

УДК 624.016:69.059

**ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ТРУБОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ З
ЛОКАЛЬНИМИ ПОШКОДЖЕННЯМИ ТРУБИ-ОБОЛОНКИ**

**ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С
ЛОКАЛЬНЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ТРУБЫ-ОБОЛОЧКИ**

**THE BEHAVIOR SPECIFICS OF CONCRETE FILLED STEEL TUBES
MEMBERS WITH LOCAL DAMAGES OF STEEL CASING**

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

**Семко А.В., д.т.н., професор, 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)**

**Semko O.V. doctor of science, professor, Voskobiinyk O.P., candidate of
technical sciences, ph.d., senior scientific officer, Parhomenko I.O.
postgraduate student, (Poltava National Technical University named after Yuri
Kondratyuk, Poltava)**

**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 несучу здатність
трубобетонного елемента в цілому.**

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

**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, пошкодження, експлуатація, особливості роботи.
Трубобетон, повреждения, эксплуатация, повреждения, особенности работы.
Concrete filled steel tubes, damages, exploitation, behavior specifics.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Наявність локальних пошкоджень труби-оболонки (місцеві вигини, вирізи, тріщини внаслідок корозійної втоми та інші види різноманітних послаблень поперечного перерізу) трубобетонних конструкцій під час експлуатації, можуть доволі суттєво впливати на особливості роботи, несучу здатність та інші показники експлуатаційної придатності такого типу конструктивних елементів.

З іншого боку, якщо удосконаленню методик розрахунку 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.

Зважаючи на це, актуальною задачею на сьогодні є розробка методики розрахунку експлуатованих трубобетонних конструкцій з дефектами й пошкодженнями (зокрема локальними послабленнями труби-оболонки), що є **невирішеною частиною загальної проблеми, котрій присвячена стаття.**

Саме на вирішення цієї проблеми направлені започатковані в Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка під керівництвом професора Семка О.В. та к.т.н. Воскобійник О.П. дослідження надійності та ризиків сталезалізобетонних конструкцій при проектуванні та експлуатації [3], зокрема трубобетонних елементів з дефектами та пошкодженнями [8].

Основною **метою роботи** в рамках даних досліджень є на основі експериментальних даних проаналізувати вплив наявних локальних пошкоджень труби-оболонки трубобетонних стійок на параметри їх напружено-деформованого стану, особливості роботи та несучу здатність.

Виклад основного матеріалу досліджень. Для отримання даних щодо впливу пошкоджень труби-оболонки на несучу здатність трубобетонних стійок авторами було проведено низку експериментальних досліджень, що передбачали випробування коротких трубобетонних елементів зі різноманітними штучно створеними послабленнями (дефектами), а саме:

– одиночний повздовжній наскрізний (зразки серії ТБп1-2, ТБп2-1) пропи́л глибиною $0,7t$, довжиною $1/4L - 1/4,4L$, шириною t і $2t$;

- групові повздовжні наскрізні прорізи (серія ТБп2 - 2) довжиною $1/3,7L$ – $1/6,3L$ та шириною t і $2t$ з відстанню між пошкодженнями $1/0,07L$ – $1/0,18L$;
- групові повздовжні наскрізні прорізи (серія ТБп2 - 3) довжиною $1/3,7L$ – $1/6,3L$, шириною t і $2t$ з відстанню між пошкодженнями по колу $0,4D$ – $1,6D$;
- групові наскрізні поперечні прорізи довжиною $1/8,8L$ з шириною t і $2t$ та відстанню між пошкодженнями по висоті зразка $1/4,4L$ (серія ТБп2-4), круглі отворами діаметром $d=3,3t$ – $d=10t$ (серія ТБп1-1);
- місцеві суцільні та локальні потоншення стінки (на 50% товщини) шириною $13,3t$ – $23,3t$ та довжиною $1/11L$ – L площі (серія ТБп2-5).

Більш детально прийнята програма експериментальних досліджень, конструкція дослідних зразків та методика випробування наведені в [8, 9, 11].

