

УДК 624.016.004.15

О.П.ВОСКОБІЙНИК, канд. техн. наук

*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

## **ПРИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ УМОВ РОБОТИ ПРИ ПОВТОРНОМУ ВИКОРИСТАННІ СТАЛЕВИХ ТРУБ В ЯКОСТІ ОБОЛОНОК ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ВИЗНАЧЕННІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОРОЗІЙНО ПОШКОДЖЕНИХ ЕКСПЛУАТОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Надаються рекомендації щодо визначення коефіцієнту умов роботи стиснутих трубобетонних та сталевих елементів при повторному використанні сталевих труб та визначенні технічного стану корозійно пошкоджених експлуатованих елементів, що дозволяє врахувати при розрахунку мінливість їх площі перерізу і забезпечити рівнонадійність таких елементів порівняно з аналогічними звичайними сталевими конструкціями.

У практиці будівництва з метою зниження собівартості конструкцій у якості несучих елементів (або їх частин – наприклад, оболонок трубобетонних елементів) досить часто використовуються сталеві труби повторного вжитку [1, 2, 9], що мають собівартість на порядок нижчу, ніж собівартість аналогічного сталевого прокату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми [3, 4], свідчить, що сталеві експлуатовані труби внаслідок впливу корозійних процесів можуть характеризуватися значною (порівняно з новим сталевим прокатом) мінливістю товщини стінки (до 20-30% [4]). Неврахування при розрахунку цього фактору може призвести до суттєвого зниження показників проектної надійності таких елементів [5].

Таким чином, врахування при розрахунку значної мінливості геометричних параметрів (площі перерізу) корозійно пошкоджених сталевих труб (при новому будівництві або перевірочних розрахунках експлуатованих конструкцій) є невирішеними частинами загальної проблеми, котрим присвячується стаття.

Це зумовлює основні цілі статті – надати рекомендації щодо визначення коефіцієнту умов роботи стиснутих трубобетонних та сталевих елементів при повторному використанні сталевих труб або виконанні перевірочних розрахунків експлуатованих конструкцій з метою врахування мінливості площі перерізу, викликану корозійним пошко-

дженням, та забезпечення рівнонадійності таких елементів порівняно з аналогічними звичайними сталевими конструкціями.

Згідно з діючими нормативними документами, розрахунок сталевих елементів здійснюється за методом граничних станів, який базується на статистичному вивченні значень навантажень, механічних властивостей матеріалів та умов роботи конструкцій і є за своєю формою напівімовірнісним. Розрахунок ведеться у детерміністичній формі, а необхідний рівень надійності при такому підході визначається нормуванням значень навантажень та міцності матеріалів, а також введенням диференційованих коефіцієнтів надійності, що враховують умови роботи конструкції та інші фактори.

В нормах СНиП II-23-81\* та СНиП 2.03.01-84\* площа перерізу сталі прийнята величиною детермінованою. Такий підхід зумовлений тим, що при розробці діючих норм [6] мінливість геометричних розмірів було вирішено врахувати коефіцієнтом надійності за матеріалом ( $\gamma_s, \gamma_b$ ), який передбачає врахування не лише можливості зміни механічних характеристик матеріалів під час виготовлення та експлуатації конструкції, що не можуть бути введені в розрахунок безпосередньо, а й мінливість їх площі перерізу. При цьому, слід зауважити, що такий підхід може призвести до суттєвого зниження середнього значення площі перерізу арматури та прокатних профілів за рахунок прокату металу „на мінусових допусках”. Це в свою чергу призводить до зниження довірчої імовірності, з якою гарантуються розрахункові зусилля в арматурі та прокаті. Тому для гарантування стабільності площі поперечного перерізу стержнів та прокату в ДСТУ 3760-98 „Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій” введені допустимі відхилення за масою стержнів. Поле цих допусків несиметричне та звужується по мірі збільшення діаметрів стержнів.

Таким чином, „нормативна” мінливість геометричних розмірів елементів трубчастого перерізу визначається допусками сталевих прокату, що регламентуються ГОСТ 10707-80, згідно якого при виготовленні сталевих труб контролюються відхилення розмірів зовнішнього діаметру та товщини стінки:

- зовнішній діаметр  $\Delta D : \pm 1,25\%$ ;
- товщина стінки  $\Delta t : \pm 1,25\% \div 15\%$ .

