

- Міжвід. наук.-техн. зб. Будівельні конструкції. - К.:НДБК, 2003. - № 59. – С. 121-130.
3. Бамбура Андрій, Гурківський Олександр, Безбожна Маріанна, Дорогова Олена Деформаційна модель та алгоритм визначення напружено-деформованого стану розрахункового перерізу залізобетонних елементів// Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов. Вып. №50. – Днепропетровск., ПГАСА, 2009. – С. 19-25.
  4. Бамбура Андрій, Дорогова Олена Несуча здатність залізобетонних елементів кільцевого перерізу за деформаційною моделлю. // Міжвідомчий науково-технічний зб. Будівельні конструкції. Вип. 73. – Київ: ДП НДБК, 2011. – С. 724-735.
  5. ДБН В.6.2-98:2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення»
  6. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 «Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування»

УДК 624.046.2

### **ВИЗНАЧЕННЯ ШИРИНИ РОЗКРИТТЯ ТРІЩИН В ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ ЗГІДНО З НОВИМИ НОРМАТИВНИМИ ДОКУМЕНТАМИ УКРАЇНИ**

*Д.т.н.,с.н.с Бамбура А.М., інж. Сазонова І.Р., інж. Канюка Л.Г.  
Державне Підприємство „Державний науково-дослідний інститут  
будівельних конструкцій”, м. Київ*

З 1 липня 2011 року в Україні введено в дію нові нормативні документи – ДБН В.2.6-98 «Бетонні та залізобетонні конструкції» [1] та ДСТУ Б В.2.6-156 «Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону» [2]. При розробленні цих Норм враховані основні принципи EN 1992-1-1:2005 Єврокод 2: Проектування залізобетонних конструкцій.

За новими Нормами ширина розкриття тріщин залежить від максимального кроку тріщин та різниці між середніми деформаціями в розтягнутій арматурі та бетоні між тріщинами. Ширина тріщин  $w_k$  визначається за виразом (5.8) [2]:

$$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{ctm}), \quad \text{де}$$

$s_{r,max}$  - максимальний крок тріщин;

$\epsilon_{sm}$  - середні деформації в арматурі при відповідному

сполученні навантажень, включно з впливом прикладених деформацій та при врахуванні впливу жорсткості при розтягу. Враховуються тільки додаткові деформації розтягу, що мають місце при деформації бетону на тому ж рівні вище нуля;

$\epsilon_{ctm}$  - середня деформація бетону між тріщинами.

Аби пояснити методику розрахунку, обчислимо ширину розкриття тріщин для залізобетонної балки перекриття з розмірами перерізу:  $b=300$  мм,  $h=600$  мм; клас міцності бетону С25 ( $E_{cm}=30000$  МПа); поздовжня арматура класу А400С ( $E_s=200000$  МПа) з захисним шаром  $s=25$  мм. Площа арматурних стрижнів верхньої зони  $A_{s1}=7,63$  см<sup>2</sup> = 0,000763 м<sup>2</sup> (3Ø18), нижньої зони -  $A_{s2}=37,7$  см<sup>2</sup> = 0,00377 м<sup>2</sup> (3Ø40).

За деформаційною методикою отримана залежність «Момент-кривизна» для розрахунку за другою групою граничних станів ( $f_{ck}=18,5$  МПа,  $f_{yk}=400$  МПа). При цьому, на кожному кроці розрахунку отримуємо всі дані, необхідні для подальших розрахунків: величину деформацій бетону  $\varepsilon_{c(1)}$  та  $\varepsilon_{c(2)}$ , кривизну, висоту стиснутої зони бетону, напруження в арматурі. Алгоритм розв'язання системи нелінійних рівнянь рівноваги залізобетонного розрахункового перерізу за деформаційним методом наведено в Додатку А [2]. Більш детально деформаційну методику викладено в роботі [3]. Діаграма «Момент-кривизна» для перерізу, що розглядається, наведена на рис. 1.

Визначимо ширину розкриття тріщин при дії на переріз балки згинального моменту величиною 500 кН·м.

Висота стиснутої зони перерізу, отримана за деформаційною методикою при розрахунках за другою групою граничних станів,  $x=271$  мм = 0,271 м. Напруження в арматурних стрижнях на рівні центру ваги розтягнутої арматури дорівнює  $\sigma_s=284$  МПа.

