з центрифугованого бетону підсилене заповненням внутрішньої порожнини. Діаметр труб в зразках цієї групи складає 325 мм, а міцність бетону коливалась в межах 30 – 40 МПа.

Осердя зразків підгрупи ШБ (рис. 2д, 2е) зміцнені за допомогою додаткової внутрішньої труби. Ці зразки мають позначення, наприклад ТБ-ШБ-111. Діаметр їх зовнішніх труб даних складає 169 мм, а міцність бетону дорівнювала 20 МПа.

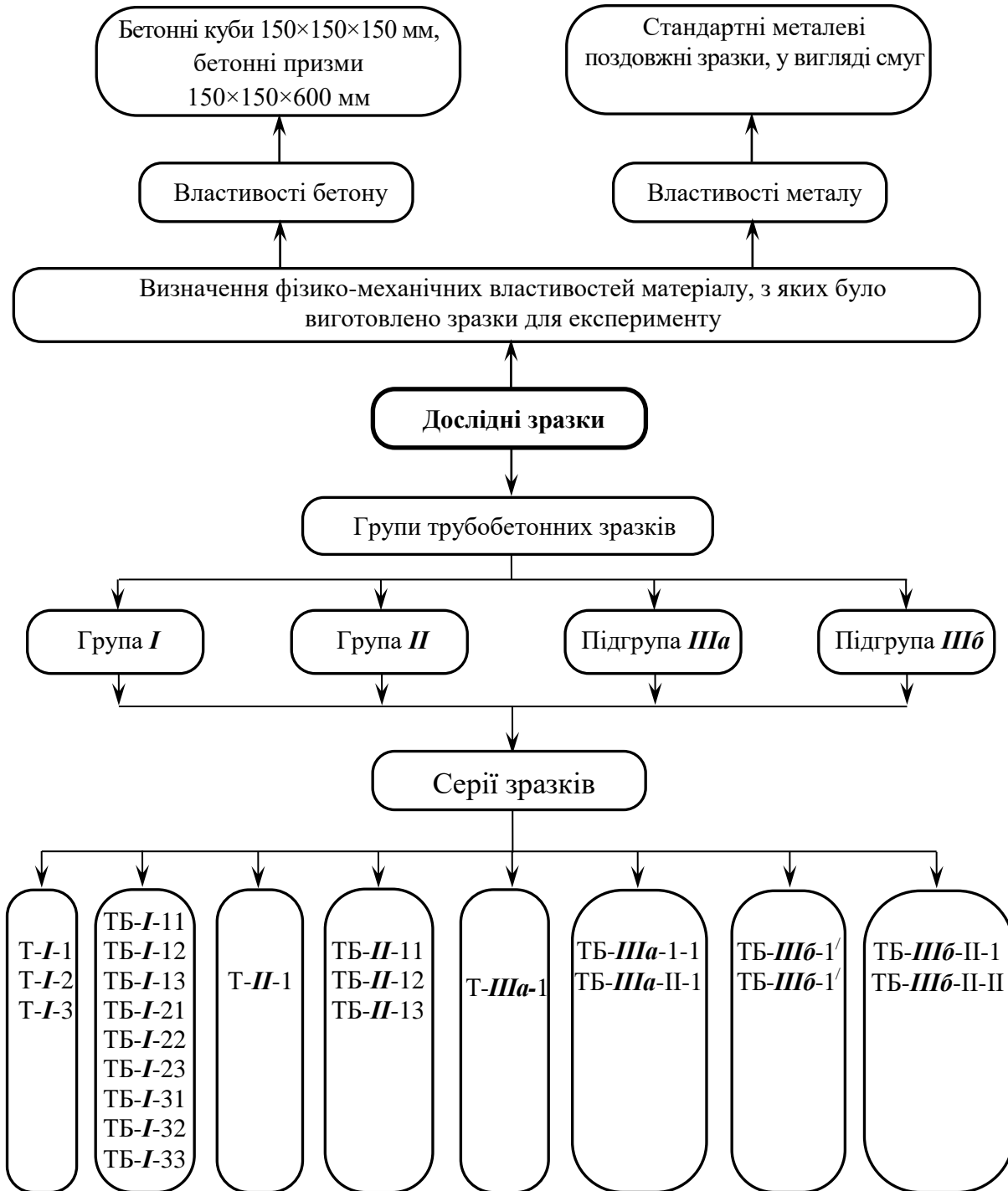


Рис. 1. Програма експериментальних досліджень стиснутих трубобетонних елементів

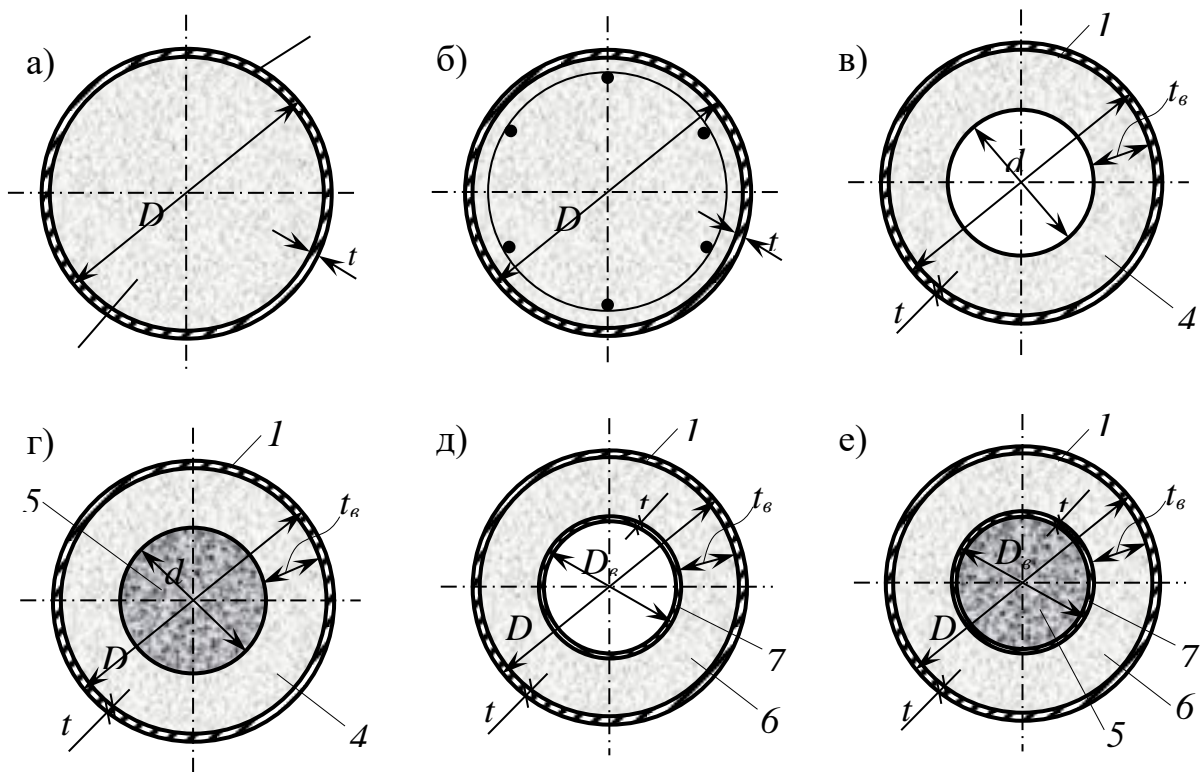


Рис. 2. Перерізи дослідних зразків:

- a* – групи I; *б* – групи II; *в* – групи III; *г* – підгрупи IIIа; *д* – підгрупи IIIб,
 1 – труба-оболонка; 2 – осердя з високоміцного бетону;
 3 – бетонне осердя з поздовжньою арматурою;
 4 – центрифужований бетон; 5 – бетон, що заповнює порожнину;
 6 – бетон між трубами; 7 – внутрішня труба

Одночасно з відповідними основними зразками планувалося виготовлення зразків із порожніх труб. Ці зразки мали маркування, наприклад Т-I-1 – труби першого діаметру для зразків першої групи. Для визначення фізико-механічних властивостей сталі вирізалися спеціальні смужки згідно ГОСТу.

Разом і з відповідними основними зразками планувалося виготовлення 3-х комплектів стандартних бетонних кубиків (150×150×150 мм) і призм (150×150×600 мм) для визначення фізико-механічних властивостей бетону. Призми мали маркування, наприклад Б-I-1 – бетон першого складу для зразків першої групи.

Відібрані для випробувань труби розрізались на частини потрібної довжини за допомогою механічної пилки. Бетон для заповнення труб виготовлявся в заводських умовах. Труби, об'єднані в пакети, заповнювалися бетоном через спеціально виготовлені лійки. Бетон ущільнювався за допомогою вібрування на вібростолі.

Всі зразки із порожніх і заповнених бетоном труб були пофарбовані за два рази «Кузбаслаком» для можливості спостереження в процесі випробування за появою ліній Людерса-Чернова.

Усі зразки витримували 28 діб і випробували у пресі ПММ-500. Під час випробувань вони завантажувалися через шарніри по фізичній вісі, положення якої устанавлювалося методом пробних завантажень. Загальний вигляд деяких зразків при осьовому завантаженні наведений на рисунку 3. Ступені завантаження

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

Виміри поздовжніх та поперечних деформацій елементів здійснювалися електротензорезисторами на базі 20 мм. Крім того, для контролю вимірювань поздовжніх деформацій використовувалися індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01.

Таблиця 1

Характеристика дослідних зразків груп I та II

Група зразків	Серія зразків	Зовнішній діаметр труби, D , мм	Товщина стінки труби, t , мм	Міцність бетону $f_{ck,prism}$, МПа
I	T-I-1	110,6	2,75	–
	T-I-2	163,0	5,50	–
	T-I-3	204,4	5,20	–
	ТБ-I-11	110,6	2,75	50,0
	ТБ-I-12	110,6	2,75	64,2
	ТБ-I-13	110,6	2,75	80,0
	ТБ-I-21	163,0	5,50	50,0
	ТБ-I-22	163,0	5,50	64,2
	ТБ-I-23	163,0	5,50	80,0
	ТБ-I-31	204,4	5,20	50,0
	ТБ-I-32	204,4	5,20	64,2
	ТБ-I-33	204,4	5,20	80,0
	II	T-II-1	159,0	4,00
ТБ-II-11		159,0	4,00	13,9
ТБ-II-12		159,0	4,00	24,3
ТБ-II-13		159,0	4,00	29,1

Примітка. Зразки групи II армовані поздовжньою стрижневою арматурою 6d12A-III.

Таблиця 2

Характеристика дослідних зразків групи III (підгрупи IIIa та IIIб)

Підгрупа зразків	Серія зразків	Характеристика зовнішньої труби $D \times t$, мм	Характеристика внутрішньої труби $D_e \times t_e$, мм	Міцність бетону кільця $f_{ck,prismI}$, МПа	Міцність бетону заповнення $f_{ck,prismI}$, МПа
IIIa	T-IIIa-I	325,0×8,0	–	–	–
	ТБ-IIIa-I-I	325,0×8,0	–	38,9	–
	ТБ-IIIa-II-I	325,0×8,0	–	38,9	28,8
IIIб	T-IIIб-I'	169,0×	–	–	–
	T-IIIб-I''	–	89,0×2,8	–	–
	ТБ-IIIб-II-I	169,0×6,0	89,0×2,8	21,0	–
	ТБ-IIIб-II-II	169,0×6,0	89,0×2,8	21,0	18,8

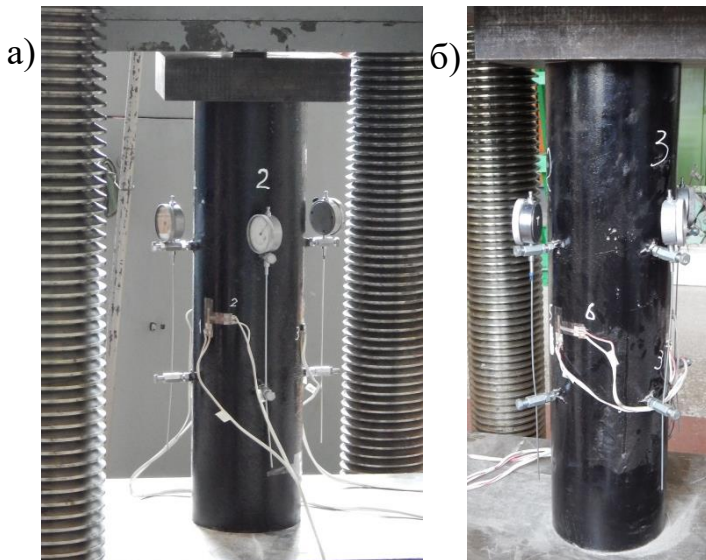


Рис. 3. Дослідні зразки під час випробовування:
а – ТБ-I-22; б – ТБ-IIIб-II-II

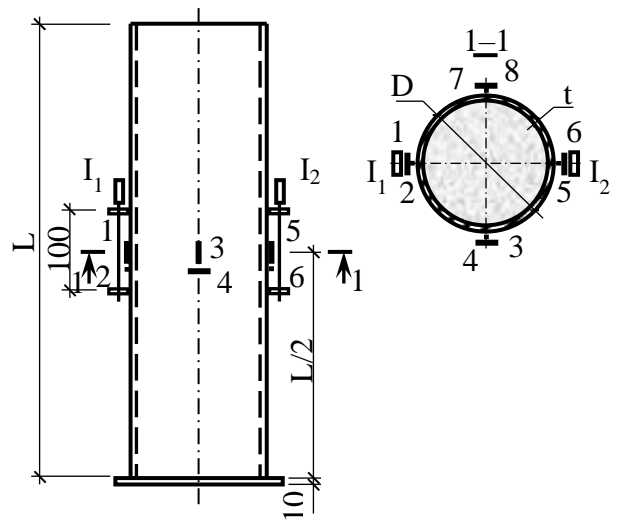


Рис. 4. Схема розташування вимірювальних приладів

У **третьому розділі** проведено аналіз напружено-деформованого стану та несучої здатності трубобетонних елементів зі зміцненими осердями за результатами експериментальних досліджень.

