

УДК 624.016:69.059

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРУБОБЕТОННИХ
ЕЛЕМЕНТІВ З ЛОКАЛЬНИМИ ПОШКОДЖЕННЯМИ ТРУБИ-
ОБОЛОНКИ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРУБОБЕТОННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ С ЛОКАЛЬНЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ТРУБЫ-
ОБОЛОЧКИ**

**THE EXPERIMENTAL RESEARCHES OF CONCRETE FILLED STEEL
TUBES MEMBERS WITH LOCAL DEFECTS OF DAMAGES OF STEEL
CASING**

**Воскобійник О.П., к.т.н., с.н.с., докторант, Гасенко А.В., к.т.н., доцент,
Пархоменко І.О., аспірант (Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава)**

**Воскобойник Е.П., к.т.н., с.н.с., докторант, Гасенко А.В., к.т.н., доцент,
Пархоменко И.О., аспирантка (Полтавский национальный технический
университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава)**

**Voskobiinyk O.P., candidate of technical sciences, Gasenko A.V. candidate of
technical sciences, Parhomenko I.O. postgraduate student, (Poltava National
Technical University named after Yuri Kondratyuk, Poltava)**

У статті наведені результати експериментальних досліджень труобетонних елементів з дефектами та пошкодженнями труби-оболонки. Проаналізовано вплив типу та параметрів штучно створених пошкоджень труби-оболонки дослідних труобетонних зразків на їх характер роботи, а також визначені мінімальні параметри пошкоджень оболонки, наявність яких практично не впливає на несучу здатність труобетонного елемента в цілому.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований труобетонных элементов с дефектами та повреждениями труби-оболонки. Проанализировано влияние типа и параметров искусственно созданных повреждений труби-оболонки экспериментальных труобетонных образцов на их характер работы, а также определены минимальные параметры повреждений оболочки, практически не влияющие на несущую способность труобетонного элемента в целом.

The results of experimental researches of concrete filled steel tubes elements with defects and damages of pipe-membrane are considered in the article. The influence of types and parameters of artificially created damages of pipe-membrane of experimental concrete filled steel tubes samples on their character of work are analyzed in the article. The minimum parameters of damages of membrane, which practically aren't influencing of bearing ability of concrete filled steel tubes element as a whole are determined in the article.

Ключові слова:

Трубобетон, дефекти, експлуатація, пошкодження.

Трубобетон, дефекты, эксплуатация, повреждения.

Concrete filled steel tubes, defects, exploitation, damages.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Застосування трубобетонних конструкцій у якості несучих елементів сталезалізобетонних каркасів промислових та цивільних будівель на сьогодні є досить актуальним, особливо при підвищених вимогах до санітарно-гігієнічного стану (наприклад, у приміщеннях харчових підприємств), а також за необхідності прийняття значних експлуатаційних навантажень [1, 2]. Проте досить суттєвим фактором, що затримує впровадження ефективних сталезалізобетонних конструкцій в практику сучасного будівництва, є недосконалість діючої вітчизняної нормативної бази з цього питання, адже прийняття основного документа ДБН В.2.6-160:2010 «Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення» [4], не зняло всіх питань, пов'язаних з особливостями проектування, будівництва, експлуатації, нормування розрахунку та оцінювання технічних станів таких конструктивних елементів.

З іншого боку, якщо удосконаленню методик розрахунку конструктивних елементів з трубобетону при новому будівництві традиційно в літературі приділяється досить багато уваги, про що свідчать **останні дослідження [3] та публікації, в яких започатковане розв'язання даної проблеми [8, 9, 11]**, то проблема нормування та розмежування технічних станів, оцінювання фактичних показників надійності, експлуатаційної придатності, особливостей роботи та параметрів напружено-деформованого стану експлуатованих трубобетонних конструкцій з дефектами та пошкодженнями, в цих наукових дослідженнях майже невисвітлена. Тому в Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка під керівництвом професора Семка О.В. започатковані дослідження надійності та ризиків сталезалізобетонних конструкцій при проектуванні та експлуатації [3], зокрема трубобетонних елементів з дефектами та пошкодженнями [8].

