

# ВПЛИВ ФОРМИ СТИСНУТОЇ ЗОНИ НА ЗНАЧЕННЯ ФІБРОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ БЕТОНУ У РОЗРАХУНКАХ МІЦНОСТІ НОРМАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ЗГИНАННІ

Павліков А.М.

Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка  
м. Полтава, Україна

**АННОТАЦІЯ:** Розглянуто вплив форм стиснутої зони нормального перерізу на розрахункові значення фібрових деформацій бетону.

**АННОТАЦИЯ:** Рассмотрено влияние формы сжатой зоны нормального сечения на расчетные значения фибровых деформаций бетона.

**ABSTRACT:** The method for determination of limit values of concrete construction deformability is represented.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** Балка, форма стиснутої зони, фіброві деформації.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У сучасних нормах, а також багатьох наукових працях наведені значення фібрових деформацій бетону  $\varepsilon_{cu}$ , котрі використовуються в розрахунках міцності перерізів залізобетонних конструкцій і названі граничними [1 – 5 та ін.], хоча за своєю сутністю ці значення деформацій в нелінійній деформаційній моделі не граничні, а розрахункові. На сьогодні їх залежність від форми поперечного перерізу не систематизована, не дивлячись на те, що експериментально факт існування такої залежності встановлено досить давно [3]. Про те, що форма поперечного перерізу елемента впливає на значення  $\varepsilon_{cu}$ , відмічається постійно [4 та ін.]. Але є роботи, в котрих доведено, що значення  $\varepsilon_{cu}$  будуть різні для залізобетонного елемента (ЗБЕ) якщо в нього змінюється форма стиснутої зони [5 та ін.]. Стосовно того, що є загальною причиною впливу на  $\varepsilon_{cu}$  – форма поперечного перерізу чи форма стиснутої зони – обґрунтування немає. Звідси випливає, що існує проблема обґрунтування ступеню причинно-наслідкового зв'язку залежності граничних (розрахункових)

значень фібрової (конструкційної) деформативності бетону  $\epsilon_{cu}$  від форми стиснутої зони та форми поперечного перерізу, і отримання залежності значень  $\epsilon_{cu}$  від одного з цих факторів, загального за сутністю впливу.

**Метою** статті є: проведення аналізу впливу форми стиснутої зони поперечного перерізу ЗБЕ на розрахункові значення фібрових деформацій бетону; отримання залежності значень  $\epsilon_{cu}$  для прямокутної, трапецієподібної та трикутної форм стиснутої зони поперечного перерізу.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для розв'язання поставленої мети розглядається оптимально армований ЗБЕ з прямокутним поперечним перерізом (рис. 1), в котрому стиснута зона ( $\beta=0$ ) у вигляді прямокутника за рахунок повороту нейтральної лінії набуває спочатку трапецієподібної, а потім трикутної форми, тобто відбувається явище косоного згинання (або стиску).

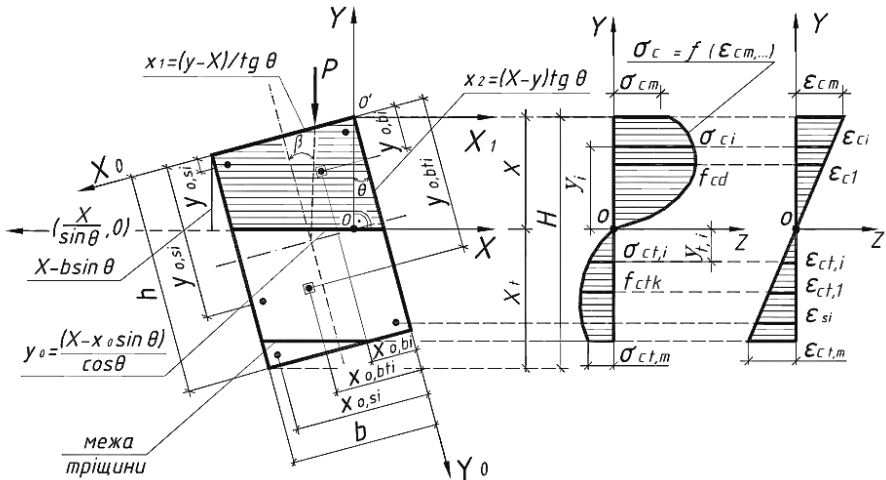


Рис. 1. Розрахункова схема до визначення значень фібрових деформацій бетону в ЗБЕ

