

Висновки. 1. Оцінка експлуатаційного стану мостів потребує уточнення на основі застосування рівнів серйозності і рівнів поширення дефектів елементів мостів.

2. Рівні утримання мостів можна обґрунтувати за допомогою оптимізації рівнів втручання створенням моделей прогнозу розвитку дефектів на основі математичного апарату нейронних мереж і генетичного алгоритму оптимізації послідовності виконання ремонтних робіт.

3. Реалізація запропонованого підходу потребує подальшого розвитку АЕСУМ: модифікації бази даних і розроблення додаткового модуля, який забезпечить практичну можливість раціональнішого розподілення обмежених бюджетних коштів поточного ремонту та утримання мостів.

4. Необхідне накопичення кількісних фактичних характеристик дефектів мостів у базі даних АЕСУМ.

1. Національний стандарт України. Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. ДСТУ-Н Б.В.2.3 – 23: 2009. 2. *Proposed Recommendations for a Pavement Distress Rating System And Score Calculation Procedures For Washington State Local Agencies.* Measurement Research Corporation, 2002, 49 pp. 3. *Mn/DOT Distress Identification Manual.* Office of Materials and Road Research Pavement Management Unit. – Minnesota Department of Transportation, 2003, 51 p.p. 4. Медведев В.С., Потемкин В.Г. *Нейронные сети. MATLAB 6 / Под общ. ред. В.Г. Потемкина.* – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с. 5. *Генетические алгоритмы.* On Site: <http://www.neuroproject.ru/genealg.php> 6. *Recommendation on systematic decision making process associated with maintenance and reconstruction of bridges.* Strategic target Research Project. ARCHES, 2009. – 174 pp. 7. Zadeh L.A. *Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process.* – В кн. *Fuzzy Sets and Application. Selected Papers by L.A. Zadeh.* Edited by R.R. Yager, S. Ovchinnikov, R.M. Tong, H.T. Nguyen. – A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, New York, 1987. – P. 105–146. 8. Леоненков А.В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH.* – СПб: БХВ – Петербург, 2003. – 736 с.

УДК 624.042.5

С.С. Була, Т.В. Стойко

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельних конструкцій та мостів

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВОЇ МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ДІЇ МІСЦЕВОГО НАГРІВАННЯ

© Була С.С., Стойко Т.В., 2010

Описано результати досліджень залишкової міцності залізобетонних елементів при дії місцевого нагрівання. Виконане порівняння отриманих експериментальних даних з теоретичними результатами.

Ключові слова: залишкова міцність, місцеве нагрівання.

This article describes the results of investigating the remain strength in reinforced concrete elements during local heating. The results were compared with theoretical figures.

Keywords: remain strength, local heating.

Вступ. Сьогодні з економічних міркувань все частіше постає питання про можливість подальшого використання залізобетонних конструкцій, що зазнали нагрівання, зокрема місцевого. Оцінка технічного стану залізобетонних конструкцій після техногенних впливів необхідна для висновку щодо ступеня пошкодження та придатності таких конструкцій для нормальної подальшої експлуатації. Такий висновок надається на основі обстеження конструкцій споруди та перевірних розрахунків, виконаних спеціалістами. За результатами висновку визначають методи відновлення

конструкцій або приймають рішення про їх заміну. Надійність та достовірність такого висновку істотно залежить від методик дослідження пошкоджених конструкцій та прийнятих теоретичних положень з розрахунку їх залишкової несучої здатності.

Аналіз останніх досліджень. Незважаючи на значний досвід у дослідженні пошкоджених температурними впливами конструкцій [4, 5, 6], в Україні немає єдиного документа щодо методики визначення технічного стану таких конструкцій і коефіцієнтів умов роботи бетону та арматури для визначення залишкової міцності конструкцій.

Мета та завдання досліджень. Метою цієї роботи є виконання експериментальних досліджень залишкової міцності залізобетонних конструкцій після місцевого температурного впливу та на аналіз збіжності результатів з розрахунковими значеннями залишкової міцності залізобетонних конструкцій після дії температури.

