

впливу значних корозійних пошкоджень розтягнутої арматури (послаблення нормального перерізу) балка Б-2-2 зруйнувалася крихко, одночасно по обох перерізу.

Висновки. Проведені в рамках даної роботи дослідження свідчать про суттєвий вплив дефектів виготовлення й експлуатаційних пошкоджень залізобетонних балок на характер їх дійсної роботи під навантаженням. Виявлені закономірності необхідно враховувати при оцінюванні та встановленні категорії технічного стану залізобетонних елементів, що знаходяться в експлуатації.

Література

1. Воскобійник, О. П. Типологічне порівняння дефектів та пошкоджень залізобетонних, металевих та сталезалізобетонних балкових конструкцій / О. П. Воскобійник // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2010. – № 662. – С. 97–103.

2. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий: атлас схем и чертежей / А.И. Мальганов, В.С. Плевков, А.И. Полищук. – Томск: Том. ун-т, 1990. – 456 с.

3. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд / Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України та Держнаглядохоронпраці України. – К., 1997.

4. Павліков, А. М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косозавантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії / А. М. Павліков. – Полтава, 2007. – 258 с.

5. СНиП 3.03.01–87 Несущие и ограждающие конструкции / Госстрой СССР; ЦИТП Госстроя СССР. – М., 1988. – 192 с.

6. Четверик, Н.П. Совершенствование порядка проведения строительного контроля как процедуры, оказывающей влияние на безопасность объектов капитального строительства / Н. П. Четверик // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. – М., 2010. – Вып. 9. – С. 129–140.

Надійшла до редакції 03.03. 2011

© О.П. Воскобійник, О.О. Кітаєв, Я.В. Макаренко, Є.С.Бугаєнко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ДЕФЕКТАМИ И ПОВРЕЖДЕНИЯМИ, КОТОРЫЕ ВЫЗЫВАЮТ КОСОЙ ИЗГИБ

Работа посвящена анализу дефектов и поврежденных железобетонных балок, которые вызывают в таких элементах не предусмотренный расчетом косой изгиб. Приведена методика и результаты экспериментальных исследований железобетонных балок с дефектами изготовления и эксплуатационными повреждениями.

Ключевые слова: железобетонные балки, дефекты, повреждения, косой изгиб.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH DEFECTS AND DAMAGES THAT CAUSE THE SKEW BENDING

The article says about the analysis of defects and damages of reinforced concrete beams to cause a skew bending in such elements which is not concerned by calculation. The technique and experimental results of reinforced concrete beams with manufacturing defects and operational damages are given.

The key words: reinforced concrete beams, defects, damages, skew bending.

О.П. Воскобійник, к.т.н., с.н.с., доцент,
І.О. Пархоменко, студентка, Я.О. Томілін, студент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ТРУБОБЕТОННИХ СТІЮК ІЗ КОРОЗІЙНИМИ ПОШКОДЖЕННЯМИ СТАЛЕВОЇ ОБОЛОНКИ

Стаття присвячена аналізу особливостей роботи труобетонних стійок, що мають корозійні пошкодження жорсткої арматури (сталеві труби-оболонки). Наведені результати експериментальних досліджень такого типу конструктивних елементів при центральному стисканні.

Ключові слова: *труобетон, корозійні пошкодження.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Як відомо, корозія відкритих поверхонь сталеві і жорсткої арматури сталезалізобетонних конструкцій є одним із найбільш розповсюджених видів пошкоджень, що значним чином впливають на несучу здатність, довговічність та експлуатаційну придатність таких конструктивних елементів [2, 3]. Отже, ступінь корозійного зносу й характер наявних корозійних уражень може слугувати свого роду індикатором технічного стану. Досить часто для забезпечення подальшої надійної експлуатації несучих сталевих конструкцій, що мають корозійні пошкодження, виникає потреба в їх підсиленні. Одним з ефективних способів підсилення сталевих стійок круглого перерізу є заповнення їх внутрішніх порожнин бетоном з утворенням комплексної сталезалізобетонної конструкції [6, 8].

