

Міністерство освіти і науки України
Українська державна академія залізничного транспорту

КАЗИМАГОМЕДОВ ФІРАЗ ІБРАГІМОВИЧ

УДК 624.012:624.046.3

ЕФЕКТИВНІ ТРУБОБЕТОННІ ЗГИНАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Ізбаш Михайло Юрійович,
Харківський національний університет будівництва та архітектури, завідувач кафедри архітектурних конструкцій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Семко Олександр Володимирович,
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, декан архітектурного факультету;

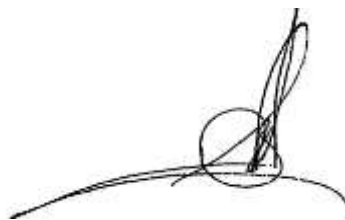
кандидат технічних наук, доцент
Смолянук Надія Володимирівна,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри мостів, конструкцій та будівельної механіки.

Захист відбудеться «__» березня 2015 р. о 15.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 Української державної академії залізничного транспорту за адресою : 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий «_____» лютого 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Г.Л. Ватуля

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основними завданнями будівництва наразі є зниження ваги будівель, їх матеріаломісткості, зменшення об'єму несучих конструкцій і трудовитрат на їх зведення. Поставлені завдання з використанням традиційних методів і матеріалів вирішити неможливо, тому ставляться питання щодо винайдення ефективних матеріалів і конструкцій високої надійності та мінімальної ваги. Для вирішення даних проблем потрібне впровадження нових технологій і високоміцних матеріалів.

У нинішній час у багатьох розвинених країнах світу набув поширення такий вид монолітних залізобетонних конструкцій, як труобетон, використання якого дозволяє збільшити стійкість будівель при одночасному зниженні матеріаломісткості, трудомісткості і вартості будівлі. Цьому сприяє ряд переваг труобетонних конструкцій: простота і технологічність виготовлення, відсутність опалубки, арматурних каркасів і заставних деталей, здатність конструкції безпосередньо після монтажу витримувати монтажні навантаження. Монтаж труобетонних елементів здійснюється так само, як і металевих, сталева обойма виконує роль поздовжньої і поперечної арматури. Бетон за рахунок об'ємно-напруженого стану в середині труби сприймає напруження, яке значно перевищує призмову міцність, що призводить до економії сталі та бетону.

Конструкції з бетону, поміщеного в сталеву обойму, оцінені належним чином і починають все ширше використовуватися у світовій будівельній практиці. Згинальні труобетонні конструкції мають винятково високу несучу здатність за відносно малих поперечних перерізів, будучи прикладом вдалого поєднання найбільш цінних властивостей металу і бетону. Під час згину труобетонного елемента реактивний бічний тиск, що діє з боку сталеві оболонки на бетонне ядро, створює сприятливі умови для роботи бетону - об'ємне напруження. В результаті міцність бетону під час згину істотно зростає. Сталева обойма, в свою чергу, завдяки сприятливому впливу внутрішнього тиску твердого середовища захищається від втрати місцевої стійкості.

Згинальні труобетонні елементи, навіть ті які мають ядро з високоміцного бетону, відрізняються пластичним характером роботи в граничному стані, що виключає небезпеку раптового руйнування як окремої конструкції, так і всієї будівлі в цілому.

Упродовж останніх років в Україні проводяться активні наукові дослідження щодо труобетонних конструкцій. На сьогоднішній день досить ретельно вивчено особливості роботи труобетонних елементів циліндричного перерізу залежно від їх геометричних характеристик, фізико-механічних властивостей бетонного сердечника і матеріалу оболонки, напружено-деформованого стану, способів прикладення навантаження та його тривалості. Досліджено труобетонні елементи квадратного перерізу, які працюють на стиск. Недостатньо досліджено труобетонні елементи квадратного перерізу, що працюють на згин.

Таким чином, дослідження трубофіробетонного елемента з підвищеними фізико-механічними властивостями, що працює на згин, є актуальним науковим завданням, що має теоретичне і практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в Харківському національному університеті будівництва та архітектури в рамках держбюджетної теми № 0112U000043 «Теоретичні основи створення високоміцного конструкційного мікрокомполімеру на основі цементної матриці».

Мета і задачі дослідження. Основна мета роботи - дослідження несучої здатності та деформативності трубобетонних конструкцій квадратного перерізу, заповнених фіробетоном спеціального складу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **основні задачі дослідження**:

- проаналізувати існуючий досвід використання та проектування трубобетонних елементів;
- підібрати оптимальний склад бетонного сердечника для трубобетонної балки з підвищеними фізико-механічними властивостями, використовуючи різні модифікатори бетону і фібри;
- дослідити міцність зчеплення фіробетонного сердечника із внутрішньою поверхнею металевої обійми;
- експериментально дослідити несучу здатність і деформативність згинальних елементів сталеві труби квадратного перерізу, заповнених фіробетоном;
- розробити методику розрахунку несучої здатності і деформативності досліджуваних згинальних елементів.

Об'єкт дослідження - трубофіробетонні елементи квадратного перерізу, які працюють на згин.

Предмет дослідження - напружено-деформований стан і несуча здатність трубобетонних конструкцій квадратного перерізу при навантаженні.

Методи дослідження - деформативно-міцнісні показники бетонних та фіробетонних зразків, отримані стандартними методами. Дослідження сил зчеплення трубобетонного сердечника з металевою трубою виконано стандартним методом. Дослідження деформативності згинальних елементів проводилися експериментально стандартними методами та на комп'ютерній моделі за допомогою програмного комплексу SCAD (ліцензія № 5135 UA). Для опрацювання й аналізу результатів експериментальних даних використано методи математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- запропоновано нові конструктивні форми трубобетонних елементів на основі труб квадратного перерізу і фіробетону, в яких забезпечується спільна робота сердечника й обійми;
- уперше досліджено властивості та підібрано оптимальний склад фіробетонного сердечника для металевих труб на розробленому модифікаторі зі шламу мокрого газоочищення виробництва феросиліцію;
- уперше вивчено роль адгезії і чинників, що впливають на неї в процесі структуроутворення контактної зони "в'яжуче - заповнювач - фібра та

внутрішня поверхня обійми". Визначено способи активної дії на цей процес і управління ним з метою отримання бетонів з високими адгезійними властивостями;

- уперше отримано експериментальні дані щодо впливу фібробетону на міцність і деформативність згинальних трубобетонних елементів;

- отримано результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану сталевібробетонних балок, працюючих на згин, із зовнішнім армуванням квадратними трубчастими профілями.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що результати досліджень дисертаційної роботи дозволили встановити ефективність і раціональність запропонованої конструкції. Представлено методи розрахунку і конструювання трубевібробетонних балок квадратного перерізу, які можуть бути використані під час проектування несучих конструкцій. Нові конструкції згинальних балок з високими фізико-механічними властивостями можуть бути запропоновані для впровадження в сучасне будівництво, передусім під час реконструкції. Результати роботи впроваджено під час проектування і будівництва двох будівель у м. Харкові за адресами: пр. Правди, буд. 7 та вул. Малом'ясницка, буд. 2.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати дисертаційної роботи отримано автором самостійно. Окремі складові теоретичних і експериментальних досліджень виконано в співавторстві, про що говориться в переліку наукових публікацій.

