

УДК 624.016:69.059

*О.В. Семко, д.т.н., профессор
О.П. Воскобойник, к.т.н., с.н.с., докторант
І.О. Пархоменко, аспірантка*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПОШКОДЖЕНЬ ТРУБИ-ОБОЛОНКИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Проаналізовано вплив типу та параметрів штучно створених пошкоджень труби-оболонки дослідних трубобетонних зразків на характер їх роботи, а також визначено мінімальні параметри пошкодження оболонки, наявність яких практично не впливає на несучу здатність трубобетонного елемента в цілому.

Ключові слова: *трубобетон, пошкодження, експлуатація, особливості роботи.*

УДК 624.016:69.059

*А.В. Семко, д.т.н., профессор
Е.П. Воскобойник, к.т.н., с.н.с., докторант
И.О. Пархоменко, аспирантка*

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ТРУБЫ-ОБОЛОЧКИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Проанализировано влияние типа и параметров искусственно созданных повреждений трубы-оболочки экспериментальных трубобетонных образцов на характер их работы, а также определены минимальные параметры повреждений оболочки, практически не влияющие на несущую способность трубобетонного элемента в целом.

Ключевые слова: *трубобетон, повреждения, эксплуатация, особенности работы.*

UDC 624.016:69.059

*O.V. Semko, ScD, Professor
O.P. Voskobiinyk, PhD, senior researcher, post-doctoral
I.O. Parhomenko, post-graduate
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

ANALYSIS OF INFLUENCE OF DAMAGES PIPE-SHELL ON THE TENSELY-DEFORMED STATE AND BEARING STRENGTH OF FILLED STEEL TUBES MEMBERS ELEMENTS

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.

Keywords: *Concrete filled steel tubes, damages, exploitation, behavior specifics.*

Вступ. Наявність локальних пошкоджень труби-оболонки (місцеві вигини, вирізи, тріщини внаслідок корозійної втоми й інші види різноманітних послаблень поперечного перерізу) трубобетонних конструкцій під час експлуатації може доволі суттєво впливати на особливості роботи, несучу здатність та інші показники експлуатаційної придатності такого типу конструктивних елементів.

Огляд останніх джерел досліджень та публікацій. Останні дослідження [3] та публікації, в яких започатковане розв'язання цієї проблеми свідчать, що вдосконаленню методик розрахунку трубобетону при новому будівництві традиційно в літературі приділяється досить багато уваги [6, 7, 8], тому проблему нормування та розмежування технічних станів, оцінювання фактичних показників надійності, експлуатаційної придатності, особливостей роботи й параметрів напружено-деформованого стану експлуатованих трубобетонних конструкцій з дефектами та пошкодженнями в цих наукових дослідженнях майже не висвітлено.

Нерозв'язаною раніше частиною загальної проблеми є розроблення методики розрахунку експлуатованих трубобетонних конструкцій з дефектами й пошкодженнями (зокрема, локальними послабленнями труби-оболонки).

Саме на розв'язання цієї проблеми спрямовано започатковані в Полтавському національному технічному університеті ім. Ю. Кондратюка під керівництвом д.т.н., професора О.В. Семка та к.т.н. О.П. Воскобійник дослідження надійності й ризиків сталезалізобетонних конструкцій при проектуванні та експлуатації [3], зокрема трубобетонних елементів з дефектами й пошкодженнями [6].

Метою роботи в межах цих досліджень є аналіз на основі експериментальних даних впливу наявних локальних пошкоджень труби-оболонки трубобетонних стійок на параметри їх напружено-деформованого стану, особливості роботи та несучу здатність.

Основний матеріал і результати. Для отримання даних щодо впливу пошкоджень труби-оболонки на несучу здатність трубобетонних стійок автори виконали серію експериментальних досліджень, що передбачали випробування коротких трубобетонних елементів зі штучно створеними послабленнями (дефектами), а саме:

- тип 1 (серія ТБп2-1): одиночний наскрізний поздовжній проріз довжиною $l=100$ мм з різною шириною a ;
- тип 2 (серія ТБп2-2): групові наскрізні поздовжні прорізи з різною довжиною l , шириною a та відстанню між пошкодженнями;
- тип 3 (серія ТБп2-3): групові наскрізні поздовжні прорізи довжиною l з різною шириною a та відстанню між пошкодженнями по колу;
- тип 4 (серія ТБп2-4): групові наскрізні поперечні прорізи довжиною $l=50$ мм з різною шириною a та відстанню між пошкодженнями по висоті зразка $h=100$ мм;

– тип 5 (серія ТБп2-5): місцеві суцільні й локальні потоншення стінки (на 50% товщини) різної площі.

