

ІНЖЕНЕРНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОРОБЧАСТОГО ПЕРЕРІЗУ З НОРМАЛЬНИМИ ТРІЩИНАМИ

Азізов Т.Н., Мельник О.В., *(Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини)*

У статті наведена методика розрахунку міцності в елементах коробчастого перерізу, в яких крутний момент прикладений до верхньої полиці елемента. Наведені переваги методики в порівнянні з методом скінчених елементів.

Постановка проблеми.

Відомо, що важливою відмінністю залізобетонних елементів є утворення тріщин, яке суттєво впливає не лише на напружено-деформований стан та жорсткісні характеристики залізобетонних конструкцій, а й на їхню міцність.

У працях [3,5] показано, що крутильна жорсткість залізобетонних елементів значною мірою впливає на величину згинальних та крутних моментів в системах, що деформуються просторово. В даний час для визначення НДС та міцності залізобетонних елементів використовуються як правило числові методи, насамперед метод скінчених елементів (МСЕ), що не завжди є зручним, особливо при врахуванні впливу різного виду тріщин. У зв'язку з вищевикладеним метою даної статті є розроблення інженерного методу визначення міцності залізобетонних елементів коробчастого перерізу з нормальними тріщинами за дії крутних моментів.

Викладення основного матеріалу.

Експериментально встановлено, що міцність залізобетонного елемента коробчастого перерізу з нормальною тріщиною значно менша за міцність аналогічного без тріщин [2]. В зв'язку з відсутністю методів розрахунку елементів зазначеного перерізу з нормальними тріщинами на міцність за дії крутного моменту, автором пропонується методика розрахунку таких елементів.

Розглянемо схему зусиль, діючих в поперечному перерізі коробчастого елемента з нормальною тріщиною (рис. 1).

Зовнішній крутний момент M_t частково сприймається зоною без тріщин (крутний момент M_t), та моментом M_v , пари сил Q і Q_b , що ви-

никають від дії нагельної сили в арматурі. Із умови рівноваги відносно горизонтальної осі:

$$Q_b = Q \quad (1)$$

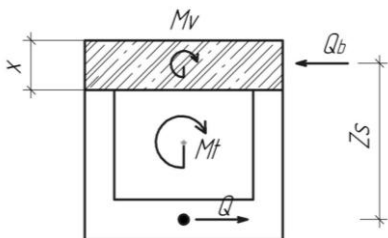


Рис. 1. Зусилля в нормальному перерізі з тріщиною

Момент цієї пари сил (рис. 1):

$$M_Q = Q \cdot Zs \quad (2)$$

Умова рівноваги (кручення відносно поздовжньої осі елемента) буде мати вигляд:

$$\dot{I}_v = M_t - M_Q \quad (3)$$

Таким чином, момент M_V - частина зовнішнього крутного моменту, що сприймається зоною без тріщин.

Умова міцності запишеться у вигляді:

$$M_V \leq [M_V] \quad (4)$$

де: $[M_V]$ - граничний крутний момент, що сприймається зоною без тріщин з розміром $b \times h = b \times x$, ширина бетонного перерізу рівна ширині перерізу елемента, а його висота – зони без тріщин X

Величину $[M_V]$ пропонується визначати із умови обмеження максимальних розтягуючих напружень, визначених по відомим формулам опору матеріалів для прямокутного перерізу, наприклад:

$$\sigma_{mi} = \frac{M_V}{\alpha \cdot a^2 \cdot b} \leq f_{ctd} \quad (5)$$

де: f_{ctd} - міцність бетону на розтяг; a і b - відповідно менша та більша сторона прямокутного перерізу; α - коефіцієнт, який залежить від співвідношення сторін a/b (або b/a) і визначається по таблицям, наведеним у довідниках з опору матеріалів та теорії пружності.

Момент M_V , що стоїть у лівій частині виразу (4) з деяким запасом міцності рекомендовано визначати по (3).

Основним завданням для розрахунку M_V - (частина зовнішнього крутного моменту, що сприймається зоною без тріщин) буде визначення M_Q - (момент, що створюється нагельною силою Q), а саме знаходження самої нагельної сили Q , яка виникає у залізобетонному елементі за дії зовнішнього крутного моменту M_t (див. формулу (3)).

Розв'язок поставленої задачі пропонується зробити через знаходження величини Δ_{M_t} - переміщення блока A відносно блока B (див. рис. 2) від дії зовнішнього крутного моменту M_t , де: Δ_{M_t} - переміщення від прикладеного зовнішнього моменту M_t ; Δ_C - переміщення блока A відносно блока B ; Δ_Q - переміщення, яке створюється нагельною силою Q ; Δ_{sm} - переміщення від зминання бетону нагельною силою Q ; $2acrc$ - ширина тріщини; l - довжина арматурного стрижня.

