

Стороженко Л.І., д.т.н., професор
Авраменко Ю.О., к.т.н., доцент
Семко П.О., аспірант

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ СТИСНУТИХ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ РОЗ'ЄМНИМИ СТИКАМИ

Описано експериментальні дослідження стиснутих трубобетонних елементів із роз'ємними стиками. На основі результатів цих досліджень було визначено найбільш ефективну та економічну конструкцію роз'ємного стику. Було проаналізовано несучу здатність, витрати матеріалів та визначено коефіцієнти ефективності роботи трубобетонного елемента. Також у статті наведено дані про характер роботи і напружено-деформований стан конструкцій, досліджено вплив ексцентриситету прикладення навантаження та наявності бетонного осердя на несучу здатність стиснутого трубобетонного елемента з роз'ємними стику. Визначено значення відношення N_2 до N_1 для досліджуваних зразків.

Ключові слова: трубобетон, роз'ємні стики, напружено-деформований стан.

Стороженко Л.И., д.т.н., профессор
Авраменко Ю.А., к.т.н., доцент
Семко П.А., аспирант

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЖАТЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С РАЗБОРНЫМИ СТЫКАМИ

Описаны результаты экспериментальных исследований сжатых трубобетонных элементов с разборными стыками. На основании этих результатов исследований была определена наиболее эффективная и экономичная конструкция разборного стыка. Проанализированы несущая способность, затраты материалов и рассчитаны коэффициенты эффективности работы трубобетонного элемента. Также в статье приведены данные о характере работы и напряженно-деформированном состоянии конструкций, исследовано влияние эксцентриситета приложения нагрузок и наличия бетонного ядра на несущую способность сжатого трубобетонного элемента с разборным стыком. Определены значения соотношения N_2 к N_1 для исследованных образцов.

Ключевые слова: трубобетон, разборные стыки, напряженно-деформированное состояние.

Storoghenko L., ScD, Professor
Avramenko Y., PhD, Associate Professor
Semko P., post-graduate
Poltava National Technical Yuri Konratyuk University

EXPERIMENTAL RESEARCH OF BEARING CAPACITY OF COMPRESSED CONCRETE FILLED TUBULAR ELEMENTS WITH SEPARABLE JOINTS

This paper deals with experimental research of compressed concrete filled tubular elements with separable joints. The purpose of experimental research of compressed concrete filled tubular elements with separable joints was to obtain data of behavior of separable joints configuration on tubular elements bearing capacity and nature of work. Also stress-strain state and bearing capacity of different separable joints were compared for creating the best design of separable joint in compressed tubular elements.

Common to all experimental samples was design of concrete filled tubular element: not reinforced steel pipe made of steel grade S345, pipe length of 800 mm, pipe diameter of 102 mm, pipe wall thickness of 4 mm. The samples had bolt connections with bolts 5N6 made of steel grade 5.8. The noncentral compressed tubular elements had console for creating eccentricity of applied load 27 and 54 mm.

The main features of samples deformation and nature of work were that none sample completely not destroyed in the conventional sense of the word, especially not occurred break of steel pipe shells, but the most of the samples were characterized by the formation of corrugation in near support zone and appearance of Lyuders – Chernov lines in compressed zone of tubular element. It is also worth noting that bolts weren't cutting and destruction wasn't happened in the area of separable joints.

When the eccentricity of load application was changed we were seen the great change of compressed concrete filled tubular elements bearing capacity with increasing of eccentricity from 0 to 0.5 diameter maximum bearing capacity depending on the type of design of the joint decreased 1.5 – 3 times. The samples of TBM series revealed the largest bearing capacity at maximum eccentricity of load application. The value of N_2 for sample of TBR and TBF series was almost identical 13% less than the sample series TBM but significantly higher (33%) in comparison with concrete filled tubular elements without joints.

N_2 to N_1 ratio ranged from 1.02 for noncentral compressed tubular elements without joint to 1.47 for concrete filled tubular elements with separable joint made of steel coupling. The average ratio for the most samples was amounted to 1.2 – 1.3 which indicating the durability of this samples and the bearing capacity reserves even after reaching samples N_1 .

The most effective design of concrete filled steel tubular elements with separable joint according to experimental research was a series of TBM (tubular elements with separable joint made of steel coupling). Samples of the given series had the highest bearing capacity, the largest efficiency coefficients and the smallest materials costs, indicating the high efficiency design of the given type. Lowest indicators of bearing capacity and work efficiency compared to other samples appeared in a series of TBF. The samples of TBR series had the highest material cost.

