УДК 624.078.45

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВУЗЛІВ СТАЛЕВИХ ТРУБ З ЛІНІЙНИМИ ФАСОННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

EXPERIMENTAL-CALCULATION ANALYSES UNITES STEEL PIPES WITH FASONNY ELEMENTS

к.т.н., доц. ***Міщенко Р.А.,*** *к.т.н., доц.* ***Гасенко А.В.,*** *магістрант* ***Меркотан Д.О.,*** *магістрант* ***Продан Д.С.*** *(Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)*

candidate of technical sciences, assistant professor ***Mischenko R.A.,*** *candidate of technical sciences, assistant professor* ***Gasenko A.V.,*** *student* ***Merkotan D.O.,*** *student* ***Prodan D.S.*** *(Poltava National Technical University named in honour of Uriy Kondratuk)*

Постановка проблеми та її обґрунтування. Зародившись як будівельні конструкції близько століття тому, трубобетон отримує за останній час усе більш широке застосування в різноманітних галузях будівництва, зокрема в цивільному та промисловому будівництві. Пояснюється це вдалим поєднанням властивостей сталі та бетону, завдяки якому сталебетонні стиснуті конструкції мають високу міцність, надійність, довговічність, відповідають вимогам високої технологічності при порівняно нижчих витратах матеріалів [5].

Аналіз останніх публікацій та досліджень. Дослідженням вузлів трубобетонних конструкцій займалися у ПолтНТУ у різні роки Л.І. Стороженко, С.П. Воскобійник, В.Ф. Пенц, В.М. Тимошенко, Д.А. Єрмоленко та інші. У їх роботах детально досліджені вузли стикування трубобетонних елементів, представлені методи розрахунку деформацій, переміщень і несучої здатності, розроблена надійна теорія роботи трубобетонних елементів в умовах об'ємного напружено-деформованого стану складових матеріалів [4, 5].

За кордоном дослідження роботи вузлів трубобетонних стійок проводилися ще з кінця XIX століття. Серед іноземних досліджень, які проводилися в останні роки, слід відмітити роботи Я. Гарбатова, С. Гюдес-Соарес, Кентаро Ямади [1], що найшло відображення у європейских нормах Eurocode та будівельних нормах інших країн світу.

Виділення невирішеної раніше проблеми. Не дивлячись на значний обсяг проведених експериментальних та теоретичних робіт, вплив місцевих навантажень на напружено-деформований стан трубобетонних конструкцій на сьогодні недостатньо досліджений.

Мета даної роботи – провести експериментально-чисельні дослідження вузлів сталевих стійок з труб із фасонними елементами, що застосовуються під час влаштування баз колон, вузлів обпирання балок на колони, вузлів приєднання в'язей до колон тощо та визначити передумови для проведення аналогічних досліджень вузлів трубобетонних стійок.

Виклад основного матеріалу. Для проведення експериментальних досліджень було заплановано виготовити дві серії зразків згідно програми експерименту, зображеної на рисунку 1:

1. серія СВ – вузли сталевих труб (загальною кількістю 16 зразків), що запроектовано з сталевої короткої колони та сталевих фасонних листів різних розмірів;

2. серія СБВ – вузли сталебетонних труб (загальною кількістю 16 зразків), що запроектовано з трубобетонної короткої колони та сталевих фасонних листів різних розмірів.

У даній статті описано результати досліджень тільки першої серії зразків – серії СВ – вузлів сталевих труб.

