

УДК 624.012. 035

**ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ПІДСИЛЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ  
ЕЛЕМЕНТІВ НА ДІЛЯНКАХ ДІЇ МАКСИМАЛЬНИХ  
ПОПЕРЕЧНИХ СИЛ**

*А. Мазурак, к. т. н., І. Ковалик, асистент, В. Артеменко, к. т. н.,  
В. Михайлечко, старший викладач  
Львівський національний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** Повсякденне використання бетону й залізобетону практично в усіх сферах життєдіяльності призводить до часткового або повного пошкодження конструкцій. Відповідно, для забезпечення належної експлуатації виникає потреба у відновленні й підсиленні залізобетонних конструкцій. Величезний спектр конструкцій з їх різноманітними конструктивними схемами обумовлюють використання різних способів підсилення. Методи підсилення залізобетонних конструкцій предметно описані в літературних джерелах і успішно застосовують у будівництві [1 – 4].

Підсилення залізобетонних елементів без зміни конструктивної схеми відбувається переважно збільшенням поперечного перерізу, додаткового нарощування шарів залізобетону.

Усі конструкції, які використовують у будівництві, сприймають поперечну силу. У більшості конструкцій розрахунки на сприйняття поперечної сили є основними під час прийняття геометричних розмірів, поперечного та поздовжнього армування, хоча проблема опору дії поперечних сил досі залишається невирішеною. Невирішення цієї проблеми авторитетні дослідники із залізобетону пояснюють складністю напружено-деформованого стану, на ділянках одночасної дії поперечної сили і згинального моменту. Відсутність надійної теорії міцності бетону не дає змоги підвести під вирішення такої проблеми теоретичну базу, чим обґрунтовується переважно експериментальний характер досліджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Несуча здатність залізобетонних перерізів, похилих до поздовжньої осі, є однією з актуальних проблем теорії залізобетону. Дослідження залізобетонних конструкцій було представлено у працях Є.М. Бабича, А.Я. Барашикова, З.Я. Бліхарського, С. В. Бондаренка, О. І. Валовой, О. Б. Голишева, О. Ю. Єрмоєнка, Є. Ф. Лисенко, Г. А. Молодченко, Л. А. Мурашко, Й. П. Новаторського, Р. С. Санжаровського, Г.Н. Хайдукова, О.Л. Шагіна та ін. [1–6]. На основі їхніх досліджень були розроблені ефективні конструктивні рішення з

підсилення залізобетонних конструкцій та запропоновані методи розрахунку.

**Постановка завдання.** Завдання нашого дослідження – оцінка деформативності підсилених залізобетонних балкових елементів на ділянках дії максимальних поперечних сил, виконання експериментальних досліджень і проведення аналізу деформативності теоретико-експериментальних досліджень підсилених залізобетонних балок.

**Виклад основного матеріалу.** Проведення експериментальних досліджень виконували на основі трьох серій дослідних зразків загальною кількістю 14 штук.

Перша серія складалася з двох непідсилених залізобетонних зразків (Б-1-1, Б-1-2) та двох зразків, які піддавалися підсиленню (Б-1-3П, Б-1-4П), підсилені звичайним бетоном із металевими анкерами. Армування головних балок проводили плоскими арматурними каркасами з робочою поздовжньою арматурою Ø22 А400С, верхньою арматурою Ø10 А400С, та поперечною Ø6 А240С. Підсилення виконували металевим каркасом з поздовжньою робочою арматурою Ø12 А400С, верхньою арматурою Ø6 А240С та поперечною Ø6 А240С. Міцність бетону дослідних балок становила  $f_{ck} = 19,08$  МПа, бетон підсилення  $f_{ck} = 17,95$  МПа.

Друга серія складалася з одного непідсиленого залізобетонного зразка (Б-2-1) та шести зразків, які піддавалися підсиленню. Із них два зразки (Б-2-2П<sub>А</sub>, Б-2-3П<sub>А</sub>) підсилені звичайним бетоном та металевими анкерами (А – анкери Ø5 мм), зразки (Б-2-4П<sub>А,Г</sub>, Б-2-5П<sub>А,Г</sub>, Б-2-6П<sub>А,Г</sub>, Б-2-7П<sub>А,Г</sub>) підсилення торкретуванням із використанням адгезійного ґрунтування (Г – адгезійне ґрунтування SB – Haftemulsion) та металевих об'єднувальних анкерів. Міцність бетону дослідних балок становила  $f_{ck} = 27,74$  МПа, бетон підсилення  $f_{ck} = 19,5$  МПа, та торкретбетон підсилення  $f_{ck} = 31,00$  МПа.