Keywords: *concrete filled tubular structure, separable joints, stress-strain state.*

Вступ. Трубобетонні конструкції відзначаються ефективним поєднанням бетону та сталі, що дає змогу повністю використовувати особливості таких матеріалів. Завдяки цьому вдається отримати економію металу й цементу, зменшити розмір поперечного перерізу трубобетонних елементів і внаслідок цього знизити вагу конструкції та витрати на транспортування [1, 2]. Відомо, що сталева труба-оболонка у сталезалізобетонних конструкціях виконує роль як поперечного, так і поздовжнього армування. Сталева труба сприймає навантаження по всіх напрямках і при будь-яких кутах [2, 3]. Боковий тиск у сталевій частині ефективно протидіє розвитку мікротріщин розриву в бетонному ядрі, котре, працюючи за умов усебічного тиску, може чинити опір напруженням, які значно більші, ніж призмова міцність бетону. Також трубобетонні конструкції значно краще чинять опір втраті загальної та місцевої стійкості завдяки поєднанню сталеві труби й бетонного осердя [4].

Трубобетонні конструкції мають усі переваги раціональних трубчастих металевих конструкцій, котрі широко застосовуються в будівництві. На сьогоднішній день їх можна розглядати як одні з найефективніших і найпрогресивніших завдяки меншій кількості зварних робіт, відсутності необхідності в опалубці, закладних деталях та арматурних каркасах і меншому впливу корозії, зокрема внутрішня поверхня трубобетонного елемента захищена бетоном, а зовнішня менш вразлива за прямокутні чи двотаврові профілі завдяки відсутності гострих кутів та концентраторів напружень [1, 4].

Слід зазначити, що стики є важливим конструктивним елементом трубобетонних конструкцій. Однією з характерних особливостей трубобетонних елементів є те, що при проектуванні стику необхідно забезпечувати сумісну роботу сталеві труби-оболонки і бетонного осердя [5]. Також варто зазначити, що у нашій країні та за кордоном останнім часом значно зріс інтерес до влаштування стиків трубобетонних конструкцій, і тому це питання вимагає детальних експериментальних та теоретичних досліджень.

Аналіз останніх досліджень публікацій. За останні тридцять років інтерес до трубобетонних конструкцій значно підвищився, що знайшло своє відображення у роботах Л.І. Стороженка [1, 10], В.І. Барбарського [6], О.П. Воскобійник [7], А.В. Гасенка [8], Г.В. Головка [9], Д.А. Єрмоленка [2, 3], зокрема стиками трубобетонних елементів і методами їх розрахунку займались П.Г. Кортушов [11], О.В. Назаров [12], В.Ф. Пенц [13], В.М. Тимошенко [14].

Крім того, хотілось би звернути увагу на роботи В.Ф. Пенца та В.М. Тимошенка. В.Ф. Пенц у своїй роботі [13] розглядав оголовки трубобетонних конструкцій. В.М. Тимошенко у дисертації [14] були досліджені нероз'ємні стики трубобетонних елементів, зокрема їх несуча здатність та деформативність.

За кордоном сталеві трубчасті конструкції та власне трубобетонні почали досліджувати і застосовувати в КНР, США та Європі, починаючи з 50-х років минулого століття [15, 16]. Протягом останніх 30-ти років вони інтенсивно досліджуються під керівництвом організацій CIDECT (Міжнародного комітету по дослідженню і розвитку трубчастих конструкцій) та IIW (Міжнародного інституту зварювання). Завдяки CIDECT була видана серія керівництв для проектування трубчастих конструкцій [17 – 19] з метою полегшення роботи практикуючих інженерів.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Стаття присвячена дослідженню несучої здатності центрально та позacentрово стиснутих трубобетонних елементів із роз'ємними стиками.

Постановка завдання. Метою проведення експериментальних досліджень роз'ємних стиків стиснутих трубобетонних елементів було отримання даних про те, як саме впливає на несучу здатність трубобетонного елемента та характер роботи конфігурація роз'ємного стику, а також порівняння напружено-деформованого стану

(НДС) і несучої здатності різних роз'ємних стиків при різному ексцентриситеті прикладення навантаження для пошуку оптимальної конструкції виконання роз'ємного стику в стиснутих трубобетонних елементах (зокрема колонах).

У межах мети дослідження роз'ємних стиків трубобетонних елементів передбачалося розв'язання таких завдань:

- визначання несучої здатності трубобетонних елементів із роз'ємними стиками;
- дослідження НДС та характеру руйнування дослідних зразків;
- визначення деформацій стиків трубобетонних елементів при різних ступенях завантаження;
- дослідження впливу бетону на несучу здатність трубобетонного елемента;
- аналіз впливу конструкції роз'ємного стику на несучу здатність трубобетонного елемента;
- вплив ексцентриситету прикладення навантаження на несучу здатність та характер роботи трубобетонного елемента з роз'ємним стиком.