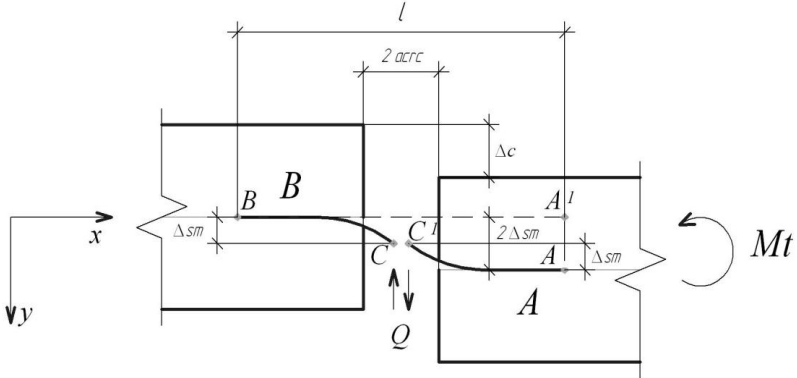


Рис. 2. Схема деформування арматури від взаємного повороту блоків, що зазнали крутного моменту

Δ_{M_t} в свою чергу знаходиться через величину φ_{tot} - повного кута повороту між зазначеними блоками за наступною залежністю:

$$\varphi_{tot} = \varphi_{M_t} - \varphi_S - \varphi_m \quad (6)$$

де: φ_{tot} - повний кут повороту між блоком A та блоком B ; φ_{M_t} - повний кут повороту від дії зовнішнього моменту M_t ; φ_S - повний кут повороту від дії вертикальних погонних зусиль $S_i(y)$; φ_m - повний кут повороту від дії погонних поперечних згинальних моментів $m_i(y)$.

Складові, φ_{M_t} , φ_S , φ_m , які підлягають визначенню для знаходження повного кута повороту між блоками A і B пропонується розраховувати за методикою [1] та наступними формулами:

1. Повний кут повороту від дії зовнішнього моменту M_t :

$$\varphi_{M_t} = \frac{M_t \cdot l_k}{GJ} \quad (7)$$

де: M_t - величина зовнішнього моменту прикладеного до верхньої полочки елемента; l_k - половина загальної довжини зони без тріщин (рис. 3.); GJ - жорсткість зони без тріщин коробчастого елемента при крученні.

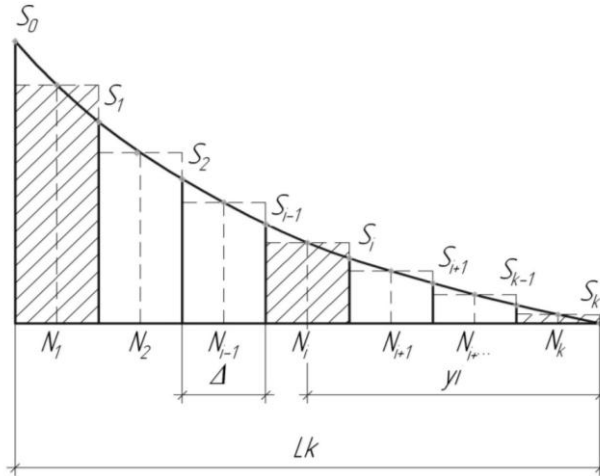


Рис 3. Епюра погонних зусиль $S_0 \dots S_k$

2. Повний кут повороту від дії вертикальних погонних зусиль $S_i(y)$:

$$\varphi_s = \left(2 \cdot N_1 \cdot b \cdot y_1 + 2 \cdot N_2 \cdot b \cdot y_2 + \dots + 2 \cdot N_k \cdot b \cdot y_k \right) \cdot \frac{1}{GJ} \quad (8)$$

де: b - половина ширини зони без тріщин (рис. 4); N_i - середнє значення погонних зусиль S_i, S_{i-1} які діють на ділянці Δ (рис. 4); y_i - найкоротша відстань від дії N_i до умовного перерізу зони без тріщин (рис 4).

Величина $N_i \cdot b \cdot y_i$ множиться на 2, так як середні значення погонних вертикальних зусиль N_i на ділянці Δ діють на обох сторонах зони без тріщин (рис. 4).

