УДК 624.016:519.24

О.В. Семко, О.П. Воскобійник, Є.О. Мирошниченко
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ З ДЕФЕКТАМИ

© Семко О.В., Воскобійник О.П., Мирошниченко Є.О., 2010

Наведено методику експериментальних досліджень збірно-монолітних сталезалізобетонних конструкцій з дефектами.

Ключові слова: збірно-монолітні конструкції, сталезалізобетон, дефекти, підсилення, обетонування, методика експериментальних досліджень.

This paper is devoted to the experimental researches method of precast-monolithic members of steel-concrete composite structures with damages.

Keywords: precast-monolithic members, steel-concrete composite structures, damages, strengthening, concreting, method of experimental researches.

Вступ. Постановка проблеми. Сьогодні забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ на всіх етапах життєвого циклу об'єкта (вишукування і проектування; виготовлення, транспортування та зберігання будівельних виробів; освоєння будівельного майданчика та зведення об'єкта, прийняття об'єкта в експлуатацію; використання об'єкта за призначенням протягом встановленого терміну експлуатації, оцінка технічного стану, ремонт; реконструкція й подальше використання в нових умовах; ліквідація об'єкта) є однією з актуальних задач сучасної будівельної науки. Необхідно також зазначити, що проблема визначення остаточного ресурсу та контроль технічного стану несучих будівельних конструкцій при обстеженні будівель та споруд набуває все більшого значення зі збільшенням зношення основних фондів підприємств, що були збудовані у період масового будівництва.

Проблема визначення технічного стану конструкцій з урахуванням ризику відмови була поставлена в роботах А.В. Перельмутера [1], В.П. Савчука, В.П. Чиркова, А.Г. Тамразяна та набула розвитку в роботах А.В. Савицького, Є.Ю. Худолея [9], О.В. Семка [10].

Аналіз останніх досліджень [2, 10] та публікацій, в яких започатковане розв'язання цієї проблеми [3] свідчить, що досить часто для забезпечення подальшої надійної експлуатації пошкоджених залізобетонних та металевих конструкцій будівель і споруд виникає потреба в їх підсиленні. При підсиленні залізобетонних конструкцій сталевим прокатом або сталевих елементів обетонуванням, як правило, утворюються комплексні сталезалізобетонні конструкції [10]. Будь-які рекомендації щодо оцінки технічного стану сталезалізобетонних конструкцій в чинних нормативних документах [5, 6] відсутні. Окрім того, варто зауважити, що рекомендації норм [4, 8] не дають змоги врахувати особливості роботи сталезалізобетонних конструкцій з дефектами, розрахунок яких ускладнено великою мінливістю геометричних характеристик пошкоджених поперечних перерізів, необхідністю враховувати історію та рівень навантаження наявних конструкцій.

Отже, розроблення комплексних методів розрахунку, визначення та нормування технічних станів сталезалізобетонних конструкцій на основі експериментальних досліджень їх напружено-деформованого стану є **невирішеною частиною загальної проблеми, яка розглядається у статті.**

Отже, **метою статті** є проаналізувати найпоширеніші типи дефектів та пошкоджень сталевих конструкцій та особливості утворення сталезалізобетонних конструкцій при підсиленні експлуатованих сталевих конструкцій обетонуванням та розробити методику експериментальних досліджень сталезалізобетонних конструкцій з дефектами.

Аналіз дефектів та пошкоджень сталевих конструкцій. Чинні норми [6] визначають технічний стан будівлі (споруди) як сукупність якісних та кількісних показників, що характеризують експлуатаційну придатність будівлі та її частин порівняно з їх граничнодопустимими значеннями. Упродовж терміну експлуатації конструкція може переходити зі стану в стан внаслідок впливу деструктивних процесів та вживання заходів з підвищення експлуатаційної придатності (капітальних, поточних ремонтів, підсилення, реконструкції тощо). Згідно з [7] *дефектами* прийнято називати відхилення від проектних розмірів, форми і якості вищевстановлених меж. Основними дефектами виготовлення є: дефекти прокату, відхилення геометричних розмірів від проектних, непрямолінійність елементів, низька якість зварних і заклепкових з'єднань, ґрунтовки та фарбування конструкцій. До дефектів монтажу належать: відхилення від проектного положення конструкцій, викривлення та місцеві вигини елементів від механічних впливів при транспортуванні й встановленні, неточне припасування елементів у вузлах з'єднання, низька якість монтажних з'єднань, пропуск окремих елементів тощо.