Експериментальні дослідження. Конструкцію, матеріали дослідних зразків та температурний режим нагріву наведено у попередніх працях [1, 2]. Частина зразків-колон (2 шт.) випробовувалась на дію лише позацентрального стиску, без дії місцевого нагрівання, решта зразків-колон (4 шт.) випробовувались на спільну дію місцевого нагрівання (з боку стиснутої зони – 2 шт., з боку розтягнутої зони – 2 шт.) та експлуатаційного навантаження. Випробування цих зразків виконували в три етапи. На першому етапі зразки поступово навантажували повздовжньою силою ступенями по $0.1N_u$ до рівня $\eta=0.6N_u$, ($\eta=N/N_u$) відповідно до програми досліджень. Рівні навантаження зразків приймали з урахуванням умов роботи конструкцій при експлуатаційних навантаженнях, фіксуючи повздовжні деформації бетону та арматури та прогини зразка на кожному ступені. Після досягнення необхідної величини повздовжньої сили навантаження зупиняли і стабілізували. На другому етапі до колони через перехідник присьднували пічку, яка попередньо була розігріта до температури $9000\text{ }^\circ\text{C}$. Джерело нагрівання розміщували в розтягнутій або стиснутій зоні бетону позацентрово стиснутого зразка, згідно з програмою досліджень. Повздовжні деформації бетону та арматури, прогини зразка під час місцевого нагрівання фіксували кожні 10 хв. Зміну температури спостерігали в режимі реального часу за допомогою вимірювального перетворювача ПВІ-0289, який паралельно архівував інформацію в пам'ять персонального комп'ютера. Час зчитування інформації з однієї термопари був меншим від однієї секунди. Під час місцевого нагрівання зразка контролювали покази кільцевого динамометра. На третьому етапі джерело нагрівання було від'єднано, а моніторинг усіх показів продовжувався до повного вистигання залізобетонного зразка. При досягненні температури у $20\text{ }^\circ\text{C}$ зразок доводили до руйнування навантаженням, що поступово зростало. При цьому фіксували повне руйнуваче навантаження та момент початку текучості розтягнутої арматури.

Загалом було випробувано шість коротких залізобетонних колон, з них: при дії місцевого нагрівання та експлуатаційного навантаження випробувано 4 шт., без дії температури – 2 шт.

Аналіз отриманих результатів. Єдиного нормативного документа, який би чітко регламентував інженерну методику визначення залишкової несучої здатності після дії температури, немає. Проте у Росії у 2006 р. був прийнятий нормативний стандарт СТО 36554501-006-2006. “Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций” [4] на заміну МДС 21-2.2000 “Методические рекомендации по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций”. У ньому наведені коефіцієнти умов роботи бетону та арматури не тільки під час нагрівання, а і після вистигання конструкції. В Україні, за відсутності такого документа, користуються коефіцієнтами, що наведені у “Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром” [5] (надалі – Рекомендації).

Розрахунок залишкової міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів виконувався відповідно до положень СНиП 2.03.01-84* [3] з урахуванням коефіцієнтів умов роботи бетону та арматури. Як відомо, розрахункові опори бетону та арматури необхідно домножувати на коефіцієнти умов роботи γ_{bt} та γ_{st} відповідно. Коефіцієнти умов роботи бетону та арматури після дії температури були прийняті відповідно до таких нормативних документів: СТО 36554501-006-2006 [4], Рекомендацій [5] та СНиП 2.03.04-84 [6]. Коефіцієнти, що використовувалися відповідно до

вищезгаданих документів, наведені у табл. 1–3. Як видно з таблиць, коефіцієнти умов роботи для визначення залишкової міцності подано лише у СТО 36554501-006-2006 та Рекомендаціях. Розрахунок за коефіцієнтами умов роботи зі СНиП 2.03.04-84 виконували із припущення невідновлення міцності бетону після нагрівання.

Результати експериментальних та теоретичних досліджень залишкової міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів, при спільній дії місцевого нагрівання та експлуатаційного навантаження наведено в табл. 4.

При порівнянні експериментальних результатів при двох видах нагрівання видно, що руйнуються швидше зразки, що були нагріті з боку стиснутих волокон. Це пояснюється тим, що міцнісні характеристики бетону (на відміну від арматури) не відновлюються після вистигання. Зауважимо, що при випробуванні безпосередньо під час нагрівання меншу міцність показали зразки, нагріті з боку розтягнутої зони зразка [1]. Це пов'язано з відновленням міцності арматури в процесі вистигання. Найкращу збіжність з експериментальними результатами показав розрахунок з використанням коефіцієнтів для визначення залишкової міцності згідно з СТО 36554501-006-2006 ($\Delta_1 = 0,82 \%$).

Таблиця 1

Коефіцієнт умов роботи арматури γ_{st} та бетону γ_{bt} при нагріванні СТО36554501-006-2006

Клас арматури/вид бетону	Коефіцієнт	Значення коефіцієнтів γ_{st}, γ_{bt} при нагріванні арматури до температури, °С							
		20	200	300	400	500	600	700	800
A240, A300, A400, A500	γ_{st}	<u>1,0</u> 1,0	<u>1,0</u> 1,0	<u>1,0</u> 1,0	<u>0,85</u> 1,0	<u>0,60</u> 1,0	<u>0,37</u> 1,0	<u>0,22</u> 0,92	<u>0,10</u> 0,85
Важкий бетон на силікатному заповнювачі	γ_{bt}	<u>1,0</u> 1,0	<u>0,98</u> 0,95	<u>0,95</u> 0,90	<u>0,85</u> 0,80	<u>0,80</u> 0,70	<u>0,60</u> 0,50	<u>0,20</u> -	<u>0,10</u> -

Примітки: 1. Значення коефіцієнта γ_{st}, γ_{bt} над ризикою подані в нагрітому стані, і вони використовуються при розрахунку вогнестійкості. 2. Значення коефіцієнта γ_{st}, γ_{bt} під ризикою подані після нагрівання в охолодженому стані, і вони використовуються при розрахунку залишкової міцності.