У даному випадку явище перетворення однієї форми стиснутої зони в іншу обумовлюється поворотом зовнішньої силової площини. При цьому початкове рівномірне розподілення фібрових деформації бетону уздовж верхньої грані (при прямокутній формі стиснутої зони) змінюється. Його максимальне значення  $\epsilon_{cm}$  буде на рівні найбільш стиснутого ребра – найвіддаленішої фібри від нейтральної лінії (при трапецієподібній та трикутній формах стиснутої зони). У процесі повороту нейтральної лінії по

всій стиснутій зоні поперечного перерізу однаковими залишаються деформації бетону тільки в шарах, рівновіддалених від нейтральної лінії, тобто паралельними до неї. А це говорить про те, що не форма поперечного перерізу безпосередньо впливає на значення величини  $\varepsilon_{cu}$ , а форма його стиснутої зони. Аналіз процесу формування стиснутої зони показує, що для сталої форми стиснутої зони зміна форми поперечного перерізу не призводить до зміни фібрових деформації бетону  $\varepsilon_{cu}$ . Навпаки, за сталої форми поперечного перерізу зміна форми стиснутої зони призводить до зміни фібрових деформації бетону  $\varepsilon_{cu}$ .

Також цілком очевидно, що деформації бетону на рівні найбільш стиснутої фібри для випадку прямокутної, трапецієподібної та трикутної форм стиснутої зони будуть різні. Величина  $\varepsilon_{cu}$  буде мати найбільші значення при трикутній формі стиснутої зони, найменші – при прямокутній. На межі перетворення однієї форми в іншу величина  $\varepsilon_{cu}$  буде мати одне значення. З наведеного аналізу також випливає, що застосування у розрахунках міцності ЗБЕ фіксованого їх значення  $\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{cu1}$ , отриманого при випробуванні на стиск еталонних бетонних призм [1, 2], не відповідає дійсним значенням цієї характеристики бетону в ЗБК.

Для отримання залежності величини  $\varepsilon_{cu}$  від форми поперечного перерізу елемента розглядається розрахункова схема відповідно до рис. 1. Характерним для неї є трапецієподібна форма стиснутої зони, котра може трансформуватись як у прямокутну, так і трикутну.

Для схеми на рис. 1 рівняння рівноваги приведені до вигляду:

$$f_{yd}A_s = f_{cd}bX \cdot 2 - \gamma \cdot \omega_2 \cdot K \cdot \eta_m / 2 \cos \theta; \quad (1)$$

$$M_{u,Y} - f_{yd}A_s \left( H_0 - \frac{\omega_2 - \varphi_2}{\omega_2^2} \cdot \frac{2 \cos \theta}{2 - \gamma} \cdot \frac{f_{yd}A_s}{f_{cd}b} \right) = 0, \quad (2)$$

де  $f_{yd}$  – напруження в арматурі при значеннях  $\varepsilon_{cm} = \varepsilon_{cu}$  ( $\eta_m = \eta_u = \varepsilon_{cu} / \varepsilon_{c1}$ ) на рівні точки, найбільш віддаленої від нейтральної лінії;

$X$  – висота стиснутої зони;

$\gamma = b \sin \theta / X = X_1 / X$ ;  $K$  – коефіцієнт пружно-пластичних властивостей бетону;  $\eta_m = \varepsilon_{cm} / \varepsilon_{c1}$  – відносний рівень поточного значення деформації бетону на рівні найбільш стиснутої фібри перерізу;

$\theta$  – кут нахилу нейтральної лінії;

$M_{u,Y}$  – граничне значення зовнішнього моменту в площині координатної осі  $Y$ ;

$H_0 = d_b \sin \theta + d \cos \theta$ ;

$d_b, d$  – робочі висоти перерізу уздовж сторін  $b$  та  $h$ .

