

## ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК З ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ПОШКОДЖЕННЯМИ

### FEATURE OF BEHAVIOR OF COMPOSITE BEAMS WITH EXPLOITATION DAMAGES

*к.т.н., доцент Толстопятов Р.В., к.т.н., с.н.с., докторант  
Воскобійник О.П., аспірант Скиба О.В. (Полтавський національний  
технічний університет імені Юрія Кондратюка)  
PhD, associate professor Tolstopytov R.V., PhD, associate professor  
Voskobiiynuk O.P., postgraduate student Skyba O.V. (The Poltava National  
Technical University named after Yuri Kondratyuk*

#### Анотація

Стаття присвячена дослідженню особливостей роботи сталевих двотаврових балок з експлуатаційними пошкодженнями у вигляді односторонніх вирізів у полицях, наявність яких зумовлює виникнення складного виду деформування в умовах сумісної дії косоного згину з крученням. Проаналізовано вплив на напружено-деформований стан сталевих балок параметрів (довжини та глибини) пошкоджень у вигляді вирізів, а також можливість підсилення таких конструктивних елементів з утворенням комплексних сталезалізобетонних конструкцій.

#### Abstract

The article is devoted to study of speciality of behaviour of steel I-beams with exploitation damages in the form of one-sided cut in side flange, which availability causes origin of complex kind of deformation in conditions of joint action of unsymmetrical bending with torsion. It was analyzed influence of parameters (length and depth) of damages in the form of one-sided cut on stress-strain state of steel beam as well as possibility of reinforcing such elements of construction with formation of the composite structure.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Одним із розповсюджених видів експлуатаційних пошкоджень сталевих елементів є послаблення їх поперечних перерізів внаслідок корозійних процесів та механічних впливів (удари, влаштування непередбачених проектом вирізів у елементах для пропуску технологічного обладнання тощо) [3, 4]. **Аналіз останніх досліджень [6, 8, 9] та публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, а також досвід**

обстеження будівельних конструкцій [3] свідчить, що наявність в сталевих балках такого роду дефектів та експлуатаційних пошкоджень може суттєво впливати на характер їх напружено-деформованого стану, несучу здатність, міцність та деформативність. Таким чином, удосконалення методик уточненого розрахунку (з урахуванням виникнення складного напружено-деформованого стану), оцінювання й розмежування технічних станів експлуатованих сталевих конструкцій та розроблення ефективних методів їх підсилення (наприклад, з утворенням комплексних сталезалізобетонних конструкцій) є **невирішеними частинами загальної проблеми, котрим присвячується стаття.**

**Основні цілі статті** – проаналізувати вплив на характер напружено-деформованого стану та міцність сталевих балок параметрів (довжини та глибини) пошкоджень у вигляді вирізів, а також обґрунтувати доцільність підсилення таких конструктивних елементів з утворенням комплексних сталезалізобетонних конструкцій.

**Виклад основного матеріалу.** Наявність в сталевих двотаврових балках експлуатаційних пошкоджень у вигляді однобічних вирізів у полицях викликає зміну геометричних характеристик послабленого перерізу – зменшення площі, повороту головних центральних осей, зміщення центру ваги та центру згину (рис. 1, 2). Це в свою чергу окрім зменшення площі перерізу нетто призводить до появи неврахованого при проектуванні ексцентриситету прикладання навантаження та виникнення в наслідок цього деформацій косоного згинання та кручення [9]. Так, для сталеві балки з двотавра №14 прольотом 2 м послаблення поперечного перерізу призводить до суттєвого (залежно від глибини вирізу – від 20 до 60°) повороту нейтральної лінії при фактичній роботі елемента в умовах косоного згину (рис. 1). Окрім того, зміщення положення центра згину (рис. 1, 2), що має місце при наявності в балках розглядуваного типу експлуатаційних пошкоджень, призводить до розвитку в елементі трьох груп додаткових напружень, серед яких секторіальні нормальні напруження  $\sigma_\omega$ , викликані згинанням полиць під дією бімоменту  $B$ . Таким чином, величину загальних напружень в будь-якій точці пошкодженого перерізу балки можна підрахувати, скориставшись принципом суперпозицій [1, 2]:

$$\sigma_{заг} = \pm \sigma_x \pm \sigma_y \pm \sigma_\omega = \pm \frac{M_x}{I_{x_o}} \cdot y_i \pm \frac{M_y}{I_{y_o}} \cdot x_i \pm \frac{B}{I_\omega} \cdot \omega_i, \quad (1)$$