Більш детально прийняту програму експериментальних досліджень, конструкцію дослідних зразків та методику випробування наведено в роботах [6, 7, 8].

Руйнування дослідних зразків зі штучно створеними локальними пошкодженнями оболонки у вигляді наскрізних пропилів відбувалося шляхом втрати місцевої стійкості, починаючи з розкриття поздовжніх і закриття поперечних пошкоджень, після чого розвивалися пластичні деформації поблизу торців зразка, в місцях прикладання навантаження (рис. 1). Відмінний характер руйнування спостерігався при випробуванні трубобетонних зразків з дефектами, що моделювали суцільну корозію, коли утворення гофр відбувалося в середній частині елемента, що супроводжувалося значним викривленням елемента в площину розташування пошкодження. Критерієм руйнування всіх дослідних зразків слід вважати втрату місцевої стійкості в зоні розташування пошкодження, після досягнення якої елементи працювали пластично в позаграничному стані, сприймаючи ще від 15 до 40% навантаження.

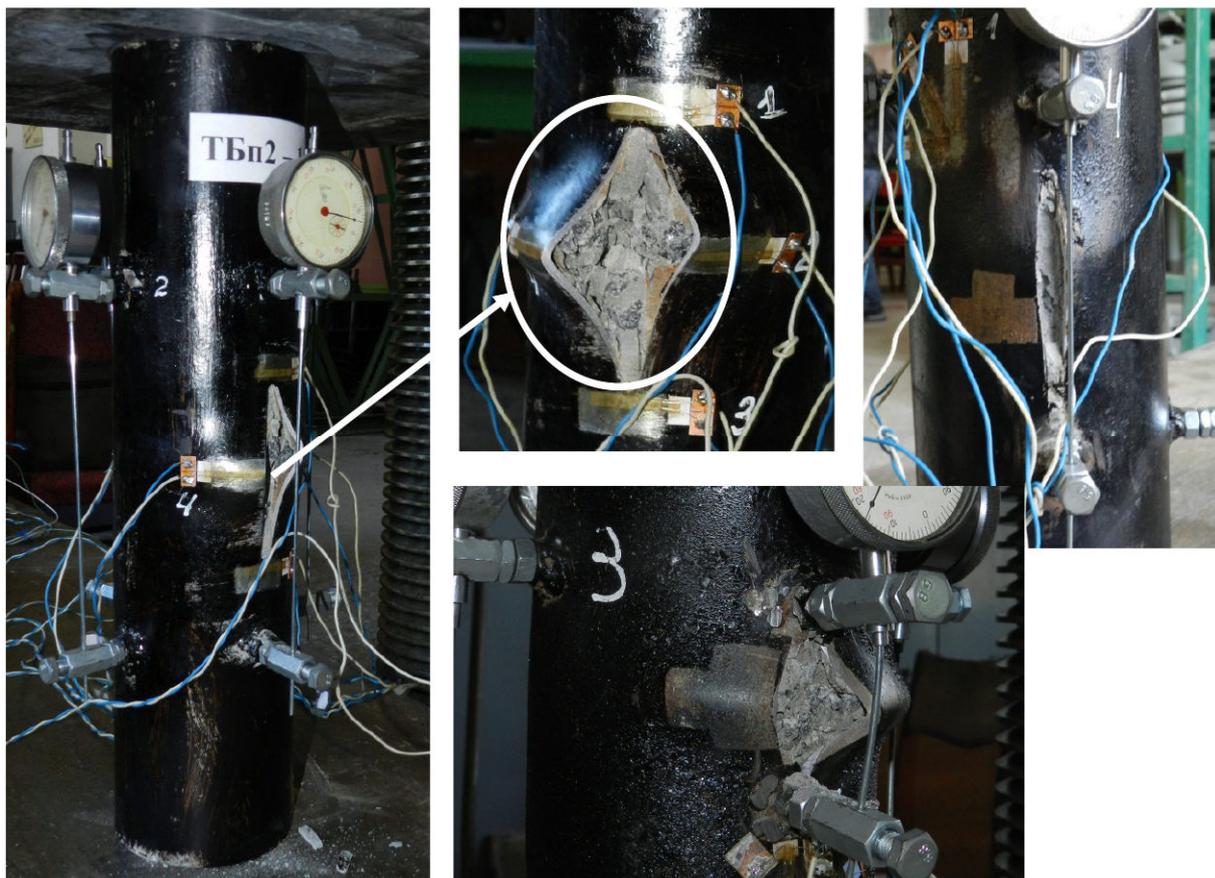


Рис. 1. Характер руйнування дослідних зразків серії ТБп2

За результатами експериментальних досліджень несуча здатність за межею текучості (N_y) для зразків типу «1» коливалася в межах 350 – 500 кН, а за межею міцності (N_u) - в межах 580 – 630 кН (табл. 1). Збільшення ширини поздовжнього наскрізного пропилю суттєво впливає на несучу здатність трубобетонного елемента: при ширині пропилю 3 мм несуча здатність за межею текучості в середньому становить 470 кН, а при 6 мм – 400 кН, що становить різницю до 15%. Для зразків типу «2» (ТБп2-2.1 та ТБп2-2.3) зі зменшенням ширини пропилю від 6 до 3 мм відповідно несуча здатність за межею текучості зростає на 9%, а за межею міцності на - 13%. Для ширини поздовжнього пропилю 3 мм (зразки типу «3») розміщення й довжина пошкоджень практично не впливає на несучу здатність (за межею текучості становить 6%, а за межею міцності 1%). Для дослідних зразків типу «4» несуча здатність за межею текучості для пропилів 6 і 3 мм збільшується менше ніж на 1%, а за межею міцності – на 20%. Результати випробування дослідних зразків наведено в таблиці 1.