Відхилення від початкових проектних розмірів, викривлення форми, зменшення площі поперечного перерізу елементів під дією корозії, структурні зміни та явища втоми в металі при циклічних діях, порушення в з'єднаннях (тріщини в зварних швах, послаблення болтових і заклепкових з'єднань) тощо, що виникають під час експлуатації, за [7] називаються *пошкодженнями*. Місцями для розвитку пошкоджень часто стають дефекти виготовлення та монтажу.

Особливості утворення сталезалізобетонних конструкцій при підсиленні. Як відомо, одним зі способів підсилення експлуатованих сталевих конструкцій з дефектами та пошкодженнями є їх обетонування. Підсилення сталевих балок, як правило, виконується обетонуванням стиснутого пояса з утворенням звичайної згинаної сталезалізобетонної конструкції (СЗБК), що може сприймати досить значне додаткове навантаження. При цьому можливе утворення широкого спектра варіантів комплексного перерізу сталезалізобетонних елементів. У деяких випадках для збільшення корозійно- і вогнестійкості сталевих конструкцій застосовується обетонування порожнин сталевої балки, що при забезпеченні зчеплення між бетоном та прокатом теж підвищує несучу здатність підсиленої СЗБК. Доволі ефективним може виявитись включення в сумісну роботу залізобетонних конструкцій перекриття і сталевих балок. Таке підсилення виконується влаштуванням анкерів, що забезпечують сумісну роботу залізобетонної плити й стиснутого пояса сталевої балки, яка потребує підсилення. Для цього доцільне влаштування попередньо напружених болтів для забезпечення зчеплення металу пояса та залізобетону або влаштування сталезалізобетонного перекриття у вигляді плоских залізобетонних плит по металевих балках.

Завдання та програма експериментальних досліджень сталезалізобетонних конструкцій з дефектами. Отже, наявність у сталевих двотаврових балках експлуатаційних пошкоджень у вигляді однобічних вирізів у полицях призводить до виникнення на пошкоджених ділянках деформацій кручення, що значно знижують несучу здатність таких елементів [11]. Підсилення обетонуванням полиць або включенням у сумісну роботу залізобетонних елементів перекриття з утворенням комплексних сталезалізобетонних конструкцій дає змогу до певної міри зменшити вплив дефектів на їх роботу. Але зміна геометричних характеристик пошкодженого перерізу призводить до виникнення складних видів деформування − косого згинання. Чинні норми [4, 8] містять розрахунок залізобетонних конструкцій з жорсткою арматурою, до яких можна до певної міри зарахувати досліджуваний тип елементів, не дають змоги врахувати такі особливості їх роботи.

Отже, метою експериментальних досліджень є отримання даних щодо роботи та напружено-деформованого стану (НДС) сталезалізобетонних балок, що утворилися при підсиленні обетонуванням експлуатованих сталевих балок з корозійними пошкодженнями та дефектами у вигляді однобічних вирізів у полицях. Результати експериментальних досліджень планується проаналізувати та порівняти з результатами, отриманими аналітичними методами, а також із результатами розрахунку моделей сталезалізобетонних балок із дефектами за допомогою сучасних програмних комплексів, основаних на методі скінченних елементів (MSC/NASTRAN, ANSYS та Ліра).

Під час експерименту досліджується вплив параметрів дефектів (довжини та місця розташування: верхній або нижній пояс сталевої балки) у вигляді однобічних вирізів у полиці сталевих двотаврових балок з корозійними пошкодженнями на несучу здатність та напружено-деформований стан сталезалізобетонних балок, що утворились після їх підсилення обетонуванням. Програмою експерименту передбачається дослідження двох типів підсилення сталевих балок з корозійними пошкодженнями та дефектами з утворенням комплексної сталезалізобетонної конструкції:

1. Обетонування відкритих порожнин сталевих двотаврових балок.
2. Сталезалізобетонні зразки, що моделюють включення в сумісну роботу сталевих балок, що підсилюються, із залізобетонними елементами перекриття із забезпеченням їх сумісної роботи за допомогою анкерів у вигляді хомутів (гнучкої арматури), що приварюються до верхнього пояса двотавра.

Отже, при складанні програми експерименту (матриці планування) варіювались такі параметри:

1. Тип підсилення.
2. Довжина вирізу у полиці (дефекту) сталевої балки.
3. Місце розташування дефекту.