Відповідно до цих значень нормативних допусків прокату розмах варіювання  $W$  геометричних параметрів трубобетонних елементів дорівнює:

$$W_{A_s} = A_s^{\max} - A_s^{\min} = \pi(0,3t D - 0,28t); \quad (1)$$

$$W_{A_b} = A_b^{\max} - A_b^{\min} = \frac{\pi}{4} (0,05 D^2 + Dt - 2,17t^2), \quad (2)$$

при цьому  $A_s^{\max}$  отримуємо при  $\Delta D \rightarrow \max$  і  $\Delta t \rightarrow \max$ ,  $A_s^{\min}$  – при  $\Delta D \rightarrow \min$  і  $\Delta t \rightarrow \min$ ; а  $A_b^{\max}$  отримуємо при  $\Delta D \rightarrow \min$  і  $\Delta t \rightarrow \max$ ,  $A_b^{\min}$  – при  $\Delta D \rightarrow \max$  і  $\Delta t \rightarrow \min$ .

Використовуючи отримані значення розмаху варіювання та прийнявши розподіл геометричних розмірів з нормальним, отримаємо „нормативні” значення: мінливість  $V_{A_s} = 50\%$  (для чисто сталевих елементів) та  $V_{A_s} = 5\%$  і  $V_{A_b} = 8\%$  (для трубобетонних елементів).

Дані експериментальних досліджень в [7] (рис.1) свідчать, що новий сталевий прокат характеризується незначною мінливістю геометричних розмірів: значення  $V_D$  та  $V_t$  практично не перевищують 1% ( $V_D = 0,16...0,52\%$ ,  $V_t = 0,4...1,1\%$ ), а коефіцієнти варіації площі сталі та бетонного ядра (для трубобетонних елементів), визначені методом лінеаризації за формулами (3)-(4), складають відповідно 0,2 та 0,3%:

$$V_{A_s} = \frac{1}{(\bar{D} - \bar{t})} \sqrt{[(\bar{D} - 2\bar{t})V_t]^2 + [\bar{D} \cdot V_D]^2}; \quad (3)$$

$$V_{A_b} = \frac{2}{(\bar{D} - 2\bar{t})} \sqrt{(\bar{D} \cdot V_D)^2 + (4\bar{t} \cdot V_t)^2}. \quad (4)$$

Що стосується експлуатованих корозійно пошкоджених труб, то згідно з дослідженнями [3, 4], мінливість товщини стінки може сягати 20-30%, що значно впливатиме на рівень проектної надійності таких елементів.

Проаналізуємо вплив мінливості геометричних параметрів на показники проектної надійності на прикладі коротких центрально стиснутих сталевих та трубобетонних елементів.

Для аналізу надійності конструкції використаємо забезпеченість їх розрахункового опору  $\beta_R$ . Показник  $\beta_R$  є аналогом запропонованої О.Р.Ржаніциним характеристики безпеки ( $\beta$ ), але критерієм оцінки забезпеченості розрахункового опору елемента (на відміну від характеристики безпеки, що враховує стохастичний характер діючих на конструкцію навантажень) виступає детерміноване навантаження, що викликає в перерізі розрахункові зусилля. Методику оцінки показників проектної надійності коротких центрально стиснутих елементів, виконаних з різних конструктивних матеріалів, детально розглянуто в [8].

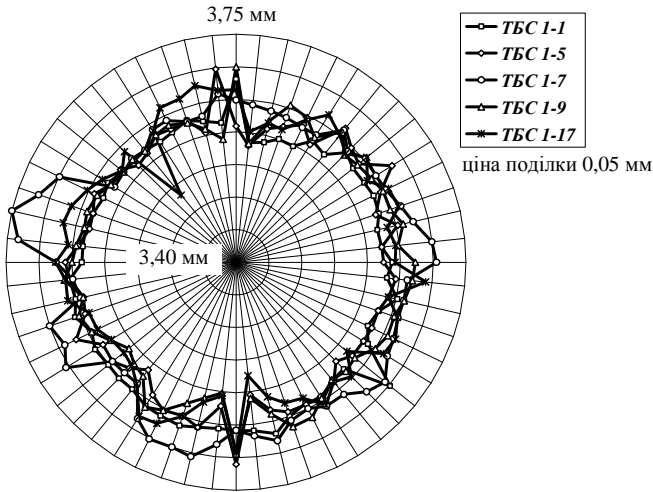


Рис.1 – Зміна товщини стінки дослідних зразків із сталевих електроварних труб за результатами замірів по колу в 100 точках