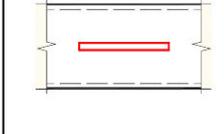
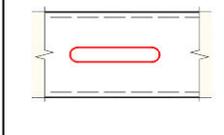
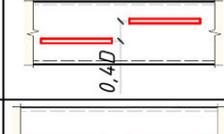
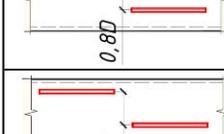
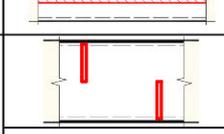
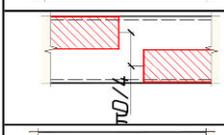
Аналізуючи отримані результати (табл. 1), слід відмітити, що найменше на несучу здатність трубобетонних елементів, навіть при суттєвих втратах площі 6 - 11%, впливають суцільні пошкодження труби-оболонки, що моделюють її рівномірну суцільну корозію (дослідні зразки ТБп2, тип «5»). При цьому спостерігається зменшення несучої здатності на 20 - 30% залежно від площі та орієнтації ушкоджених ділянок поверхні оболонки.

З іншого боку, суттєвий вплив на несучу здатність має орієнтація пошкоджень у вигляді наскрізних прорізів у трубі-оболонці. Так, наявність такого типу групових горизонтальних пошкоджень меншою мірою впливає на зниження несучої здатності стиснутих трубобетонних елементів, на відміну від вертикально розташованих наскрізних поодиноких та групових наскрізних прорізів у трубі-оболонці.

Порівняння експериментальної та теоретичної несучої здатності (обчисленої за рекомендаціями [1, норм п. 6.7] з урахуванням зменшення площі перерізу, таблиця 1) свідчить про суттєве завищення (до 30%) розрахункової несучої здатності при коефіцієнті варіації співвідношення N^{exy} / N^{th} 21,2%. Це насамперед зумовлено зменшенням ефекту обойми та зміною характеру напружено-деформованого стану (локальна втрата місцевої стійкості, розвиток існуючих пошкоджень, концентрація напружень, виникнення додаткових ексцентриситетів) унаслідок наявності пошкоджень, що не можливо врахувати лише шляхом зменшення площі поперечного перерізу.

Відсоткове співвідношення значення зменшення несучої здатності трубобетонних елементів з пошкодженнями труби-оболонки зберігається для зусиль, що відповідають межі текучості (N_y) та повній втраті несучої здатності (N_u), практично для всіх типів розглянутих пошкоджень.