Матриця планування експериментальних досліджень, перелік факторів, їх шифрування та рівні варіювання наведені в табл. 1.

Зауважимо, що для зразків типу «А» місце розташування дефекту сталевої балки не варіювалось. Таке рішення було прийняте на основі аналізу досліджень [11], відповідно до яких місце розташування дефектів у вигляді однобічного вирізу в сталевих балках (нижній чи верхній пояс), на відміну від його довжини, не впливає на їх несучу здатність та напружено-деформований стан.

Отже, прийнята програма експерименту дає змогу дослідити основні фактори, що впливають на несучу здатність та напружено-деформований стан досліджуваного типу комплексних сталезалізобетонних конструкцій, що утворилися при підсиленні експлуатованих сталевих балок з корозійними пошкодженнями та дефектами у вигляді однобічних вирізів у полицях.

Таблиця 1

Матриця планування експерименту

№ з/п	Фактори	Код	Рівні варіювання	
			верхній +1	**нижній -1**
1	Тип зразка	A	обетонування відкритих порожнин сталевих двотаврових балок (A_1)	моделювання включення у сумісну роботу сталевих балок, що підсилюються, з залізобетонними елементами перекриття (A_2)
2	Довжина дефекту	B	50 мм (B_1)	300 мм (B_2)
3	Місце розташування дефекту	D	верхня полиця сталевої балки, що підсилюється (D_1)	нижня полиця сталевої балки, що підсилюється (D_2)

Конструкція та технологія виготовлення дослідних зразків сталезалізобетонних конструкцій з дефектами. Для розв'язання поставлених задач було виготовлено дві серії дослідних зразків (табл. 2):

1. СЗБ 1: комплексні сталезалізобетонні балки, що утворились при підсиленні обетонуванням відкритих порожнин експлуатованих сталевих двотаврових балок з корозійними пошкодженнями та дефектами у вигляді однобічного вирізу у верхній полиці. Сумісна робота жорсткої арматури (сталевого двотавра) утвореної сталезалізобетонної конструкції та бетону забезпечувалась за рахунок встановлення поперечних хомутів (гнучкої арматури, виготовленої з арматурних стержнів), що приварювались до верхнього та нижнього поясів двотавра. Конструкція дослідних зразків та фотографії каркасів наведені на рис. 1, 2.

2. СЗБ 2: сталезалізобетонні зразки, що моделюють включення у сумісну роботу сталевих балок, що підсилюються, із залізобетонними елементами перекриття із забезпеченням їх сумісної роботи за допомогою анкерів у вигляді хомутів (гнучкої арматури), що приварюються до верхнього пояса двотавра. Конструкція дослідних зразків та фотографії каркасів наведені на рис. 1, 2.

Загальний вигляд дослідних зразків перед підсиленням обетонуванням наведено на рис. 1.

Як експлуатована сталева балка, що підсилювалась − жорстка арматура утвореної сталезалізобетонної конструкції, для всіх серій дослідних зразків був використаний прокатний двотавр № 14. Гнучка поздовжня (у зразках серії СЗБ 2 – при моделюванні залізобетонного елемента перекриття) та поперечна арматура (хомути, що забезпечують сумісну роботу бетону підсилення та сталевого елемента, що підсилюється) виготовлялась з гладкої арматурної сталі класу *AIII* (*Ø8* мм). У всіх дослідних зразках з метою моделювання дефектів у полицях сталевих двотаврових балок були штучно створені вирізи у полицях номінальною глибиною 34 мм, що відповідає звису полиці прокатного двотавру № 14 (див. рис. 1, вузол А). Штучний дефект у вигляді вирізів для всіх зразків створювався у найнебезпечнішому місці по довжині прольоту [11] – посередині прольоту, на відстані 750 мм від опори. Загальна кількість дослідних зразків – 6 штук.