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наступних науково-технічних конференціях: V Міжнародна науково-технічна конференція "Ресурси і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд" (м. Харків, ХДТУБА, 15-17 жовтня, 2011 р.); V Міжнародна науково-технічна конференція "Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур" (м. Харків, ХНУБА, 15-17 жовтня, 2012 р.); VI Міжнародна науково-технічна конференція "Ресурси і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд" (м. Харків, ХНУБА, 15-17 жовтня, 2013 р.); 69 науково-технічна конференція Харківського національного університету будівництва та архітектури (м. Харків, ХНУБА, 18-20 лютого 2014 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 12 наукових праць, 8 з яких у виданнях, рекомендованих МОН України, 1 стаття у збірнику наукових праць включеному в міжнародну науково-метричну базу (Index Scopus) і 3 тези доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури і додатків. Роботу викладено на 151 сторінці друкованого тексту, 118 із яких є сторінки основного тексту, 19 - повними сторінками з таблицями і рисунками, 14 – сторінками зі списком використаної літератури (137 найменувань) і 2 сторінками додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі поставлено проблему сучасного будівництва й обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету та задачі досліджень, визначено предмет і об'єкт досліджень, описано наукову новизну та методи досліджень, практичне значення результатів, впровадження результатів роботи, особистий внесок, апробацію результатів, публікації, а також загальну характеристику дисертації.

У першому розділі проведено літературний огляд теоретичних і експериментальних досліджень міцності й деформативності трубобетонних елементів, що працюють як на згин, так і на стиск, а також історичний і сучасний досвід застосування цих конструкцій як на території України, так і за її межами. Описано основні конструктивні особливості і проведено аналіз існуючих методик розрахунку трубобетонних елементів різного перерізу й умов роботи.

Розвиток трубобетону бере початок у ХХ столітті. У 1903 році О. Консідером проведено перші дослідження залізобетонних конструкцій з непрямою арматурою, в результаті яких було виявлено, що бетон в оболонці має абсолютно нові, кращі фізико-механічні властивості. Пошук різних способів армування привів до думки про використання труби-оболонки замість стержневої арматури.

Значний вклад у теоретичні й експериментальні дослідження трубобетону, що працює як на стиск, так і на згин, внесли радянські вчені: О.О. Гвоздєв, В.А. Росновський, О.А. Долженко, Л.К. Лукша, Р.С. Санжаровський, А.І. Міщенко, Л.І. Стороженко, Е.Д. Чихладзе, Г.П. Передерій, О. І. Кікін, В.А. Труль, А.Ф. Маренін, Я.П. Семененко, О.В. Семко, Г.Л. Ватуля та інші. Також дослідження проводили й зарубіжні вчені: Я. Хунаїті, Л. Хань, Р. Гопал, Д. Манохаран.

Багатьма дослідниками в галузі трубобетону відзначалося, що труба починає працювати як обойма лише в стадії, близькій до руйнування бетону, до цього труба є лише опалубкою, якщо її не включати в роботу.

Було виділено три основні способи вирішення цієї проблеми:

- перший спосіб полягає в улаштуванні на внутрішній поверхні труби анкерів, які сприймали б розтягуюче напруження на поверхні контакту матеріалів;

- другий спосіб пов'язаний зі створенням попереднього обтиснення бетонного ядра в металевій трубі;

- третій, найбільш ефективний спосіб пов'язаний з підбором такого бетонного сердечника, який мав би максимальну несучу здатність та спільно працював би з металевією трубою на усіх етапах його навантаження. Таким бетонним сердечником за дослідженнями є фібробетон з використанням техногенної сировини металургійної промисловості - шламу мокрого газоочищення виробництва феросиліцію.

Аналіз проведених на сьогодні досліджень з практики і перспективи застосування трубобетонних конструкцій дозволяє зробити наступні висновки:

- трубобетонні конструкції відомі досить давно, проте їх широке впровадження в практику будівництва стримується недостатньою їх вивченістю;

- у більшості випадків трубобетонні конструкції використовуються при роботі на стиск, на згин же практично не використовують через високу деформативність. При цьому використання трубобетонних елементів, що працюють на згин, є перспективним напрямом у будівництві, зокрема під час реконструкції;

- на сьогодні існують численні теорії і методи розрахунків трубобетонних елементів. Введені норми з проектування сталезалізобетону, проте трубобетонні елементи квадратного профілю, що згинаються, вивчені недостатньо повно, так само, як і деформативно-міцнісні характеристики бетону в сталевій трубі;

- використання трубобетону в будівництві значно ефективніше за залізобетон і сталь з економічних і практичних міркувань.

У результаті проведеного аналізу визначені і сформульовані основні завдання досліджень.

Другий розділ присвячений опису експериментальних досліджень різних типів бетонного сердечника для виявлення оптимального його складу, а також безпосередньо трубобетонних згинальних елементів. Описується дослідження зразків, технологія їх виготовлення і методика проведення експериментальних досліджень.

Для визначення оптимального складу бетонного сердечника було виготовлено серію зразків для випробування на стиск, розтягнення, згин, визначення модуля пружності і адгезії з металевією оболонкою.

З метою підвищення адгезійної міцності зчеплення бетонного сердечника зі сталевією трубою використовувався модифікатор бетону (МБ) і різні фібри. Модифікатор для бетону був отриманий з техногенного відходу промисловості - висушеного шламу мокрого газоочищення виробництва феросиліцію і суперпластифікатора поліпласт (СП). Отриманий модифікатор бетону є активним компонентом цементних композиційних будівельних матеріалів. Отримували його таким чином: шлам, висушений за температури 80 °С до вологості 1 % від загальної маси та просіяний через сито 0,63, насухо перемішували з СП в пропорції 10:1, для поліпшення дисперсності суміш подрібнили в лабораторних умовах у дезінтеграторі, що виконує 4500 обертів за хв. Використаний шлам мокрого газоочищення виробництва феросиліцію пролежав у шламбасейні феросплавного заводу більше 30 років.

Було підібрано шість складів бетону:

1 - контрольний склад;

2 - склад з 0,1% поліпропіленової фібри від загальної маси бетонної суміші;

3 - склад з 0,1 % базальтової фібри від загальної маси бетонної суміші;

4 – склад з 1,5 % металевією фібри від загальної маси бетонної суміші;

5 - склад з 15 % модифікатора від маси цементу;

6 - склад з 15 % модифікатора від маси цементу і 1,5 % металевої фібри від загальної маси бетонної суміші.

У ході початкового етапу досліджень частину складів було відсіяно внаслідок незадовільних результатів.

Результати досліджень наведено в табл.1.

Подальші експериментальні дослідження трубобетонних згинальних елементів проводилися на зразках № 1, 4, 6.