Основний матеріал і результати. З огляду досліджень трубобетонних елементів зрозуміло, що показники несучої здатності стиснутих трубобетонних елементів із роз'ємними стиками залежать від фізико-механічних властивостей матеріалів, діаметра та довжини труби і марки бетону.

Тому при складанні програми експериментальних досліджень роз'ємних стиків трубобетонних елементів було враховано, що напружено-деформований стан головною мірою залежить від конструктивного рішення самих експериментальних зразків.

Програмою експериментальних досліджень передбачається випробування п'яти серій зразків, а саме:

- трубобетонний елемент без стиків та бетонного заповнення – серія Т (контрольний);
- трубобетонні елементи без стиків – серія ТБ;
- трубобетонні елементи з роз'ємним фланцевим стиком – серія ТБФ;
- трубобетонні елементи з роз'ємним стиком із сталеві муфти – серія ТБМ;
- трубобетонні елементи з роз'ємним стиком із поздовжніми ребрами – серія ТБР.

Для отримання даних про роботу трубобетонних елементів зі стиками під дією позacentрового стиску (такі умови роботи трубобетону завзвичай зустрічаються в крайніх колонах виробничих будівель) зразки серій ТБ, ТБФ, ТБМ та ТБР виготовлялися для випробування з різними ексцентриситетами прикладення навантаження – зокрема випадковим ексцентриситетом та ексцентриситетами, рівними 0,25 та 0,5 від діаметра зразків (27 та 54 мм відповідно).

За варійовані параметри при проведенні експериментальних досліджень приймалась конструкція роз'ємних стиків трубобетонних елементів та ексцентриситет прикладення навантажень.

Випробування роз'ємних стиків трубобетонних елементів проводилися в лабораторії кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій та опору матеріалів ПолтНТУ на пресі «2ПГ-125», на 50- та 125-тонній шкалі (рис. 1). Головним засобом для вимірювання деформацій служили електротензорезистори, розміщені в місцях концентрації напружень. Також поздовжні деформації зразків вимірювалися за допомогою індикаторів годинникового типу «ИЧ-10» з ціною поділки 0,01 мм, установлених із чотирьох сторін досліджуваного зразка, поперечні деформації вимірювалися за допомогою прогиноміру із ціною поділки 0,01 мм. Індикатори годинникового типу встановлювалися у зоні стиків стиснутих трубобетонних елементів з базою 300 мм. Навантаження подавалось поступово по 1/10 від руйнівного, кожний ступінь навантаження витримувався по 10 хвилин, усі зразки доводилися до втрати несучої здатності.