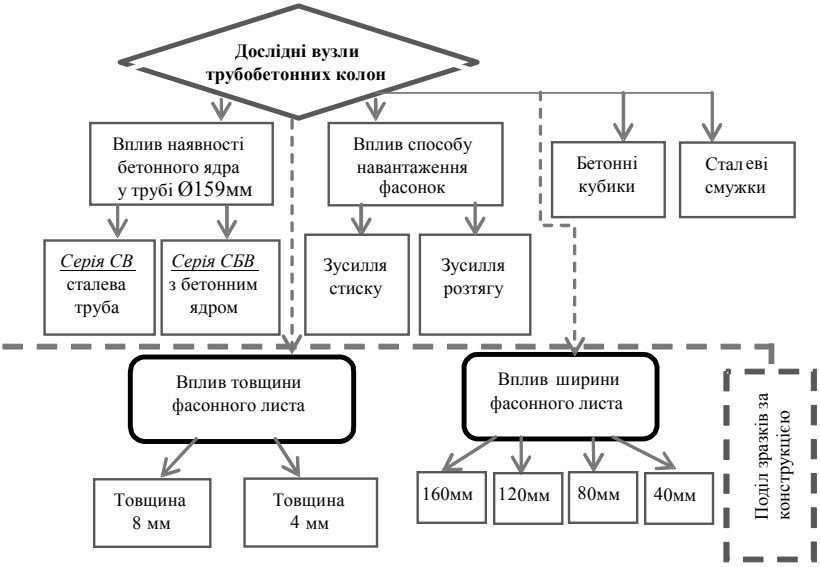


Рис. 1. Програма проведення досліджень вузлів колон

Для виготовлення експериментальних зразків були застосовані електрозварні холоднодеформовані труби зовнішнім діаметром $D = 159$ мм із товщиною стінки $t = 4{,}5$ мм довжиною $l = 3D \approx 450$ мм. Фасонні листи використовувалися товщиною 8 мм і 4 мм та шириною 40 мм, 80 мм, 120 мм і 160 мм. Фасонні листи приварювалися вздовж осі труби симетрично з обох боків. Для електрозварних робіт застосовувалася ручна електрозварка електродами типу Е-42. Схематичні креслення зразків наведено на рисунку 2. Для визначення фізико-механічних властивостей сталі (згідно ГОСТ 1497-84) були випробувані по два пропорційних плоских зразка на розтяг, вирізаних із труби та фасонних листів кожної товщини.

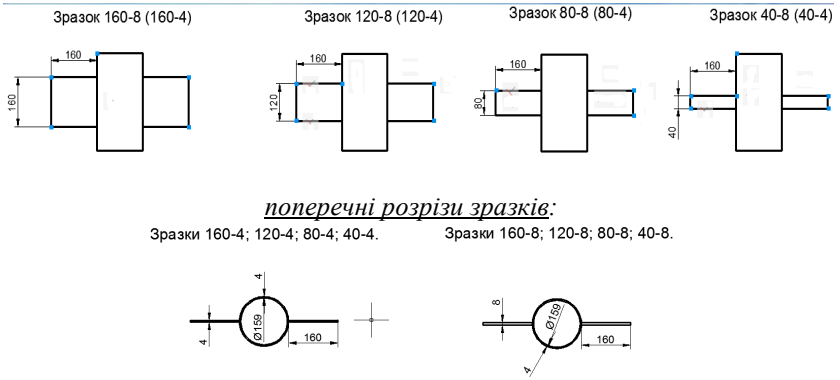


Рис. 2. Конструкція дослідних зразків серій СВ та СБВ

Навантаження до зразків прикладалося за фасонні листи по вісі цих листів на стиск чи на розтяг (див. рис. 3). При цьому за допомогою індикаторів годинникового типу ИЧ-10 з ціною поділкою 0,01 мм фіксувалися деформації зміни діаметру труби стійки у площині завантаження та у перпендикулярному напрямку. Схему розташування індикаторів годинникового типу показано на рисунку 3.

Для вимірювання деформацій у найбільш напружених місцях використовувалися електротензорезистори з базою 5 мм, що наклеювалися за допомогою клею БФ-2 у поздовжньому, поперечному напрямках та під кутом 45^0 до поздовжньої осі елемента на трубу та фасонні листи (див. рис. 7). Для тензометричних випробувань використовувався автоматичний вимірювач деформацій АВД-4.