Отже, існує нагальна необхідність в найближчий час у розвиток ДБН В.2.6-160:2010 [4] розробити ще цілий ряд стандартів (ДСТУ), серед

яких нормативні документи, що регламентуватимуть процедуру обстеження, оцінювання технічних станів та підсилення сталезалізобетонних конструкцій, аналогічних існуючим нормам [5, 6] Це в свою чергу потребує розробки комплексних методів розрахунку, визначення та нормування технічних станів сталезалізобетону (зокрема трубобетонних елементів) на основі експериментальних досліджень особливостей їх роботи та напружено-деформованого стану, що є **невирішеною частиною загальної проблеми, котрій присвячена стаття.**

Основною **метою роботи** є експериментально-теоретичним шляхом дослідити особливості роботи та напружено-деформованого стану трубобетонних конструкцій, що знаходяться в експлуатації та мають дефекти й пошкодження.

Для досягнення поставленої мети **задачі дослідження** в рамках даної роботи полягають в отриманні експериментальних даних щодо впливу найбільш розповсюджених типів дефектів та експлуатаційних пошкоджень труби-оболонки трубобетонних елементів на їх характер роботи, параметри напружено-деформованого стану та несучу здатність.

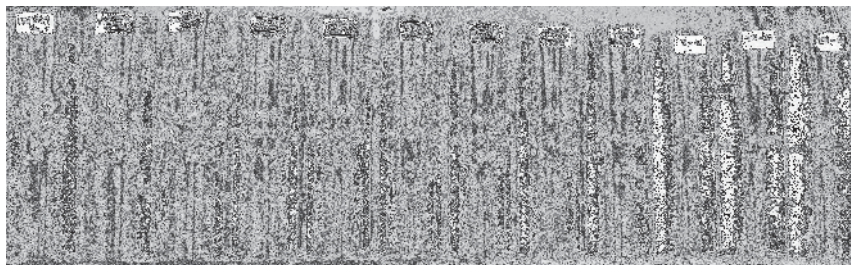
Виклад основного матеріалу досліджень. Як відомо [8], основним критерієм відповідності вимогам експлуатаційної придатності будівельних конструкцій при їх візуальному обстеженні є, насамперед, аналіз наявних дефектів та пошкоджень. Утворення дефектів та пошкоджень будівельних конструкцій, що знаходяться в експлуатації, зазвичай приводять не лише до зниження їх несучої здатності та надійності, а подекуди й до якісної зміни параметрів напружено-деформованого та характеру роботи під навантаженням. Трубобетонні конструкції з цієї точки зору – не виняток. Якщо закономірності утворення дефектів виготовлення й експлуатаційних пошкоджень залізобетонних та металевих конструкцій, а також їх вплив на фактичні показники експлуатаційної придатності (міцності, деформативності, довговічності тощо) в літературі [4] вивчені досить детально, то аналогічні дослідження стосовно трубобетону на сьогодні в Україні практично відсутні.

Проведений нами аналіз [8] свідчить, що до найбільш суттєвих дефектів виготовлення трубобетонних стійок слід віднести дефекти або аномалії бетонування, зумовлені певними технологічними ускладненнями, пов'язаними з особливостями укладання та ущільнення бетонної суміші в замкнений об'єм труби-оболонки [7, 10]. Більш детально класифікація можливих дефектів та пошкоджень трубобетону розглянута в [8], відповідно до якої одним з найбільш поширених типів пошкоджень трубобетону є дефекти (пошкодження) поверхні труби-оболонки, у вигляді корозійних уражень [9] та локальних послаблень (тріщин, подряпин, отворів), що виступають свого роду концентраторами напружень [10] та можуть суттєво вплинути не лише на напружено-деформований стан зони їх локалізації, а й трубобетонного елемента в цілому.

Із метою встановлення ступеня впливу такого виду дефектів та пошкоджень поверхні труби-оболонки на несучу здатність, зміну характеру роботи під навантаженням та параметри напружено-деформованого стану трубобетонних елементів нами були проведені експериментальні дослідження, програма яких передбачала виготовлення та випробування декількох серій коротких трубобетонних зразків (зі співвідношенням $l < 4D$), зокрема серії ТБп, що складалась зі 12 зразків з різними типами та параметрами штучно створених пошкоджень труби-оболонки (рис. 1):