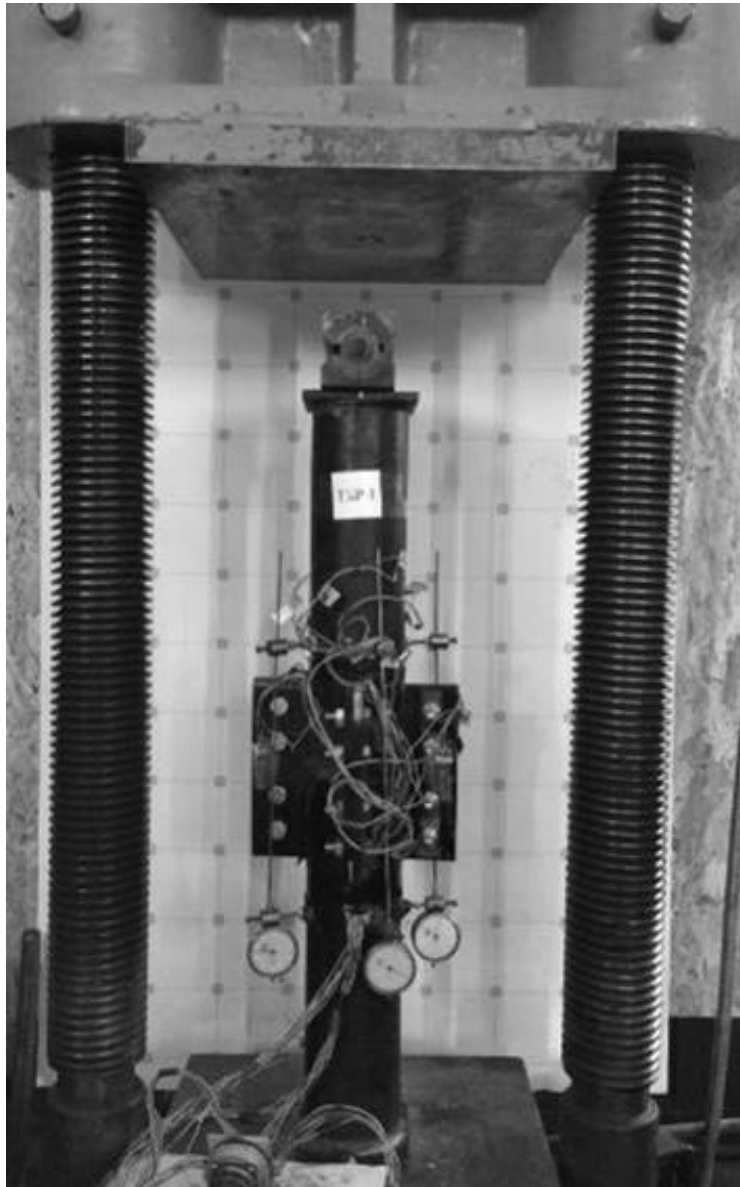


Рисунок 1 – Трубобетонний зразок під час експериментальних досліджень

Спільним для всіх експериментальних зразків є конструкція трубобетонного елемента: сталеві труби, неармовані, виготовлені зі сталі класу С345, довжина труби – 800 мм, діаметр труби – 102 мм, товщина стінки труби – 4 мм. У зразках із болтовими з'єднаннями застосовувалися болти 5N6, виготовлені зі сталі класу 5,8. Для проведення випробування на позакентровий стиск з ексцентриситетами прикладення навантаження 27 та 54 мм у приопорній частині деяких зразків запроєктовані консоли (рис. 2).

При випробуванні трубобетонних елементів із роз'ємними стилями на стиск як граничні за несучою здатністю було обрано два стани трубобетонного елемента. Першим був такий стан зразків, при якому поздовжні деформації сталеві труби відповідають деформаціям сталі, що досягла межі текучості (N_1). Другим – стан, коли у трубобетонному елементі відбувається значний розвиток деформацій при сталому або незначному збільшенні навантажень на зразок, фактично цей стан відповідає руйнуванню трубобетонного елемента.