Як свідчить **аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми** [5], сталеві експлуатовані труби, а також інші прокатні профілі внаслідок впливу корозійних процесів можуть характеризуватися значною (порівняно з новим сталевим прокатом) мінливістю товщини стінки, коефіцієнт варіації котрої, за даними досліджень, може сягати до 20 – 30 % [6]. Крім того, деструктивні процеси, що протікають у сталі внаслідок її фізичного «старіння» та корозійних уражень [4], впливають на характер роботи та напружено-деформований стан таких конструктивних елементів і можуть призвести до крихкого руйнування через розвиток у металі корозійних тріщин, навіть при статичній дії навантажень. Як відомо, труобетон являє собою комплексний матеріал, унаслідок чого несуча здатність [8] та надійність [1] виготовлених із нього конструкцій залежить від сукупності властивостей труби-оболонки (жорсткої арматури) й бетонного ядра, а також їх сумісної роботи під навантаженням.

Таким чином, аналіз впливу ступеня та характеру корозійних пошкоджень труби-оболонки на роботу, напружено-деформований стан, міцність і деформативність труобетонних елементів є **не розв'язаними раніше частинами загальної проблеми, котрим присвячується стаття.**

Основна мета статті – на основі експериментальних даних дослідити особливості роботи труобетонних стійок із корозійними пошкодженнями труби-оболонки.

Виклад основного матеріалу. У рамках даної роботи були виконані експериментальні дослідження труобетонних зразків, що моделюють роботу центрально стиснутих сталевих стійок з корозійними пошкодженнями трубчастого перерізу, які були підсилені шляхом заповнення внутрішньої порожнини бетоном з утворенням комплексної сталезалізобетонної конструкції.

Згідно з програмою експерименту було запроєктовано 6 дослідних зразків (серія 1). Вони виготовлялися зі сталеві круглої труби, що була у вжитку й мала значні корозійні пошкодження внутрішньої та зовнішньої поверхонь. Номінальний діаметр труб становив 102 мм. Для виключення впливу на несучу здатність поздовжнього згину в експерименті були використані короткі зразки зі співвідношенням $l=4D$.

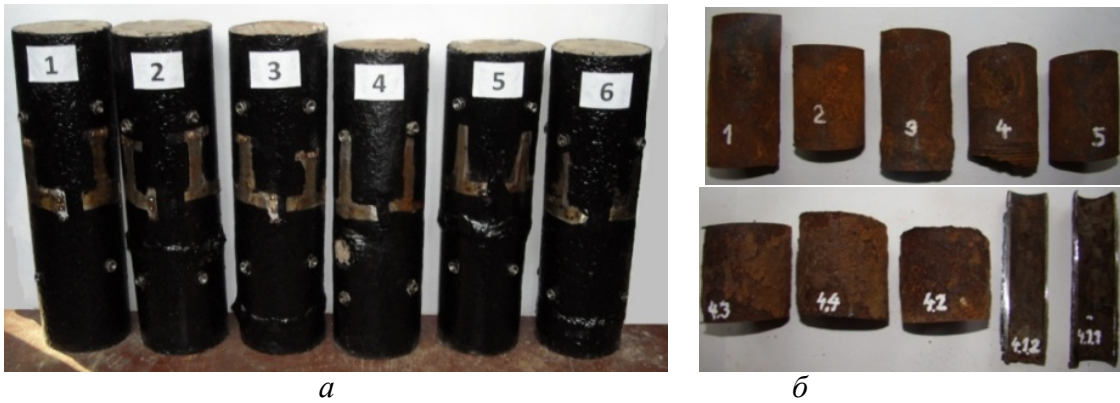


Рисунок 1 – Фотографії дослідних зразків:
 а – трубобетонні зразки серії 1; б – зразки у вигляді відрізків труб серії 2 – 4

Загальний вигляд дослідних зразків наведений на рис. 1. Аналогічні за конструкцією трубобетонні зразки, виготовлені з використанням «нового» (без корозійних пошкоджень) сталевих прокату, досліджувалися в роботі [1]. Таким чином, зіставлення результатів експерименту, проведеного в рамках даної роботи, та випробувань [1] дозволить виявити особливості напружено-деформованого стану й характеру роботи під навантаженням трубобетонних елементів, що знаходяться в експлуатації. Це у свою чергу дасть змогу сформулювати рекомендації щодо оцінювання та розмежування технічних станів такого типу конструктивних елементів.

З метою встановлення ступеня корозії сталевих труб, використаних як оболонка трубобетонних зразків, і визначення статистичних характеристик розподілу їх геометричних параметрів були виконані заміри товщини стінки по периметру та довжині труби. Вимірювання виконувалися за допомогою мікрометра (згідно з ГОСТ 10707-80 з точністю до 0,001 мм) із кроком 3 мм до та після ретельного очищення поверхні металу від продуктів корозії. Результати замірів, що були віднесені до «грубих» помилок за критерієм Стьюдента при рівні значущості 5 %, виключалися з вибірки. Розподіл товщини стінки зразків кородованих труб відповідає нормальному, про що свідчить перевірка за критерієм Пірсона. Характерні графіки розподілу товщини стінки по периметру наведені на рис. 2.