Таблиця 1

Результати випробувань зразків

№ зразка	Кубикова міцність $f_{cm.cube}$, МПа	Призмova міцність $f_{cm.prism}$, МПа	$\frac{f_{cm.prism}}{f_{cm.cube}}$	Міцність на розтягнення f_{ctk} , МПа	Початковий модуль пружності E_{cm} , МПа	Адгезія сердечника з трубою f_R , МПа
1	27,5	22,8	0,83	1,7	26500	2,1
3	33,3	27,97	0,84	2,7	31300	2,8
4	34,8	29,23	0,84	3,2	38000	2,7
6	52,6	45,76	0,87	4,9	54700	4,1

Для вирішення поставлених завдань було розроблено відповідну методику досліджень, за якою було виготовлено чотири серії дослідних зразків (12 штук), зовнішній розмір перерізу металевої труби яких складає 100 x 100 мм, товщину стінки труби – $t = 3$ мм і її довжина – $L = 1300$ мм.

Випробування трубобетонних елементів на несучу здатність і деформативність проводилися на пресі УИМ-50М. Було прийнято максимальну відстань між опорами, допустиму на цьому пресі – 1200 мм. Навантаження проводилися за допомогою траверси з відстанню між прикладеними силами в 400 мм. Випробовувану балку було навантажено в третинах прольоту (зона чистого згину). Загальний вигляд випробування зразка наведено на рис. 1. Зразок навантажувався ступінчато, починаючи з навантаження в 200 кг і закінчуючи навантаженням у 2000 кг, далі крок було збільшено до 500 кг. Час витримування під навантаженням на всіх етапах завантаження складав 7 - 10 хв - це приблизний час на розподіл навантажень і зняття всіх необхідних показників з датчиків.

Для визначення поздовжніх і поперечних деформацій згинального зразка використовувалися дротові тензорезистори. У поздовжньому напрямку тензорезистори наклеювалися в розтягнутій зоні між зосередженими силами по обох сторонах балки, в поперечному - посередині балки.

Зразки труб заповнювали бетонною сумішшю трьох складів:

- Б1 - металева труба квадратного перерізу 100 x 100 x 3 мм без бетону;

- Б2 - металева труба квадратного перерізу 100 x 100 x 3 мм, заповнена контрольним складом бетону класу C16/20;

- Б3 - металева труба квадратного перерізу 100 x 100 x 3 мм, заповнена бетоном з додаванням 1,5 % металевої хвилевої фібри $L = 40$ мм, $d = 0,3$ мм від загальної маси бетонної суміші;

- Б4 - металева труба квадратного перерізу 100 x 100 x 3 мм, заповнена бетоном з додаванням 15 % модифікатора від маси цементу і 1,5 % металевої хвилевої фібри від загальної маси бетонної суміші.

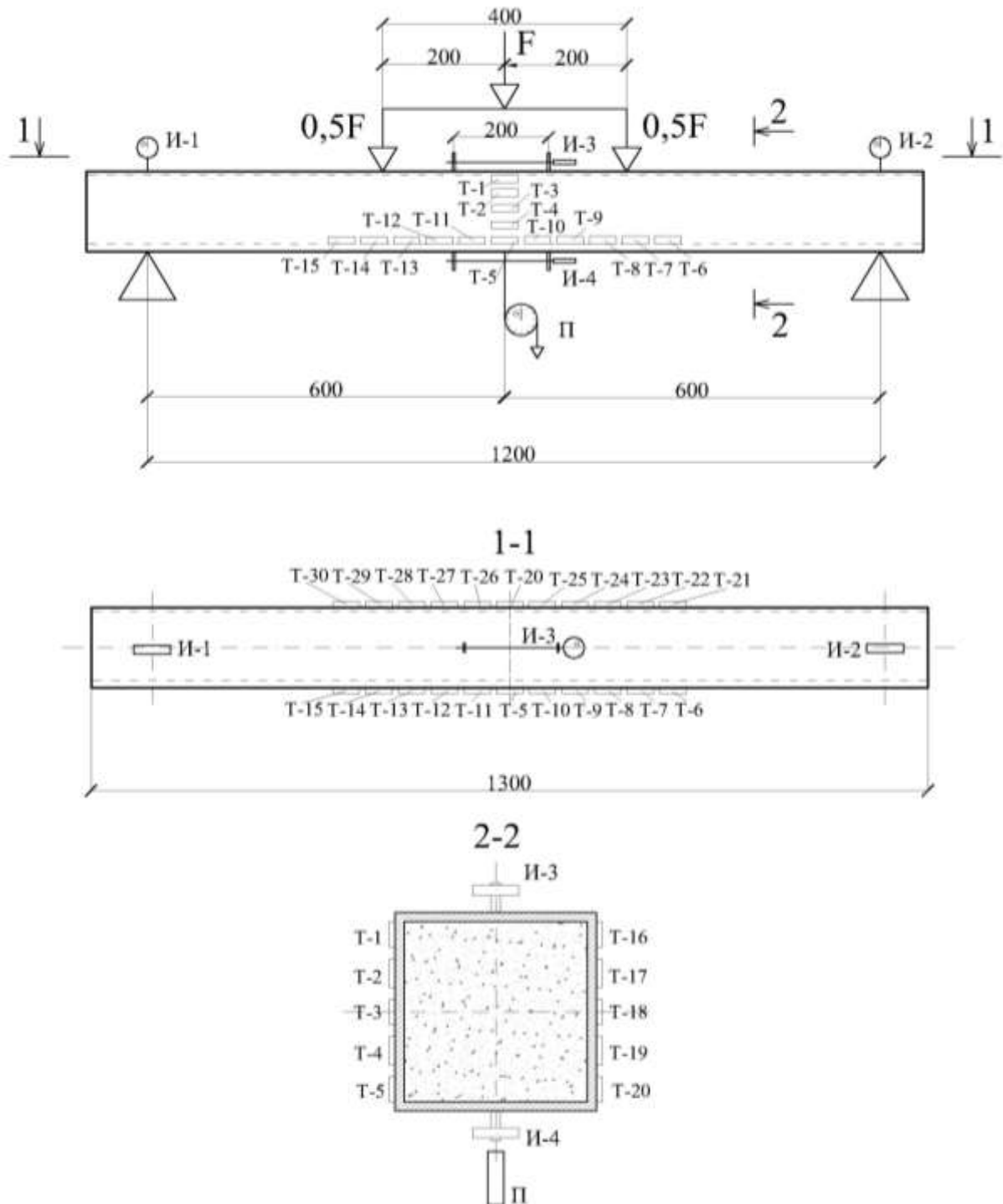


Рис.1. Загальний вигляд згинального елемента і схема розташування вимірювальних приладів:

П - прогиномір; И - індикатори годинникового типу; Т – тензорезистори

Третій розділ присвячено експериментальним дослідженням трубобетонних згинальних елементів квадратного перерізу з вибраними складами сердечника і аналізу отриманих результатів.