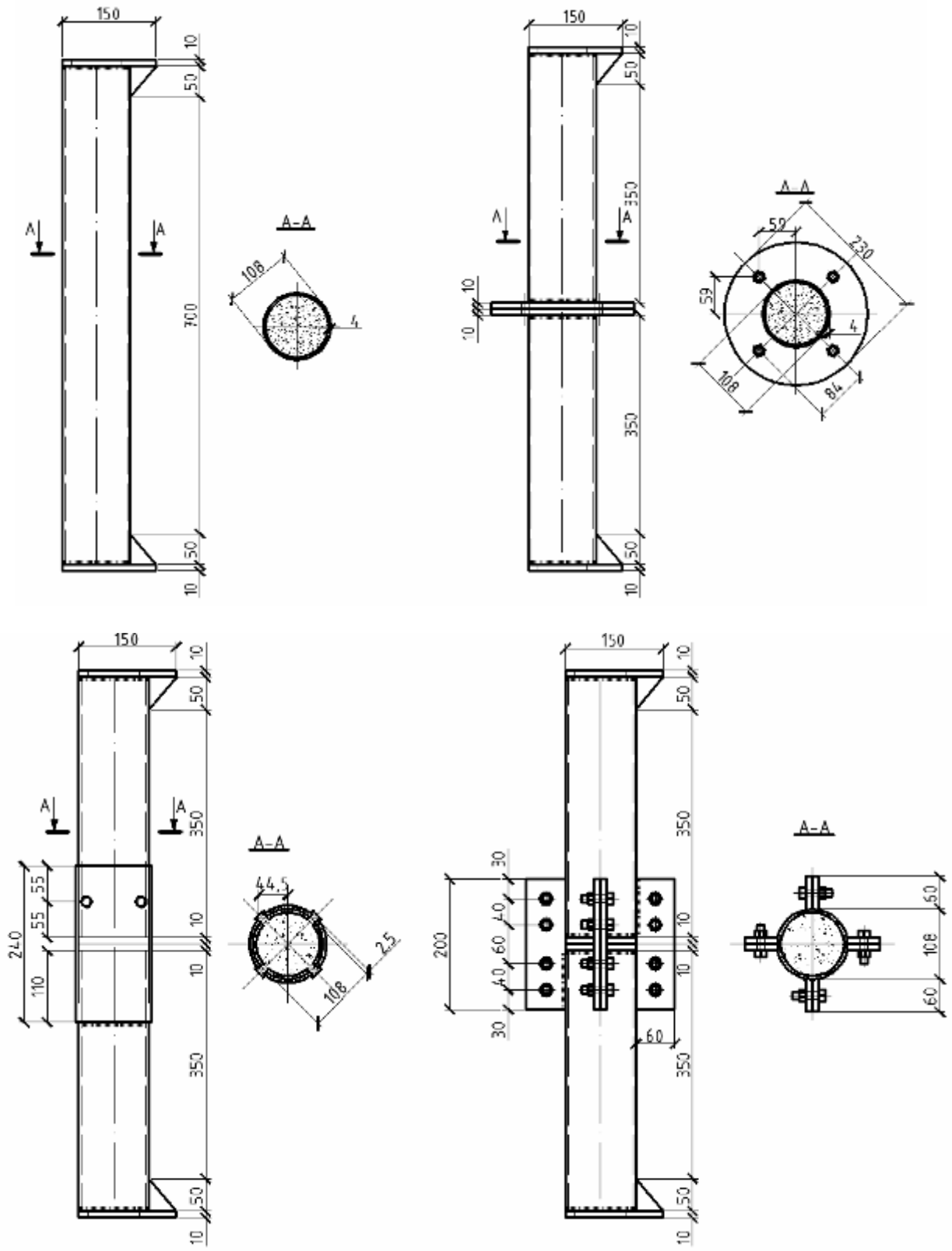


Рисунок 2 – Конструкція експериментальних зразків стиснутих трубобетонних елементів

Для оцінювання об'ємного напружено-деформованого стану, ефекту обтиснення бетонного ядра сталевією оболонкою визначалися коефіцієнти ефективності роботи досліджуваних трубобетонних елементів із роз'ємними стиками:

$$m_1 = \frac{N_y}{f_{yd}A_a + f_{cm}A_c}, \quad (1)$$

$$m_2 = \frac{N_u}{f_{yd}A_a + f_{cm}A_c}, \quad (2)$$

де f_{yd}, f_{cm} – середні значення межі текучості сталі та призмової міцності бетону;

N_y, N_u – навантаження, що відповідає досягненню в сталевій трубі-оболонці межі плинності та руйнуванню зразка відповідно;

A_a, A_c – фактична площа нетто сталевієї труби-оболонки та бетонного осердя відповідно.

Для оцінювання ефективності роботи бетонного осердя для центрально стиснутого трубобетонного елемента визначався коефіцієнт ефективності η :

$$\eta = \frac{\sigma_b}{f_{cm}}, \quad (3)$$

де f_{cm} – середнє значення призмової міцності бетону;

σ_b – напруження в бетонному осерді при досягненні другого граничного стану трубобетонним елементом; σ_b можна визначити за умови, що відома несуча здатність сталевієї труби, не заповненої бетоном, за формулою

$$\eta = \frac{N_u - N_a}{A_c}, \quad (4)$$

де N_u – несуча здатність досліджуваного трубобетонного елемента;

N_a – несуча здатність сталевієї труби-оболонки;

A_c – фактична площа бетонного осердя.

Таблиця 1 Несуча здатність та коефіцієнти ефективності роботи стиснутих трубобетонних елементів

Шифр зразка	Ексцентриситет навантаження, мм	Несуча здатність, кН		N_2/N_1	Коефіцієнти ефективності роботи		
		N_1	N_2		m_1	m_2	η
Т-1	0	450	580	1,29	-	-	-
ТБ-1	0	770	950	1,23	1,21	1,49	1,98
ТБ-2	27	440	465	1,06	-	-	-
ТБ-3	54	320	326	1,02	-	-	-
ТБР-1	0	725	980	1,35	1,14	1,54	2,14
ТБР-2	27	420	580	1,38	-	-	-
ТБР-3	54	320	440	1,37	-	-	-
ТБМ-1	0	800	996	1,25	1,26	1,56	2,23
ТБМ-2	27	540	620	1,15	-	-	-
ТБМ-3	54	340	500	1,47	-	-	-
ТБФ-1	0	750	900	1,2	1,18	1,41	1,71
ТБФ-2	27	450	610	1,36	-	-	-
ТБФ-3	54	340	440	1,29	-	-	-

У таблиці 1 наведено отримані експериментальні значення несучої здатності N_1 та N_2 , що відповідають значенням по першому і другому граничному стану для стиснутих трубобетонних елементів. На рис. 3, 4 подано графічне зображення несучої здатності трубобетонних елементів за першим та другим граничними станами. Також у таблиці наведено відношення несучої здатності досліджуваних зразків. Залежно від конструкції стиків та ексцентриситету прикладеного навантаження воно коливалось від 1,02 до 1,47. Для позациентрово стиснутих трубобетонних зразків без стиків це відношення було значно більшим, ніж для центрально завантажених, що свідчить про зменшення впливу бетонного осердя на несучу здатність зі збільшенням ексцентриситету прикладеного навантаження, однак для зразків із роз'ємними стиками це не спостерігалось, що свідчить про позитивний вплив наявності стику на несучу здатність трубобетонного елемента.