Руйнування дослідних зразків зі штучно створеними локальними пошкодженнями оболонки у вигляді наскрізних пропилів відбувалось шляхом втрати місцевої стійкості, починаючи з розкриття повздовжніх і закриття поперечних існуючих пошкоджень, після чого мав місце розвиток пластичних деформацій 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 відбувалось в середній частині елемента, що супроводжувалось значним викривленням елемента в площину розташування

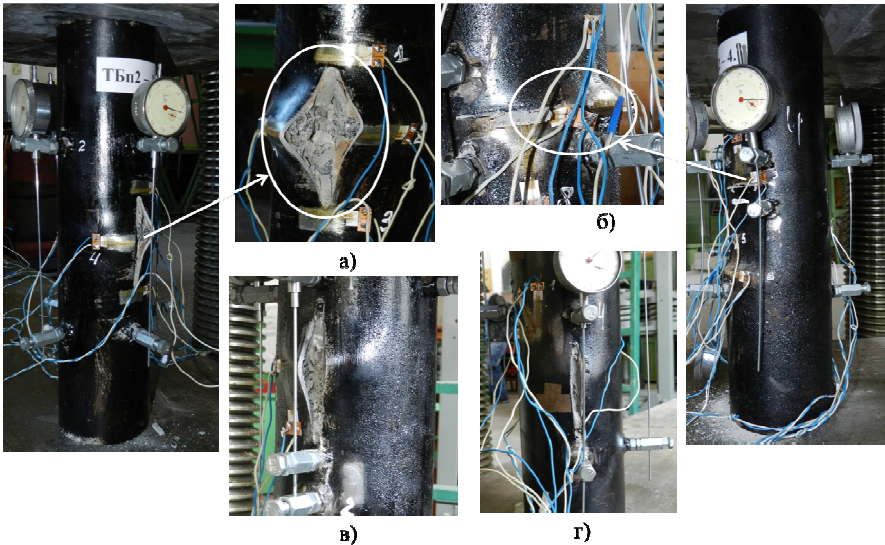


Рис. 1. Характер руйнування дослідних зразків серії ТБп2:
а - ТБп2 -1.5, б - ТБп2 -4.2, в - ТБп2 -2.2, г - ТБп2 -3.2.

пошкодження. Критерієм руйнування всіх дослідних зразків слід вважати втрату місцевої стійкості в зоні розташування існуючого пошкодження, після досягнення якої елементи працювали пластично в позаграничному стані, сприймаючи ще від 15 до 40% навантаження.

За результатами експериментальних досліджень несуча здатність за межею текучості (N_u) для зразків типу «1» коливалась в межах 350 – 500 кН, а за межею міцності (N_{li}) в межах 580 – 630 кН (табл. 1). Збільшення ширини повздовжнього наскрізного пропилю суттєво впливає на несучу здатність труботонного елемента, так при ширині пропилю 3 мм несуча здатність за межею текучості в середньому становить 470 кН, а при 6 мм – 400 кН, що складає різницю до 15%. Для зразків типу «2» (ТБп2-2.1 та ТБп2-2.3) зі зменшенням ширини пропилю від 6 мм до 3 мм відповідно несуча здатність за межею текучості зростає на 9%, а за межею міцності на 13%. Для ширини повздовжнього пропилю 3 мм (зразків типу «3») розміщення та 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 на межею текучості для пропилів 6 мм і 3 мм збільшується менше ніж на 1%, а за межею міцності – на 20%. Результати випробування дослідних зразків наведені в таблиці 1.

Аналізуючи отримані результати (табл. 1), слід відмітити, що найменше на несучу здатність труботонних 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 меншим чином впливає на зменшення несучої здатності стиснутих труботонних елементів на відміну від вертикально розташованих наскрізних поодиноких та групових наскрізних прорізів у трубі-оболонці.

Порівняння експериментальної і теоретичної несучої здатності (підрахованої за рекомендаціями ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010, п. 6.7 [1] 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) в наслідок наявності пошкоджень, що не можливо врахувати лише шляхом зменшення площі поперечного перерізу.