У результаті проведення експериментальних досліджень особлива увага зверталася на три основні параметри елемента:

1. M_{rk} – максимальний згинальний момент, який може сприйняти переріз.

2. M_y - момент досягнення сталевією трубою зони текучості.
3. f - прогин балки під навантаженням.

Основні переваги трубобетонних конструкцій порівняно зі сталевими (трубами) представляються у вигляді відношень:

$$\psi_1 = \frac{M_{Rk}}{M_{Rk}^T}; \psi_2 = \frac{M_y}{M_y^T}, \quad (1)$$

де M_{Rk}^T і M_y^T - максимальний згинальний момент і момент зони текучості порожньої труби відповідно.

Коефіцієнти ψ_1 і ψ_2 показують ефективність використання трубобетону порівняно зі звичайною сталевією конструкцією.

Значення коефіцієнтів ψ_1 і ψ_2 , а також межі текучості і несучої здатності випробовуваних зразків наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Значення згинаючих моментів досліджуваних зразків

Серія зразків	Згинальні моменти (кНм)				Коефіцієнти	
	M_{Rk}	ΔM_{Rk}	M_y	ΔM_y	ψ_1	ψ_2
Б1-1	16		14		-	-
Б1-2	16.4	16	14	13.9	-	-
Б1-3	15.6		13.8		-	-
Б2-1	23		20			
Б2-2	20	21	18	18	1,32	1,3
Б2-3	20		16			
Б3-1	26		19.5			
Б3-2	24	25	20	20	1,56	1,44
Б3-3	25		20.5			
Б4-1	32		25			
Б4-2	31.5	32	22	24	2	1,72
Б4-3	32.5		25			

Як видно з таблиці, несуча здатність сталевією труби, заповненої бетоном, є в 1,32 - 2 рази вищою, за несучу здатність порожньої труби. Чим вищі жорсткість і зчеплення сталі з бетоном, тим цей показник вищий. Коефіцієнт ψ_2 змінюється в межах 1,3 - 1,72, що пояснюється впливом фізико-механічних властивостей сердечника на роботу всієї конструкції. Після досягнення сталевією оболонкою межі її текучості бетонне ядро ще здатне сприймати навантаження. Як відзначалося в попередніх дослідженнях, підвищення міцності бетону несуттєво збільшує несучу здатність конструкції. Ці дослідження показали, що досить важливу роль в несучій здатності трубобетонних згинальних конструкцій відіграє зчеплення бетону з металом.

Під час випробувань згинальних елементів важливим фактором є його деформативність: як поздовжня, так і поперечна (рис. 2), а також переміщення (прогин).

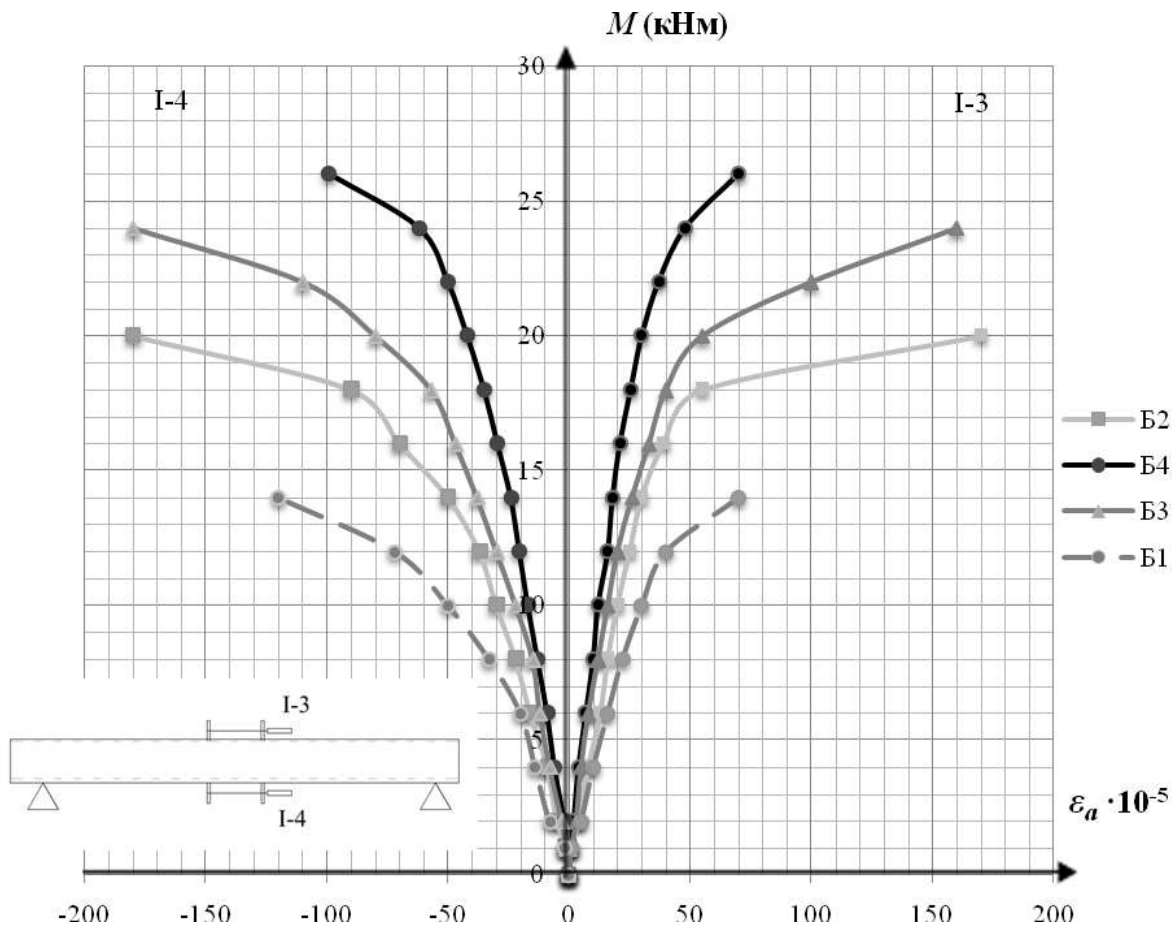


Рис. 2. Залежність поздовжніх деформацій від типу бетонного ядра

Метою наступних експериментальних досліджень було визначення впливу різних видів бетонного сердечника на прогин трубобетонного згинального елементу. Відомо, що трубобетонні згинальні елементи здатні витримувати значні навантаження, але при цьому конструкція має значні поперечні деформації (прогини). У нормах проектування існують обмеження щодо максимальних прогинів згинальних елементів. Для цієї експериментальної моделі максимальний допустимий прогин складає 8 мм. Максимальний прогин для цієї схеми навантаження досягається в середині прольоту балки, в цій зоні було встановлено прогиномір.

Результати визначення прогину для різних видів сердечника наведено на рис. 3.