Як зазначалося, під час експерименту вимірювалися поздовжні й поперечні деформації зразків при осьовому завантаженні. Для аналізу особливостей деформування стиснутих трубобетонних елементів зі зміцненими осердями в дисертації наведені графіки залежностей поздовжніх і поперечних деформацій від навантаження ($N-\varepsilon$) та коефіцієнта поперечної деформації ν від відносного навантаження N/N_{max} для трубобетонних зразків серій усіх груп, включаючи серій з порожніх труб.

Узагальнюючи дані графічних побудов $N-\varepsilon$ для трубобетонних зразків усіх груп, варто зазначити, що поздовжні й поперечні залежності носять криволінійний характер. Поздовжні деформації протягом завантаження досягали значних величин, до $\varepsilon = 600 \times 10^{-5}$, в той час, коли деформації плинності стали досягаються при деформаціях в $200-220 \times 10^{-5}$. Значної величини досягали й поперечні деформації – переважно до 300×10^{-5} .

Характеризуючи залежності коефіцієнта поперечних деформацій ν для досліджуваних зразків групи I, потрібно сказати, що коефіцієнт ν зростає зі збільшенням навантаження та значно перевищує значення ν , що характерні для сталі й бетону (відповідно 0,3 та 0,2). Граничні значення цього коефіцієнту для зразків даної групи коливаються в межах 0,7–0,9, що свідчить про різке збільшення об'єму бетонного осердя та його поперечний тиск на оболонку завдяки утворенню макрота мікротріщин згідно з теорією О.Я.Берга. Це підтверджує те, що бетонне осердя знаходиться в об'ємному напруженому стані.

Щодо залежностей коефіцієнта ν для зразків групи II варто зауважити, що на об'ємний стан бетонного ядра впливає армування бетонного осердя поздовжньою стрижневою арматурою, оскільки коефіцієнти ν в граничному стані приблизно на

20 % менші, ніж в трубобетонних елементах з неармованими поздовжньою арматурою осердями.

Із залежностей коефіцієнта ν для зразків групи III аналогічно відзначаємо – заповнення віброваним бетоном порожнини осердя кільцевих елементів також впливає на об'ємний стан бетонного ядра, оскільки коефіцієнти ν в граничному стані приблизно на 10 % менші, ніж в трубобетонних елементах з незаповненою віброваним бетоном порожниною.

На рис. 5, 6 наведені характерні графіки залежності відносних деформацій дослідних зразків від навантаження.

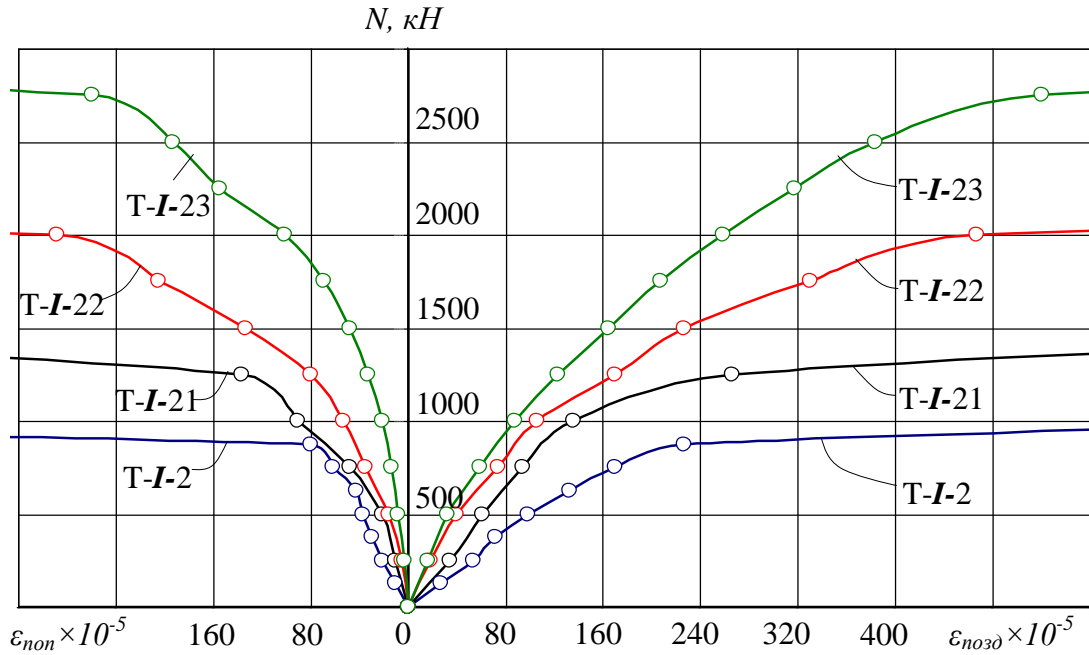


Рис. 5. Залежність деформацій ε від навантаження N в зразках серій ТБ-I-21, ТБ-I-22, ТБ-I-23, і Т-I-2

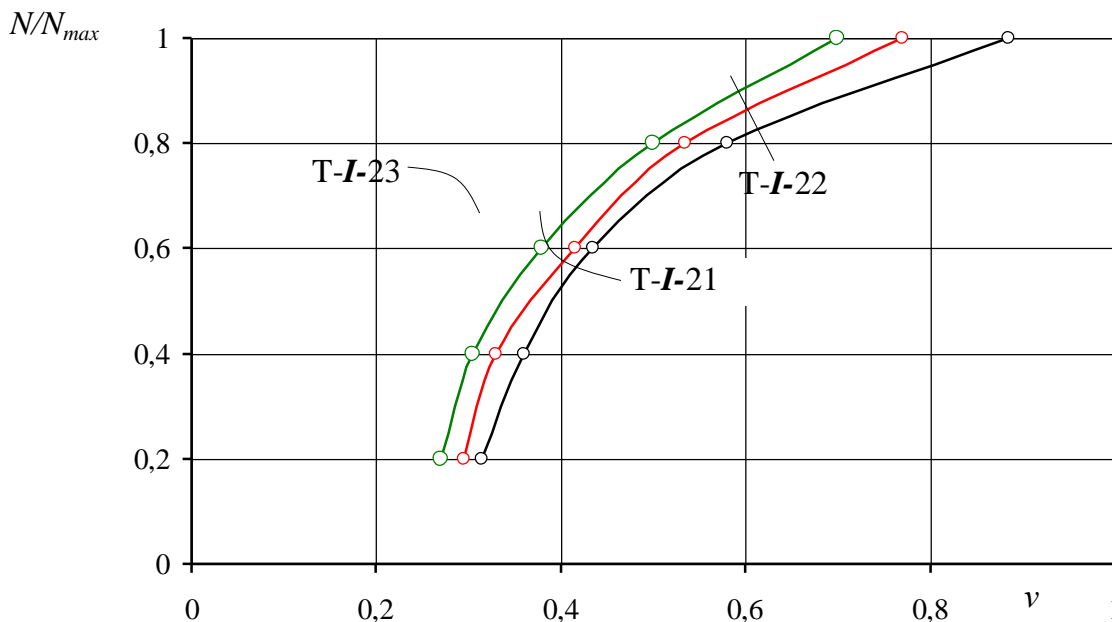


Рис. 6. Залежність коефіцієнта поперечної деформації ν від відносного навантаження N/N_{max} в зразках серій ТБ-I-21, ТБ-I-22, ТБ-I-23

Цікаво відмітити, що порожні труби мали несучу здатність в 1,5–3 разів менше, ніж труби таких самих діаметрів, заповнених бетоном.