Загальний вигляд частини першої серії зразків безпосередньо перед випробуваннями із наклеєними електротензорезисторами наведений на рисунку 4.

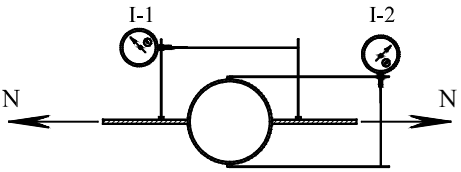


Рис. 3. Схема розташування індикаторів годинникового типу для виміру зміни діаметру труби під час випробувань

Рис. 4. Загальний вигляд першої серії зразків перед випробуваннями

Експериментальні випробування проводилися на вимірювальній машині РМП-500 потужністю 500 кН. Шкала на силовимірювачу виставлялася з ціною поділки 0,2 кН. Завантаження здійснювалося ступенями по 10% від передбачуваного руйнуючого навантаження N_u. Кожна ступінь завантаження втримувалась не менше 10 хв. для можливості зняття відліків на всіх вимірювальних приладах.

Перед проведенням експериментальних випробувань дослідних зразків проводилося комп'ютерне моделювання випробувань моделей зразків методом скінченних елементів у комплексі MSC.NASTRAN for Windows 2004 [2, 3]. Сітка скінченних елементів моделей була створена із тетраедрів. Розмір сітки – 4 мм, що рівний товщині труби. Матеріал зразків – сталь – задавався як пружно-пластичний із задаванням діаграми деформування σ-ε, отриманої в результаті визначення фізико-механічних характеристик сталевих смуг, вирізаних із зразків. Навантаження до моделей зразків та умови закріплення відповідали фактичним умовам, що створювалися під час проведення експериментальних досліджень, тобто навантаження і закріплення здійснювалося за фасонні листи вздовж їх осі.

У результаті проведення експериментально-чисельних досліджень вузлів сталевих труб встановлено характер їх деформування та місця виникнення концентрації напружень. На рисунках 5 і 6 показано вигляд зразків після випробувань на стиск та на розтяг відповідно. Світлим кольором на моделях (рисунки 5 б) і 6 б) виділені зони максимальних напружень.

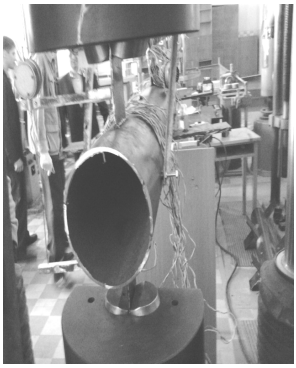
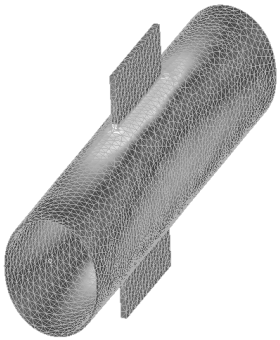
а)  б) 

Рис. 5. Загальний вигляд зразка серії СВ після випробування на розтяг: а) у випробувальній установці; б) комп'ютерне моделювання

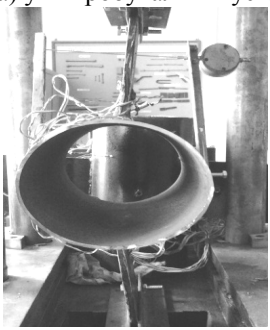
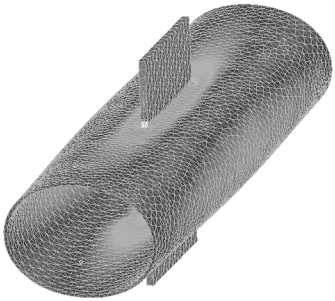
а)  б) 

Рис. 6. Загальний вигляд зразка серії СВ після випробування на стиск: а) у випробувальній установці; б) комп'ютерне моделювання

За даними електротензорезисторів, отриманими під час проведення експериментальних випробувань, побудовані діаграми розвитку деформацій на поверхні зразків, що наведені на рисунку 7.