Унаслідок технічної складності вимірювання зміни товщини стінки по довжині при $l=4D$, а також неможливості ретельного очищення зразків внутрішньої поверхні від продуктів корозії було виготовлено додаткові серії зразків (серія № 2-4), які являли собою відрізки труб (рис. 1, б), що експлуатувалися в однакових умовах зі зразками серії 1. Результати замірів товщини стінки сталевих труб усіх серій зразків після перевірки їх однорідності були віднесені до однієї вибірки для подальшого статистичного аналізу.

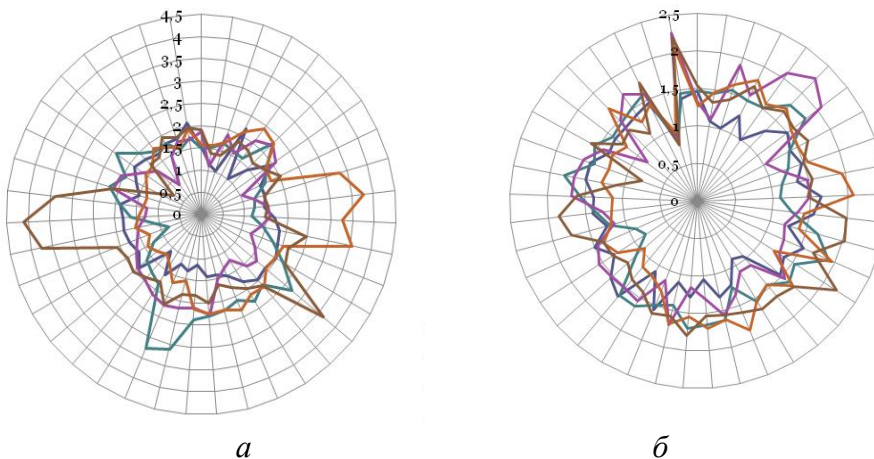


Рисунок 2 – Зміна товщини стінки корозійно пошкоджених сталевих труб:
 а, б – до та після очищення поверхні металу від продуктів корозії

За результатами замірів були визначені відносні втрати площі поперечного перерізу труби, що характеризуються співвідношенням

$$\Delta A_s = (A_s^n - \bar{A}_s^\phi) / A_s^n, \quad (1)$$

де A_s^n , \bar{A}_s^ϕ – номінальна (згідно із сортаментом металопродукату) та середня фактична (обчислена за результатами безпосередніх замірів товщини стінки по діаметру зразка $t_{\phi,i}$) площа перерізу сталеві труби відповідно.

Проведений статистичний аналіз результатів замірів свідчить про існування тісного (статистично значущого) кореляційного зв'язку між відносними втратами площі поперечного перерізу та її мінливістю (коефіцієнт кореляції 0,88). Для сталевих труб дослідних зразків першої серії величина відносних втрат площі поперечного перерізу становила 34 – 50 %, при цьому коефіцієнт варіації товщини стінки коливався в межах від 17 до 66 % і від 14 до 25 % (до та після очищення поверхні металу від продуктів корозії), при чому в середньому мінливість товщини стінки дослідних зразків після їх очищення від продуктів корозії становила 18 %. Отримані результати, по-перше, свідчать про наявність у дослідних зразках пошкоджень у вигляді рівномірної поверхневої корозії, по-друге, підтверджують, що товщина шару корозійних відкладень характеризується великою (значно більшою, ніж фактична остаточна товщина металу) мінливістю.