- зразки зі штучно створеними наскрізними круглими отворами діаметром $d = 10, 20, 30$ мм (шифр зразків ТБп 1.1, ТБп 1.2, ТБп 1.3 відповідно);
- зразки зі штучно створеними наскрізними поздовжніми прорізами шириною (рисками) $a = 3$ мм та довжиною $l = 50, 70, 100$ мм (шифр зразків ТБп 2.1, ТБп 2.2, ТБп 2.3 відповідно);
- зразки зі штучно створеними поздовжніми надрізами (шліцами) шириною $a = 3$ мм, глибиною $b = 2$ мм та довжиною $l = 50, 70, 100$ мм (шифр зразків ТБп 3.1, ТБп 3.2, ТБп 3.3 відповідно);
- зразок у вигляді пустої труби (шифр зразка Т 4.1), зразок без дефектів і пошкоджень і труби-оболонки і бетонного ядра (шифр зразка ТБ 4.2), зразок з дефектом бетонного ядра (шифр зразка ТБ 4.3).

Прийнята програма та методика проведення експериментальних досліджень, фізико-механічні властивості матеріалів, схеми розташування вимірювальних приладів та конструкція дослідних зразків наведена в [8].



а



б

Рис. 1. Загальний вигляд дослідних зразків серії ТБп:
а – до випробування, б – після випробування

Всі зразки випробовувались на центральний стиск з centruванням по геометричному та фізичному центру зразка шляхом прикладання пробного навантаження, рівного приблизно 0,2 від очікуваного граничного, та порівняння значень поздовжніх деформацій по колу. Під час випробування фіксувалися зусилля, що відповідають початку текучості металу труби-оболонки (N_y) та N_u , після досягнення якого дослідний зразок переставав сприймати навантаження, що приймалося за критерій руйнування елемента, хоча при цьому зразок не втрачав своєї цілісності та продовжував працювати в позаграничному стані, зазнаючи суттєвих пластичних деформацій на низхідній гілці діаграми фізичного стану.

Руйнування дослідних зразків серії ТБп з пошкодженнями оболонки відбувалось шляхом втрати місцевої та загальної стійкості, починаючи з торців зразка – в місцях прикладання навантаження. При цьому отримані графіки головних деформацій свідчать про складний напружено-деформований стан в зоні розташування пошкоджень труби-оболонки.

Відмінний характер руйнування спостерігався при випробуванні трубобетонного зразка з дефектом (послабленням) бетонного ядра (ТБп-4.3), коли утворення гофр відбувалось в середній частині елемента – в зоні розташування дефекту.

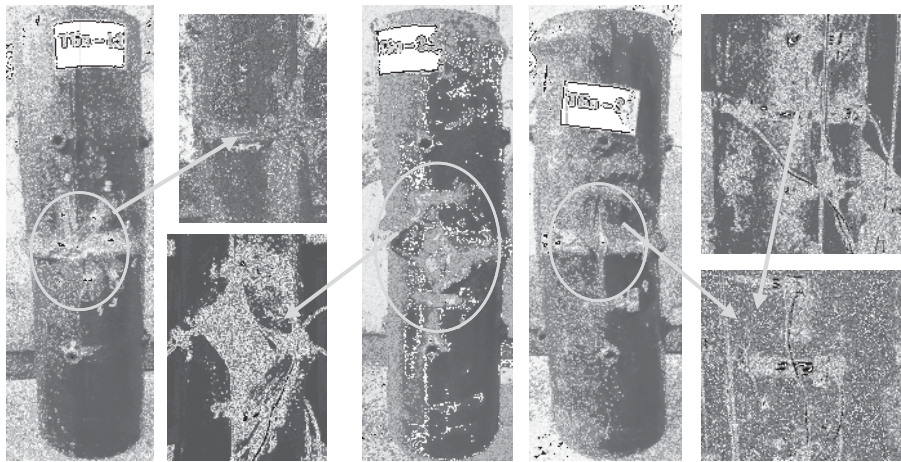


Рис. 3. Характер руйнування дослідних зразків

На рисунку 4 наведені характерні графіки зміни повздовжніх деформацій деяких дослідних зразків серії ТБп залежно від рівня завантаження, що свідчать про зростання нерівномірності деформування зразків по колу при збільшенні параметрів дефектів. Так, при мінімальному розмірі послаблення поперечного перерізу труби-оболонки у вигляді наскрізного отвору (зразок

ТБп – 1.1, рис. 4, а, втрати площі поперечного перерізу до 3%) та наскрізного поздовжнього прорізу (зразок ТБп – 2.1, рис. 4, в, втрати площі поперечного перерізу до 1%) характер деформування труботетонного елемента майже не відрізняється від роботи аналогічних зразків без дефектів та пошкоджень [12]. Зі збільшенням розміру дефекту (зразки ТБп – 1.2, ТБп – 2.2, рис. 4, б, г) спостерігається нерівномірність деформування зразків навіть на початкових стадіях завантаження, тобто має місце характерний вигін зразка в протилежний бік від послаблення з одночасним розвантаженням інших зон елемента. При цьому, графіки зміни головних деформацій від рівня завантаження, отримані за допомогою обробки показань електроротензорезисторів, встановлених розетками, свідчать про складний напружено-деформований стан труботетонних зразків в зоні розташування дефектів труби-оболонки.

