

## МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЕРЕРІЗІВ, ПОХИЛИХ ДО ПОЗДОВЖНЬОЇ ОСІ

А. Мазурак, к. т. н., І. Ковалик, асистент,

В. Михайлечко, старший викладач

Львівський національний аграрний університет

<https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.098>

**Постановка проблеми.** Питання досліджень несучої здатності перерізів похилих до поздовжньої осі залізобетонних елементів розглядали неодноразово, і пропозиції щодо розрахунку принципово відрізняються одна відносно іншої. На сьогодні для виконання розрахунку будівельних конструкцій інженери використовують різні методи визначення несучої здатності перерізів залізобетонних елементів, похилих до поздовжньої осі, що призводить до перевитрати матеріалів, особливо армування конструкції, а також не дає змоги реально оцінювати несучу здатність проєктованих конструкцій [1; 2].

**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. Баби́ча, А. Я. Барашикова, З. Я. Бліхарського, С. В. Бондаренка, О. І. Валовой, О. Б. Голишева, О. Ю. Єрьоменка, Є. Ф. Лисенко, Г. А. Молодченко, Л. А. Мурашко, Й. П. Новаторського, Р. С. Санжаровського, Г. Н. Хайдукова, О. Л. Шагіна і багатьох інших авторів [1-5].

**Постановка завдання.** Завдання дослідження – оцінка підсилених залізобетонних балкових елементів за несучою здатністю похилих до поздовжньої осі і порівняння міцнісних характеристик дослідних балок із власних досліджень; розробка методик експериментальних досліджень і проведення аналізу теоретико-експериментальних досліджень підсилених залізобетонних балок.

**Виклад основного матеріалу.** Теоретико-експериментальні дослідження несучої здатності перерізів, похилих до поздовжньої осі залізобетонних елементів, проводили за різними методиками: методика чинних нормативних документів, розробка міжнародних будівельних журналів, а також пропозиція з розрахунку вітчизняних науковців.

Оцінку несучої здатності залізобетонних перерізів, похилих до поздовжньої осі, здійснювали на основі експериментальних балкових зразків за рекомендаціями міжнародного євро-

пейського будівельного журналу RILEM TC. Несучу здатність перерізу залізобетонної балки, похилого до поздовжньої осі, визначають як суму складових бетону  $V_c$ , поперечного армування  $V_w$  і розтягнутих волокон  $V_f$ . Терміни  $V_c$ ,  $V_f$  і  $V_w$  мають однакові форми, що і в Єврокод 2.

$$V_R = V_c + V_f + V_w \quad (1)$$

Внесок волокон складається з інтеграції міцності на зсув, зріз за рахунок волокон на критичному зсуві тріщини, який визначають так:

$$V_f = k_f \cdot k \cdot \cos\theta \cdot \tau_{fd} \cdot b_w \cdot d \cdot \cot\theta, \quad (2)$$

де  $q$  – нахил стійки стиснення;  $k_f$  – фактор, беручи до уваги стиснутий елемент.

Складові бетону  $V_c$ , де міцність на зріз визначають так:

$$V_{Rd,c} = \left[ 0, \frac{18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d, \quad (3)$$

де  $g_c$  – коефіцієнт надійності бетону, як правило, становить  $g_c = 1,5$ .

Ця залежність повністю емпірична.

Внесок поперечної арматури  $V_w$  визначають так:

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s_w} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta, \quad (4)$$

де  $z$  – плече робочого перерізу ( $z = 0,9d$ );  $A_{sw}$  – площа поперечної арматури, є відстанню між поперечними арматурними стрижнями;  $f_{ywd}$  – межа текучості сталі;  $a$  – нахил поперечних арматурних стрижнів [5; 7].

Основою розрахункової моделі, запропонованої Є. М. Баби́чем, О. І. Корнійчуком, були нормативні документи СНиП 2.03.01.-84\* [4; 5].

Практично несучу здатність похилого перерізу залізобетонного елемента визначали за поперечною силою в нормальному перерізі залізобетонної конструкції залежно від плеча прикладання сили, розміщеного над початком тріщин, і зусилля, які діють в арматурі у межах довжини похилого перерізу, де розрахункове зусилля несучої здатності похилих перерізів записували:

$$V = V_b + V_{sw} + F_{crc} \cdot \sin q + V_s, \quad (5)$$

де  $V_b$  – граничне зусилля, що сприймається бетоном над критичною похилою тріщиною;  $V_{sw}$  – зусилля, що сприймається поперечною арматурою

і відігнутими стрижнями;  $F_{crc}$  – сили зчеплення в похилій тріщині;  $V_s$  – зусилля, що сприймається поздовжньою арматурою (нагельне зусилля).