Таким чином, забезпеченість розрахункового опору центрально стиснутого сталевго елемента можна визначити за формулою

$$\beta_R^s = \frac{\bar{\sigma}_y - \gamma_c R_y}{\bar{\sigma}_y \cdot V_s}, \quad (5)$$

а аналогічного трубобетонного елемента

$$\beta_R^{m\bar{\sigma}} = \frac{\bar{\sigma}_b - \phi R_b + \mu(\bar{\sigma}_y - \phi R_y)}{\sqrt{(\bar{\sigma}_b V_b)^2 + (\mu \bar{\sigma}_y V_s)^2}}. \quad (6)$$

Тут  $\bar{\sigma}_b, R_b, \bar{\sigma}_y, R_y$  – відповідно середні та розрахункові значення опору бетону та сталі;  $V_b, V_s$  – комплексний показник, що характеризує мінливість міцнісних і геометричних характеристик оболонки та ядра:

$$V_s = \sqrt{V_{\sigma_y}^2 + V_{A_s}^2} \quad \text{і} \quad V_b = \sqrt{V_{\sigma_b}^2 + V_{A_b}^2}, \quad (7)$$

де  $V_{\sigma_b}, V_{\sigma_y}$  – коефіцієнти варіації міцності бетону та сталі відповідно;  $V_{A_b}, V_{A_s}$  – коефіцієнти варіації площі перерізу бетону та сталі відповідно.

Запропонована методика дозволяє оцінити рівень початкової проектної надійності розглянутих елементів. Під початковою надійністю у даному випадку розуміється імовірність безвідмовної роботи конструкції в початковий період експлуатації, а в граничному випадку – відразу після виготовлення. У разі оцінки показників надійності експлуатованих конструкцій використаний підхід дозволяє визначити забезпеченість розрахункового опору конструкції на момент обстеження, враховуючи при розрахунку за формулами (5)-(6) фактичні значення міцності міцнісних та геометричних характеристик, з врахуванням корозійних пошкоджень та довготривалих процесів, що виникають у процесі експлуатації. При цьому, слід зауважити, що залежно від обраного методу визначення міцнісних характеристик матеріалів (зокрема міцності бетону в конструкції) та її фактичної міцності в [10] рекомендовано застосовувати додатковий коефіцієнт умов роботи  $\gamma_{b0}=0,75$ , на який слід помножити отримане значення  $R_b$  при  $V_{ob}>16\%$ .

На рис.2 наведено графіки зміни забезпеченості розрахункового опору коротких центрально стиснутих сталевих (поз.1) та трубобетонних (поз.2, 3) елементів залежно від фактичної міцності площі перерізу оболонки  $V_A$ . При розрахунках було прийнято значення  $V_b = 13,5\%$ , що відповідає нормативній міцності бетону.

Отже, як свідчать графіки на рис.2 та вирази (5)-(6), забезпеченість розрахункового опору розглянутих елементів значним чином залежить від фактичної міцності площі перерізу оболонки. Особливо „чутливі” до підвищення фактичних значень  $V_s$  сталеві елементи (порівняно з трубобетонними, які з точки зору надійності представляють собою систему з паралельно з’єднаних елементів: сталева оболонка – бетонне ядро, та в цілому мають показники надійності більші за аналогічні сталевими конструкціями).

Отже, забезпечення рівнонадійності елементів, виготовлених шляхом використання труб, які вже були у вжитку, з відповідними аналогічними сталевими елементами, виготовленими з нового прокату, можливе шляхом використання при розрахунках додаткового коефіцієнту умов роботи  $\gamma_{c1}$ , що дасть змогу врахувати підвищену міцність геометричних розмірів таких елементів, викликану корозійними пошкодженнями.