Третя серія зразків складалася з одного непідсиленого залізобетонного зразка (Б-3-1) та двох зразків, які піддавалися підсиленню. Із них два зразки (Б-3-2П<sub>А,Г</sub>, Б-3-3П<sub>А,Г</sub>) підсилені «сорочкою» методом торкретування. В усіх випадках підсилення використано адгезійне ґрунтування Koster SB – Haftemulsion та металеві об'єднувальні анкери. Міцність бетону дослідних балок становила  $f_{ck} = 20,48$  МПа, бетон підсилення -  $f_{ck} = 19,9$  МПа.

Дослідження залізобетонних балкових елементів полягало у визначенні деформативності похилих перерізів непідсилених балок та балок із підсиленням зосередженим навантаженням, за кроку завантаження, що дорівнював  $\frac{1}{10}$  від руйнівного розрахункового навантаження із прикладанням до нього механічного навантаження гідравлічним домкратом потужністю 250 кН. Зразки були запроєктовані так, щоб руйнування відбувалося по втраті несучої здатності похилих перерізів із плечем

прикладання сили ( $a = 350$  мм). Контрольними значеннями для наступних підсилених зразків слугували покази, отримані під час визначення несучої здатності на границі текучості непідсилених балок, яка становить 0,78-0,82 від руйнівного.

Деформації бетону у зразках під час визначення похилих перерізів вимірювали за допомогою мікроіндикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм, на металевих фіксаторах. Мікроіндикатори закріплювали у вертикальному положенні та з кутом нахилу  $45^\circ$ , що давало змогу отримувати розширену картину деформацій бетону за збільшення похилої тріщини на всіх рівнях грані перерізу (рис. 1).

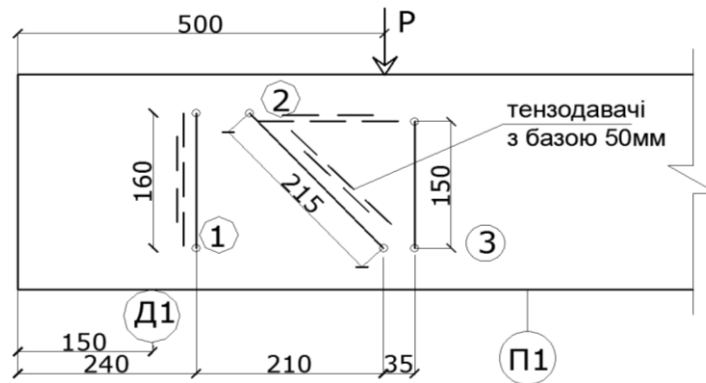


Рис. 1. Схема розміщення мікроіндикаторів на дослідних балках під час визначення деформацій: 1, 2, 3 – мікроіндикатори; Д-1 – динамометр; П - 1 – прогономіри

Додатково на бетонну поверхню наклеювали тензорезистори з базою виміру 50 мм суцільним.

Покази тензорезисторів знімали за допомогою електронного вимірювача деформацій АИД-4М та комутуючого пристрою.

У процесі збільшення навантаження розтягувальні зусилля в бетоні досягають критичного значення і з'являються нормальні тріщини біля найбільш розтягнутої грані бетону. Цей момент визначає перехід до другої групи напружено-деформованого стану. Як результат, порушується однорідність стану бетону за довжиною зрізу. У нормальних перерізах, які розміщені між тріщинами, і в перерізах із тріщинами напружено-деформований стан бетону різний.

За експериментального визначення моменту тріщиноутворення, використовували як візуальні спостереження, так і покази вимірювальних приладів. Моменти тріщиноутворення визначали за графіками прогинів, на яких відхилення від прямолінійності вказує на те, що з'явилася тріщина.

Фіксування навантажень, за яких візуально спостерігається поява тріщин у балках, дає змогу визначити дослідний момент тріщиноутворення.

