

УДК 624.012.45

ІНЖЕНЕРНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОРОБЧАСТОГО ПЕРЕРІЗУ З НОРМАЛЬНИМИ ТРІЩИНАМИ

Азізов Т.Н., д.т.н., професор, Мельник О.В., викладач
(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.

В статті приведена методика определения прочности в элементах коробчатого сечения, в которых крутящий момент приложен к верхней полке элемента. Приведены преимущества методики по сравнению с методом конечных элементов.

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.

Ключові слова:

Міцність, жорсткість, кручення, нормальні тріщини.

Прочность, жесткость, кручение, нормальные трещины.

Strength, hardness, torsion, normal cracks.

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).

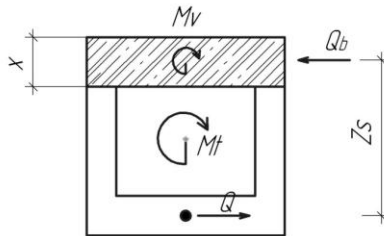


Рис. 1. Зусилля в нормальному перерізі з тріщиною

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

$$Q_b = Q \tag{1}$$

Момент цієї пари сил (рис. 1):

$$M_Q = Q \cdot Z_s \tag{2}$$

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

$$M_v = M_t - M_Q \tag{3}$$

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

Умова міцності запишеться у вигляді:

$$M_v \leq \bar{M}_v \tag{4}$$

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:

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

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.

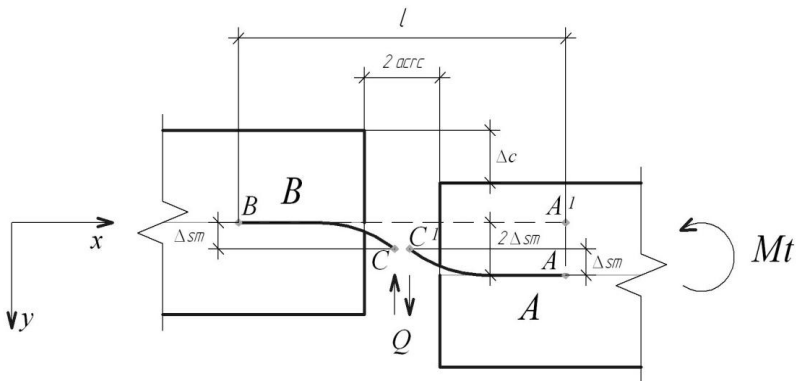


Рис. 2. Схема деформування арматури від взаємного повороту блоків, що зазнали крутного моменту

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

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

де

φ_{tot} - повний кут повороту між блоком A та блоком B;

φ_{Mt} - повний кут повороту від дії зовнішнього моменту Mt ;

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_{Mb} , 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 Mt :

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

де

M_t - величина зовнішнього крутного 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.

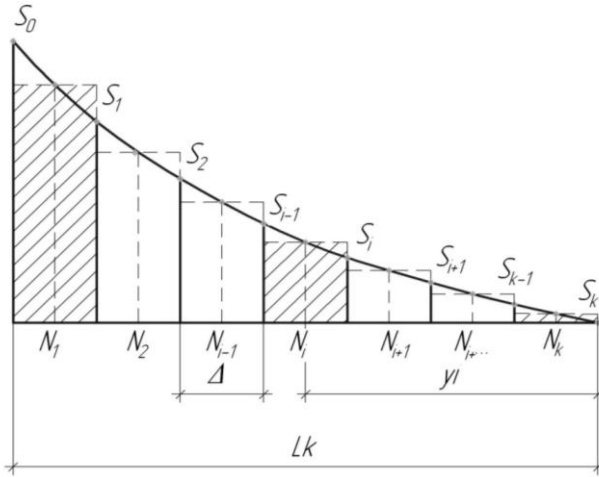


Рис 3. Епюра погонних зусиль $S_0 \dots S_k$

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

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

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).

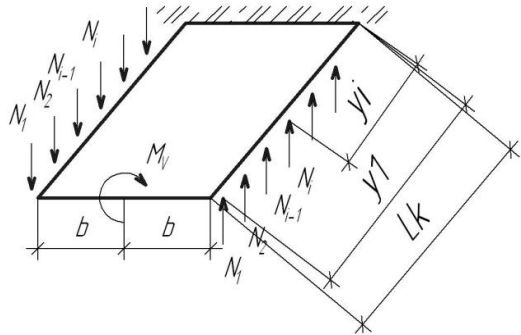


Рис 4. Погонні зусилля N_i , які виникають від моменту M_v

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):

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

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).

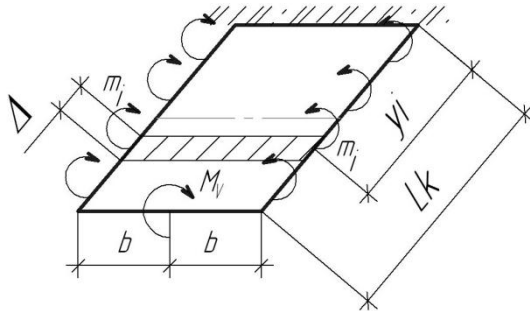


Рис 5. Погонні поперечні згинальні моменти, m_i від дії моменту M_V

Величина $m_i \cdot \Delta \cdot y_i$ множитьься 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 $\varphi_{tot} \cdot Z_S$ множитьься на 2, так як одночасно повертаються (переміщуються) обидва блоки.

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

$$\Delta_{Qed} = \Delta_{Mt} \cdot \frac{Z_S}{Mt} \cdot Q_{ed} \quad (15)$$

де

Δ_{Mt} - переміщення точки C відносно точки C^d (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.

1. Азізов, Т. Н. Інженерний метод визначення НДС залізобетонних балок порожнистого перерізу з нормальними тріщинами / Т. Н. Азізов, О. В. Мельник, О. С. Мельник // Ресурсоекономічні 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. Азизов, 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. Азизов, А. В. Мельник, А. С. Мельник // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010 – Вип. 33. – С. 10-14.

4. Азизов, Т. Н. Общий подход к определению крутильной жесткости железобетонных элементов с трещинами / Т. Н. Азизов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне : Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2008. – Вип. 17. – С. 92-99.

5. Азизов, Т. Н. Пространственная работа железобетонных перекрытий. Теория и методы расчета : дис. ... доктора техн. наук : 05.23.01 / Азизов Талят Нурединович. – Полтава, 2006. – 406 с.

6. Рекомендации по проектированию стальных закладных деталей для железобетонных конструкций / НИИЖБ. – М. : Стройиздат, 1984. – 87 с.