При проведенні експериментальних досліджень фіксувалися два зусилля, при досягненні яких можна було вважати, що несуча здатність зразків досягається: N_1 і N_2 . При цьому значення N_1 відповідало досягненню значення поздовжніми деформаціями труби-оболонки величини, що відповідала межі плинності сталі, а N_2 – повному руйнуванню зразка. У випадку, коли руйнування у загально прийнятому значенні не відбувалося, за N_2 приймалося значення максимального зусилля, яке був здатний сприйняти випробовуваний елемент.

Таблиця 3

Експериментальні значення несучої здатності та коефіцієнтів ефективності випробовуваних зразків

Серія зразків	Несуча здатність, κH		Коефіцієнти ефективності		
	N_1	N_2	n	$m_{b.cf}$	$\eta_{b.cf}$
Т-I-1	188	-	-	-	-
Т-I-2	640	-	-	-	-
Т-I-3	1020	-	-	-	-
ТБ-I-11	652	770	0,85	2,30	4,13
ТБ-I-12	716	860	0,83	2,30	4,11
ТБ-I-13	869	980	0,89	2,20	3,69
ТБ-I-21	1840	2250	0,83	1,40	1,75
ТБ-I-22	2100	2450	0,86	1,38	1,60
ТБ-I-23	2400	2750	0,87	1,33	1,51
ТБ-I-31	2970	3250	0,91	1,29	1,49
ТБ-I-32	3386	3730	0,91	1,19	1,42
ТБ-I-33	3636	3920	0,93	1,16	1,41
Т-II-1	1560	-	-	-	-
ТБ-II-11	1080	1395	0,77	1,11	1,61
ТБ-II-12	1310	1595	0,82	1,12	1,42
ТБ-II-13	1490	1680	0,89	1,15	1,36
Т-IIIa-I	2150	-	-	-	-
ТБ-IIIa-I-I	4075	4800	0,85	2,23	1,50
ТБ-IIIa-II-I	4425	5500	0,80	2,56	2,00
ТБ-IIIб-II-I	1420	1950	0,73	1,35	1,89
ТБ-IIIб-II-II	1800	2320	0,78	1,61	2,77

Тісний зв'язок із вище зазначеним мають коефіцієнти ефективності роботи трубобетонних елементів, за значеннями яких (див. табл. 3) можна судити про раціональність використання трубобетону.

Перший з них характеризує роботу трубобетонного елемента в цілому:

$$m_{b.cf} = \frac{N_{pb.cf}}{R_s A_s + R_{b.cf} A_b}, \quad (1)$$

де $N_{pb,cf}$ – несуча здатність трубобетонного елемента; A_s, A_b – площі поперечного перерізу труби й бетону відповідно; $R_s, R_{b,cf}$ – розрахункові опори сталі й бетону відповідно.

Другий коефіцієнт враховує ефективність роботи бетону елемента:

$$\eta_{b,cf} = \frac{\sigma_b}{R_{b,cf}}. \quad (2)$$

Коефіцієнт n характеризує співвідношення між зусиллями N_1 , коли зразок набуває граничного стану за несучою здатністю при досягненні межі плинності в оболонці, до повного руйнування зразка N_2 .

$$n = \frac{N_1}{N_2}. \quad (3)$$

У зразках, де осердя було підсилене внутрішньою поздовжньою трубою, коефіцієнт ефективності роботи $m_{b,cf}$ вираховувався за формулою:

$$m_{b,cf} = \frac{N_{pb,cf}}{R_s A_s + R_{s1} A_{s1} + R_{b,cf} A_b}, \quad (4)$$

де R_{s1} і A_{s1} – відповідно розрахунковий опір сталі додаткової внутрішньої труби та площа її поперечного перерізу.

Аналізуючи роботу зразків групи I, варто зазначити наступне:

1. Як і слід було очікувати, їх несуча здатність зростала як зі збільшенням міцності бетону, так і зі збільшенням діаметру труб. При цьому несуча здатність зразків активніше зростала зі збільшенням діаметра труби, ніж зі збільшенням міцності бетону. Якщо від збільшення діаметра труби від 110,6 до 204,4 мм вона зросла приблизно в чотири рази, то зі збільшенням міцності бетону від 50 до 80 МПа – всього на 20 %. Різниця між зусиллями N_1 і N_2 в цих групах складала приблизно 20 %, а величина коефіцієнта n , як це видно з табл. 3, коливалася в межах 0,85–0,90, що є досить значною величиною для трубобетонних елементів.

2. Цікаво відмітити, що зі збільшенням міцності бетону та геометричних параметрів коефіцієнтів ефективності роботи $m_{b,cf}$ та $\eta_{b,cf}$ зменшуються, при цьому особливо різко ($m_{b,cf}$ – приблизно на 50 %, $\eta_{b,cf}$ – майже в три рази) їх значення зменшується зі збільшенням діаметра труби. Таким чином, особливо ефективно осердя працювало в трубах малого діаметру при невеликій міцності бетону.

3. На відміну від звичайних трубобетонних елементів, зразки з труб, заповнених високоміцним бетоном, руйнувалися хрумко в результаті виникнення нахиленої тріщини в бетонному ядрі. Це є одною з причин зменшення коефіцієнтів ефективності.

Щодо особливостей несучої здатності та ефективності роботи зразків групи II, слід зауважити про таке:

1. Несуча здатність зразків зростала зі збільшенням міцності бетону приблизно в 1,5 рази. Різниця між зусиллями N_1 і N_2 в цій групі зразків складала приблизно 15–20 %, а величина коефіцієнта n , як це видно з таблиці 3, коливалася в межах 0,77–0,89, що є суттєво більшою величиною, ніж для звичайних трубобетонних елементів.

2. У цьому випадку величина коефіцієнта $m_{b,cf}$ залишається майже однаковою, а значення коефіцієнта $\eta_{b,cf}$ знижується на 15–18 % зі збільшенням міцності бетону.

При цьому можна зазначити, що при наявності стрижневої арматури, ефективність роботи бетону в осерді трубобетонного елемента зменшується.

Аналізуючи ефективність роботи та несучу здатність зразків підгрупи IIIa, варто зауважити:

1. Як і слід було очікувати, несуча здатність зразків зросла приблизно на 10 % у випадку, коли внутрішня порожнина була заповнена бетоном. Різниця між зусиллями N_2 виявилася ще більшою – майже 15 %. Цікаво відмітити, що коефіцієнт n у цьому випадку відповідно дорівнював 0,85 і 0,80.