Після виконання замірів товщини стінки труби та визначення відносних втрат площі поперечного перерізу сталеві труби зразків першої серії були заповнені важким дрібнозернистим бетоном (із середньою кубіковою міцністю 28,9 МПа, клас бетону 18,5). Усі зразки випробовувалися на центральний стиск. Для визначення поздовжніх і

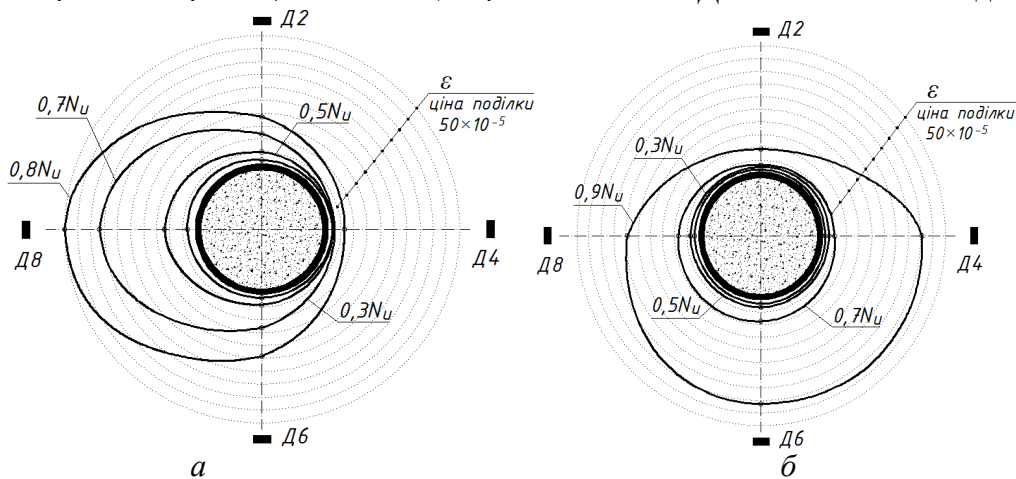


Рисунок 3 – Графіки зміни поперечних деформацій по периметру зразка при різних ступенях навантаження:
а – дослідний зразок № 6; б – дослідний зразок № 1

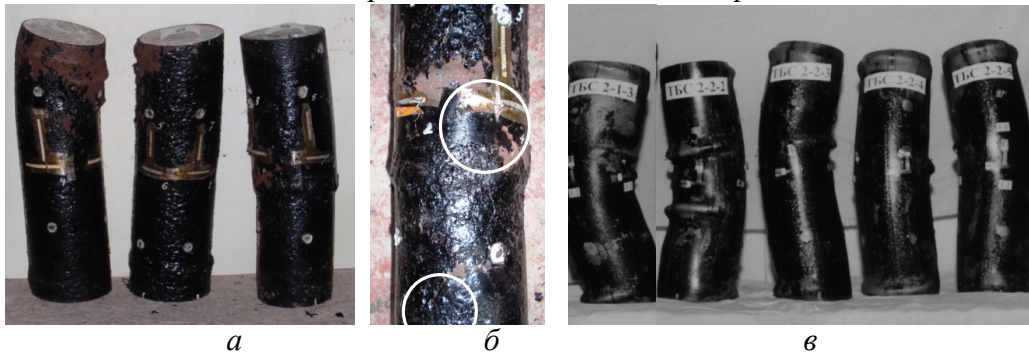


Рисунок 4 – Вигляд трубобетонних зразків після випробування:
а – зразки серії №1; б – тріщини в металі труби-оболонки зразка № 5;
в – трубобетонні зразки, виготовлені з використанням «нового» сталевих прокату за даними досліджень [1]

поперечних деформацій дослідних зразків при завантаженні використовувались електротензорезистори, що наклеювались у поздовжньому і поперечному напрямках у середній по висоті частині зразка, та індикатори годинникового типу, які встановлювались у місури базою 200 мм. На рис. 3, 5 наведені характерні графіки зміни поздовжніх і поперечних деформацій деяких дослідних зразків при різних рівнях навантаження.

Графіки зміни поперечних деформацій по периметру дослідних зразків при різних ступенях завантаження, наведені на рис. 3, свідчать про нерівномірний їх розподіл, а отже, про наявність випадкових ексцентриситетів прикладання стискального зусилля, що зумовлено геометричною (корозія металу та дефекти у вигляді загальних і локальних викривлень) та фізичною (зміна фізико-механічних властивостей матеріалів, в основному це стосується бетону, в межах елемента) неоднорідністю трубобетонних елементів.