Зусилля, що сприймається бетоном над критичною похилою тріщиною:

$$V_b = 1,5 \cdot f_{ctk} \cdot b \cdot x_c \cdot w_1, \quad (6)$$

де  $w_1$  – коефіцієнт врахування відносного прольоту зрізу  $c/h_0 = 0,5$ ;  $x_c$  – висота стиснутої зони бетону над похилою тріщиною;  $f_{ctk}$  – характеристичне значення міцності бетону на осьовий розтяг.

Зусилля, яке можуть сприйняти поперечні стрижні (хомути):

$$V_{sw} = \frac{f_{ywd} \cdot A_{sw1}}{s_w} \cdot c_0, \quad (7)$$

де  $A_{sw1}$  – площа перерізу поперечної арматури;  $c_0$  – проекція небезпечної похилої тріщини;  $f_{ywd}$  – значення міцності поперечної арматури.

Значення зусилля зчеплення в похилій тріщині:

$$F_{crc} = 0,0464 \cdot yf_{crc} \cdot k_3 \cdot f_{ctk} \cdot b_w \cdot l_{crc}, \quad (8)$$

де  $yf_{crc}$  – коефіцієнт умов роботи;  $k_3$  – коефіцієнт зчеплення в похилій тріщині;  $f_{ctk}$  – значення міцності бетону на осьовий розтяг з урахуванням коефіцієнта умов роботи.

Зусилля, яке сприймає поздовжня арматура (нагельний ефект):

$$V_s = 0,8 \cdot n_s \cdot \frac{d \cdot c_0}{c^2} \cdot d_s^2 \cdot \sqrt{f_{ctk} \cdot f_{yd}} \cdot \frac{1}{10}, \quad (9)$$

$n_s, d_s$  – кількість і діаметр поздовжніх стрижнів [4; 5].

Аналізуючи подані методики розрахунку, можна дійти таких висновків:

- за чинними нормами теоретичні значення порівняно з експериментальними показують великий запас міцності перерізів, похилих до поздовжньої осі залізобетонних балок. у межах 54–67 %. Фермова модель розрахунку занижує несучу здатність, оскільки не враховує складової розтягнутого бетону;

- результати, отримані за методикою Є.М. Бабича та О.І. Корнійчука, показують розбіжність теоретичних результатів з експериментальними даними в діапазоні 26–38 %;

- значення, отримані за СНиП, показали невелику розбіжність теоретичних та експериментальних значень у межах 4–24 % (див. табл.).

Результати за методикою будівельного журналу RILEM TC 162 показують розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями 1–12 %. В основу складових, які сприймають зусилля в перерізах залізобетонних балок, похилих до поздовжньої осі, входить складова бетон  $V_c$  + арматура  $V_w$  + стиснуті розкоси  $V_f$  (аналогічне зачепленню за береги тріщини), сума яких якісно оцінює несучу здатність конструкції.

Таблиця

Експериментальні та розрахункові значення несучої здатності похилих перерізів залізобетонних елементів

Шифр балок	Результати дослідних балок $V_{Rd}$ , кН	Теор. результ., отримані за EN 1992-1-1 (ДБН В.2.6-98:2009) $V_{Rd}$ , кН	Теор. результ., отримані за СНиП 2.03.01-84* $V_{Rd}$ , кН	Теор. результ., отримані метод. №1 * $V_{Rd}$ , кН	Теор. результ., отримані метод. №2 ** $V_{Rd}$ , кН	Розбіж., % EN 1992-1	Розбіж., % №1*	Розбіж., % СНиП	Розбіж., % №2**
Б-1	47,0	17,25	39,81	31,79	46,32	63%	32%	15%	1%
Б-2	52,5	17,25	39,81	31,79	46,32	67%	38%	24%	12%
Б-3	62,5	27,66	58,9	46,67	61,19	56 %	26%	4%	2%
Б-4	64,9	27,66	58,9	46,67	61,19	57 %	27%	9%	5%
Б-5	61,3	27,66	58,2	43,42	59,05	54%	28%	6%	4%
Б-6	61,8	27,66	58,2	43,42	59,05	55%	29%	6%	4%

\* - методика розрахунку Є.М. Бабича, О.І. Корнійчука.

\*\* - методика розрахунку за журналом RILEM TC 162.

**Висновки.** Результат належної збіжності теоретично-експериментальних досліджень забезпечує методика розрахунку RILEM TC 162-TDF, в якій враховано складові напруженого стану конструкцій.