**Таблиця 1. Аналіз впливу пошкоджень труби-оболонки
трубобетонних елементів на несучу здатність дослідних зразків**

Параметри механічних пошкоджень	тип «1»		тип «2»		тип «3»			тип «4»		тип «5»					
															
	t	2t	t	2t	2t	t	2t	2t	t	2t	13,3t				
креслення	креслення	креслення	креслення	креслення	креслення	креслення	креслення	креслення	креслення	креслення					
ширина	1/4,4L		1/6,3L		1/3,7L			1/8,8L		1/2,75L					
довжина	1/4,4L		1/6,3L		1/3,7L			1/8,8L		1/2,75L					
кількість	2		2		2			2		2					
Межа текучості N_y	50	40	52	35	40	45	55	50	45	55	60	65	55	70	65
Межа міцності N_u	63	60	60	60	65	58	80	70	70	67	75	91	73	84	84
Сумарне значення міцності N_{Σ}	52	52	52	52	52	52	50	50	50	50	50	50	51	51	51
ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010 N^{th}	77,7	77,7	77,7	77,4	77,4	77,4	77,3	77,3	77,5	77,3	77,3	77,7	77,7	77,7	77,7
N^{ex}_y / N^{th}	0,64	0,52	0,67	0,45	0,52	0,58	0,71	0,65	0,58	0,71	0,65	0,80	0,71	0,84	0,84
N^{ex}_u / N^{th}	0,82	0,77	0,77	0,77	0,84	0,75	1,03	0,91	0,90	0,87	0,91	0,93	0,95	1,17	1,08
Коефіцієнт m_y	0,97	0,77	1,01	0,68	0,77	0,87	1,10	1,00	0,90	1,10	1,00	1,24	1,07	1,36	1,27
Коефіцієнт m_u	1,23	1,16	1,16	1,16	1,26	1,12	1,60	1,40	1,40	1,35	1,40	1,45	1,43	1,64	1,64

Певний ефект обойми за результатами експериментальних досліджень спостерігається лише за наявності деяких типів пошкоджень: суцільна рівномірна корозія ($m_y = 1,1 - 1,4$), горизонтальні ($m_y = 1,24 - 1,3$) та вертикальні (при втратах площі до 1% $m_y = 1,1 - 1,2$) прорізи, про що свідчать теоретичні розрахунки, наведені в таблиці 1. При цьому сумарне значення міцності обчислювалося з урахуванням фактичної площі перерізу труби-оболонки нетто за формулою

$$N_{\Sigma} = f_{ym} A_s^{netto} + f_{cm} A_c, \quad (1)$$

де f_{ym} – розрахункове значення умовної межі текучості конструкційної сталі; f_{cm} – розрахункове значення циліндричної міцності бетону на стиск; A_s^{netto} – площа поперечного фактичного перерізу труби-оболонки; A_c – площа бетонного поперечного перерізу.

Таким чином, аналіз результатів проведених експериментальних досліджень і виконані розрахунки дозволяють зробити висновок про доцільність застосування додаткових коефіцієнтів умов роботи, що враховуватимуть вплив типу та параметрів наявних експлуатаційних пошкоджень труби-оболонки трубобетонних стійок під час розрахунку їх несучої здатності й оцінювання технічного стану такого типу конструктивних елементів.

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

Література

1. ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010. Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1994-1-1:2004, IDN) [Текст]: чинний із 2013–06–01 – К. : Мінрегіонбуд України, 2012. – 159 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. 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 України – К., 1997. – 412 с.
5. 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.

6. Воскобійник О.П. *Методика експериментальних досліджень трубобетонних 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. – Рівне: НУВГ, 2012. – С. 133 – 140.*
7. Воскобійник О.П. *Експериментальні дослідження трубобетонних елементів з локальними пошкодженнями труби-оболонки [Текст] / О.П. Воскобійник, А.В. Гасенко, І.О. Пархоменко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Вип. № 25. – Рівне: НУВГП, 2013 – С. 165– 172.*
8. Воскобійник О.П. *Методика експериментальних досліджень трубобетонних елементів з пошкодженнями труби-оболонки [Текст] / О.П. Воскобійник, І.О. Пархоменко, Є.В. Дмитренко // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К. : НДІБК, 2012. – Вип. 74. – С. 152 – 159.*
9. Семко О.В. *Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій [Текст]: монографія / О.В. Семко, О.П. Воскобійник. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – 514 с.*

Надійшла до редакції 26.09.2013

© О.В. Семко, О.П. Воскобійник, І.О. Пархоменко