У рівняннях (1) – (2) коефіцієнти повноти епюри напружень в бетоні стиснутої зони  $\omega_2$  і відносної координати  $\varphi_2$  в системі координат  $YOX$ :

$$\omega_2 = \frac{2\eta_m}{3} \left\{ \left[ \left( 1 - \frac{\eta_m}{2} \right) - \gamma \left( 1 - \frac{\eta_m}{4} \right) \right] + \frac{1}{2-\gamma} \right\}; \quad (3)$$

$$\varphi_2 = \frac{\eta_m}{6} \frac{1}{2-\gamma} \begin{bmatrix} 8-3\eta_m & -6\gamma & 2-\eta_m & +2\gamma^2 & 4-3\eta_m & - \\ -\gamma^3 & 2-3\eta_m & -0,6\gamma^4\eta_m & & & \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Наведені формули та рівняння (1) – (4) є загальними, а тому дозволяють у нормальному перерізі ЗБЕ у загальному випадку прослідкувати за явищем переходу однієї форми стиснутої зони в іншу залежно від значень, які може набувати параметр  $\gamma$  ( $0 \leq \gamma \leq 1$ ). Так, (рис. 1) для граничних положень нейтральної лінії, коли трапеція перетворюється в трикутник  $\gamma=1$  ( $X_I=X=b\sin\theta$ ), а коли з трапеції утворюється прямокутник  $\gamma=0$  ( $\theta=0$ ). Тобто, залежності (1) – (4) є загальними і описують в одному і тому ж самому ЗБЕ напружено деформований стан з усіма формами стиснутої зони. Вони розповсюджуються і на ЗБЕ з аналогічними формами поперечних перерізів, але як для окремих випадків форм стиснутої зони перерізу.

Оскільки вирази (1) – (4) є загальними, то для обчислення розрахункових (граничних) значень рівня деформацій бетону  $\eta_m$  у найбільш стиснутій фібрі можна отримати для кожної з форм стиснутої зони відповідні рівняння типу:

$$\partial M(\eta_m, \theta_m) / \partial \eta_m = 0. \quad (5)$$

Використовуючи такий підхід, отримано шукану залежність  $\eta_u$  від форми стиснутої зони у такому вигляді:

$$\eta_u = ke^\lambda - X / X(K-2), K \neq 2, \quad (6)$$

тут  $k$  – коефіцієнт пропорційності;

$\lambda$  – значення кореня характеристичного рівняння, котре для кожного випадку положення нейтральної лінії має свій вигляд і описує стан ЗБЕ у момент вичерпання його міцності у нормальному перерізі.

Вираз (6) у випадку трикутної форми стиснутої зони приводиться до такого:

$$\eta_u = e^\lambda - 1 / K - 2, K \neq 2, \quad (7)$$

$$\text{де } \lambda = 0,081202K^3 - 0,95546K^2 + 4,2058K - 5,2153; \text{ при } 4 \leq K \leq 2,25; \quad (8)$$

$$\lambda = -(0,95K^2 - 6,04K + 8,12), \text{ при } 1,75 \geq K \geq 1,18. \quad (9)$$

Для випадку прямокутної форми стиснутої зони вираз (6) перетворюється у рівняння:

$$a^5 \eta_u^5 - K + b \quad 2b-1 \quad a^4 \eta_u^4 - 24b^2 a^3 \eta_u^3 + 12 \quad b^2 - 2 \quad b^2 a^2 \eta_u^2 - \quad (10)$$

$$-12b^4 c \ln c^2 + 12\eta_u ab^2 \quad c + 1 \quad c \ln c = 0,$$

в котрому  $a=(K-2)$ ,  $b=(K-1)$ ,  $c=(a\eta_u+1)$ .

Використовуючи отримані залежності (7) – (10), побудовано два графіки (рис. 2).