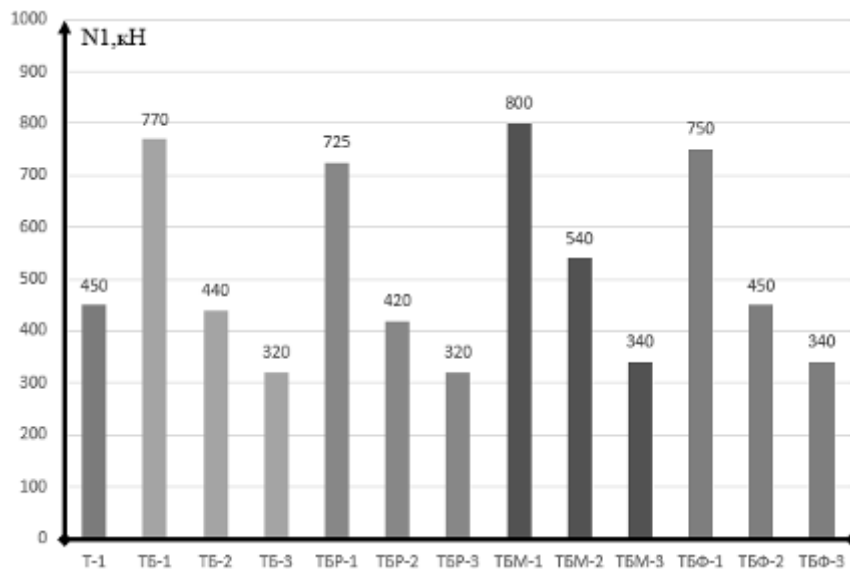


Рисунок 3 – Несуча здатність стиснутих трубобетонних елементів N_1

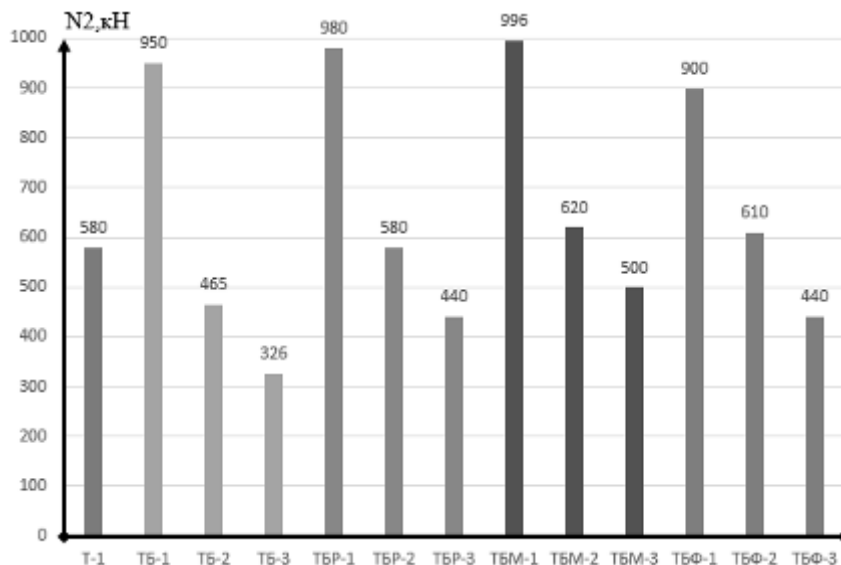


Рисунок 4 – Несуча здатність стиснутих трубобетонних елементів N_2

Під час експериментальних досліджень стиснутих трубобетонних елементів серед зразків зі стиками найкраще себе проявили зразки серії ТБМ. Під час випробувань вони показали значно вищу несучу здатність: від 5% на центральний стиск до 53% на позацентровий та кращі коефіцієнти ефективності роботи (від 4 до 12%), що свідчить про оптимальну конструкцію цього типу з'єднання при випробуванні трубобетонного елемента на центральний і позацентровий стиск.

Розглядаючи питання порівняння несучої здатності та характеру роботи стиснутих трубобетонних елементів з роз'ємними стиками, необхідно брати до уваги вартість кожної конструкції. Головними критеріями вартості стиснутих трубобетонних елементів слугують трудомісткість виготовлення, монтажу та витрати матеріалів. Проте, як було відмічено у процесі проведення експериментальних досліджень, зразки зі стиками кожної серії, завдяки простоті й ефективності конструктивних вирішень, мали практично однаково незначну за складністю трудомісткість монтажу та виготовлення, тому головним критерієм оцінювання вартості кожної конструкції вважаємо витрати матеріалів.

Для виготовлення досліджуваних зразків застосовувався бетон класу С19/24, сталеві труби з товщиною стінки 4 мм зі сталі класу С345 (для виконання муфти у зразках серії ТБМ використовувалися труби з товщиною стінки 2,5 мм), болти зі сталі класу міцності 5,8 (для фланців, ребер, косинок, накладок та інших допоміжних елементів конструкції застосовувалася сталь С345).