2. Для зразків серії ТБ-IIIa-1-1 $m_{b.cf} = 2,23$, а для зразків серії ТБ-IIIa-11-1 ця величина виявилася дещо більшою, $m_{b.cf} = 2,56$. При заповненні внутрішньої порожнини бетоном величина коефіцієнта ефективності роботи осердя також збільшилася від $\eta_{b.cf} = 1,50$ до $\eta_{b.cf} = 2,00$. Таким чином, у цьому випадку значення коефіцієнтів ефективності залежать від конструктивних особливостей осердя.

Аналізуючи ефективність роботи та несучу здатність зразків підгрупи IIIb, також відзначимо:

1. Несуча здатність зразків зросла на 28 % у випадку, коли внутрішня труба була заповнена бетоном. Різниця між зусиллями N_2 виявилася також суттєвою: близько 19 %. Цікаво відмітити, що коефіцієнт n у цьому випадку відповідно дорівнював 0,73 і 0,78.

2. Для зразків серії ТБ-IIIb-11-1 $m_{b.cf} = 1,35$, а для зразків серії ТБ-IIIb-11-11 ця величина виявилася дещо більшою, $m_{b.cf} = 1,61$. При заповненні внутрішньої порожнини бетоном величина коефіцієнта ефективності роботи осердя також збільшилася від $\eta_{b.cf} = 1,89$ до $\eta_{b.cf} = 2,77$. Таким чином, у цьому випадку значення коефіцієнтів ефективності також залежать від конструктивних особливостей осердя.

Четвертий розділ присвячено чисельному моделюванню напружено-деформованого стану досліджуваних елементів та розробці інженерної методики їх несучої здатності.

Розрахунок напружено-деформованого стану та оцінка несучої здатності чисельним методом виконано із застосуванням програмного комплексу SCAD, в якому реалізовано алгоритм методу кінцевих елементів. Конструктивно модель дослідних зразків обрано у вигляді складеного тіла. Тобто дослідні зразки представлено у вигляді укрупнених блоків: осердя та зовнішня оболонка (серія I); осердя, зовнішня оболонка та додаткове стрижневе армування (серія II); осердя кільцевого перерізу, зовнішня оболонка та заповнення (серія IIIa); осердя кільцевого перерізу, внутрішня і зовнішня оболонки та заповнення (серія IIIb).

При формуванні кінцево-елементної схеми використано просторові елементи двох типів: шестикутний (рис. 7, а); восьмикутний (рис. 7, б).

Під час моделювання конструкцій передбачалось, що вони працюватимуть у пружно-пластичній стадії, тому при задаванні характеристик матеріалів було враховано криволінійну залежність між навантаженнями та деформаціями. З-поміж фізико-механічних характеристик матеріалів було задано: початковий модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, напруження на межі текучості.

Діаграма роботи бетону та сталі задавалася за даними випробувань лабораторних зразків у вигляді діаграми Прандтля.



Рис. 7. Типи кінцевих елементів

Розрахункову схему було побудовано таким чином, щоб повністю повторити експериментальні дослідження. Навантаження передається на верхній обріз дослідного зразка. Для цього на верхній обріз додано жорстке тіло у вигляді тривимірного, але із в'язями лише у напрямку головної вісі Z .

Спосіб спирання крайніх обрізів дослідних зразків суттєво впливав на результати оцінки несучої здатності чисельним методом. Так в ході чисельних експериментів вузли верхнього та нижнього обрізів було закріплено від лінійних та кутових переміщень. Лінійні в'язі встановлювались у напрямку трьох координатних осей. Очевидно, що кількість лінійних в'язей в кожному вузлі має свій вплив. Так при закріпленні вузлів крайніх обрізів в граничному стані дослідний зразок деформувався у вигляді «діжки». Якщо встановити обмеження на лінійні переміщення вузлів крайніх обрізів уздовж поздовжній вісі Z , тоді в процесі деформування зразок лише збільшує товщину. Такий характер деформування більш відповідає результатам фізичних експериментів.

Крім того, варто зазначити, що поява таких гофр у приопорній зоні значно збільшує напруження в трубі-оболонці порівняно із середньою (за висотою) ділянкою. Таке перевищення сягає 15–20%. Як наслідок, знижується несуча здатність трубобетонних елементів зі зміцненими осердями при чисельних експериментальних дослідженнях. Тому в проведених дослідженнях застосовувались в'язі лише уздовж вісі Z .

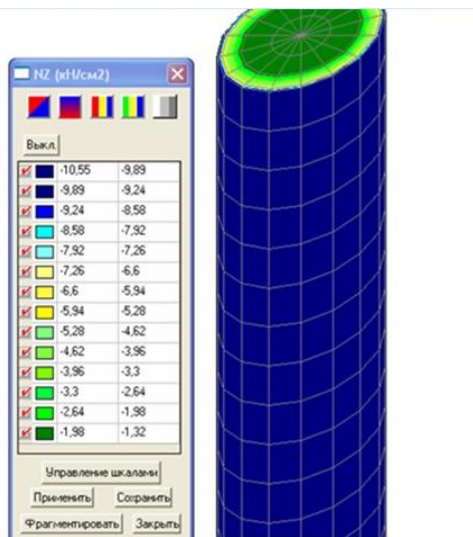


Рис. 8. Розподіл напружень по трубобетонному елементу зі зміцненим осердям серії ТБ-І-22

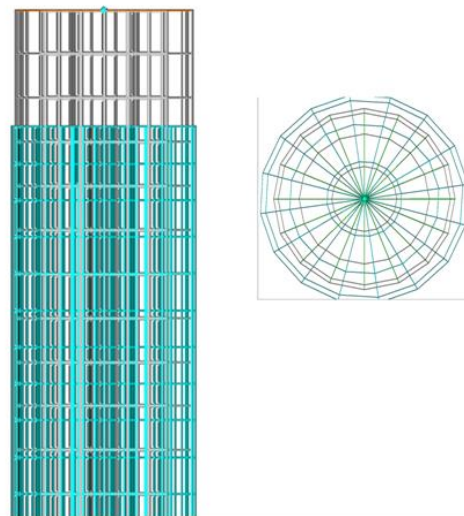


Рис. 9. Розподіл деформацій по трубобетонному елементу зі зміцненим осердям (група І)

Характерний розподіл напружень та деформацій по тілу дослідного зразка за результатами чисельних експериментів наведено на рисунках 8 та 9 відповідно.

Результати обчислення несучої здатності трубобетонних елементів із зміцненими осердями усіх трьох серій наведено у таблиці 4.