На рис.3 наведено графік зміни коефіцієнту умов роботи  $\gamma_{c1}$  для коротких центрально стиснутих сталевих елементів залежно від характеристики  $V_s$ . Для трубобетонних елементів величина коефіцієнту  $\gamma_{c1}$

залежить не лише від параметру  $V_s$ , а й від співвідношення міцнісних характеристик бетону і сталі та відсотку армування. Графіки, наведені на рис.4, дозволяють визначити значення коефіцієнту  $\gamma_{c1}$  залежно від цих параметрів трубобетонних елементів. Розрахунки для визначення коефіцієнтів  $\gamma_{c1}$ , виконувались, виходячи із забезпечення умов рівнонадійності сталевих і трубобетонних елементів, для яких  $V_b$  і  $V_s$  більші за нормативні значення (13,5 і 8% відповідно), та звичайних елементів, запроєктованих згідно з діючими нормами.

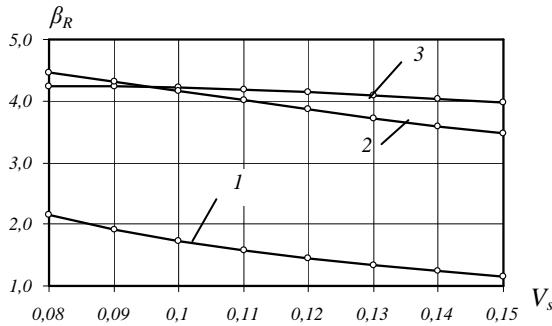


Рис.2 – Залежність забезпеченості розрахункового опору коротких центрально стиснутих сталевих та трубобетонних елементів від фактичної мінливості площі перерізу оболонки:  
 1 – сталевий елемент; 2, 3 – трубобетонні елементи з коефіцієнтом армування 4 та 9% відповідно, ядро яких виготовлено з бетону класу В15.

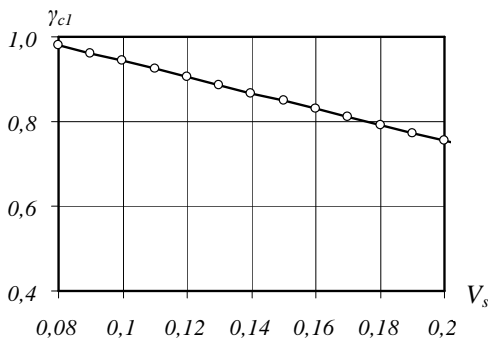


Рис. 3 – Графік визначення коефіцієнту умов роботи  $\gamma_{c1}$  для коротких центрально стиснутих сталевих елементів залежно від характеристики  $V_s$ .