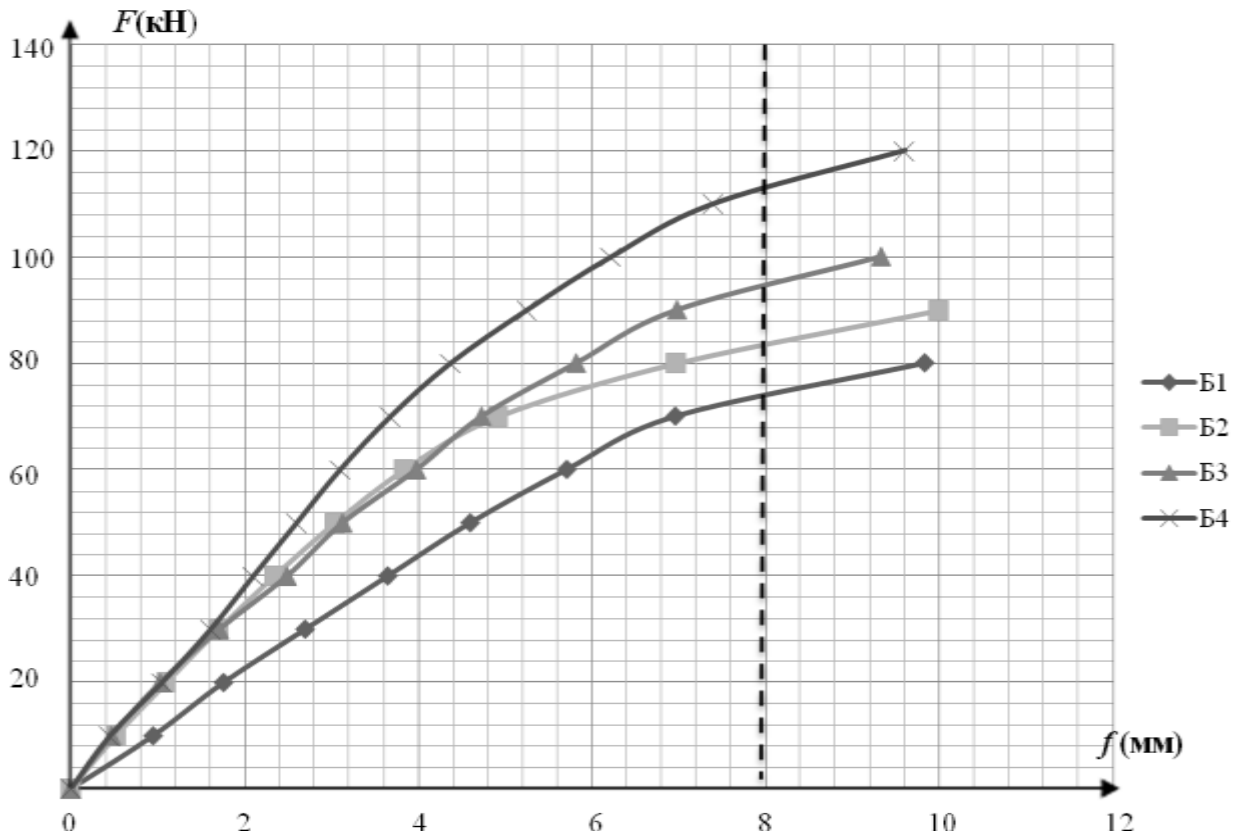


Рис. 3. Залежність прогину балки від типу бетонного ядра

Враховуючи максимально допустимий прогин у 8 мм, допустимий для балок завдовжки до трьох метрів ($L = 1,2$ м), отримаємо відповідне максимальне навантаження і згинальний момент (табл. 3).

Таблиця 3

Навантаження і згинальний момент, які відповідають прогину, що дорівнює 8 мм

Найменування зразка	Б1	Б2	Б3	Б4
Навантаження F , кН	74	83	94	113
Згинальний момент M , кНм	14,8	17	18,8	22

Із табл. 3 видно, що використання дисперсного армування з модифікатором бетону на основі шламу мокрого газоочищення виробництва феросиліцію знижує деформативність трубобетонного згинального елемента на 35 %.

Значення прогинів, отримані в результаті моделювання роботи під навантаженням трубобетонної балки за допомогою програмного комплексу SCAD, характеризуються досить високою збіжністю з даними, отриманими експериментальним шляхом під час роботи балки в пружній стадії.

Четвертий розділ присвячено розрахунку несучої здатності і переміщень трубобетонних елементів квадратного перерізу, що працюють на згин. Трубобетону притаманні як сталеві (нейтральна вісь практично не змінюється), так і залізобетонні якості (бетон в розтягнутій зоні не працює). Під час

розрахунку трубобетонних згинальних елементів слід враховувати два основних фактори (рис. 4):

1. Робота бетону на розтягнення істотно не впливає на несучу здатність конструкції в цілому, отже, її можна не враховувати.

2. Бетон в обмежених умовах має значно більші показники міцності, ніж за звичайних умов. Поведінку бетону в обмежених умовах досконально не вивчено, незважаючи на десятки досліджень. Прийнято вважати, що розрахунковий опір бетону в трубобетоні виконується наступним чином:

$$f_{cd}^* = \eta f_{cd}, \quad (2)$$

де η - коефіцієнт ефективності роботи бетону в трубобетоні.

Для розрахунку трубобетонних згинальних елементів прийнято використовувати формулу

$$\frac{M}{W_{n,\min} R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (3)$$

де γ_c - коефіцієнт умови роботи.

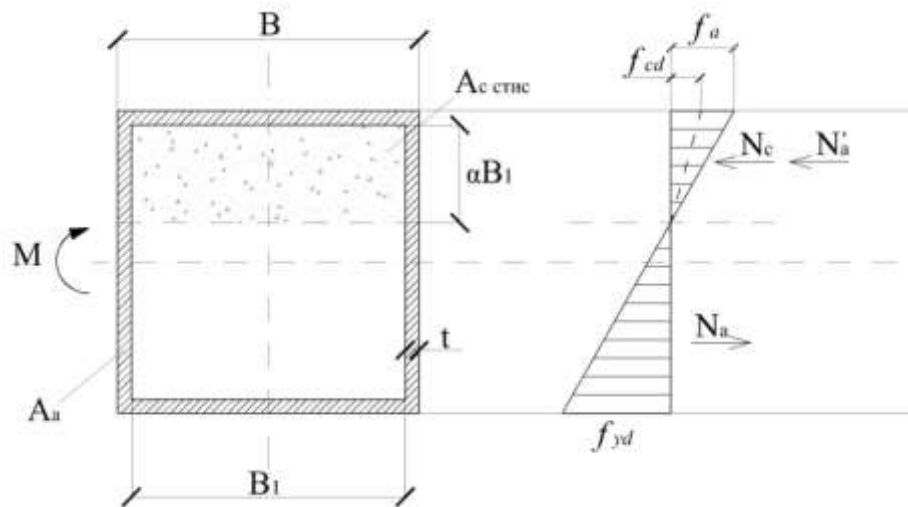


Рис. 4. Розрахункова схема згинального трубобетонного елемента за трикутної епюри напруження

Умова рівноваги $\sum X = 0$,

$$N_a = N_a' + N_c. \quad (4)$$

Визначимо через α відношення стиснутої зони бетону до загальної площі поперечного перерізу бетону

$$\alpha = \frac{A_{c\text{стис}}}{A_c}, \quad (5)$$

тоді висоту стиснутої зони бетону можна визначити за формулою

$$x = \alpha B_1, \quad (6)$$

Після проведення розрахунків отримаємо

$$\alpha = \frac{\mu \sqrt{1 + \frac{n}{\mu}} - 1}{n} \quad (7)$$

де μ – коефіцієнт армування бетону, n – співвідношення модулів пружності сталі та бетону.

