

## **ВИЗНАЧЕННЯ ШИРИНИ РОЗКРИТТЯ ТРІЩИН В ЗГІНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТАХ ПРЯМОКУТНОГО ПРОФІЛЮ ЗГІДНО ДБН В.2.6-98 ТА ДСТУ Б В.2.6-156**

Корнійчук О.І.

Національний університет водного господарства  
та природокористування  
м. Рівне, Україна

**АНОТАЦІЯ:** В статті проведено аналіз визначення ширини розкриття нормальних тріщин в згинальних залізобетонних елементах прямокутного профілю згідно нових нормативних документів ДБН В.2.6.-98:2009 та ДСТУ Б В.2.6-156:2010, а також співставленні його результати з експериментальними даними.

**АННОТАЦИЯ:** В статье проведен анализ определения ширины раскрытия нормальных трещин в изгибаемых железобетонных элементах прямоугольного профиля согласно новым нормативным документам ДБН В.2.6.-98:2009 и ДСТУ Б В.2.6-156:2010, а также сопоставлены его результаты с экспериментальными данными.

**ABSTRACT:** The article is devoted to the analysis of definition of normal crack width opening in the reinforced-concrete bending elements of rectangular profile in obedience to the new normative documents DBN V.2.6.-98:2009 and DSTU B V.2.6-156:2010, and also his results are confronted with experimental research results.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** залізобетон, розрахунок, тріщина, згин.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ**

Ширина розкриття тріщин в залізобетонних елементах має надзвичайно важливе значення з точки зору забезпечення корозійної стійкості арматури, захисту її від екстремального нагрівання під час пожеж,

дотримання естетичних вимог та загальної цілісності конструкції. Тому, одночасно з розвитком теорії розрахунку залізобетонних конструкцій за несучою здатністю, необхідно приділяти значну увагу точному визначенню і обмеженню в допустимих межах ширини розкриття нормальних і похилих тріщин.

З 01 червня 2011 р. в Україні діють нові нормативні документи, що регламентують правила проектування бетонних та залізобетонних конструкцій [1, 2]. Основною задачею їх розробки є наближення національної нормативної бази проектування до вимог і правил проектування за Єврокодом-2 [3].

В цій статті розглянуто питання визначення ширини розкриття нормальних тріщин в згинальних залізобетонних елементах прямокутного профілю без попереднього напруження і за відсутності поздовжніх сил.

### РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

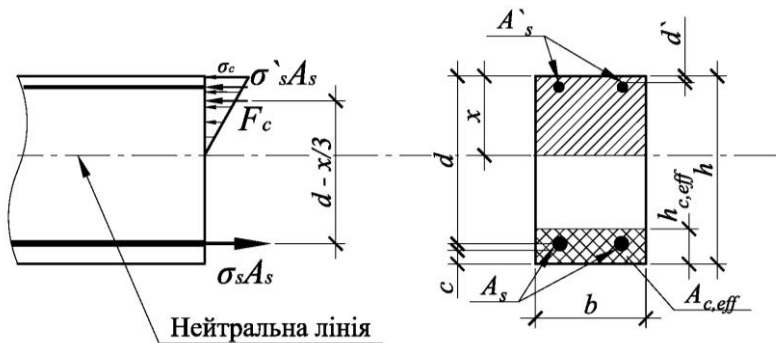


Рис. 1. Розрахункова схема прямокутного перерізу при визначенні ширини розкриття тріщини  $w_k$

Очевидно, що ширина розкриття тріщини – це накопичення деформацій поздовжньої арматури і бетону в межах зони їх активного зчеплення.

Згідно формули (5.8) [2] ширину тріщини  $w_k$  необхідно визначати за виразом:

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{ctm}), \quad (1)$$

де  $s_{r,max}$  – максимальний крок тріщин,

$\varepsilon_{sm}$  – середні деформації в арматурі при відповідному сполученні навантажень,

$\varepsilon_{ctm}$  – середня деформація бетону між тріщинами.