Кількість бетону, необхідного для бетонування, була однаковою для всіх зразків кожної серії. Кількість сталі для виготовлення зразка серії ТБ без стику з урахуванням усіх витрат склала 10,32 кг. Для полегшення порівняння прийmemo це значення за 1. Кількість сталі, необхідної для виготовлення зразка серії ТБМ, склала 13,17 кг, або 1,27. Кількість сталі, необхідної для виготовлення зразка серії ТБР, була найбільшою серед усіх зразків і склала 20,38 кг, або 1,97. Кількість сталі, необхідної для виготовлення зразка серії ТБФ, склала 16,73 кг, або 1,62 (рис. 5).

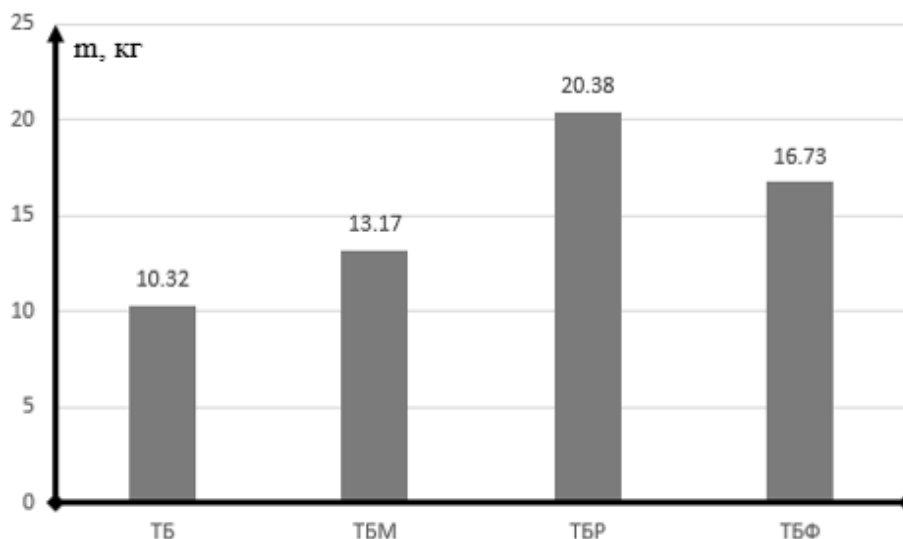


Рисунок 5 – Витрати сталі, необхідної для виготовлення зразків

Тобто, аналізуючи отримані дані, можна сказати, що найбільш економічними трубобетонними конструкціями зі стиками виявилися зразки серії ТБМ. Варто відзначити, що вони мали найбільшу несучу здатність серед усіх інших зразків, а це свідчить про значну ефективність конструктивного вирішення такого типу стику.

Висновки. Після проведення експериментальних досліджень стиснутих трубобетонних елементів із роз'ємними стиками можна зробити такі висновки:

1. Найбільш ефективною конструкцією трубобетонного елемента з роз'ємним стиком виявилася конструкція зразків серії ТБМ (трубобетонний елемент із роз'ємним стиком, виконаним за допомогою сталеві муфти). Зразки цієї серії мали найвищу несучу здатність, найбільші коефіцієнти ефективності роботи та найменші витрати матеріалів, що свідчить про високу ефективність конструкції такого типу. Найнижчі показники несучої здатності й ефективності роботи порівняно з іншими виявились у зразків серії ТБФ. Найбільш матеріаловитратними виявились зразки серії ТБР.

2. При зміні ексцентриситету прикладення навантаження була помітна значна зміна несучої здатності стиснутих трубобетонних елементів. Так, зі збільшенням ексцентриситету від 0 до $0,5D$ максимальна несуча здатність залежно від типу конструкції стику зменшувалась у 1,5 – 3 рази. Найбільшу несучу здатність при максимальному ексцентриситеті прикладення навантаження показали зразки серії ТБМ, значення N_1 і N_2 для зразків серій ТБР та ТБФ було майже ідентичним: на 13% меншим, ніж для зразків серії ТБМ, проте значно вищим (на 33%) порівняно з трубобетонними елементами без стиків.

3. Відношення N_2 до N_1 коливалось від 1,02 для позакентрово стиснутих трубобетонних елементів без стику до 1,47 для трубобетонного елемента з роз'ємним стиком, виконаним за допомогою сталеві муфти, в середньому для більшої частини зразків це відношення складало 1,2 – 1,3, що свідчить про живучість даних зразків і наявність запасів несучої здатності навіть після досягнення зразками N_1 .