Провівши ряд дослідів, визначено характер деформування вузлів сталевих труб з фасонками: на розтяг при усіх типорозмірах фасонок найбільші деформації виникали у трубі біля кінців фасонок у напрямку перпендикулярному самій фасонці – ортогональних перерізах труби, що підтвердило попередні чисельні дослідження моделей зразків методом скінченних елементів (див. рис. 5 б) і 6 б). Під час проведення випробувань на стиск спостерігалась дещо інша картина: майже всі фасонки при стиску втрачали місцеву стійкість під дією прикладених зусиль, окрім фасонок шириною 120 мм і 160 мм товщиною 8 мм, при використанні яких відбувалися значні деформації труби у місцях, аналогічних що і при випробуваннях на розтяг.

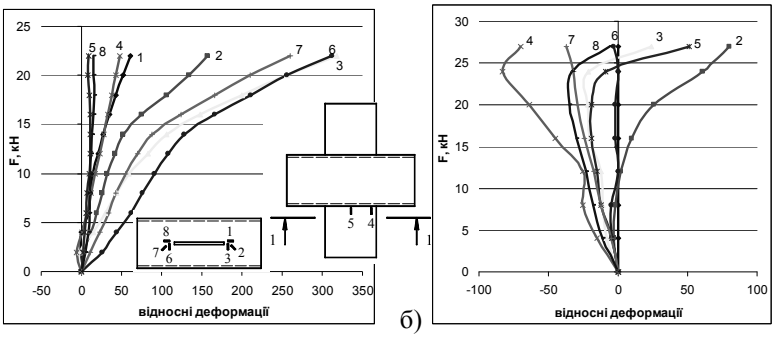


Рис. 7. Діаграми зміни деформацій на поверхні експериментальних зразків під час проведення випробувань

Ґрунтуючись на проведених дослідженнях, можна зробити **висновок**, що у вузлах стійок, які сприймають зусилля стиску, ширина фасонних листів повинна бути не менша діаметра труби стійки із товщиною вдвічі більшою за товщину труби для запобігання місцевої втрати стійкості фасонок. В такому випадку, максимальні деформації зосереджуються у трубі біля кінців фасонок у напрямку перпендикулярному самій фасонці – ортогональних перерізах труби. Заповнення труби стійки бетонним осердям, на нашу думку, повинно значно збільшити місцеву стійкість самої труби, а отже і зменшити у ній концентрацію напружень. Тому виникає необхідність проведення подальших експериментально-чисельних досліджень аналогічних трубобетонних вузлів з порівнянням отриманих результатів.

Список літератури

1. Гасенко А.В. Конструктивні рішення вузлів поєднання сталебетонних колон з перекриттям у громадських та промислових будівлях / А.В. Гасенко // Зб. наук. праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – Вип. 3 (33). – С. 55 – 61.
2. Горев В.В. Математическое моделирование при расчетах и исследованиях строительных конструкций / В.В. Горев, В.В. Филиппов, Н.Ю. Тезиков. – М. : Высшая школа, 2002. – 206 с.
3. Зенкевич О.С. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошной среды / О.С. Зенкевич, И. Чанг. – М. : Недра, 1974. – 238 с.
4. Семко О.В. Особливості конструювання і розрахунку вузлів сталебетонних колон з швелерів / О.В. Семко, А.В. Гасенко // Будівельні конструкції : зб. наук. пр. – К. : НДІБК, 2006. – Вип. 65. – С. 183–186.
5. Трубобетон: монографія / Стороженко Л.І., Єрмоленко Д.А., Лапенко О.І.; ПолтНТУ. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2010. – 306 с.