Таблиця 2

Коефіцієнт умов роботи арматури γ_{st} та бетону γ_{bt} при нагріванні (СНиП 2.03.04-84)

Клас арматури/вид бетону	Коефіцієнт	Значення коефіцієнтів γ_{st}, γ_{bt} при нагріванні арматури до температури, °С/у другому рядку вказана температура бетону							
		50-100	200	300	400	450	500	550	600
		50	70	100	200	300	500	700	800
A-III, A-IIIв, A-IV, A-V	γ_{st}	1,0	1,0	0,95	0,85	0,75	0,6	0,4	0,3
Важкий бетон на силікатному заповнювачі кл. № 1	γ_{bt}	1,0	0,85	0,9	0,8	0,65	-	-	-

Таблиця 3

Коефіцієнт умов роботи арматури γ_{st} та бетону γ_{bt} при нагріванні (Рекомендації)

Клас арматури/вид бетону	Коефіцієнт	Значення коефіцієнтів γ_{st}, γ_{bt} при нагріванні арматури до температури, °С							
		60	120	150	200	300	400	500	>500
A240, A300, A400, A500	γ_{st}	<u>1,0</u> 1,0	<u>1,0</u> 1,0	<u>1,0</u> 1,0	<u>1,0</u> 1,0	<u>1,0</u> 0,95	<u>1,0</u> 0,7	<u>1,0</u> 0,4	<u>0</u> 0
Важкий бетон на гранітному заповнювачі	γ_{bt}	0,7	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,1	0
Те саме, при пропарюванні	γ_{bt}	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,4	0,2	0

Примітки: 1. Значення коефіцієнта γ_{st}, γ_{bt} над ризикою подані за межами зони анкерування, під ризикою в зоні анкерування. 2. Міцність арматури, нагрітої вище за 500 °С, приймається такою, що дорівнює 0.

**Порівняння експериментальних та розрахункових значень залишкової міцності
позацентрово стиснутих залізобетонних зразків при спільній дії місцевого нагрівання
та експлуатаційного навантаження**

Марка		Вид	$N_{теор.}$	N_0	$N_{0.сер.}$	N_1	N_2	N_3	Δ_1	Δ_2	Δ_3
зразка		нагріву	кН	кН	кН	кН	кН	кН	%	%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K1	-	б/т	179,76	183,40	183,70	-	-	-	-2,19%	-	-
K2	-	б/т		184,00							
K1.2p	0.6	р/з	-	168,73	170,69	172,09	163,99	179,81	0,82%	3,92%	5,34%
K2.2p	0.6	р/з		172,66							
K1.2c	0.6	с/з	-	139,25	140,06	157,53	139,70	98,86	12,48%	0,26%	29,42%
K2.2c	0.6	с/з		140,87							

Примітки: $N_{теор.}$ – теоретична несуча здатність, N_0 – експериментальне навантаження, що відповідає початку текучості арматури, $N_{0.сер.}$ – те саме, середнє значення, N_1 – теоретичне розрахункове залишкове значення міцності за СТО 36554501-006-2006 [4], N_2 – теоретичне розрахункове залишкове значення міцності за СНиП 2.03.04-84 [6], N_3 – теоретичне розрахункове залишкове значення міцності за Рекомендаціями [5], б/т – без дії температури, р/з – нагрівання розтягнутої зони бетону, с/з – нагрівання стиснутої зони бетону, Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 – розбіжність із експериментальними значеннями.

Загалом, у разі нагрівання з боку розтягнутої зони, інженерні методи визначення залишкової несучої здатності показали задовільну збіжність з використанням всіх досліджуваних коефіцієнтів (до 6 %). Це пов'язано із тим, що при досліджуваних температурах нагрівання (нагрівання арматури до 300 °С) арматура відновлює свої властивості після вистигання. Коефіцієнти умов роботи арматури після пожежі відрізняються незначно (див. табл. 1–3).