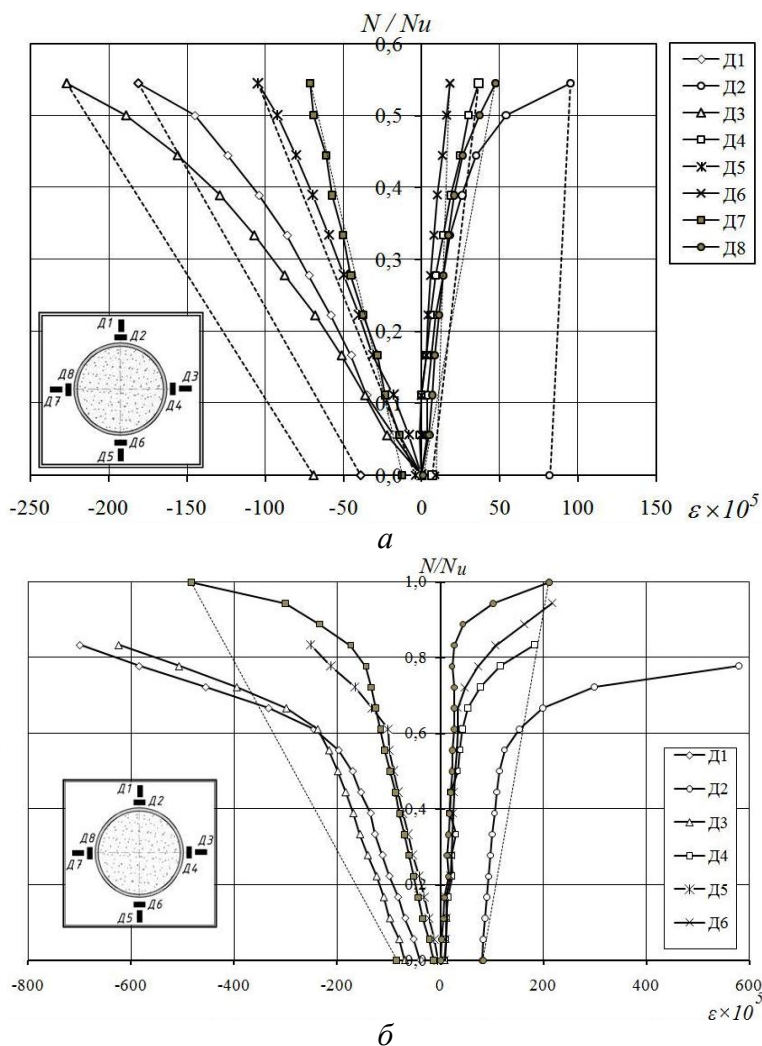


Рисунок 5 – Графіки зміни поздовжніх та поперечних деформацій дослідного зразка № 5 при різних ступенях завантаження:

а – перший етап випробування (до початку текучості труби-оболонки з наступним розвантаженням зразка); *б* – другий етап випробування (до повної втрати несучої здатності зразка)

Так, зразок № 6 мав початкове загальне викривлення труби-оболонки до 25 мм. При прикладанні стискального навантаження за геометричним центром нижнього перерізу наявність такого роду дефекту зумовило роботу дослідного зразка фактично на позacentрове стискання, про що свідчить графік, наведений на рис. 3, *а*. Для зразків, що не мали дефектів у вигляді початкових загальних викривлень, характерний більш рівномірний розподіл деформацій (рис. 3, *б*), коли значний ексцентриситет виникає

лише при великих рівнях завантаження ($N > 0,5N_u$) внаслідок розвитку пластичних деформацій та втрати спочатку місцевої, а потім загальної стійкості при руйнуванні.

Характерною особливістю роботи дослідних трубобетонних зразків виявилось зафіксоване в сталевих обоймах зменшення ділянки текучості внаслідок корозійного пошкодження сталі, що може супроводжуватися появою відманштетових структур та концентрацією напружень у корозійних виразках (пітінгах), про що свідчить поява поздовжніх тріщин у трубі-оболонці (рис. 4, б). При цьому в таких зразках було досить важко зафіксувати граничний стан, що відповідає межі текучості (N_y), на відміну від аналогічних зразків із некородованою оболонкою [1, 7] (рис. 4, в). Для визначення залишкових пластичних деформацій трубобетонних елементів методикою експериментальних досліджень було передбачено розвантаження зразка після досягнення ним межі плинності сталеві оболонки, тобто несучої здатності N_y (рис. 5, а). За результатами випробувань було встановлено, що величина остаточних відносних деформацій зразка після його розвантаження складає 0,001 – 0,08 %. Після витримки та зняття відліків за приладами виконувалося повторне завантаження (рис. 5, б).