В свою чергу величина N_i зв'язана з S_i наступною залежністю (див. рис 3):

$$N_i = \Delta \cdot \frac{S_i + S_{i-1}}{2} \quad (9)$$

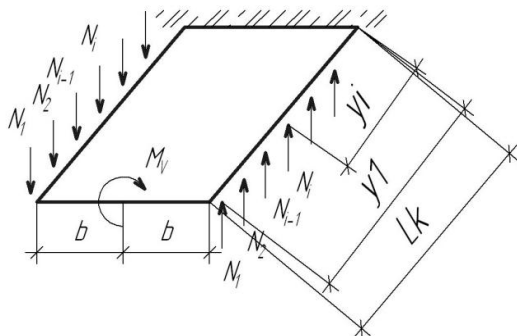


Рис 4. Погонні зусилля N_i , які виникають від моменту M_V

Довжина y_i зв'язана з l_k - наступною залежністю:

$$y_i = l_k - \left(\Delta \cdot (i-1) + \frac{\Delta}{2} \right) \quad (10)$$

де: i - порядковий номер проміжку на які розбивається довжина;
 Δ - довжина ділянки на які розбивають i проміжки загальну довжину l_k ,
 визначається з наступної залежності:

$$\Delta = \frac{l_k}{k} \quad (11)$$

де

k - загальна кількість проміжків на які розбивається довжина l_k .

Враховуючи вище зазначене наведена формула (8) матиме вигляд:

$$\varphi_S = \sum_{i=1}^k \frac{2 \cdot N_i \cdot b \cdot y_i}{GJ} \quad (12)$$

3. Повний кут повороту від дії погонних поперечних згинальних моментів $m_i(y)$:

Застосувавши підхід аналогічний, як для знаходження φ_S - повного кута повороту від дії вертикальних погонних зусиль S_i , отримаємо формулу для

φ_m - повного кута повороту від дії погонних поперечних згинальних моментів m_i (рис. 5):

$$\varphi_m = \sum_{i=1}^k \frac{2 \cdot m_i \cdot \Delta \cdot y_i}{GJ} \quad (13)$$

де: Δ - довжина ділянки на які розбивають i проміжки загальну довжину l_k ; m_i - погонні поперечні згинальні моменти, що діють на ділянці Δ (рис. 5); y_i - найкоротша відстань від дії погонного згинального моменту m_i до умовного перерізу зони без тріщин (рис 5).

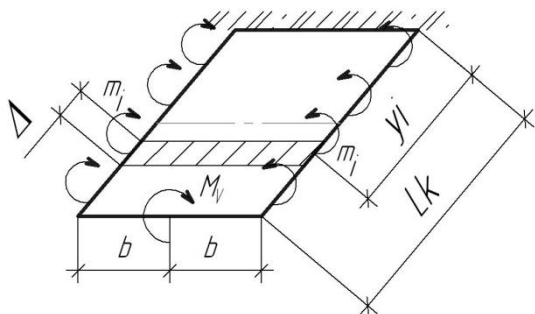


Рис 5. Погонні поперечні згинальні моменти, m_i від дії моменту M_v

Величина $m_i \cdot \Delta \cdot y_i$ множиться на 2, так як погонні поперечні згинальні моменти на ділянці Δ діють на обох сторонах зони без тріщин (рис. 5).

Знайшовши всі три складові за методикою формули (6), отримаємо величину φ_{tot} - повного кута повороту між блоком A та блоком B (див. рис. 2);

Далі для визначення нагельної сили Q застосуємо загальноприйнятий підхід автором розглянутий у [4].

Зазначена вище величина Δ_{Mt} зв'язана із φ_{tot} наступною геометричною залежністю:

$$\Delta_{Mt} = 2 \cdot \varphi_{tot} \cdot Z_s \quad (14)$$

де: Z_s - відстань від центра ваги арматури до центра ваги зони без тріщин; φ_{tot} - повний кут повороту між блоками A і B .

Величина $\varphi_{tot} \cdot Z_s$ множиться на 2, так як одночасно повертаються (переміщуються) обидва блоки.

Переміщення від дії одиничної нагельної сили Δ_{Qed} знайдемо за наступною залежністю:

$$\Delta_{Qed} = \Delta_{Mt} \cdot \frac{Z_s}{Mt} \quad (15)$$

де: Δ_{Mt} - переміщення точки C відносно точки C' (див. рис. 2); Z_s - відстань від центра ваги арматури до центра ваги зони без тріщин; Mt - величина зовнішнього крутного моменту.

Величину Δ_{smed} від змінання нагельною силою Q визначимо за [7]:

$$\Delta_{smed} = \varphi_{cc} \left(1000 \frac{\bar{Q}^2}{d_s^3 E_{cm}^2} + \frac{\bar{Q}}{d_s E_{cm}} \right) \quad (16)$$

Враховуючи, що $Q = 1$ формула (16) матиме вигляд:

$$\Delta_{smed} = \varphi_{cc} \left(1000 \frac{1}{d_s^3 E_{cm}^2} + \frac{1}{d_s E_{cm}} \right) \quad (17)$$

де: φ_{cc} - під час короткочасної дії навантаження; d_s - діаметр арматурного стрижня; E_{cm} - модуль пружності бетону.