Як було показано раніше, трубобетонні згинальні конструкції квадратного перерізу можна розрахувати за формулою

$$M = W_n f_{yd} \gamma_c,$$

$$W_n = \frac{I_y}{y_{\max}}, \quad (8)$$

$$W_n = \frac{S_t^2 (B^4 - B_1^4) + 3(B_1 - x)^2 + A_1^3 + S_t^2 B_1^3 x + 3(B_1 - x)^2 (S_t - 1)^2 A_2}{6S_t ((B_1 - x)A_2 + S_t B)}, \quad (9)$$

де $S_t = B^2 - B_1^2 + B_1 x$ – площа робочого перерізу;

A_1 та A_2 – площа металевої труби і бетонного сердечника відповідно.

Балки, задовольняючи умові міцності, повинні мати достатню жорсткість, тобто, прогини і кути повороту перерізів не повинні перевищувати величини, що допускається нормами. Допустимий прогин балок, що застосовується в будівельних конструкціях, є зовсім невеликим; зазвичай, він розраховується в долях від ширини прольоту між опорами балки і складає $l/120$ - $l/1000$ прольоту залежно від призначення балки (ДСТУ Б.В.1.2-3:2006).

Під час розрахунку будівельних конструкцій щодо прогинів і переміщень має виконуватись умова

$$f \leq f_u, \quad (10)$$

де f – прогин конструкції, визначений з урахуванням чинників, що впливають на його значення; f_u – граничний прогин, що встановлюється стандартом.

У нашому випадку конструкція – це балка з прольотом у 1,2 м, для якої вертикальний граничний прогин (згідно з табл. 1 ДСТУ Б.В.1.2-3:2006) :

$$f_u = \frac{l}{150}, \quad (11)$$

де l – проліт балки,

$$f_u = 1200 / 150 = 8 \text{ мм.}$$

При шарнірно-опертій балці, навантаженій в трети прольоту, максимальний прогин у точці $l/2$ розраховується за формулою

$$f = \frac{23}{648} \frac{F^*}{B}, \quad (12)$$

де F^* - навантаження на одну з точок балки;
 B - жорсткість перерізу.

$$B = E_s I, \quad (13)$$

де E_s - модуль пружності перерізу;
 I - момент інерції перерізу.

У нашому випадку переріз складається із сталеві труби і бетонного сердечника, отже, загальна жорсткість перерізу складається з суми жорсткостей складових частин

$$B = E_1 I_1 + E_2 I_2,$$

де E_1, I_1 - характеристики сталеві труби;

E_2, I_2 - характеристики бетонного сердечника.

У разі невеликих навантажень, коли балка працює за законом Гука (лінійно), прогин перерізу трубобетону розраховується наступним чином:

$$f = \frac{23}{648} \frac{12Fl^3}{2(E_1(B^4 - B_1^4) + E_2 B_1^4)} = \frac{23}{108} \frac{Fl^3}{E_1(B^4 - B_1^4) + E_2 B_1^4}. \quad (14)$$

Ця формула є справедливою для розрахунку невеликих навантажень, оскільки бетон під час навантаження понад 0,3 від руйнівного деформується нелінійно. Відповідно необхідно ввести коефіцієнт нелінійності роботи бетону:

$$f = \beta \frac{23}{108} \frac{Fl^3}{E_1(B^4 - B_1^4) + E_2 B_1^4}. \quad (15)$$

Через отримані експериментальні дані знайдемо коефіцієнт нелінійності $\beta = 1.75$.

Аналіз порівняння даних проведеного теоретичного розрахунку за розробленою методикою та результатами експерименту дав можливість зробити висновок про достатню збіжність. Різниця в результатах не перевищує 10 %.

Використання і розвиток сучасних матеріалів і конструкцій служать для задоволення конструктивних, естетичних потреб, а також економії матеріалів. Отже, для забезпечення подальшого існування і розвитку трубобетонних згинальних елементів квадратного перерізу необхідно провести техніко-економічне порівняння даного типу конструкції з подібними. У нашому випадку порівняння проводили з залізобетонною балкою.

Використовуючи розроблену методику розрахунку несучої здатності і прогину було розраховано трубобетонну балку складу Б4, поперечним перерізом 140x140x4мм, та довжиною 5000мм. Максимальний згинальний

момент який витримає ця балка до відмови проектним вимогам складає $M=16,7\text{кНм}$.

Розрахунок залізобетонної балки проводився згідно з вказівками і вимогами ДБН В.2.6-98 "Бетонні та залізобетонні конструкції" і ДСТУ Б В. 2.6 -156:2010 "Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону".

Під час виконання розрахунків отримано загальну площу арматури, що складає $A = 15\text{см}^2$.

Таким чином, під час застосування залізобетонної балки за навантаження, що дорівнює навантаженню, яке витримує трубобетон до відмови проектованим вимогам, витрачено $0,0075\text{т}$ сталі і $0,19\text{м}^3$ бетону. В аналогічній трубобетонній балці витрачено $0,012\text{т}$ сталі і $0,09\text{м}^3$ бетону. З'ясовано, що використання трубобетону підвищує витрату металу (9 %), але значно знижує витрату бетону (приблизно в 2,26 рази). Таке зниження витрати бетону значно понизить загальну масу конструкції, а також її розмір, що особливо актуально у зв'язку зі зростанням цін на використовуваний простір у будівлях.

Так само слід зазначити трудовитрати і терміни на зведення таких типів конструкцій. Одним із найбільш трудомістких процесів під час зведення залізобетонних конструкцій є "плетіння" арматурного каркаса. Варто також відзначити той факт, що після заливки бетону в опалубку слід витримати технологічну паузу до наступних монтажних робіт, у трубобетоні ж міцності сталеві труби вистачає для наступних монтажних робіт.

До негативного факту трубобетону можна віднести необхідність додаткових витрат на антикорозійний захист поверхні.

Беручи до уваги всі викладені вище факти, можна сміливо судити про ефективність і економічність застосування трубобетонних згинальних елементів квадратного перерізу.

Було запропоновано та розроблено методику підсилення експлуатованих конструкцій за методом Гриньова В.Б., заснований на раціональному розподілі додаткових сталевих накладок по довжині балки.

Результати дисертаційної роботи було успішно впроваджено на двох об'єктах у місті Харкові за адресами: пр. Правди, буд. 7 та вул. Малом'ясницька, буд. 2. Було вирішено завдання із забезпечення звукоізоляції, вогнестійкості та захисту від корозії.