#### Бібліографічний список

1. Бабич Є. М. Методика випробування підсилених за похилими перерізами згинальних залізобетонних елементів при малоциклових навантаженнях високого рівня. *Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: міжвід. наук.-техн. зб.* Київ: ДП НДІБК, 2011. Вип. 74, кн. 1. С. 172-179.
2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 116 с.
3. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с.

4. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные, железобетонные конструкции. Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. 77 с.

5. Корнійчук О. І. Експериментальні дослідження несучої здатності похилих перерізів згинальних залізобетонних елементів при дії малоциклових знакозмінних навантажень. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції будівлі та споруди: зб. наук. пр.* Рівне, 2008. Вип. 16, ч. 2. С. 217-222.

6. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules for buildings: EN 1992-1-1:2004 € [approved 2004-04-16]. Bagnaux: GEN National Members, 2004. 225 p.

7. RILEM TC 162-TDF, Test and design methods for steel fib reinforced concrete: bending test. Bagnaux: RILEM, 2002.

8. RILEM TC 162-TDF, Test and design methods for steel fib reinforced concrete: sigma-epsilon-design method. Bagnaux: RILEM, 2003.

**Мазурак А., Ковалик І., Михайлечко В.**

### МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЕРЕРІЗІВ, ПОХИЛИХ ДО ПОЗДОВЖНЬОЇ ОСІ

Питання досліджень несучої здатності перерізів похилих до поздовжньої осі залізобетонних елементів розглядали неодноразово, і пропозиції щодо розрахунку принципово відрізняються одна відносно іншої. На сьогодні для виконання розрахунку будівельних конструкцій інженери використовують різні методи визначення несучої здатності перерізів залізобетонних елементів, похилих до поздовжньої осі, що призводить до перевитрати матеріалів, особливо армування конструкції, а також не дає змоги реально оцінювати несучу здатність проєктованих конструкцій.

Подано методики розрахунку залізобетонних балок за несучою здатністю похилих перерізів. Розглянуто пропозиції щодо розрахунку несучої здатності перерізів, похилих до поздовжньої осі залізобетонних елементів, за методиками чинних нормативних документів, розробки міжнародних будівельних журналів, а також пропозиції розрахунку вітчизняними науковцями. Здійснено порівняльний аналіз результатів розрахунку та експериментальних даних за несучою здатністю залізобетонних перерізів, похилих до поздовжньої осі, зроблено відповідні висновки і порівняння міцнісних характеристик дослідних балок із власних досліджень.

Показано результат теоретично-експериментальних досліджень на основі розрахунку міжнародного європейського будівельного журналу 162-TDF, розрахункової моделі, запропонованої Є. М. Бабичем, О. І. Корнійчуком, та чинних нормативних документів ДБН В.2.6-98:2009 і ДСТУ Б В.2.6-156:2010.

**Ключові слова:** залізобетонна балка, несуча здатність, поперечне армування, похилі перерізи.

**Mazurak A., Kovalyk I., Mykhaylecho V.**

### METHODS OF CALCULATION OF BEARING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE SLOPES, INCLINED TO THE LONGITUDINAL AXIS

Questions the research bearing capacity sections slopest othe long it udinal axis of the reinforced concrete elements were considered repeatedly, and the proposals for the calculation differ fun damentally from one to the other. For today, for the calculation of buildings tructures engineers use different methods of determining the bearing capacity of cross sections of reinforced concrete elements in clined to the long itudin alaxis, which leads to overconsumption of materials, especially the reinforce ment of the design, and also does not allow to really assess the bearing capacity of project edstructures.

Methods calculation reinforced concrete beams for the bearing capacity inclined sections are given. Considerations were made for calculating the bearing capacity the sections inclined to the longitudinal axis reinforced concrete elements according to the methods the current normative documents, the development international construction magazines, as well as proposals for the calculation by domestic scientists. A comparative analysis the results calculation and experimental data on the bearing capacity sloping to the longitudinal axis has been made, and the corresponding conclusions have been made. And comparison strength characteristics experimental beams from own research.

The result theoretical and experimental research on the basis the calculation of the 162-TDF international European construction journal, calculation model proposed Babich Y.M., Korniychuk O.I. and current normative documents DBN B.2.6-98: 2009 and DSTU B V.2.6-156: 2010 are presented in the article.

**Key words:** reinforced concrete beam, bearing capacity, transverse reinforcement, sloping sections.

*Стаття надійшла 09.02.2018.*