4. Варто відзначити вплив бетонного осердя на характер роботи та несучу здатність трубобетонних елементів. Порівнюючи зразки серій Т і ТБ, слід відмітити значний вплив наявності бетонного ядра. Так значення N_1 та N_2 для незаповненої бетоном труби були нижчими в середньому на 70%, ніж для трубобетонної конструкції (450 і 580 кН для серії Т порівняно з 770 та 950 кН для серії ТБ), також варто відзначити, що незаповнена бетоном труба деформувалася значно активніше. Це ще раз підтверджує ефективність бетонного заповнення для елементів конструкцій, які працюють на стиск.

5. Головними особливостями деформативності й характеру роботи досліджуваних зразків було те, що жодний зразок повністю не зруйнувався у звичному розумінні цього слова, зокрема не відбулося розриву сталеві труби-оболонки, проте для більшої частини зразків було характерним утворення гофр у приопорній зоні та ліній Людерса – Чернова у стиснутій частині трубобетонного елемента. Також варто відзначити, що не відбулося зрізання болтів та руйнування у зоні роз'ємних стиків.

Література

1. Стороженко Л. И. Трубобетонные конструкции / Л. И. Стороженко. – К. : Будівельник, 1978. – 82 с.
2. Ермоленко Д. А. Трубобетонные конструкции со стержневым армированием: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.01 / Д. А. Ермоленко. – Полтава, 1998. – 180 с.
3. Ермоленко Д. А. Об'ємний напружено-деформований стан трубобетонних елементів : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.01 / Д. А. Ермоленко / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 2012. – 40 с.
4. Високоєфективні технології та комплексні конструкції в промисловому й цивільному будівництві: монографія / О. Г. Онищенко, В. О. Онищенко, С. Ф. Пічугін, О. В. Семко, Л. І. Стороженко. – Полтава: ПФ «Форміка», 2010. – 326 с.

5. Лопатто А. Э. О свойствах бетона, твердеющего в замкнутой обойме и жесткости трубобетонных элементов / А. Э. Лопатто // Строительные конструкции. – Вып. 11. – К. : Будівельник, 1973. – С. 232 – 234.
6. Барбарский В. И. Работа и расчет изгибаемых предварительно напряженных трубобетонных элементов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В. И. Барбарский. – Полтава, 1992. – 326 с.
7. Воскобийник О. П. Методика експериментальних досліджень мінливості трубобетонних елементів / О. П. Воскобийник // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ. – 2003. – Вып. 11. – С. 170 – 174.
8. Гасенко А. В. Надійність сталезалізобетонних стійок, виконаних із швелерів, з урахуванням експлуатаційних пошкоджень : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / А. В. Гасенко / Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. – Полтава, 2008. – 21 с.
9. Головки Г. В. Напряженно-деформированное состояние центрально сжатых элементов из стальных труб квадратного сечения, заполненных бетоном: дис... канд. тех. наук: 05.23.01 / Г.В. Головки. – Полтава, 1996. – 195 с.
10. Стороженко Л. И. Сталезалізобетонные конструкции / Л. И. Стороженко, О. В. Семко, В. И. Ефименко. – К. : Четверта хвиля, 1997. – 160 с.
11. Кортушов П. Г. Розрахунок вузлів спряження монолітних залізобетонних конструкцій з трубобетонними стійками / П. Г. Кортушов // Проблеми теорії і практики залізобетону: зб. наук. пр. / Полтав. держ. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 1997. – С. 256 – 260.
12. Назаров О. В. Напружено-деформований стан трубобетонних елементів при місцевих силових впливах : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / О. В. Назаров; Державний НДІ будівельних конструкцій. – К., 2004. – 20 с.
13. Пенц В. Ф. Напряженно-деформированное состояние оголовков трубобетонных стоек: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В. Ф. Пенц. – Полтава, 1995. – 187 с.
14. Тимошенко В. М. Несуча здатність та деформативність стиснених трубобетонних елементів зі стиками: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В. М. Тимошенко. – Полтава, 2000. – 209 с.
15. Eurocode 4. Common Unified Rules for Composite Steel and concrete Structures European Committee for Standardization (CEN) ENV. – 1994.
16. Zhao X. L. Cold-Formed Tubular Members and Connections / X. L. Zhao, T. Wilkinson, G.J. Hancock // Elsevier Science Pty Ltd, Oxford, UK. – 2005. – 241 p.
17. CIDECT Design Guide No. 1. Design Guide for Circular Hollow Section (CHS) Joints under Predominantly Static Loading. – 1991.
18. CIDECT Design Guide No. 8. Design Guide for Circular and Rectangular Hollow Section Welded Joints under Fatigue Loading. – 2001.
19. CIDECT Design Guide No. 9. Design Guide for Structural Hollow Section Columns Connections. – 2005.

© Стороженко Л.І., Авраменко Ю.О., Семко П.О.
Надійшла до редакції 01.12.2015