Таблиця 4

Порівняння значень несучої здатності випробуваних зразків

Серія зразків	Несуча здатність (N_I), κH			Різниця, %	
	експериментальна, N_I^{exp}	теоретична за умови пружної роботи бетону, N_I^{teor1}	теоретична за умови пластичної роботи бетону, N_I^{teor2}	N_I^{exp} та N_I^{teor1}	N_I^{exp} та N_I^{teor2}
ТБ-I-11	652	721	694	10,6	6,4
ТБ-I-12	716	768	739	7,2	3,2
ТБ-I-13	869	922	894	6,1	2,9
ТБ-I-21	1840	2066	2009	12,3	9,2
ТБ-I-22	2100	2230	2207	6,2	5,1
ТБ-I-23	2400	2566	2582	6,9	7,6
ТБ-I-31	2970	3273	3196	10,2	7,6
ТБ-I-32	3386	3694	3572	9,1	5,5
ТБ-I-33	3636	3832	3789	5,4	4,2
ТБ-II-11	1080	1176	1149	8,9	6,4
ТБ-II-12	1310	1357	1359	3,6	3,7
ТБ-II-13	1490	1568	1542	5,2	3,5
ТБ-IIIa-I-I	4075	4536	4450	11,3	9,2
ТБ-IIIa-II-I	4425	4753	4691	6,0	7,4
ТБ-IIIб-II-I	1420	1536	1522	8,2	7,2
ТБ-IIIб-II-II	1800	1913	1908	6,3	6,0

З урахуванням вказаних розбіжностей, можна зауважити: для зменшення кількості експериментальних зразків можна використовувати чисельне моделювання з допомогою програм кінцево-елементного аналізу та проводити дослідження з більш широким спектром факторів, що несуть вплив на несучу здатність трубобетонних елементів.

У **п'ятому розділі** наведено аналітичні методики оцінки напружено-деформованого стану центрально стиснути трубобетонних елементів зі зміненим осердям та інженерна методика визначення їх несучої здатності.

Розроблено аналітичну методику визначення несучої здатності трубобетонних елементів зі зміцненими ядрами шляхом встановлення напружено-деформованого стану окремих елементів поперечного перерізу. Оцінка напружено-деформованого стану трубобетонних конструкцій зі зміненими осердям різними способами виконується за одним алгоритмом (рис. 10). Сформульовано передумови до оцінки, основними з яких є: матеріали, які використано для виготовлення трубобетонних елементів, представляються собою ізотропні тіла; роботу під навантаженням сталевий стрижневої арматури та сталевий оболонки представлено у вигляді діаграми

Прандтля; роботу під навантаженням бетону представлено у вигляді власної діаграми роботи; бетонне осердя, стрижневе армування та сталеві оболонки на всьому періоду завантаження працюють сумісно; протягом всього процесу деформування бетонне осердя працює із конструкційною та арматурною сталю сумісно; труба-оболонка працює в плоскому напруженому стані; бетонне осердя – в об'ємному; додаткове стержнєве армування – в одновісному на стиск тощо. Для визначення величини контактної зусилля використано залежності, які викладено в роботі Вайнберга Д.В.

Для оцінки несучої здатності трубобетонних елементів зі зміцненими ядрами за інженерною методикою сформульовано такі передмови: в якості несучої здатності приймається момент досягнення трубою-оболонкою текучості; поздовжня вісь трубобетонного елемента зі зміцненим осердям залишається прямою до самого моменту руйнування; труби-оболонки із бетонним осердям працюють сумісно, крім випадків, які зазначаються окремо; зміцнене бетонне осердя трубобетонних елементів знаходиться в умовах об'ємного напружено-деформованного стану; сталева труба-оболонка працює в умовах двовісного напруженого стану, а стрижневе армування – в умовах лінійного напруженого стану і сприймає лише поздовжні зусилля.

Несуча здатність трубобетонних елементів зі зміцненим осердям різними способами визначається за такими формулами:

а) трубобетонні елементи з осердям з високоміцного бетону:

$$F \leq a_c \cdot A_c \cdot f_{cd} + a_a \cdot A_a \cdot f_{yd} \quad (5)$$

б) трубобетонні елементи з осердям, що армовані поздовжньою арматурою:

$$F \leq A_c \cdot f_{cd}^* + a_a \cdot A_a \cdot f_{yd} + a_s \cdot A_s \cdot f_{sd} \quad (6)$$

в) трубобетонні елементи з багатошаровим осердям:

$$F \leq a_c \cdot A_c \cdot f_{cd} + a'_c \cdot A'_c \cdot f_{cd} + a_a \cdot A_a \cdot f_{yd} \quad (7)$$

г) трубобетонні елементи з осердям, що армовано додатковою оболонкою:

$$F \leq a_c \cdot A_c \cdot f_{cd} + a_a \cdot A_a \cdot f_{yd} + a'_a \cdot A'_a \cdot f_{yd} \quad (8)$$

де A_c, A_a, A_s – площа поперечного перерізу бетону, конструкційного сталевого профілю та арматурної сталі; f_{cd} – розрахункове значення міцності бетону на стиск; f_{yd} – розрахунковий опір конструкційної сталі на границі текучості; a_c, a'_c, a_a – коефіцієнти, які характеризують ступінь використання міцності бетону, конструкційної сталі та арматурної сталі. В роботі дано рекомендації для призначення величини коефіцієнтів, що характеризують ступінь використання міцності бетону, конструкційної сталі та арматурної сталі.

Розроблено інженерний метод визначення несучої здатності стиснутих трубобетонних елементів зі зміцненим ядром шляхом приведення розрахункового поперечного перерізу до сталевого. Тоді несучу здатність визначають за формулою:

$$F \leq f_{yd} \cdot A_{red} \quad (9)$$

де f_{yd} – розрахунковий опір конструкційної сталі на границі текучості; A_{red} – площа поперечного перерізу, приведена до сталі зовнішньої труби (визначається залежно від конструктивного вирішення зміцнення осердя трубобетонного елемента).