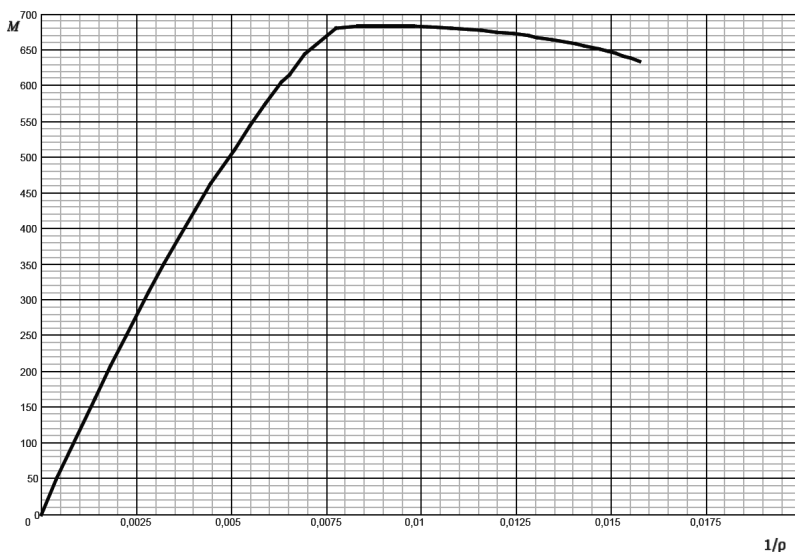


Рис. 1. Діаграма «Момент-кривизна» для перерізу балки перекриття

Різниця деформацій  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{ctm}$  визначатється за наступним виразом:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{ctm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}; \text{ де}$$

$\sigma_s = 284 \text{ МПа}$  - напруження у розтягнутій арматурі в перерізі з тріщинами;

$$\alpha_e = 200000/30000 = 6,667 \quad - \text{ відношення } E_s/E_{cm};$$

$$\rho_{p,eff} = (A_s + \xi_1^2 A_p') / A_{c,eff} = 0,00477/0,033 = 0,1445,$$

$A_p' = 0$ ,  $A_{c,eff}$  - фактична площа розтягнутого бетону, що оточує арматуру.  $A_{c,eff} = b \cdot h_{c,eff}$ , де  $h_{c,eff}$  - менше із значень  $2,5 \cdot (h-d)$ ,  $(h-x)/3$  або  $h/2$ :

$$2,5 \cdot (h-d) = 2,5 \cdot (0,6 - 0,555) = 0,1125 \text{ м}, \quad (h-x)/3 = (0,6 - 0,271)/3 = 0,11 \text{ м},$$

$$h/2 = 0,6/2 = 0,3 \text{ м}.$$

Менше із значень  $h_{c,eff} = 0,11 \text{ м}$ ,  $A_{c,eff} = 0,3 \cdot 0,11 = 0,033 \text{ м}^2$ .

$k_t$  - коефіцієнт, що залежить від тривалості навантаження

$k_t = 0,4$  для довготривалого навантаження;

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2,2 \text{ МПа}.$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{ctm} = \frac{284 - 0,4 \cdot \frac{2,2}{0,1445} (1 + 6,667 \times 0,1445)}{200000} = 0,00136 > 0,6 \cdot$$

$$\frac{284}{200000} = 0,000852.$$

У випадках, коли зчеплена арматура розміщена достатньо близько в межах розтягнутої зони (крок  $\leq 5(c + \phi/2)$ ), максимальний крок тріщин визнаємо за виразом (5.11) [2]:

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}, \text{ де}$$

$\phi = 40 \text{ мм}$  - діаметр стрижня;

$c = 25 \text{ мм}$  - захисний шар бетону для поздовжньої арматури;

$k_1 = 0,8$  для стрижнів із високим зчепленням;

$k_2 = 0,5$  для згину;

$k_3$  та  $k_4$  рекомендується приймати  $k_3 = 3,4$ ;  $k_4 = 0,425$ .

Таким чином, максимальний кінцевий крок тріщин буде дорівнювати

$$s_{r,max} = 3,4 \cdot 25 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 40 / 0,1445 = 132 \text{ мм}.$$

Ширина тріщин  $w_k = 132 \cdot 0,00136 = 0,18 \text{ мм}$ .