Максимальний крок тріщин визначається за формулою (5.11) [2]

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{\rho,eff}}, \quad (2)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує характеристики зчеплення арматури (для арматури періодичного профілю  $k_1 = 0,8$ );

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує розподіл деформацій (для згину  $k_2 = 0,5$ );

$k_3 = 3,4$ ;  $k_4 = 0,425$ ;  $c$  – захисний шар бетону;  $\phi$  – діаметр арматури;

$$\rho_{\rho,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{\rho_s}{\lambda}, \quad (3)$$

де  $A_{c,eff}$  – фактична площа розтягнутого бетону, що оточує позовжню арматуру (рис. 1);  $\rho_s = A_s / (b \cdot h)$  – коефіцієнт позовжнього армування;  $\lambda = h_{c,eff} / h$ .

Коефіцієнт  $\lambda$  приймають найменшим з наступних значень:

$$\lambda = \min \left[ 2,5(1 - \delta); \frac{1 - \xi}{3}; 0,5 \right], \quad (4)$$

де  $\delta = d / h$ ,  $\xi = x / h$ .

До речі, на сьогоднішній день норми [1, 2] не наводять точних значень мінімального захисного шару  $c$ , що має відповідати вимогам зчеплення арматури з бетоном, умовам відповідності до оточуючого середовища (довговічності), протипожежним вимогам, тощо (п. 4.4.2 [1]). Згідно традицій європейських країн ці дані наводяться в національних додатках (National Annex), яких в Україні поки-що немає.

Різниця між середніми деформаціями в арматурі та деформаціями бетону між тріщинами визначається за формулою (5.9) [2]

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{ctm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{\rho,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{\rho,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}, \quad (5)$$

де  $\sigma_s$  – напруження у розтягнутій арматурі в перерізі з тріщинами;

$k_t$  – коефіцієнт, що залежить від тривалості навантаження (0,6 – для короткотривалого, 0,4 – для довготривалого);

$f_{ct,eff}$  – середня величина міцності бетону на розтяг, допускається приймати  $f_{ct,eff} = f_{ctm}$ ;

$\alpha_e = E_s / E_{cm}$ .

Враховуючи (2) – (5) та після деяких математичних перетворень формулу (1) для згинальних елементів можна записати у вигляді:

$$w_k = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[ 1 - \frac{\sigma_{s,cr}}{\sigma_s} \right] \left[ 3,4 \cdot c + 0,17 \frac{\phi}{\rho_s} \lambda \right], \quad (6)$$

$$\text{де} \quad \sigma_{s,cr} = k_t \cdot f_{ctm} \frac{\lambda}{\rho_s} \left[ 1 + \alpha_e \frac{\rho_s}{\lambda} \right]. \quad (7)$$

Формула (6) може бути використана при перевірці ширини розкриття нормальних тріщин, якщо відомі розміри перерізу елемента та підібрана стиснута та розтягнута арматура.

Для визначення напружень в розтягнутій арматурі  $\sigma_s$  необхідно знати положення нейтральної осі в перерізі, тобто висоту стиснутої зони бетону  $x$ . У [4] пропонується визначати висоту стиснутої зони бетону прирівнюючи до нуля статичний момент зведеного перерізу відносно нейтральної лінії (без врахування розтягнутого бетону):

$$-0,5 \cdot b \cdot x^2 + \alpha_e \cdot A_s \cdot [d - x + \beta \cdot (d' - x)] = 0, \quad (8)$$

де  $\beta = A'_s / A_s$ .