де  $M_x$ ,  $M_y$  – згинальні моменти від зовнішньої сили  $F$  в головних площинах пошкодженої ділянки балки;  $I_{x_o}$ ,  $I_{y_o}$  – головні моменти інерції пошкодженого перерізу;  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $\omega_i$  – відповідно декартові та

секторіальні координати точки, що розглядається;  $I_{\omega}$  – секторіальний моменти інерції пошкодженого перерізу.

Проведені авторами теоретичні дослідження [9] свідчать, що збільшення довжини пошкодженої ділянки поперечного перерізу ( $l_6$ ) призводить до зростання секторіальних нормальних напружень ( $\sigma_{\omega}$ ) в послабленому вирізом перерізі. При отриманні розрахункових формул використовувалась умова сумісності деформацій (відносних кутів закручування) на ділянках відповідно ліворуч (непошкодженого перерізу) та праворуч (перерізу з вирізом) в т. «B» [9], рис. 2.

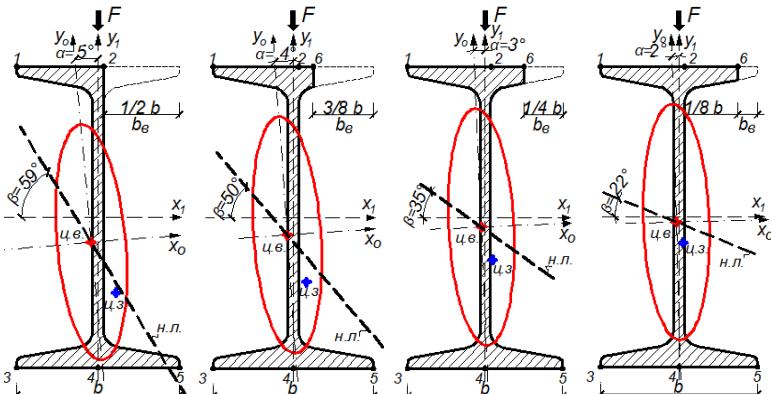


Рис. 1. Зміна геометричних характеристик та положення нейтральної лінії в послабленому перерізі при різній глибині пошкодження у вигляді вирізу

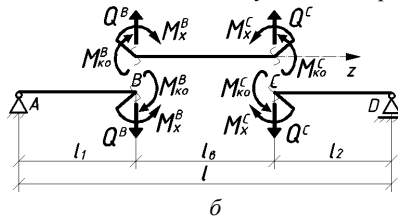
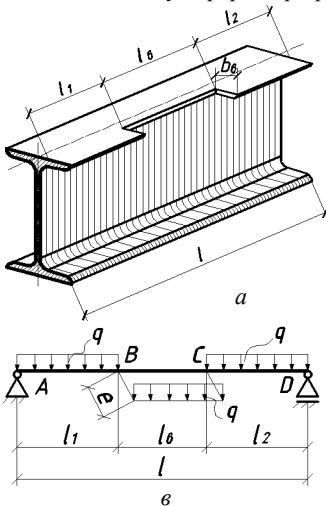


Рис. 2. Сталева двотаврова балка з експлуатаційними пошкодженнями у вигляді однічного вирізу в полиці:  
 а – загальний вигляд балки з пошкодженням;  
 б, в – розрахункова схема балки;  
 $l_6, b_6$  – довжина та глибина пошкодження (вирізу);  $l_1, l_2$  – відстані від країв пошкодження (вирізу) до опор;  
 $e = a_x$  – ексцентриситет прикладання навантаження у послабленому перерізі

Проведені за розробленою методикою розрахунки свідчать, що найбільші за абсолютною величиною нормальні секторіальні напруження діють в точці «1» послабленого пошкодженням перерізу (рис. 1, 3). Хоча при цьому слід зауважити, що найбільш навантажена (небезпечна) точка поперечного перерізу – т. «3» – завдяки дії  $\sigma_\omega$  дещо розвантажується (через те що нормальні згинальні та секторіальні напруження в ній мають різний знак). Аналогічні результати були отримані в [1] при дослідженні роботи сталевих прогонів при сумісній дії косоного згину з крученням. За абсолютною величиною секторіальні нормальні напруження в полицях двотавра з пошкодженням є незначними (не більше 5%) порівняно з напруженнями, зумовленими деформациєю косоного згину  $\sigma_{32}$  (рис.4, а).