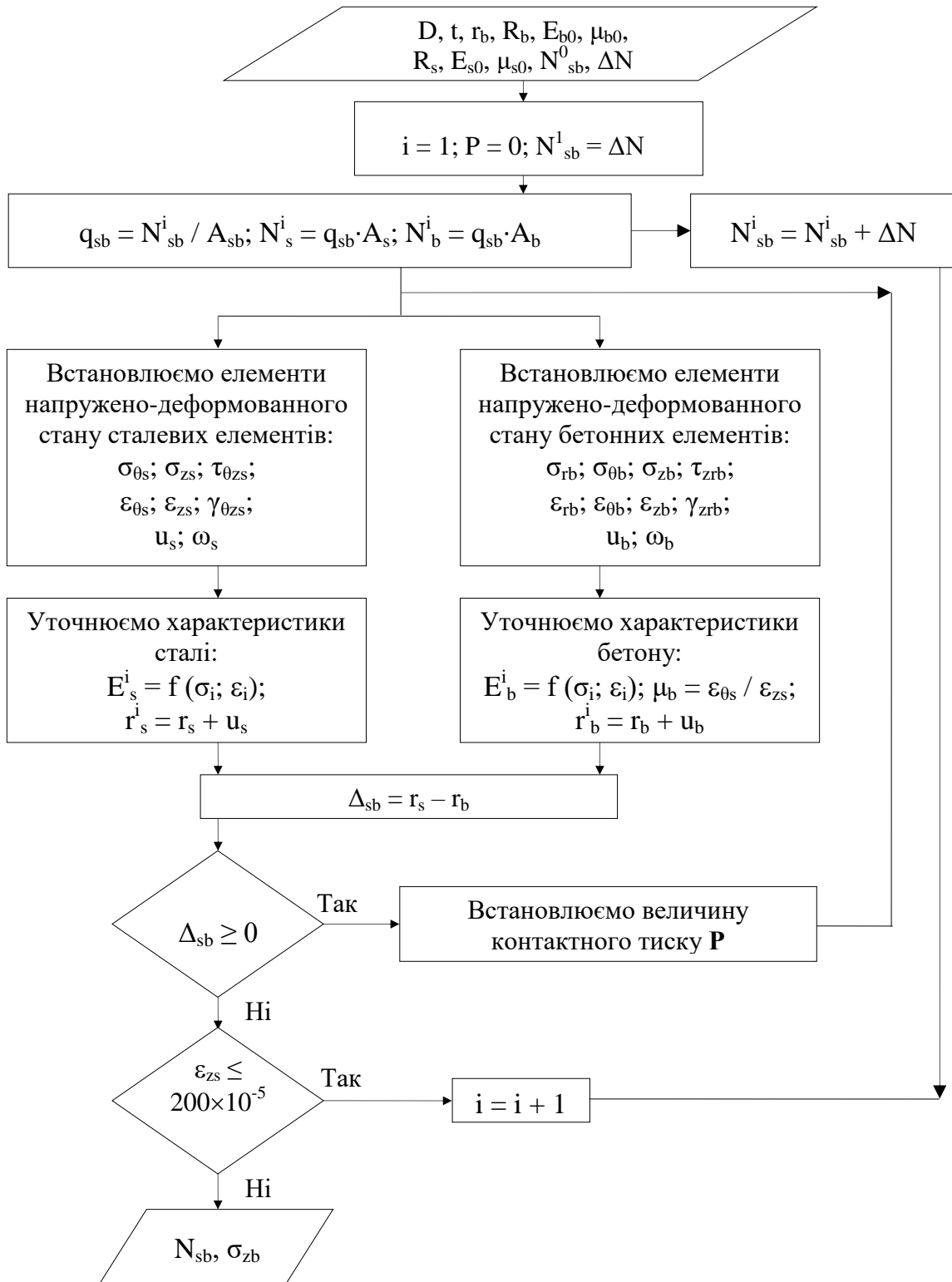


Рис. 10. Блок-схема алгоритму розрахунку трубобетонних елементів зі зміцненими ядрами

Запропоновані методики визначення несучої здатності та ефективності роботи бетону в трубобетонних елементах зі зміцненими ядрами забезпечують задовільний збіг теоретичних та експериментальних даних.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені у частині розробки проектної пропозиції несучих конструкцій каркасу опорної башти факельної труби газовідвідних установок конвертерів у вигляді шестигранної решітчастої призматичної конструкції з поясами із трубобетонних стійок зі зміцненим осердям.

ВИСНОВКИ

В дисертації отримано результати експериментальних і теоретичних досліджень трубобетонних елементів зі зміцненими осердями. Аналіз отриманих результатів дає можливість зробити наступні висновки:

1. Запропоновані ефективні конструктивні рішення трубобетонних елементів зі зміцненими осердями: з ядром із високоміцного бетону, з центрифугованим бетонним ядром, з ядром, підкріпленим поздовжньою стрижневою арматурою, з ядрами, підкріпленими внутрішніми сталевими трубами. Використання зміцненого осердя приводить до значного зменшення витрат матеріалів і економії коштів при зведенні конструкції та збільшення несучої здатності до 20 %.

2. Результати експериментальних досліджень підтвердили підвищену міцність трубобетону в порівнянні із звичайним залізобетоном при використанні всіх випробуваних способів зміцнення ядра. При використанні осердя з високоміцного бетону несуча здатність елемента збільшується на 18 %, хоч ефективність роботи бетонного ядра зі збільшенням міцності бетону зменшується на 14 %. Особливості деформування елемента з осердям із високоміцного бетону приблизно такі ж, як і при бетонах звичайної міцності, але характер руйнування зовсім інший, хрумкий, що негативно позначається на надійності таких елементів. За рахунок армування осердя поздовжньою стрижневою арматурою можна значно підвищити міцність осердя, несуча здатність трубобетонного елемента зростає на 11 %. Але ефективність роботи бетону осердя в цьому випадку знижується на 9 %. Ефективно працюють при стиску трубобетонні елементи з центрифугованими осердями. Їх несучу здатність можна підвищити на 16–20 %, підсилюючи осердя внутрішніми трубами із заповненими бетоном внутрішніми порожнинами. Такі елементи кільцевого перерізу особливо ефективні, коли необхідно отримати високу несучу здатність при обмеженому поперечному перерізі.

3. При всіх способах підвищення міцності осердя за втрату несучої здатності трубобетонних елементів слід приймати досягнення стану межі плинності оболонки, як це прийнято при розрахунку сталевих конструкцій, хоч в цей момент і не відбувається фактичне повне руйнування конструкції. Таким чином забезпечується додаткова надійність трубобетонних конструкцій при сприйнятті навантаження.

4. Чисельні методи дослідження трубобетонних елементів зі зміцненими ядрами дали можливість отримати уявлення про особливості роботи конструкцій під навантаженням та про особливості перерозподілення напружень між окремими складовими досліджуваних зразків. Розроблені аналітичні методи оцінки напружено-деформованого стану трубобетонних елементів зі зміцненими осердями дають змогу визначати напруження в їх поперечних перерізах, при цьому теоретичні значення задовільно співпадають з результатами експерименту.

5. Розроблені методи інженерного розрахунку міцності досліджуваних елементів дозволяють врахувати особливості сумісної роботи бетону та сталі в комплексній конструкції і дають задовільні результати у порівнянні із результатами експериментальних досліджень. Різниця не перевищувала 8 %. При визначенні способу зміцнення ядра при проектуванні слід враховувати індивідуально як особливості умов роботи конструкції, так і її техніко-економічні показники.

6. Здійснено впровадження результатів проведених досліджень в проектування і будівництво об'єктів на підприємствах Криворіжжя. Економічний ефект від упровадження досліджень склав 47,3 тис. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ **Статті у наукових фахових виданнях України**

1. Єфіменко В.І. Аналіз сучасного стану конструювання будівель зі сталезалізобетонними конструкціями / В.І. Єфіменко, О.А. Паливода // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне, 2013. – № 25. – С. 549–554.

2. Єфіменко В.І. Труبوبетонні елементи зі зміцненим осердям / В.І. Єфіменко, О.А. Паливода // Галузеве машинобудування, будівництво : зб. наук. праць. – Полтава, 2014. – № 3 (42), Т1. – С. 78–85.

3. Єфіменко В.І. Напружено-деформований стан стиснутих труبوبетонних елементів зі зміцненими осердями кільцевого перерізу / В.І. Єфіменко, О.А. Паливода // Містобудування та територіальне планування : зб. наук. праць. – Київ, 2014. – № 54. – С. 168–174.

4. Єфіменко В.І. Напружено-деформований стан стиснутих труبوبетонних елементів зі зміцненими осердями суцільного перерізу / В.І. Єфіменко, О.П. Сухан, О.А. Паливода // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2014. – № 38. – С. 125–129.