Для зразків, нагрівання яких здійснювалось з боку стиснених волокон, застосування коефіцієнтів відповідно до трьох джерел [4, 5, 6] дало суперечливіші результати. Різниця між експериментальними та теоретичними результатами за СТО 36554501-006-2006, СНиП 2.03.04-84 та Рекомендацій становить відповідно 12,48 %, 0,26 %, 29,42 %. Розрахунок за методикою СНиП 2.03.04-84 показав найкращу збіжність із експериментальними результатами. Розкид експериментальних значень, як і коефіцієнтів умов роботи, істотний. Із результатів видно, що для цього випадку місцевого нагрівання коефіцієнти згідно з СТО 36554501-006-2006 дещо завищують, а коефіцієнти згідно з Рекомендаціями значно недооцінюють залишкову несучу здатність дослідних зразків. Зауважимо, що при розрахунку конструкцій заводського виготовлення (із набиранням міцності у пропарювальній камері), коефіцієнти відповідно до Рекомендацій є близькими до відповідних коефіцієнтів СТО 36554501-006-2006 та СНиП 2.03.04-84, що зменшує таку значну розбіжність.

Висновки. Враховуючи вищенаведені дані, можна зробити такі висновки:

- Отримані результати засвідчили меншу залишкову міцність досліджуваних зразків при нагріванні з боку стиснутої зони бетону порівняно зі зразками, нагрітими з боку розтягнутої зони бетону в середньому на 13–16 %. Втрата міцності зразків при нагріванні розтягнутої зони бетону при навантаженні – 7 %. Втрата міцності у зразків, нагрітих з боку стиснутої зони бетону, 22,5 %.
- При розрахунку залишкової міцності зразків, при нагріванні з боку розтягнутої зони бетону найкращу збіжність з результатами забезпечило використання коефіцієнтів відповідно до СТО 36554501-006-2006 [4]. При розрахунку залишкової міцності зразків, при нагріванні з боку стисненої зони зразка найкращу збіжність з результатами забезпечило використання коефіцієнтів відповідно до СНиП 2.03.04-84 [6], із урахуванням положення про невідновлюваність міцнісних характеристик бетону.
- Однозначний висновок про конкретні значення відповідних коефіцієнтів умов роботи бетону та арматури, при визначенні залишкової міцності конструкції після дії місцевого нагрівання, можна буде зробити після додаткових експериментів та обробки статистичних даних. Проте вже

тепер можна сказати, що, зважаючи на наявність різноманітних даних, вітчизняна нормативна база потребує їх узагальнення, уточнення та конкретизації коефіцієнтів умов роботи бетону та арматури після температурного впливу у вигляді нового нормативного документа.

1. Була С.С. Визначення кривизни та температурного зусилля у позацентрово-стиснутих залізобетонних елементах при дії місцевого нагріву та експлуатаційного навантаження. // Донбаська національна академія будівництва та архітектури. "Сучасне промислове та цивільне будівництво". – Т. 3, № 2. – Макіївка, 2007. – С. 115–124. 2. Була С.С., Пелех А.Б., Бадло О.М., Лесюк П.О., Мальків Б.І. Особливості розподілу температури у залізобетонному перерізі при дії місцевого нагріву // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" Теорія і практика будівництва. – Львів, 2009. – № 655. – С. 22–27. 3. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 84 с. 4. СТО 36554501-006-2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. – М., 2006. – 81 с. 5. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1987. – 80 с. 6. СНиП 2.03.04-84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. – М., 1985. – 53 с.

УДК 624.012.45

А.И. Валовой, П.И. Герб

Криворожский технический университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, ИЗГОТОВЛЕННЫХ И УСИЛЕННЫХ БЕТОНОМ ИЗ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

© Валовой А.И., Герб П.И., 2010

Поставлені актуальні питання дослідження залізобетонних балок, підсиленних нарощуванням в розтягнутій зоні і випробуваних постійним та змінним навантаженням з різним рівнем повторного завантаження. Наведена перша частина результатів випробувань балок з бетонів на відходах збагачення залізних руд на міцність, деформативність і тріщиностійкість.

Ключові слова: балка, підсилення, випробування, розтягнута зона, навантаження, міцність, прогин, тріщина.

Pressing research questions of reinforce concrete beams strengthened by building-up in the stretched zone and tested by constant and variable loading with various loading levels are worked out. First testing results of concrete beams on the wastes of iron ores enrichment, durability, deformation and breaking fastness are represented.

Keywords: beam, strengthen, test, stretched zone, load, strength, deflection, crack.

Проблема и её связь с научным и практическим заданием. Реализация широкой программы внедрения в строительство новых материалов и технологий требует особого внимания к реконструкции и модернизации зданий и сооружений. В процессе реконструкции выполняют усиление существующих строительных конструкций.

Наиболее распространенным методом повышения несущей способности железобетонных элементов, которые работают на изгиб, является наращивание растянутой или сжатой зон слоем железобетона. Увеличение прочности и жесткости усиленного элемента наращиванием реализуется лишь при совместной работе усиленной конструкции и конструкции усиления.