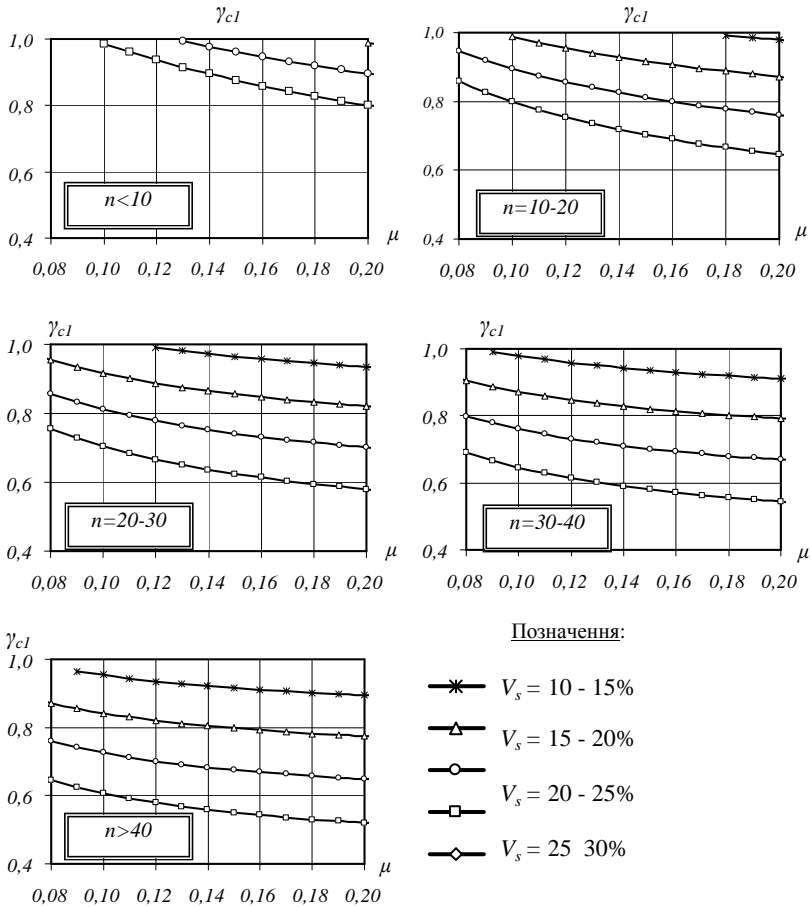


Рис. 4 – Графік визначення коефіцієнту умов роботи  $\gamma_{c1}$  для коротких центрально стиснутих трубобетонних елементів залежно від характеристики  $V_s$  для різних співвідношень міцнісних характеристик бетону та сталі та коефіцієнтів армування

Забезпечення рівнонадійності елементів, виготовлених шляхом використання труб, які вже були у вжитку, з відповідними аналогічними сталевими та трубобетонними елементами, виготовленими з нового прокату, можливе шляхом використання додаткового коефіцієнту умов роботи  $\gamma_{c1}$ , що дасть змогу врахувати підвищену мінливість геометричних розмірів корозійно пошкоджених труб. Запропонований коефіцієнт умов роботи  $\gamma_{c1}$  доцільно також використовувати при виконанні

перевірочних розрахунків експлуатованих сталевих та трубобетонних елементів, що мають корозійні пошкодження оболонки.

- 1.Стороженко Л.И., Семко О.В., Ефименко В.И. Сталежелезобетонные конструкции. – К.: Четверта хвиля, 1997. – 160 с.
- 2.Стороженко Л.И., Ермоленко Д.А., Картушов П.Г. Несущие конструкции подпорной стенки с использованием трубобетона и отходов производства // Тр. конф. «Механика грунтов и фундаментостроения». Т.2. – Полтава, 1995. – С.125-127.
- 3.Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій. – К.: Сталь, 2004. – 316 с.
- 4.Будзько М.В., Семко О.В. Експериментальне дослідження трубобетонних елементів із використанням корозійно пошкоджених труб // Галузеве машинобудування, будівництво: Зб. наук. праць. Вип.8. – Полтава: ПолтНТУ, 2002. – С. 58-62.
- 5.Райзер В.Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1995. – 352 с.
- 6.Новое в проектировании бетонных железобетонных конструкций / А.А.Гвоздев, С.А.Дмитриев, Ю.П.Гуша и др.; Под ред. А.А.Гвоздева. – М.: Стройиздат, 1978 – 205 с.
- 7.Воскобійник О.П. Експериментальні дослідження мінливості геометричних та фізико-механічних властивостей стиснутих трубобетонних елементів // Вісник ДонДАБА: Матеріали ХХХ (ІІІ міжнар.) наук. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених. Вип. 3 (45). – Макіївка, 2004. – С.79-83.
- 8.Стороженко Л.И., Семко О.В., Воскобійник О.П. Аналіз надійності стиснутих елементів, виконаних із різних конструктивних матеріалів // Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сб. науч. трудов. – Одесса: ОГАСА, 2005. – С.200-207.
- 9.Семко О.В., Воскобійник О.П. Аналіз впливу співвідношення вартості матеріалів на оптимальні характеристики трубобетонного перерізу // Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сб. науч. трудов. Вып.24. – Одесса: ОГАСА, 2007. – С.304-313.
- 10.Семко О.В., Воскобійник О.П. Про вплив мінливості бетону експлуатованих залізобетонних конструкцій на коефіцієнт надійності за матеріалом  $\gamma_b$  // Строительство. Материаловедение. Машиностроение: Сб. науч. тр. Вып.42. – Днепрпетровск: ПГАСА, 2003. – С.492-499.

*Отримано 05.03.2008*

УДК 557.185

Ю.В.ГЛАЗУНОВ, канд. техн. наук  
*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТАЛЕБЕТОНА**

Рассматриваются конструктивные формы сталебетонных изделий и особенности их работы в нагруженном состоянии. Выполнено исследование прочности и деформаций бетона в конструкциях с внешним армированием. Приводятся рекомендации по применению конструкций из сталебетона.

Конструкции с внешним армированием получили распространение в различных отраслях строительства в нашей стране и за рубежом.