Заміна старих дерев'яних перекриттів на нові сталезалізобетонні здійснюється в наступній послідовності: видаляється верхня частина старого перекриття: дошки підлоги, лаги. Зазвичай відстань від верху дерев'яних балок до дощок (пластин) нахату складає 170 - 180 мм, чого вистачає для установки нової сталезалізобетонної балки висотою 160 мм у проектне положення між старими балками в заздалегідь підготовленому гнізді в цегляній стіні. Після монтажу сталевих коробчастих балок їх замоноличують фібробетоном. Гнізда, до яких заведена балка, також замоноличуються.

Старі дерев'яні балки набувають нової функції: вони не сприймають навантаження від перекриття (повітряний проміжок між старими балками і новим перекриттям - не менше 20 мм), а слугують елементами підвісної стелі.

Таку технологію заміни перекриттів може бути здійснено в будь-якій окремо взятій квартирі, при цьому мінімізуються незручності для мешканців нижчерозташованих поверхів.

Основною перевагою нових перекриттів є їх довговічність і значне зниження зибкості перекриття порівняно з традиційним дерев'яним.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано й експериментально доведено ефективність застосування у трубобетонних елементах фібробетонного сердечника разом із модифікатором бетону на основі шламу мокрого газоочищення виробництва феросиліцію.

2. Експериментально встановлено, що показники бетону з додаванням 15 % модифікатора від маси цементу та 1,5 % хвильової металевої фібри, що має діаметр 0,3 мм і довжину 40 мм порівняно з контрольним складом зростають більше ніж на 90 % (міцність на стиск і на згин), а міцність на осьове розтягнення - більше ніж у 2 рази.

3. Доведено, що використання фібри з високовуглеродистої сталі та додаванням в бетонну суміш модифікатора на основі шламу мокрого газоочищення виробництва феросиліцію з суперпластифікатором підвищує початковий модуль пружності і призмову міцність більше, ніж у 2 рази.

4. Визначено міцність зчеплення бетонного сердечника з металевою обіймою трубобетонних елементів квадратного перерізу. Зчеплення бетонного сердечника з 15 % вмістом модифікатора від маси цементу та 1,5 % фібри від загальної маси бетону на 95 % вище, ніж у контрольного складу.

5. Експериментальні дослідження деформативності трубобетонних згинальних елементів квадратного перерізу показали, що запропонований бетонний сердечник знижує деформативність балки на 35 %. Дослідження виявили, що у сталевій труби, заповненої фібробетоном підбраного складу, несуча здатність в 2 рази вища, ніж у порожнистої труби, і в 1,3 рази більше, ніж у сталобетонного елемента з бетоном контрольного складу. Поздовжні деформації у запропонованій балці розвиваються рівномірно по всій довжині, а в разі використання звичайного бетону в зоні максимального вигину деформації були вищими більше, ніж у 2 рази.

6. Запропоновано методику розрахунку несучої здатності трубобетонних згинальних елементів відповідно до нормальних перерізів. Отримано зіставні розрахункові значення несучої здатності балки з експериментальними.

7. Розроблено методику визначення прогину трубобетонного згинального елемента квадратного перерізу, засновану на методі початкових параметрів. Виконано порівняння результатів теоретичного розрахунку конструкції з експериментальними даними. Виявлено досить високу збіжність отриманих показників.

8. Реалізація результатів даної роботи на двох об'єктах у м. Харкові (пр. Правди, буд. 7 та вул. Малом'ясницька, буд. 2) підтвердила підвищену технологічність і ефективність розроблених перекриттів, можливість за

допомогою запропонованих конструкцій перекривати необхідні прольоти, отримувати приміщення з вільним, трансформованим плануванням за мінімальних витрат енергетичних і матеріальних ресурсів.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

Основні:

1. Казимагомедов Ф.И. Экспериментальные исследования эффективных трубобетонных изгибаемых элементов квадратного сечения / Ф.И. Казимагомедов // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2013. - Вип. 73. - С. 450 - 455.

Особистий внесок: експериментально отримано оцінку впливу фібробетонного сердечника на згин трубобетонної балки.

2. Избаш М.Ю. Подбор рационального состава фибробетонной смеси / М.Ю. Избаш, Ф.И. Казимагомедов // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2013. - Вип. 72. - С. 220 – 224.

Особистий внесок: оцінено вплив різних видів фібрового армування бетону на його модуль пружності.

3. Гринев В.Б. Некоторые особенности задач рационального усиления многопролетных трубофибробетонных балок / В.Б. Гринев, М.Ю. Избаш, Ф.И. Казимагомедов // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2012. - Вип. 71. - С. 185 – 192.

Особистий внесок: застосовано методику раціонального підсилення конструкцій до багатопрольотних балок з різними видами закріплення.

4. Гринев В.Б. Подход к рациональному усилению трубобетонных конструкций / В.Б. Гринев, М.Ю. Избаш, Ф.И. Казимагомедов // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2012. - Вип. 69. - С. 98 – 107.

Особистий внесок: застосовано методику В.Б. Гриньова з раціонального підсилення конструкцій до трубобетонної балки.

5. Избаш М.Ю. Прочность и деформативность фибробетона / М.Ю. Избаш, Ф.И. Казимагомедов // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2012. - Вип. 68. - С. 212 – 216.

Особистий внесок: оцінено вплив використання різних видів фібрового армування бетону на його фізико-механічні властивості.

6. Казимагомедов И.Э. Использование шлама от мокрых газоочисток ферросплавного производства в мелкозернистых бетонах / И.Э. Казимагомедов, Ф.И. Казимагомедов, М.Е. Дытюк // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2012. - Вип. 67. - С. 178-182.

Особистий внесок: виявлено вплив застосування шламу від мокрих газоочисток на фізико-механічні властивості бетону.

7. Избаш М.Ю. Аспекты применения базальтовой фибры для армирования изгибаемых конструкций / М.Ю. Избаш, Ф.И. Казимагомедов, В.В. Савйовский // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. - Вип. 66. - С. 282-285.

Особовий внесок: запропоновано застосування базальтової фібри для армування згинальних конструкцій.

8. Казимагомедов И.Э. Использование шлама от мокрых газоочисток в изготовлении строительных материалов / И.Э. Казимагомедов, М.Ю. Избаш, Ф.И. Казимагомедов, М.Е. Дытюк // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. - Вип. 64. - С. 124-127.

Особистий внесок: визначено вплив використання шламу від мокрих газоочисток на фізико-механічні властивості будівельних матеріалів.

Публікації у міжнародних виданнях, чи у збірниках, що включені до міжнародних науково-метричних баз:

9. Избаш М.Ю. Пути обеспечения совместной работы металлической трубы квадратного сечения и бетонного сердечника с дисперсным армированием / М.Ю. Избаш, Ф.И. Казимагомедов // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. - Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 149. – С. 136-140.

Особистий внесок: експериментально оцінено вплив сталеві фібри та модифікатора бетону на силу зчеплення бетону зі сталеві оболонкою.