5. Харченко С.О. Графическая интерпретация результатов исследования упрочнения бетонного ядра труبوبетонных элементов / С.О. Харченко, С.О. Жуков, О.В. Паршин, О.А. Паливода // Гірничий вісник : зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2014. – № 97. – С. 43–48.

6. Єфіменко В.І. Пошук оптимальних варіантів зміцнення осердя стиснутих труبوبетонних елементів / В.І. Єфіменко, О.А. Паливода // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. трудов. – Днепропетровск, 2015. – № 81. – С. 137–143.

7. Жуков С.О. Методика інженерного розрахунку несучої здатності труبوبетонних елементів зі зміцненими ядрами / С.О. Жуков, О.А. Паливода // Збірник наукових праць науково-дослідного гірничорудного інституту : зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2015. – № 55. – С. 261–271.

8. Єфіменко В.І. Дослідження ефективності роботи труبوبетонних елементів зі зміцненим осердям / В.І. Єфіменко, О.А. Паливода // Збірник наукових праць української державної академії залізничного транспорту : зб. наук. праць. – Харків, 2015. – № 152, Т.2. – С. 10–21. (*Збірник входить до наукометричної бази даних Index Copernicus*).

Тези доповідей у збірниках матеріалів конференцій

9. Паливода А.А. Обобщение конструктивных и технологических подходов к труبوبетонным элементам с ядром различных типов / А.А. Паливода, С.А. Харченко, М.А. Наумова // Сталий розвиток промисловості та суспільства : міжнар. наук.-техн. конф., 2015 : тези доп. – Кривий Ріг, 2015. – С. 143.

АНОТАЦІЯ

Паливода О.А. Напружено-деформований стан та несуча здатність трубобетонних елементів зі зміцненими осердями. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Національний авіаційний університет, МОН України, Київ, 2016.

В дисертації наведено результати експериментально-теоретичних досліджень з розв’язання актуальної теми – виявлення особливостей деформування та дійсної роботи елементів з різними способами зміцнення їх ядер. Визначені експериментально впливи різних конструктивних схем на деформативність та несучу здатність розглянутих елементів. Розроблено аналітичні та чисельні методи оцінки напружено-деформованого стану і методику розрахунку міцності досліджуваних конструктивних елементів.

Наведено наочний приклад застосування одного з-поміж запропонованих конструктивних рішень досліджуваних конструкцій в галузі промислового будівництва.

Ключові слова: трубобетон, зміцнене осердя, напружено-деформований стан, несуча здатність, деформації, чисельні методи, аналітичні методи.

АННОТАЦИЯ

Паливода А.А. Напряженно-деформованное состояние и несущая способность трубобетонных элементов с упрочненными ядрами. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Національний авіаційний університет, МОН України, Київ, 2016.

В диссертации приведены результаты экспериментально-теоретических исследований по решению актуальной темы – выявление особенностей деформирования и действительной работы элементов с различными способами упрочнения их ядер. Определены экспериментально влияния различных конструктивных схем на деформативность и несущую способность рассматриваемых элементов. Разработаны аналитические и численные методы оценки их напряженно-деформированного состояния и методики расчета прочности исследуемых конструктивных элементов.

Представлен наглядный пример применения одного из предложенных конструктивных решений в области промышленного строительства.

Ключевые слова: трубобетон, упрочненное ядро, напряженно-деформованное состояние, несущая способность, деформации, численные методы, аналитические методы.

ABSTRACT

Palyvoda O.A. State of stress and deformation and carrying capacity of tube confined concrete elements with strengthened core. – Manuscript copyright.

PhD Thesis on speciality 05.23.01 – building structures, buildings and constructions. – National Aviation University, MSE of Ukraine, Kyiv, 2016.

The thesis presents the results of experimental and theoretical studies to address relevant topics - identifying features of deformation and actual operation of the elements with a variety of ways to strengthen their cores. The influence of various constructive schemes on deformability and carrying capacity of the considered elements is experimentally determined.

In the introduction the relevance, scientific novelty and practical significance of the work are provided, its general characteristics are given. Particularly it is noted that tube confined concrete constructions have been widely spread in the world construction practice because of its positive qualities. Using the methods of strengthening cores will give an opportunity to get even more technical and economic effect.

The **first part** provides an overview of the literature and analyzes the question on research devoted to theoretical and experimental investigation of tube confined concrete structures. Characteristics of constructive solutions for strengthening their cores are given. According to the analysis of literary sources, conclusions are made, the essence of the problem is disclosed and research problems are stated.

The **second part** is devoted to a description of the experimental tests program, the purpose of which is to establish the characteristics of the parameters change of stress and deformation state and determining the carrying capacity of the elements being considered.

The **third part** of the thesis deals with the results of experimental studies of compressed short tube confined concrete elements with strengthened cores. The studies found that the carrying capacity of the tube confined concrete elements with strengthened cores under axial compression is mainly influenced by the following factors: the strength of the concrete core, the thickness of the tube wall, the thickness of the concrete layer and the diameter of the tube.

It is found that the efficiency of tube confined concrete operation, determined by the coefficients m and η , decreases with increasing strength of concrete class, the tube diameter and increases with increasing tube wall thickness. The carrying capacity of the considered tube confined concrete elements with strengthened core exceeded of approximately 1.5 ... 3 times the carrying capacity of the elements of the steel tubes not filled with concrete at the same altitude of samples applied load. The graphs of dependence of the development of relative longitudinal and transverse deformations on the magnitude of compressive force are made.

The **fourth part** is devoted to numerical modelling of stress and deformation state of central compressed tube confined concrete elements with strengthened cores. The algorithm for calculating with the finite element method on computing machine is adapted. The presented comparison of the results of experimental and numerical studies has shown divergence approximately equal to 7 %.

The **fifth part** is devoted to analytical modelling of stress and deformation state of central compressed tube confined concrete elements with strengthened cores. The analytical calculation algorithm is adapted using iteration modulus of concrete elasticity. The option for determining the carrying capacity of tube confined concrete elements with strengthened cores by bringing a comprehensive cross-section to the steel item is presented. The presented comparison of results of experimental and numerical studies has shown divergence approximately equal to 8 %.

The implementation of research results in the design and construction of industrial facilities is presented.

The conclusions formulated the achieved results, reflecting the scientific novelty and solution of the important scientific and technical problem – the creation of calculation and design methods for advanced tube confined concrete constructions with strengthened core.

Keywords: tube confined concrete, strengthened core, state of stress and deformation, carrying capacity, deformation, numerical methods, analytical methods.

ПАЛИВОДА Олександр Анатолійович

**Напружено-деформований стан і несуча здатність
трубобетонних елементів зі зміцненими осердями**

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
зі спеціальності 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Підписано до друку 22.08.2016.

Формат 60×84/16. Ум.-друк. арк. – 1,17. Авт. арк. – 0,9.

Тираж 100 пр.

Друкарня С. Г. Щербенка

вул. Рокоссовського, 5/3, м. Кривий Ріг, 50027.

(0564) 92-20-77

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК № 4561 від 13.06.2013.