Нагельну силу Q визначимо за методикою запропонованою [4]:

$$Q = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta_{Mt}}{\Delta_{Q,ed} + 2 \cdot \Delta_{smed}} \right) \quad (18)$$

З однією різницею, значення величин (Δ_{Mt} , $\Delta_{Q,ed}$, $2 \cdot \Delta_{smed}$) ділимо на 2, так як шукана величина Q , що підлягає визначенню прикладена до кожного окремого блоку A і B , на відміну, як у [3] де $\Delta_{Q,ed}$ визначалось, за допомогою програмного комплексу «Ліра» (до кожного окремого блоку A і B прикладалась сила $Q = 1$ і знаходилось відповідне переміщення $\Delta_{Q,ed}$.

Зазначені вище розрахунки відповідно до формул (6-18) виконаємо за методикою [1] в програмному комплексі «Mathcad».

Визначивши нагельну силу Q , за формулою (2) знаходимо M_Q , а за (3) шукану величину M_V .

Задавши значення M_V в програмному комплексі «Mathcad» при тих самих геометричних і фізичних характеристиках елемента [1] знаходимо максимальне зусилля S_{max} від сил S_i які виникають від моменту M_V в зоні без тріщин.

Знайшовши S_{max} і знаючи висоту зони без тріщин визначимо максимальне напруження що виникає в ній за наступною залежністю:

$$\sigma_{max} = \frac{S_{max}}{\delta} \quad (19)$$

де: S_{max} - максимальне зусилля сил S_i , що виникає в зоні без тріщин внаслідок дії моменту M_V ; δ – висота зони без тріщин заданого елемента.

Відповідно до формули (5) порівнюємо розраховане по (19) значення σ_{max} з розрахунковим (отриманим) по (5) значенням f_{ctd} :

$$\sigma_{max} \leq f_{ctd} \quad (20)$$

де: f_{ctd} - міцність бетону на розтяг.

Такими чином, враховуючи залежності (19, 20), умова міцності залізобетонного елемента коробчастого перерізу з нормальною тріщиною при дії крутного моменту M_t набуде наступного вигляду:

$$\frac{S_{\max}}{\delta} \leq f_{ctd} \quad (21)$$

S_{\max} - розраховується за допомогою програми «Mathcad» при введенні в розрахунки величини крутного моменту, що дорівнює розрахованому по формулі (3) моменту M_v .

Розглянута вище методика визначення міцності в елементах коробчастого перерізу з нормальними тріщинами відрізняється від методу скінчених елементів тим, що вона є не громіздкою і простою, так як виконання розрахунків здійснюються без використання МСЕ та програмних комплексів, таких як «Ліра», «Скад» та ін., що дуже спрощує рішення такої задачі і може бути придатною для інженерних розрахунків.

Висновки та перспективи досліджень. Наведена методика дозволяє розраховувати міцність залізобетонних елементів коробчастого перерізу з врахуванням зміни жорсткості від тріщиноутворення без застосування програмних комплексів. **У перспективі** передбачається експериментальна перевірка розробленої методики та її розвиток на елементи іншого перерізу з одночасним врахуванням нелінійних властивостей бетону.

Summary

The article describes methods of determining the hardness in beams box-section in which the torque applied to the upper shelf element. Techniques are advantages in comparison with the finite element method.

Література

1. Азізов, Т. Н. Інженерний метод визначення НДС залізобетонних балок порожнистого перерізу з нормальними тріщинами / Т. Н. Азізов, О. В. Мельник, О. С. Мельник // Ресурсоєкономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : збірник наукових праць . – Рівне , 2011. – Вип. 22. – С. 154-161.

2. Азізов, Т. Н. Експериментальні дослідження жорсткості та міцності залізобетонних елементів коробчастого перерізу з нормальними тріщинами при крученні / Т. Н. Азізов, О. В. Мельник // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : збірник наукових праць. – Рівне, 2011. – Вип. 21. – С. 82-86.
3. Азізов, Т. Н. К расчету железобетонных элементов полого сечения с нормальными трещинами при кручении : матеріали міжнародної науково-технічної конференції "Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика" / Т. Н. Азізов, А. В. Мельник, А. С. Мельник // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010 – Вип. 33. – С. 10-14.
4. Азізов, Т. Н. Общий подход к определению крутильной жесткости железобетонных элементов с трещинами / Т. Н. Азізов // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне : Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2008. – Вип. 17. – С. 92-99.
5. Азізов, Т. Н. Пространственная работа железобетонных перекрытий. Теория и методы расчета : дис. ... доктора техн. наук : 05.23.01 / Азізов Талят Нурединович. – Полтава, 2006. – 406 с.
6. Рекомендации по проектированию стальных закладных деталей для железобетонных конструкций / НИИЖБ. – М. : Стройиздат, 1984. – 87 с.