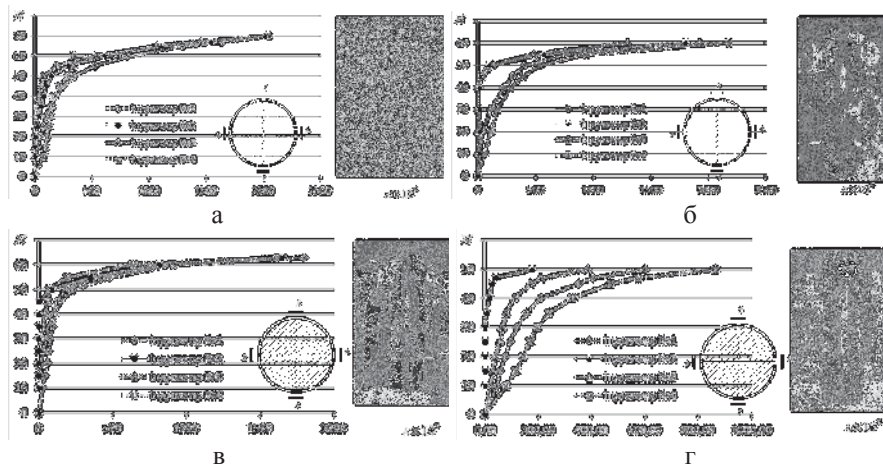


Рис. 4. Графіки зміни поздовжніх деформацій дослідних зразків ТБп:
а – ТБп – 1.1, б – ТБп – 1.2, в – ТБп – 2.1, г – ТБп – 2.2.

Окрім того встановлено, що тип та параметри штучно створених пошкоджень труби-оболонки дослідних труботетонних зразків (серія ТБп) суттєво впливають на їх несучу здатність: збільшення розмірів локального послаблення оболонки призводить до зниження несучої здатності труботетонного елемента в межах від 10 до 30% за зусиллям, що відповідає межі текучості (N_y), та від 20 до 45%, що відповідає повній втраті несучої здатності (N_u).

Наявність в трубі-оболонці дефекту у вигляді наскрізного отвору призводить до зниження несучої здатності труботетонного елемента до 10%, при наявності шліцу (наскрізної щілини) – від 10 до 45%, риски (пропилу) –

до 20%. При наявності послаблення (дефекту) бетонного ядра несуча здатність трубобетонного елемента зменшувалась майже в 2 рази.

За результатами випробувань були підраховані значення коефіцієнтів ефективності трубобетону m_y (m_u):

$$m_y = \frac{N_y^{exp}}{\bar{R}_y \cdot A_s^\phi + \bar{R}_b \cdot A_b^\phi}; \quad m_u = \frac{N_u^{exp}}{\bar{R}_y \cdot A_s^\phi + \bar{R}_b \cdot A_b^\phi}, \quad (1)$$

де \bar{R}_y , \bar{R}_b – середні значення межі текучості сталі та призмової міцності бетону;

N_y^{exp} – навантаження, що відповідає досягненню в сталевій трубі-оболонці межі текучості;

N_u^{exp} – несуча здатність елемента.

A_s^ϕ , A_b^ϕ – початкова площа сталеві оболонки та бетонного ядра відповідно, визначені за результатами безпосередніх замірів.

Порівняння підрахованих за результатами експериментальних досліджень відносної зміни коефіцієнтів ефективності m_y (m_u) дослідних зразків з різними типами пошкоджень та дефектів наведено на рисунку 5. При побудові діаграм за одиницю було прийняте значення коефіцієнтів ефективності роботи трубобетонного елемента без дефектів та пошкоджень.