Графіки, наведені на рис. 5, свідчать про менш пластичну (порівняно з непошкодженими елементами, дослідження яких було виконане в працях [1, 7], рис. 4, в) роботу та характер руйнування трубобетонних елементів із корозією сталеві обойми при досягненні ними несучої здатності N_u (рис. 4, а). Поздовжні деформації дослідних зразків у момент руйнування сягали величини $(500...700) \times 10^{-5}$, на відміну від некородованих трубобетонних елементів, для яких (згідно з дослідженням [1]) були характерні пластичні деформації порядку $(1000...1500) \times 10^{-5}$.

Висновки. Проведені експериментальні дослідження трубобетонних елементів із корозійними пошкодженнями труби-оболонки дозволили виділити ряд особливостей їх роботи та зробити такі висновки:

1. Здійснений статистичний аналіз результатів замірів свідчить про існування тісного (статистично значущого) кореляційного зв'язку між відносними втратами площі поперечного перерізу та її мінливістю (коефіцієнт кореляції 0,88).
2. Товщина шару корозійних відкладень характеризується значно більшою мінливістю, ніж фактична остаточна товщина металу.
3. Для корозійно пошкоджених сталевих обойм трубобетонних зразків характерне зменшення ділянки текучості. При цьому робота таких зразків під навантаженням (на відміну від трубобетонних елементів із некородованою оболонкою) є менш пластичною. Наявність корозійних пошкоджень металу впливає на характер руйнування трубобетонних елементів, про що свідчить зафіксована поява поздовжніх тріщин у трубі-оболонці при досягненні дослідними зразками несучої здатності N_u . Слід також відмітити, що для трубобетонних елементів із корозією оболонки досить важко зафіксувати межу текучості оболонки (N_y), яка відповідає досягненню граничного стану, прийнятого в більшості рекомендацій щодо розрахунку таких конструкцій.

Ці фактори слід урахувати при визначенні залишкової несучої здатності, оцінюванні та розмежуванні технічних станів трубобетонних елементів, що знаходяться в експлуатації та мають корозійні пошкодження труби-оболонки.

Література

1. Воскобійник, О.П. *Імовірнісний аналіз роботи стиснутих трубобетонних елементів [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 : захищена 26.09.2006 : утв. 09.11.2006 / Воскобійник Олена Павлівна. – Полтава, 2006. – 289 с.*
2. Воскобійник, О.П. *Типологічне порівняння дефектів та пошкоджень залізобетонних, металевих та сталезалізобетонних балкових конструкцій [Текст] / О.П. Воскобійник // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2010. – № 662. – С. 97 – 103.*
3. *ДБН 362-92 Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації. – Введ. 1992-03-15. – К.: Держбуд України, 1992. – 45 с.*

4. Партон, В.З. *Механика разрушения: от теории к практике [Текст] / В.З. Партон.* – М.: Наука, 1990. – 240 с.
5. Райзер, В.Д. *Расчет и нормирование надежности строительных конструкций [Текст] / В.Д. Райзер.* – М.: Стройиздат, 1995. – 352 с.
6. Семко, О.В. *Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій [Текст] / О.В. Семко.* – К.: Сталь, 2004. – 316 с.
7. Семко, О.В. *Про співвідношення між пружною та пластичною роботою трубобетонних елементів та їх залишкових пластичних деформацій [Текст] / О.В. Семко, О.П. Воскобійник // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури.* – Одеса: Зовнішрекламсервіс. – 2009. – Вип. 34. – С. 453 – 458.
8. Стороженко, Л.И. *Железобетонные конструкции с внешним армированием [Текст] / Л.И. Стороженко.* – К.: УМКВО, 1989. – 99 с.

Надійшла до редакції 11.04. 2011

© О.П. Воскобійник, І.О. Пархоменко, Я.О. Томілін

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТРУБОБЕТОННЫХ СТОЕК С КОРРОЗИОННЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ СТАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ

Статья посвящена анализу особенностей работы трубобетонных стоек с коррозионными повреждениями жесткой арматуры (стальной трубы-оболочки). Приведены результаты экспериментальных исследований такого типа конструктивных элементов при центральном сжатии.

Ключевые слова: *трубобетон, коррозионные повреждения.*

ANALYSIS OF STRUCTURAL BEHAVIOUR OF CONCRETE FILLED STEEL TUBERS POSTS WITH CORROSION DAMAGES OF STEEL CASE

The article deals with analysis of structural behaviour of compressed concrete filled steel tubes members with corrosion damages of rigid reinforcement (steel pipe case). The results of such members experimental researches under axial compressed were done.

The key words: *concrete filled steel tubes members, corrosion damages.*