Процес подальшого завантаження за опорних ділянок приводить до утворення похилих тріщин, які виникають за значних кількісних та якісних змін напружено-деформованого стану елемента загалом, бетону, поздовжньої й поперечної арматури зокрема. Похилі тріщини у процесі розвитку зумовлюють перерозподіл деформацій бетону за висотою й довжиною елемента.

Коли елемент перестає опиратися впливові зовнішнього навантаження за зростання похилих тріщин, завершується стадія напружено-деформованого стану, елемент переходить у стадію руйнування.

Проведені дослідження отримані експериментальним шляхом. Порівнявши їх із розрахунковими значеннями, які показані в таблиці, можна дійти висновку, що теоретичні та експериментальні значення мають задовільну збіжність результатів, максимальна розбіжність спостерігається у зразку Б-3-2ПТ<sub>АГ</sub> – 8 %. Перевірка деформаційної моделі для розрахунку залізобетонних балок із визначення прогинів підтверджується надійною збіжністю значень, яку приймали на рівні 0,8 від руйнівного зусилля.

Таблиця

#### Результати прогинів експериментальних балкових зразків

Шифр балок	Експериментальні значення прогину за 0,8 V, см	Теоретичне значення прогину за 0,8 V, см	$\frac{\text{Теор-Екс}}{\text{Теор}}$ , %
І серія			
Б-1-1	0,49	0,505	3 %
Б-1-2	0,485	0,505	4 %
Б-1-3П <sub>А</sub>	0,76	0,785	3 %
Б-1-4П <sub>А</sub>	0,77	0,785	2 %
ІІ серія			
Б-2-1	0,894	0,91	2 %
Б-2-2ПБ <sub>А</sub>	0,92	0,945	3 %
Б-2-3ПБ <sub>А</sub>	0,915	0,95	4 %
Б-2-4ПТ <sub>АГ</sub>	0,917	0,95	4 %
Б-2-5ПТ <sub>АГ</sub>	0,92	0,938	2 %
Б-2-6ПТ <sub>АГ</sub>	0,921	0,946	3 %
Б-2-7ПТ <sub>АГ</sub>	0,919	0,935	2 %
ІІІ серія			
Б-3-1	0,81	0,87	7 %
Б-3-2ПТ <sub>АГ</sub>	0,97	1,05	8 %
Б-3-3ПТ <sub>АГ</sub>	0,965	1,04	7 %

Графіки прогинів експериментальних зразків звичайної Б-2-1 та підсиленої балок Б-2-2ПБ<sub>А</sub>, (рис. 2, 3, 4) показують збіжність показів, отриманих теоретичним та експериментальним шляхом, за допомогою яких можливий опис прогинів залізобетонних балкових конструкцій за підсилення.



Рис. 2. Прогини експериментальної балки Б-2-1

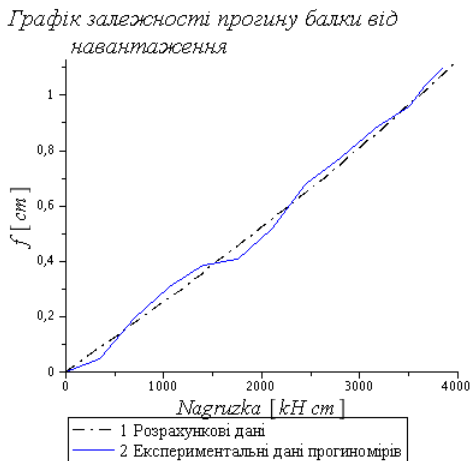


Рис. 3. Прогини експериментальної балки Б-3-2ПТ<sub>А,Г</sub>

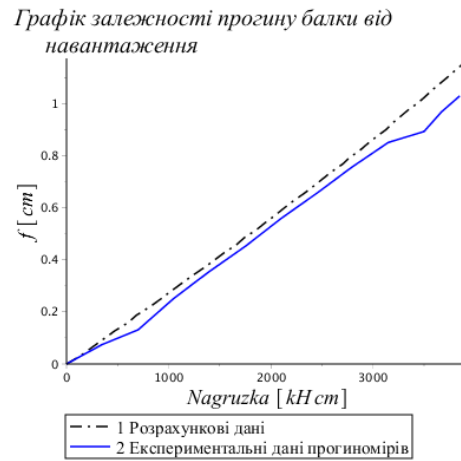


Рис. 4. Прогини експериментальної балки Б-2-2ПБ<sub>А</sub>

**Висновки.** На основі експериментальних досліджень деформативності дослідних зразків, які піддавалися зосередженим зусиллям у приопорних ділянках, спостерігається розбіжність між теоретичними значеннями за новим ДБН В.2.6.-98:2009 над реальними значеннями, отриманими під час випробування дослідних зразків у межах 2-8 %.