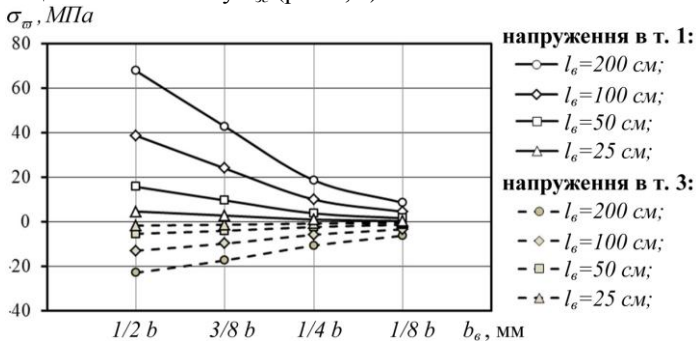


Рис. 3. Графіки зміни величини секторіальних нормальних напружень в різних точках послабленого перерізу залежно від глибини ( $b_0$ ) та довжини вирізу ( $l_0$ )

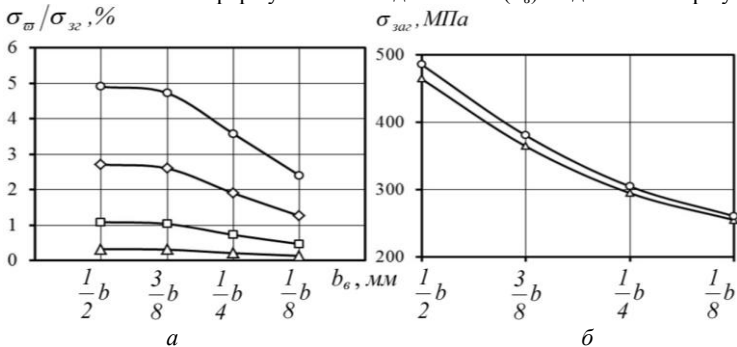


Рис. 4. Графіки зміни нормальних напружень в небезпечній точці послабленого перерізу балки залежно від параметрів пошкодження у вигляді одностороннього вирізу в полиці (умовні позначення див. рис. 3): а – відсоткове співвідношення між нормальними напруженнями, зумовленими дією обмеженого кручення та косоного згину; б – зміна величини загальних нормальних напружень в найбільш напруженій точці послабленого перерізу

Загалом сумісна дія на послаблену пошкодженнями сталеву двотаврову балку деформацій косого згину та обмеженого кручення призводить до її суттєвого перенапруження (рис. 4, б), а отже викликає необхідність в підсиленні таких елементів.

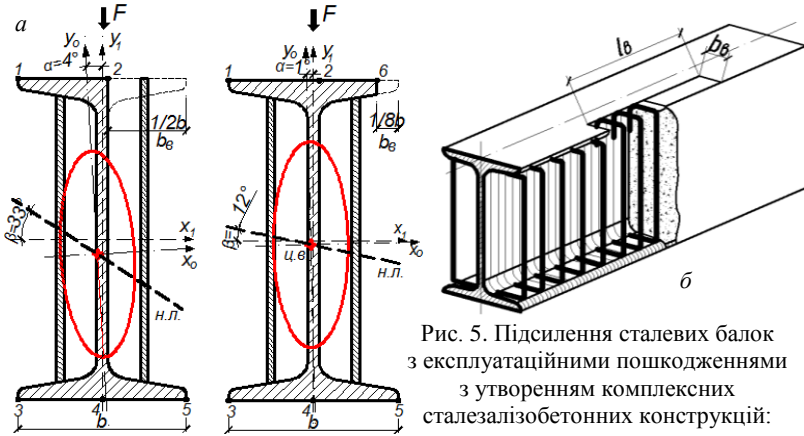


Рис. 5. Підсилення сталевих балок з експлуатаційними пошкодженнями з утворенням комплексних сталезалізобетонних конструкцій:

*a* – зміна геометричних характеристик та положення нейтральної лінії в послабленому перерізі сталезалізобетонної балки підсилення при різній глибині пошкодження; *б* – загальний вигляд сталезалізобетонної балки підсилення

Одним із способів підсилення сталевих елементів, що мають дефекти чи пошкодження у вигляді однобічних вирізів у полицях, є утворення комплексної сталезалізобетонної конструкції шляхом заповнення бетоном відкритих порожнин двотаврової балки [5], рис. 5, б. Існуюча сталева балка, що підсилюється, в новоствореній сталезалізобетонній конструкції слугує жорсткою арматурою, а заповнення порожнин бетоном (обетонування) дозволяє суттєво зменшити вплив дефектів та пошкоджень на роботу й характер напружено-деформованого стану таких елементів. Так, при підсиленні розглянутої вище сталеві балки прольотом 2 м шляхом обетонування її порожнин бетоном класу В20 (рис. 5, б) кут нахилу нейтральної лінії приведенного сталезалізобетонного перерізу зменшується приблизно в два рази (рис. 5, а) та залежно від глибини вирізу в полиці жорсткої арматури ( $b_0$ ) змінюється в межах від 12 до 33°, що має добрий збіг з результатами експериментальних досліджень сталезалізобетонних балок з пошкодженнями жорсткої арматури [8]. При визначенні геометричних характеристик сталезалізобетонного перерізу бетон підсилення приводився до сталі, як це показано на рис. 5, а, шляхом використання коефіцієнту приведення  $\alpha = E_b \bar{v} / E_s$  [7].

**Висновки.** Проведені теоретичні дослідження свідчать, що експлуатаційні пошкодження сталевих балок у вигляді однобічних вирізів у полицях прокатних двотаврових профілів призводять до суттєвого (майже в 2 рази) збільшення загальних нормальних напружень в небезпечній точці послабленого перерізу. Розроблена авторами аналітична методика дозволяє врахувати вплив параметрів (довжини та глибини) пошкодження у вигляді вирізу на характер розподілу нормальних напружень в послабленому перерізі двотаврових балок. При цьому підсилення такого типу конструктивних елементів обетонюванням з утворенням комплексних сталезалізобетонних конструкцій дозволяє суттєво зменшити вплив на характер напружено-деформованого стану фактичного кута нахилу та ексцентриситету прикладання зовнішнього навантаження, що зумовлено зміною геометричних характеристик послабленого перерізу.

*Список літератури:*

1. Бычков Д. В. Строительная механика стержневых тонкостенных конструкций [Текст] : в 2-х ч. / Д. В. Бычков. – М., 1962. – 475 с.
2. Власов В. З. Тонкостенные упругие стержни [Текст] / В. З. Власов. – М. : ГИФМЛ, 1958. – 568 с.
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 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації [Текст] : чинний з 1992 – 07-01. – К. : Держбуд України, 1992. – 45 с.
5. Пат. 67776 Україна, МПК (2012.01) E04C 1/00. Сталезалізобетонна конструкція підсилення [Текст] / О. В. Семко, О.П. Воскобійник, А. В. Гасенко ; заявник та власник Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № u 2011 08262 ; заявл. 01.07.11 ; опубл. 12.03.12, Бюл. № 5. – 4 с.
6. Пичугин С. Ф., Семко В. А. Методика расчета стальных балок с односторонними вырезами в полке // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сб. науч. трудов : в 2 ч. – ч. 1. – Одесса : ОГАСА, 2007. – С. 165–169.
7. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой [Текст]. – М. : Стройиздат, 1978. – 55 с.
8. Семко О. В. Напряжено-деформованний стан сталезалізобетонних балкових конструкцій з дефектами [Текст] / О. В. Семко, О. П. Воскобійник, А. В. Гасенко // Строительство. Материаловедение. Машиностроение : сб. науч. тр. – Дн-ск: ПГАСА, 2010. – Вып. 56. –С. 476–482.
9. Толстопятов Р.В. Визначення внутрішніх зусиль при обмеженому крученні сталевих двотаврових балок з дефектами / Р. В. Толстопятов, О. П. Воскобійник // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : сб. наук. праць. – Рівне, 2011. – Вип. 21. – С. 373–381.