Апробаційні:

10. Избаш М.Ю. Прочность и деформативность трубобетонных элементов с фибробетонным сердечником / М.Ю. Избаш, Ф.И. Казимагомедов, И.А. Заливан // Прикладные и фундаментальные науки. Наука молодых – интеллектуальный потенциал XXI века: сб. докладов Междунар. науч.–практич. конф. 9 - 10 апреля 2013 г. - Пенза, 2013. – С. 378 – 382.

11. Избаш М.Ю. Экспериментальные исследования адгезии бетонных сердечников с металлической облойкой / М.Ю. Избаш, Ф.И. Казимагомедов // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов, материалы VIII Междунар. конф. молодых учёных. - Пенза, 2013. - С. 73-75.

12. Избаш М.Ю. Трубобетонные изгибаемые элементы с фибробетонным сердечником / М.Ю. Избаш, Ф.И. Казимагомедов // 69-а Науково-технічна конференція Харківського національного університету будівництва та архітектури: тез. допов. наук. конф., 18-20 лютого 2014 р. - Харків, 2014. - С. 3.

АНОТАЦІЯ

Казімагомедов Ф.І. Ефективні трубобетонні згинальні елементи. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди. - Українська державна академія залізничного транспорту МОН України, Харків, 2015.

Дисертація присвячена дослідженню міцності й деформативності трубофібробетонних згинальних елементів квадратного перерізу, а також розробці методики розрахунку та рекомендацій щодо її застосування.

Проведений аналіз існуючих досліджень трубобетонних елементів показав, що в більшості випадків дані конструкції застосовуються під час роботи на стиск. Використання даних конструкцій під час роботи на згин прийнято вважати нерентабельним у зв'язку з високою деформативністю (конструкція не задовольняє потрібним прогином, маючи достатній запас міцності).

Зниження деформативності є основним завданням даного дослідження, яке показало досить високі деформативно-міцнісні показники застосування сталевих фібри і модифікатора бетону на основі шламу мокрого газоочищення виробництва феросиліцію в якості трубобетонного сердечника.

Проведені експериментальні дослідження довели ефективність розробленого трубобетонного сердечника. Порівняно зі звичайним бетонним сердечником деформативність у трубобетонній балці знизилася на 35 %.

Запропоновано методику розрахунку несучої здатності й деформативності трубобетонної балки. Отримано достатньо високу збіжність результатів розрахунку з експериментальними даними.

Було проведено техніко-економічний аналіз запропонованої конструкції і доведено її ефективність.

Запропоновано методику щодо підсилення експлуатованих конструкцій.

Описано основні проблеми та рекомендації щодо їх вирішення за безпосереднього використання даних конструкцій у реконструкції будівель.

Ключові слова: трубобетон, фібра, модифікатор бетону, згинальний елемент, деформативність, реконструкція.

АННОТАЦІЯ

Казимагомедов Ф.И. Эффективные трубобетонные изгибаемые элементы. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. - Украинская государственная академия железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2015.

Диссертация посвящена исследованию прочности и деформативности трубофибробетонных изгибаемых элементов квадратного сечения, а также разработке методики расчета и рекомендаций их применения.

Проведенный анализ существующих исследований трубобетонных элементов показал, что в большинстве случаев данные конструкции применяются при работе на сжатие. Использование данных конструкций при работе на изгиб принято считать нерентабельным в связи с высокой деформативностью (конструкция не удовлетворяет требуемым прогибам, имея достаточный запас прочности).

Были предложены несколько способов по достижению поставленной задачи в снижении деформативности конструкции. Наиболее эффективным был признан способ по подбору бетонного сердечника с повышенными физико-

механическими свойствами и высокой степенью адгезии с трубой – оболочкой, с целью совместной работы материалов на всех стадиях нагружения.

Теоретический анализ и экспериментальные исследования определили использование в качестве трубобетонного сердечника сталефибробетон с добавлением модификатора бетона на основе шлама мокрой газоочистки производства ферросилиция в качестве трубобетонного сердечника.

Дальнейшие экспериментальные исследования трубобетонных балок длиной 1300 мм и сечением стальной трубы 100x100x3 мм с различными типами сердечника показали эффективность разработанного сердечника. По сравнению с обычным бетонным сердечником деформативность в трубобетонной балке снизилась на 35 % , а несущая способность повысилась в 1,3 раза.

Предложена методика расчета несущей способности и деформативности трубобетонной балки на основе рекомендуемых нормативных документов. Получена достаточно высокая сходимость результатов расчета с экспериментальными данными.

Был проведен технико-экономический анализ предложенной конструкции. Трубобетонная балка с сердечником из подобранного состава сравнивалась с железобетонной балкой и трубобетоном с классическим сердечником. Результаты анализа показали эффективность применения предлагаемой конструкции, особенно при реконструкции зданий.

Предложен способ усиления эксплуатируемых конструкций по методу Гринев В.Б., основанный на рациональном распределении дополнительных стальных накладок по длине балки.

Проведен теоретический расчет исследуемой трубобетонной балки подобранного состава с использованием предложенных методик. Расчет показал достаточно высокую сходимость экспериментальных результатов с теоретическими. Разница в значениях не превышает 10 %.

Описаны основные рекомендации, проблемы и их решения при непосредственном использовании данных конструкций в реконструкции зданий.

Ключевые слова: трубобетон, фибра, модификатор бетона, изгибаемый элемент, деформативность, реконструкция.

ABSTRACT

Kazimagomedov F.I. Effective Concrete-Filled Steel Tubular Flexural Elements. - Manuscript.

A thesis to seek the scientific degree of candidate of technical science in specialty 05.23.01 – building constructions, building and structure.- Ukrainian State Academy off Railway Transport MES of Ukraine, Kharkov, 2015.

The thesis is devoted to investigate the strength and deformability of concrete-filled steel tubular flexural elements, with square cross-section, as well as the development method of their design and recommendation of their application.

The analysis of existing concrete filled steel tubular elements showed that in most cases, these constructions are used in compression. However, their use in bending is not considered to be cost-effective, due to their high deformability (these members do not satisfy required deflections, having an adequate strength margin).

The main purpose of this investigation is to increase the deformability of concrete-filled steel tubular elements. Further studies showed a relatively high performance when applying steel fiber and concrete modifier based on wet gas cleaning sludge production of ferrosilicon, as a core element of the concrete-filled tubular flexural elements.

Further experimental investigations proved the effectiveness of the developed core for concrete-filled steel tubular elements. The deformability of these elements was decreased by 35% compared to deformability of those members fitted with regular core.

A design method of the load-carrying capacity and deformability of these elements was suggested. A sufficiently high convergence of calculation results and experimental data was obtained.

A feasibility analysis of the suggested construction was conducted to show its effectiveness.

A method of strengthening existing construction is suggested.

The basic recommendations, problems and their solutions, when directly using these elements in buildings reconstruction, was described.

Keywords: concrete-filled steel tubular elements, fiber, concrete modifier, bending element, deformability, reconstruction.