На нашу думку, проблеми деформативності похилих перерізів потрібно вивчати із різними способами підсилення конструкцій приопорної зони.

#### **Бібліографічний список**

1. Бабич Є. М. Методика випробування підсилених за похилими перерізами згинальних залізобетонних елементів при малоциклових навантаженнях високого рівня / Є. М. Бабич, С. В. Мельник // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону : міжвід. наук.-техн. зб. – К. : ДП НДІБК, 2011. – Вип. 74, кн. 1. – С. 172–179.
2. Барашиков А. Я. Експериментальні дослідження згинаних залізобетонних елементів, підсилених різними способами / А. Я. Барашиков, О. П. Сумак, Б. А. Боярчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції будівель і споруд : зб. наук. пр. – Рівне : РДТУ, 2000. – № 5. – С. 294–297.
3. Міцність та деформативність залізобетонних балок, підсилених після впливу агресивного середовища / З. Я. Бліхарський, Р. В. Вашкевич, Р. Є. Хміль та ін. // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону : Міжвід. наук.-техн. зб. – К. : ДП НДІБК, 2011. – Вип. 74, кн. 2. – С. 28–35.
4. Гольшев А. Б. Проектирование усиленных железобетонных конструкций производственных зданий и сооружений / А. Б. Гольшев, И. Н. Ткаченко. – К. : Логос, 2001. – 172 с.
5. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б В.2.6-156:2010. – [Чинний від 2011-06-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 116 с. – (Національний стандарт України).
6. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с. – (Державні будівельні норми України).

#### **Мазурак А., Ковалик І., Артеменко В., Михайлечко В. Деформативність підсилених залізобетонних елементів на ділянках дії максимальних поперечних сил**

Запропоновано теоретичну та експериментальну оцінки деформативності перерізів залізобетонних елементів, похилих до поздовжньої осі.

**Ключові слова:** прогини балки, деформації, підсилення балки.

#### **Mazurak A., Kovalyk I., Artemenko V., Mihaylechko V. Deformation of increase reinforce-concrete elements on areas of action of maximal transversal forces**

In the article the theoretical and experimental estimation deformations cuts of reinforce concrete elements, sloping is offered to the longitudinal axis

**Key words:** bending of beam, deformations, strengthening reinforce-concrete beam.

**Мазурак А., Ковалык И., Артеменко В., Мыхайлечко В.**  
**Деформативность усиленных железобетонных элементов на участках действия максимальных поперечных сил**

Предложена теоретическая и экспериментальная оценка деформативности перерезов железобетонных элементов, наклонных к продольной оси.

**Ключевые слова:** прогибы балки, деформации, усиления балки.

624.012.35

**THE USAGE OF TECHNOLOGICAL RESIDUES OF STEEL SHEET PRODUCTS AS A WORK SHEET ARMATURE OF CONCRETE STRUCTURES**

*R. Shmyh*

*Lviv National Agrarian University*

**Formulation of the problem.** During the economic crisis, the use of technological remnants of building materials in the production of new building designs is essential and economically justified.

The increasing number of the residual metallic flat products and eventually of scrap in the processing enterprises of Ukraine has a negative environmental impact on the environment. Therefore, prudent and rational use of residues, on the one hand, will reduce environmental problems, and on the other – will let to use effectively the technology remains in the building industry for the production of new building designs.

According to the nationwide construction Internet portal [10] the cost of 1 ton of flat products lies in the range of 15050-21450 UAH depending on the region of Ukraine. The market price of technology balances sheet products is estimated at 3400-3800 USD per 1 ton. Consequently, the cost savings of 1 ton are almost – 65-80%. Therefore, it is clear that the use of such materials in the manufacture of new building designs has sufficient reasonable economic feasibility.

**Analysis of recent research and publications.** Metal cutting is one of the main procurement processes of metal on metal enterprises. The method of