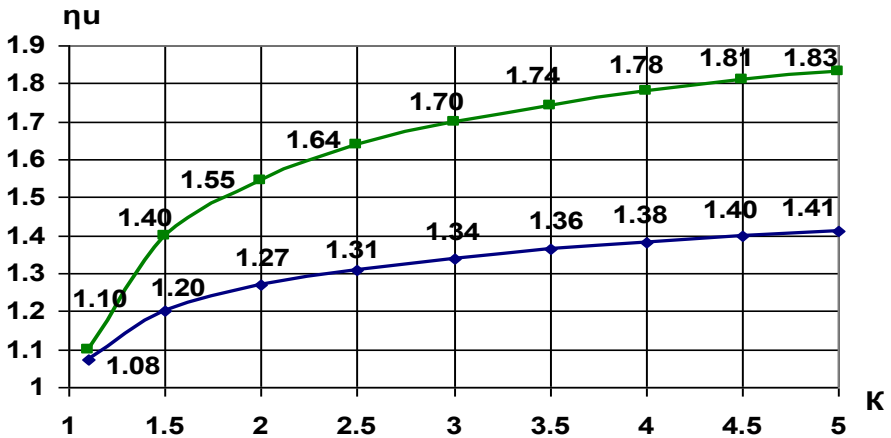


Рис. 2. Діаграма розрахункових (граничних) значень рівнів конструкційних деформацій бетону для ЗБЕ

Перший з них – верхня лінія за (7), являє сукупність розрахункових (граничних) значень конструкційних деформацій бетону для ЗБЕ з будь-яким видом трикутної форми стиснутої зони, а другий – нижній графік за (10) для ЗБЕ з прямокутною формою стиснутої зони. Між верхнім та нижнім графіками розташована сукупність розрахункових (граничних) значень конструкційних деформацій бетону для ЗБЕ з будь-яким видом трапецієподібної форми стиснутої зони за (6). Аналіз обох графіків показує, що вони разом з ділянкою між ними є не що інше як діаграма сукупності можливих значень рівнів  $\eta_u$  конструкційних відносних фібрових деформацій бетону залежно від інших відмінних від  $K$  параметрів. З діаграми видно, що при змінюванні характеристики  $K$  у межах 5,0...2,0 розрахункові значення рівнів відносних фібрових деформацій бетону  $\eta_u$  в ЗБЕ прямокутної форми коливаються в діапазоні 1,412...1,270, а для ЗБЕ трикутної форми – в межах 1,83...1,546.

## ВИСНОВКИ

Отримана залежність (6) дозволяє обчислювати розрахункові значення конструкційних фібрових деформацій бетону залежно від будь-яких факторів. Граничні значення конструкційних фібрових деформацій

бетону у загальному випадку залежать від форми стиснутої зони перерізу, а не від форми поперечного перерізу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009. [Чинні від 2011-07-01]. - К. : Мінрегіонбуд України, Державне підприємство "Укрархбудінформ", 2011. – 71 с. – (Державні будівельні норми).
2. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010. [Чинний від 2011-07-01]. К. : Мінрегіонбуд України, Державне підприємство "Укрархбудінформ", 2011. – 118 с. – (Національний стандарт України).
3. Рюш Г. Исследование работы изгибаемых элементов с учетом упругопластических деформаций / Г. Рюш // Международное совещание по расчету строительных конструкций. – М.: Госстройиздат, 1961. – С. 183 – 189.
4. Митрофанов В.П. Практическое применение деформационной модели с экстремальным критерием прочности железобетонных элементов / В.П. Митрофанов // Коммунальное хозяйство городов: научно-технический сборник. – К. : Техніка, 2004. – Вип. 60. – С. 29 – 48.
5. Павліков А.М. Використання діаграми стану бетону при визначенні міцності косозігнутих залізобетонних балок / А.М. Павліков, Є.В. Дяченко // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць ПолтНТУ. – Полтава : ПолтНТУ, 2004. – Вип. 14. – С.23 – 25.

Стаття надійшла до редакції 14.02.2013 р.