Таблиця 2

Геометричні розміри експериментальних зразків сталезалізобетонних конструкцій з дефектами

Серія	Шифр зразка	Місце розташування дефекту	Довжина дефекту l_d, *мм*
СЗБ 1	СЗБ 1-50	нижня полиця жорсткої арматури	50
	СЗБ 1-300		300
СЗБ 2	СЗБ 2-50в	верхня полиця жорсткої арматури	50
	СЗБ 2-300в		300
	СЗБ 2-50н	нижня полиця жорсткої арматури	50
	СЗБ 2-300н		300

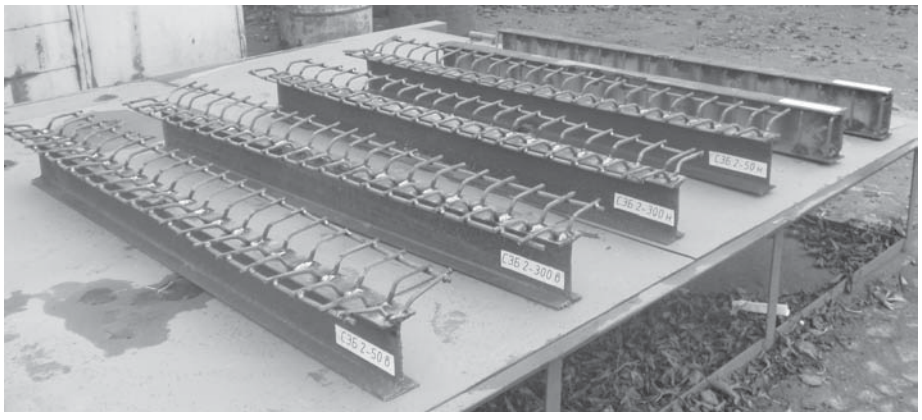

Рис. 1. Загальний вигляд армування дослідних зразків сталезалізобетонних конструкцій з дефектами