Значення  $x$  знаходять розв'язуючи квадратне рівняння:

$$x^2 + \frac{\alpha_e}{b \cdot h^2} (A_s + A'_s) x - \frac{\alpha_e}{b \cdot h^2} (A_s \cdot d + A'_s \cdot d') = 0, \quad (9)$$

Напруження в розтягнутій арматурі автори [4] пропонують визначити за виразом:

$$\sigma_s = \frac{\alpha_e \cdot M \cdot (d - x)}{I_x^*}, \quad (10)$$

де  $M$  – момент від зовнішнього завантаження,  $I_x^*$  – момент інерції (момент другого порядку), що визначається за виразом:

$$I_x^* = \frac{b}{3} x^3 + \alpha_e \cdot A_s [(d - x)^2 + \beta (d' - x)^2]. \quad (11)$$

Якщо елемент з одиничним армуванням, то виходячи із умови рівноваги моментів відносно рівнодіючої зусиль в стиснутій зоні бетону, напруження в розтягнутій арматурі можна визначати наступним чином:

$$\sigma_s = \frac{M}{\left( d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s}. \quad (12)$$

Ширина тріщини, визначена за формулою (6) має задовольняти вимогу:

$$w_k \leq w_{max}, \quad (13)$$

де  $w_{max}$  – максимальна допустима ширина розкриття тріщини, яка залежить від класу умов експлуатації конструкції і визначається згідно табл. 5.1 [2].

Як показав аналіз розрахунків згідно [2] та [5], а також порівняння їх результатів з дослідними даними, які отримані власне автором та іншими дослідниками (загалом близько 50 зразків), нова методика ДСТУ Б В.2.6-156 [2] дає досить гарну збіжність з експериментальними даними, але до рівня завантажень  $\eta = M / M_u \approx (0,6 \dots 0,65)$  від руйнуючих, тобто при експлуатаційних рівнях завантаження. В той же час розрахунки за [5], як правило, завищують теоретичне значення ширини розкриття тріщини в порівнянні з експериментальним.

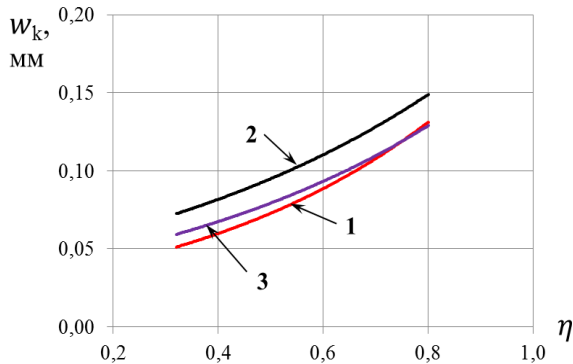


Рис. 2. Залежність ширини розкриття тріщин  $w_k$  від рівня завантаження  $\eta = M / M_u$ : 1 – дослідні дані, 2 – теоретичні значення згідно змін №1 до СНиП 2.03.01.-84\* [5], 3 – теоретичні значення згідно ДСТУ Б В.2.6-156 [2]

## ВИСНОВКИ

Визначення ширини розкриття нормальних тріщини в згинальних залізобетонних елементах прямокутного профілю згідно норм [2] є простішим і для експлуатаційного рівня завантажень (0,6...0,65 від руйнівного) дає кращу збіжність з експериментальними даними у порівнянні з аналогічним розрахунком за старою методикою [5]. Проте наведений метод має ряд недоліків: не врахований вид бетону, а також при визначенні висоти стиснутої зони бетону  $x$  та напруження в розтягнутій арматурі переріз розглядається як умовно суцільне тіло без тріщин, висота  $x$  не залежить від зовнішнього навантаження. Надалі необхідно розробити інженерний метод визначення висоти стиснутої зони бетону та напруження в розтягнутій арматурі на основі загальної деформаційної моделі опору залізобетону.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 71 с.
2. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 118 с.
3. European Committee for Standardization. prEN 1992-1-1: 2003. Eurocode 2, Design of Concrete Structures, Part1: General Rules and Rules for Buildings, Brussels, Belgium, December, 2003.
4. Commentary to Eurocode 2 and Worked Examples, European Concrete Platform ASBL, June, 2008.
5. Зміна № 1 до СНиП 2.03.01.-84\* Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования (наказ Держкоммістобудування України N 211 від 31 жовтня 1995 р.).

Стаття надійшла до редакції 25.02.2013 р.