Крім того, Норми передбачають також можливість обмеження тріщиноутворення без прямих розрахунків у випадку, якщо забезпечено мінімальне армування та виконуються обмеження щодо діаметра стрижня або кроку. Максимальний діаметр стрижня для обмеження тріщиноутворення наведено в табл. 5.2 [2], а максимальний крок стрижнів – в табл. 5.3.

Обчислимо мінімальну площу армування в розтягнутій зоні для наведеного вище перерізу балки перекриття за формулою (5.1) [2, п.5.3.2]:

$$A_{s,\min} \sigma_s = k_c k f_{ct,\text{eff}} A_{ct}$$

$A_{s,\min}$  - мінімальна площа армування у розтягнутій зоні;

$A_{ct}$  - площа бетону у розтягнутій зоні. Розтягнута зона – це частина перерізу, яка за розрахунком повинна зазнавати розтягу безпосередньо перед утворенням першої тріщини;

$\sigma_s$  - абсолютне значення максимально допустимих напружень у арматурі зразу після утворення тріщини. Вони можуть прийматись рівними опору текучості арматури  $f_{yk}$ . Однак, може знадобитись нижче значення для задоволення вимог стосовно обмежень ширини розкриття тріщин відповідно до максимального розміру стрижня або кроку ([2, п.5.7.3.2]);

$f_{ct,\text{eff}}$  - середня величина міцності бетону на розтяг, що має місце в момент часу, коли очікується поява тріщин:

$f_{ct,\text{eff}} = f_{ctm}$  або нижче, ( $f_{ctm}(t)$ ), якщо поява тріщин очікується раніше ніж через 28 діб;

$k$  - коефіцієнт, що враховує вплив нерівномірних самоврівноважених напружень, що спричиняють зменшення зусилля у з'єднаннях:  
= 1,0 для стінок при  $h \leq 300$  мм або полок при ширині менше ніж 300 мм;

= 0,65 для стінок при  $h \geq 800$  мм або полок при ширині більше ніж 800 мм;

проміжні значення можуть визначатись інтерполяцією;

$k_c$  - коефіцієнт, що враховує розподіл напружень у межах перерізу безпосередньо перед утворенням тріщин і зміною плеча пари:

для чистого розтягу  $k_c = 1,0$ ;

для згину або сполучення згину і осьових сил- для прямокутних перерізів:

$$k_c = 0,4 \cdot \left[ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1 (h / h^*) f_{ct,\text{eff}}} \right] \leq 1 \quad .$$

У нашому прикладі  $A_{ct}=(h-x) \cdot b=(0,6-0,25) \cdot 0,3=0,1167 \text{ м}^2$  (висота стиснутої зони отримана з деформаційного розрахунку перед утворенням тріщин);

$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2,2 \text{ МПа}$ ;  $k = 1$ ;  $k_c = 1$  (для спрощення розрахунків прийняте максимальне значення);  $\sigma_s = 300 \text{ МПа}$ .

Мінімальна площа армування в розтягнутій зоні буде дорівнювати

$$A_{s,min} = 1 \cdot 1 \cdot 2,2 \cdot 0,1167 / 300 = 0,000858 \text{ м}^2 < 0,00477 \text{ м}^2.$$

Крім того, крок стрижнів менший за максимальний, наведений в табл. 5.3 [2]. Для рівня напружень в арматурі 280 МПа максимальний крок стрижнів при ширині тріщин 0,4 мм дорівнює 200 мм, а в перерізі, що розглядається, крок стрижнів менший за 150 мм (3 стрижня на ширині 300 мм). Таким чином, прямі розрахунки ширини розкриття тріщин можна не робити.

#### **Висновки:**

1. Розглянуто приклад визначення ширини розкриття тріщин для перерізу залізобетонної балки перекриття як прямим розрахунком, так і за допомогою методу обмеження тріщиноутворення без прямих розрахунків за новими національними Нормами України.

2. Проектувальник може використовувати метод обмеження тріщиноутворення, але для відповідальних споруд або з метою точного визначення необхідної кількості арматури в перерізі конструкції рекомендуємо виконувати прямий розрахунок ширини розкриття тріщин згідно з п.5.3.4 [2].

#### **ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009.
2. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010.
3. Бамбура А.Н. К построению деформационной теории железобетона стержневых систем на экспериментальной основе. / А.Н. Бамбура, А.Б. Гурковский. // Міжвід. наук.-техн. зб. Будівельні конструкції. - К.:НДІБК, 2003. - № 59. - С. 121-130.