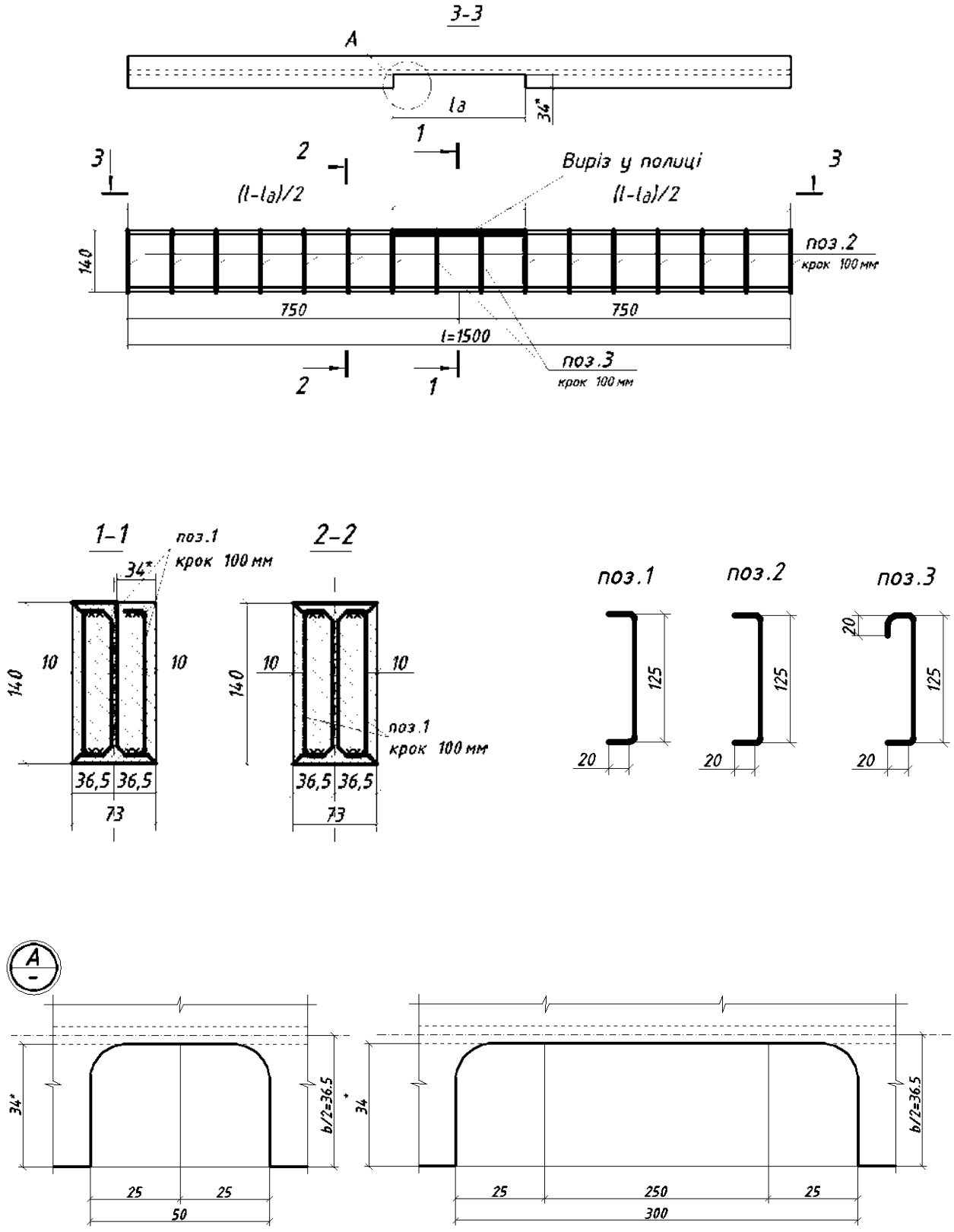

Рис. 2. Конструкція дослідних зразків серії СЗБ 1:
поз. 1 – поперечна арматура Ø8 АІІІ, l=150 мм;
поз. 2 – поперечна арматура Ø8 АІІІ, l=150 мм