Відсоткове співвідношення значення зменшення несучої здатності труботонних елементів з пошкодженнями труби-оболонки зберігаються

Таблиця 1

Аналіз впливу пошкоджень труби-оболонки
трубетонних елементів на несучу здатність дослідних зразків

Параметри механічних пошкоджень	тип "1"				тип "3"									
	t		2t		t		2t							
	1/4L	1/4L	1/4,4L	1/4L	1/3,7L	1/3,7L	1/6,3L	1/6,3L						
креслення														
ширина	t		2t		t		2t							
довжина	1/4L		1/4,4L		1/4L		1/6,3L							
кількість	1				2									
Межа текучості, N_y	55	45	42	50	40	35	40	45	50	57	55	55	60	55
Межа міцності, N_u	63	50	48,4	63	60	60	65	58	58	65	70	67	75	69
Сумарне значення міцності, N_{Σ}	53	53	53	52	52	52	52	52	53	53	53	50	50	50
ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2:2010, N^{th}	85,6	85,6	85,6	77,7	77,7	77,7	77,4	77,4	77,4	85,7	85,7	85,7	77,3	77,3
N_y^{ex} / N^{th}	0,64	0,53	0,49	0,64	0,52	0,67	0,45	0,58	0,58	0,67	0,64	0,71	0,65	0,77
N_u^{ex} / N^{th}	0,74	0,58	0,57	0,82	0,77	0,77	0,77	0,84	0,75	0,68	0,76	0,82	0,87	0,90
Коефіцієнт m_y	1,04	0,85	0,79	0,97	0,77	1,01	0,68	0,77	0,87	0,94	1,07	1,04	1,10	1,20
Коефіцієнт m_u	1,19	0,94	0,91	1,23	1,16	1,16	1,16	1,26	1,12	1,09	1,23	1,32	1,40	1,39

Продовження таблиці 1

Аналіз впливу пошкоджень труби-оболонки трубобетонних елементів на несучу здатність дослідних зразків

Параметри механічних пошкоджень	тип "2"			тип "4"			тип "5"				
	креслення		кількість	креслення		кількість	креслення		кількість		
	ширина	довжина	кількість	ширина	довжина	кількість	ширина	довжина	кількість		
	t	$2t$	$1/6,3 L$	t	$2t$	$1/8,8 L$	L	$13,3t$	$23,3t$		
Межа текучості, N_y	55	50	45	62	65	55	50	50	55	70	65
Межа міцності, N_u	80	70	70	72	91	70	65	57	73	84	84
Сумарне значення міцності, N_{Σ}	50	50	50	50	50	53	53	53	51	51	49
$DSTU-N EN 1994-1-1:2010, N^{th}$	77,5	77,3	77,3	74,3	74,3	74,3	85,7	85,7	85,6	76,4	75,3
N_y^{ex} / N^{th}	0,71	0,65	0,58	0,83	0,87	0,87	0,64	0,58	0,58	0,72	0,86
N_u^{ex} / N^{th}	1,03	0,91	0,91	0,97	1,22	1,22	0,76	0,67	0,67	0,96	1,12
Коефіцієнт m_y	1,10	1,00	0,90	1,24	1,30	1,30	1,04	0,94	0,94	1,08	1,32
	1,60	1,40	1,40	1,45	1,82	1,82	1,32	1,23	1,08	1,45	1,71

для зусиль, що відповідають межі текучості (N_y) та повній втраті несучої здатності (N_u), практично для всіх типів розглянутих пошкоджень.

Певний ефект обойми за результатами експериментальних досліджень спостерігається лише при 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 обчислювалось з урахуванням фактичної площі перерізу труби-оболонки нетто за формулою:

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

Таким чином, аналіз результатів проведених експериментальних досліджень та 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 та оцінювання технічного стану такого типу конструктивних елементів.

Висновки. В статті наведені результати експериментальних досліджень трубобетонних елементів з локальними 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. 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 з 2013–06–01 – К. : Мінрегіонбуд України, 2012. – 159 с.
2. Стороженко Л.И. Сталезалізобетонные 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. Воскобийник О.П. Методика експериментальних досліджень требетонних елементів з дефектами та експлуатаційними пошкодженнями [Текст] / О.П. Воскобийник, 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. 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. –2013 – Рівне, НУВГП. **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. Методика експериментальних досліджень трубобетонних елементів з пошкодженнями труби-оболонки [Текст] / О.П. Воскобійник, І.О. Пархоменко, С.В. Дмитренко // Будівельні конструкції : зб. наук. праць. – К. : НДІБК, 2012. – Вип.74. – С. 152–159. **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.