Проведені розрахунки свідчать, що внаслідок наявності концентрації напружень в зоні розташування дефектів (послаблень) коефіцієнт ефективності трубобетону m_y (m_u) може зменшуватися до 30% (рис. 5). З іншого боку, при мінімальних параметрах пошкоджень (послаблень перерізу труби-оболонки до 1...3% зменшення площі поперечного перерізу) ефективність роботи трубобетону, оцінена за допомогою коефіцієнтів m_y (m_u), майже не відрізняється від аналогічних трубобетонних зразків без дефектів [12].

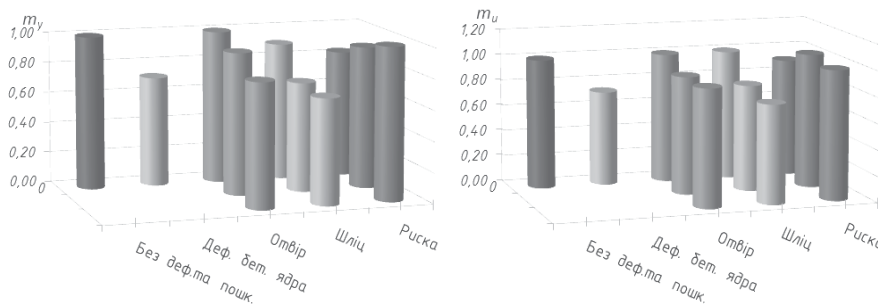


Рис. 5. Розподіл коефіцієнта m_y та m_u для дослідних зразків серії ТБп

Висновки. В статті наведені результати експериментальних досліджень трубобетонних елементів з дефектами та пошкодженнями труби-оболонки. Проаналізовано вплив типу та параметрів штучно створених пошкоджень труби-оболонки дослідних трубобетонних зразків на їх характер роботи, а також визначені мінімальні параметри пошкоджень оболонки, наявність яких практично не впливає на характер роботи та несучу здатність трубобетонного елемента в цілому.

1. Кикин А.И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном [Текст] / А.И. Кикин, Р.С. Санжаровский, В.А. Трулль. – М. : Стройиздат, 1974. – 145 с.
2. Стороженко Л.И. Сталежелезобетонные конструкции [Текст] / Л. И. Стороженко, О.В. Семко, В.И. Ефименко. – К. : Четверта хвиля, 1997. – 160 с.
3. Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій [Текст] : монографія / О.В. Семко. – К. : Сталь, 2004. – 316 с.
4. ДБН В.2.6-160:2010. Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення [Текст] : чинний з 2011-09-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
5. ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації [Текст] : чинний з 1992 – 07- 01. – К. : Держбуд України, 1992. – 45 с.
6. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд [Текст] / Державний комітет будівництва архітектури та житлової політики України та Держнаглядохоронпраці Україна – К.: 1997.
7. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий : атлас схем и чертежей [Текст] / А. И. Мальганов, В. С. Плевков, А. И. Полищук. – Томск : Том. ун-т, 1990. – 456 с.
8. Воскобійник О.П. Методика експериментальних досліджень требетонних елементів з дефектами та експлуатаційними пошкодженнями [Текст] / О.П. Воскобійник, І.О. Пархоменко, О.О. Бурцайло // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. –Вип.№23. –2012 – Рівне, НУВГП. – С. 133 – 140.
9. Воскобійник О.П. Врахування впливу корозійних пошкоджень сталеві оболонки на показники надійності трубобетонних елементів при оцінюванні їх технічного стану [Текст] /О.П. Воскобійник, Ж.Ю. Бескровна, І.О. Пархоменко // Будівельні конструкції: Зб. Наук. Праць. – К.: ДП. НДІБК, 2011. – Вип. 74, книга 2. – С. 106 – 115.
10. Александров В.М. Тонкие концентраторы напряжений в упругих телах [Текст] / В.М. Александров, Б.И. Сметанин, Б.В. Соболев. – М. : Физматлит, 1993. – 296 с.
11. Воскобійник О.П. Особливості роботи трубобетонних стійок з корозійними пошкодженнями сталеві оболонки [Текст] / О.П. Воскобійник, І.О. Пархоменко, Я.В. Томілін // Галузеве машинобудування, будівництво : зб. наук. праць. – Полтава : ПолтНТУ, 2011. – Вип. 1 (29). – С. 93–98.
12. Семко О.В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій [Текст] : монографія / О.В. Семко, О.П. Воскобійник. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – 514 с.