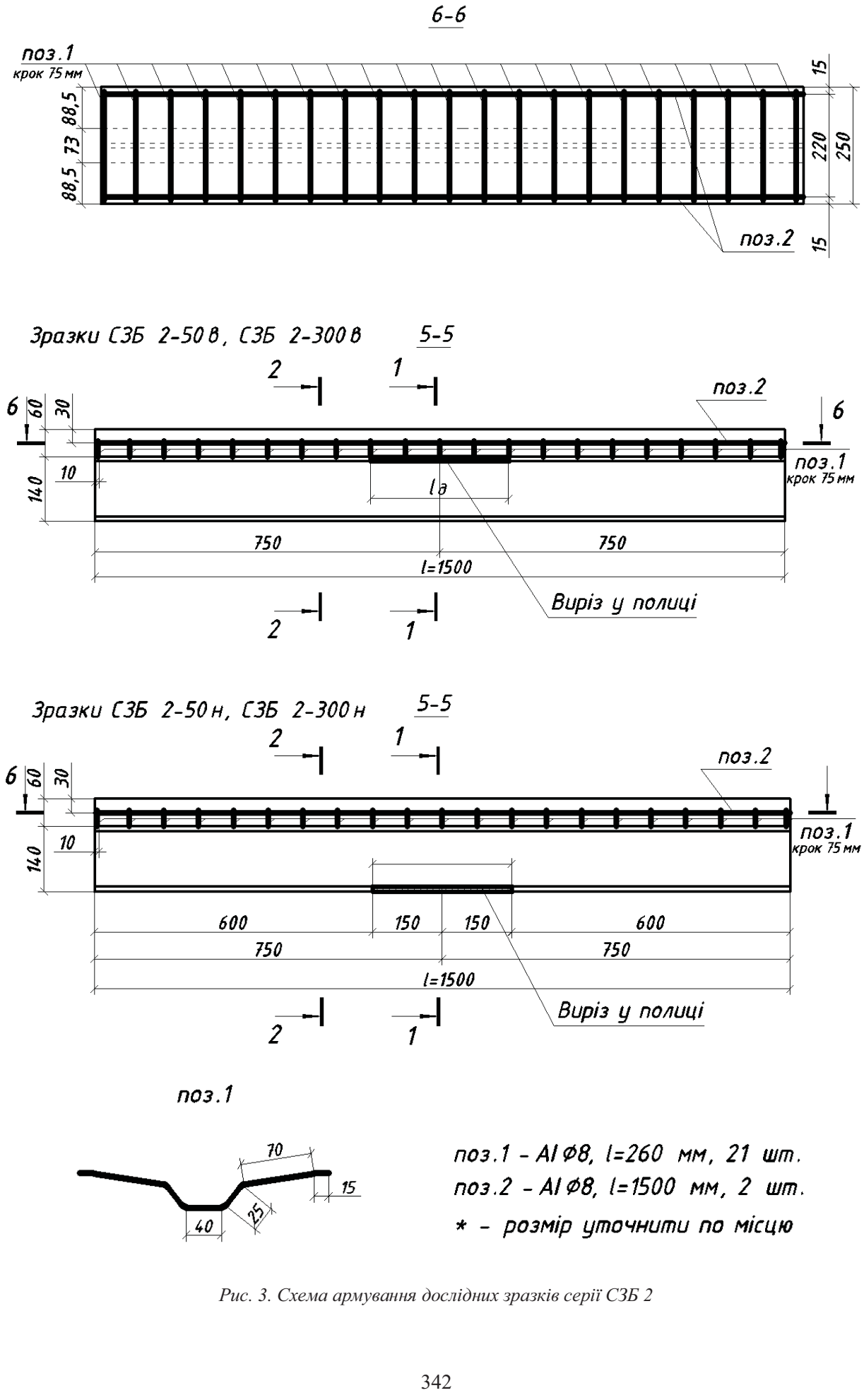

Рис. 3. Схема армування дослідних зразків серії СЗБ 2

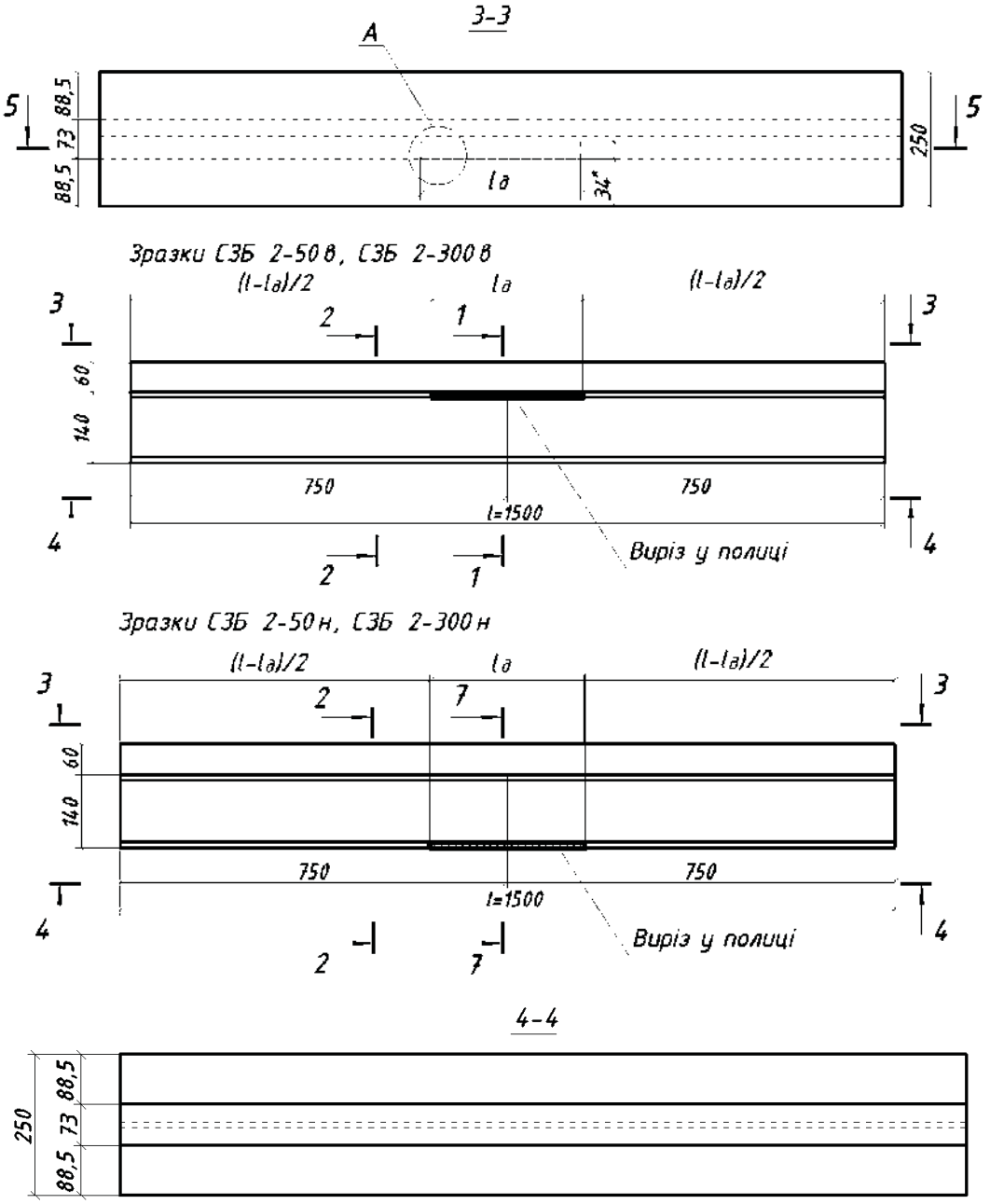

Рис. 4. Опалубкове креслення дослідних зразків серії СЗБ 2

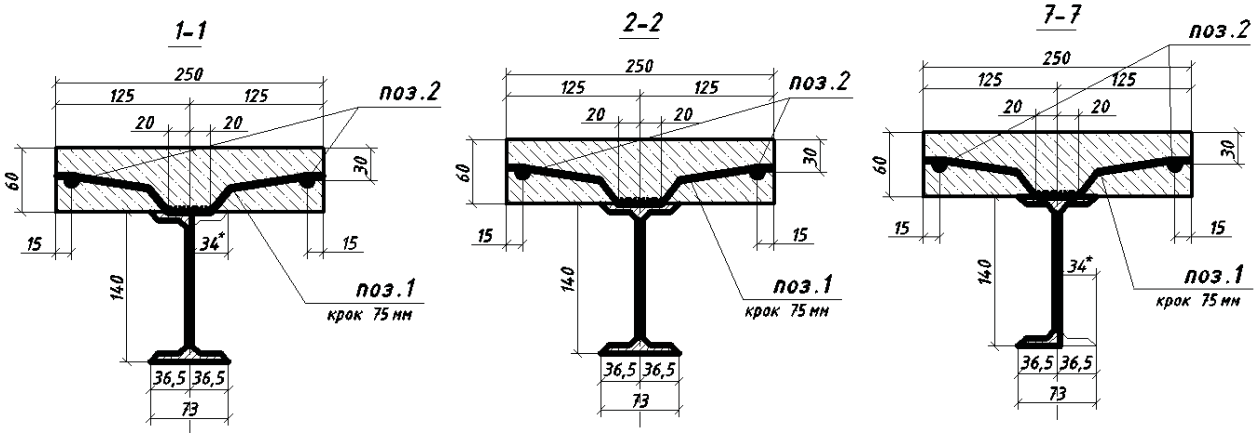

Рис. 5. Поперечні перерізи дослідних зразків серії СЗБ 2

Висновки. Запропонована у статті методика експериментальних досліджень сталезалізобетонних конструкції, що утворюються при підсиленні сталевих балок з дефектами обетонуванням, дає змогу дослідити роботу та напружено-деформований стан такого типу конструктивних елементів. Це дає змогу на основі аналізу результатів експериментальних досліджень та застосування сучасних програмних комплексів розробити методику розрахунку сталезалізобетонних конструкцій з дефектами, яка б ураховувала їх дійсний характер роботи.

1. Гордеев В.Н. О проекте ДБН. Общие принципы обеспечения надежности и безопасности зданий, сооружений, строительных конструкций и оснований / В.Н. Гордеев, М.А. Микитаренко, А.В. Перельмутер // Будівельне виробництво: міжвідомчий наук.-тех. зб. – К. – 2003 – № 44. – С. 50–58. 2. Воскобійник П.П. Врахування показників надійності при визначенні технічного стану експлуатованих залізобетонних та сталезалізобетонних конструкцій, що утворюються при підсиленні / П.П. Воскобійник, О.П. Воскобійник // Вісник ДонДАБА. – 2009. – Вип. 4(78). – С. 166–171. 3. 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. 4. ДБН В.2.3−14:2006. Мости та труби. – Введ. 2007−02−01. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006. – 359 с. 5. 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. 6. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд / Державний комітет будівництва архітектури та житлової політики України та Держнаглядохоронпраці Україна. – К., 1997. 7. Повышение долговечности металлических конструкций промышленных зданий / А.И. Кикин, А.А. Васильев, Б.Н. Кошутин и др. / Под. ред. А.И. Кикина. – М.: Стройиздат, 1984. – 301 с. 8. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой. – М.: Стройиздат, 1978. – 55 с. 9. Савицький Н.В. Методология диагностики и оценки технического состояния несущих железобетонных конструкций / Е.Ю. Худолей, А.Н. Савицкий, Т.Д. Никифорова // Новини науки Придніпров'я. – № 4. – 2004. – С. 46–52. 10. Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій / О.В. Семко. – К.: Сталь, 2004. – 316 с. 11. Семко В.О. Оцінка надійності сталевих балок з дефектами: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / В.О. Семко. – Полтава, 2007. – 21 с.