

**УДК 624.012.45**

**Азізов Т.Н., д.т.н., професор, Мельник О.В., старш. викл.** (Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини), **Червинський О.Я., к.т.н.** (ДП НДІБК, м. Київ)

**НДС ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОРОБЧАТИХ БАЛОК З НОРМАЛЬНИМИ ТРІЩИНАМИ ПРИ КРУЧЕННІ З ВРАХУВАННЯМ НЕЛІНІЙНОСТІ**

**STATE OF STRESSED DEFORMITY OF METAL CONCRETE SQUARE BEAMS WITH NORMAL CRACKS AS A RESULT OF TORSION CONSIDERING NON-LINEARITY**

**У статті наведена методика розрахунку балок коробчатого перерізу з нормальними тріщинами за дії крутного моменту з врахуванням нелінійних деформацій. Показано, що запропонована методика дозволяє визначати крутну жорсткість залізобетонних елементів з нормальними тріщинами.**

**В статье приведена методика расчета балок коробчатого сечения с нормальными трещинами при приложении внешнего крутящего момента к верхней полке с учетом нелинейных деформаций. Показано, что предложенная методика позволяет определять крутильную жесткость железобетонных элементов с учетом нелинейных свойств бетона.**

**In the article the method of calculation of beams of hollow is resulted to the cut with normal cracks at the appendix of twisting moment to the overhead shelf. It is shown that the offered method allows without application of method of eventual elements to determine tensely deformed state of such beams taking into account the change of inflexibilities of formations of cracks.**

**Ключові слова:**

Міцність, жорсткість, кручення, нормальні тріщини.  
Прочность, жесткость, кручение, нормальные трещины.  
Strength, hardness, torsion, normal cracks.

**Постановка задачі.** При розрахунку мостових споруд, збірних перекриттів, каркасів споруд є необхідність враховувати як згинальну так і крутну жорсткість її окремих елементів [1,2,7-9]. Із [1,4,7] відомо, що поява тріщин в залізобетонних елементах значно впливає на їхню крутну жорсткість. Крім цього в [1,7] показано, що перерозподіл локального

навантаження практично однаково залежить як від згинальної так і від крутної жорсткості окремих балок. Жорсткість залізобетонних елементів з тріщинами за дії кручення враховувалась лише за наявності просторових тріщин [5], хоча встановлено, що нормальні тріщини суттєво змінюють крутну жорсткість залізобетонних елементів [2,8,9].

Експериментально встановлено [3], що у залізобетонних балках коробчастого перерізу можуть виникати як просторові так і нормальні тріщини, які в свою чергу суттєво впливають на перерозподіл зусиль між окремими елементами конструкції в цілому. Експериментально встановлено також, що в усіх елементах коробчастого перерізу з нормальними тріщинами, які зазнавали деформації кручення, був присутній пружно-пластичний характер деформування [3]. Особливо це проявлялось у зразках з малим діаметром арматури.

У [2] запропонована методика визначення крутної жорсткості залізобетонних балок, однак фізична нелінійність бетону не враховувалась.

У зв'язку з вище сказаним є необхідність у розробці методики визначення напружено-деформованого стану (НДС) зазначених залізобетонних елементів з урахуванням пластичних деформацій.

**Метою даної статті** є розробка методики розрахунку залізобетонних балок коробчастого перерізу за дії крутних моментів з урахуванням нелінійних властивостей бетону.

#### **Викладення основного матеріалу.**

Розглянемо залізобетонний елемент коробчастого перерізу з нормальною тріщиною, до якого прикладений зовнішній момент  $Mt$  (рис. 1).

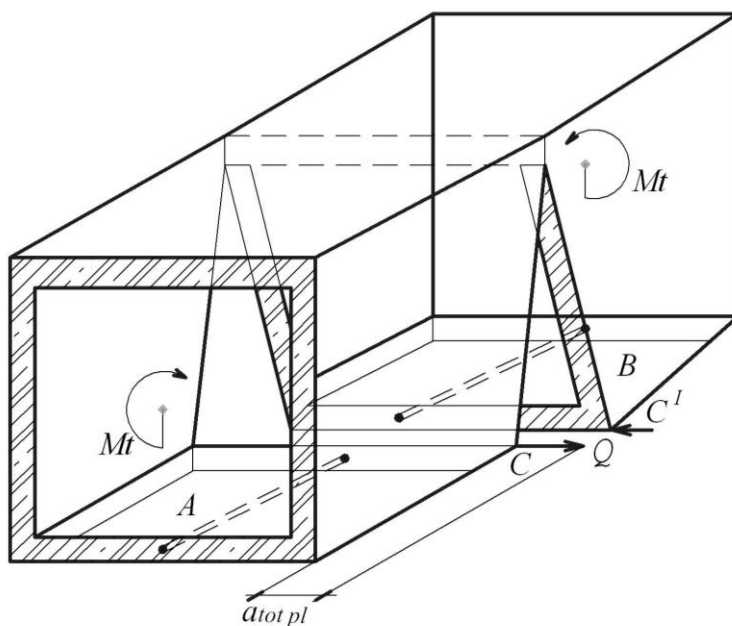


Рис. 1 Схема визначення нагельної сили в арматурі при взаємному повороті двох блоків, відділених нормальною тріщиною

Для визначення його крутної жорсткості, як зазначалось у [2] спочатку необхідно знайти нагельну силу  $Q$  у повздовжній арматурі, яка буде визначатися із умови однакових горизонтальних переміщень точок  $C$  і  $C'$  відповідних блоків  $A$  і  $B$  у місці умовного розтину арматури (рис. 1).

Нагельну силу  $Q$ , яка виникає у повздовжній арматурі визначимо за допомогою методу кінцевих елементів (МКЕ) та програмного комплексу «Ліра» з врахуванням нелінійних властивостей бетону. Для визначення нагельної сили застосуємо метод сил.

Розглянемо (рис. 2). на якому показано:

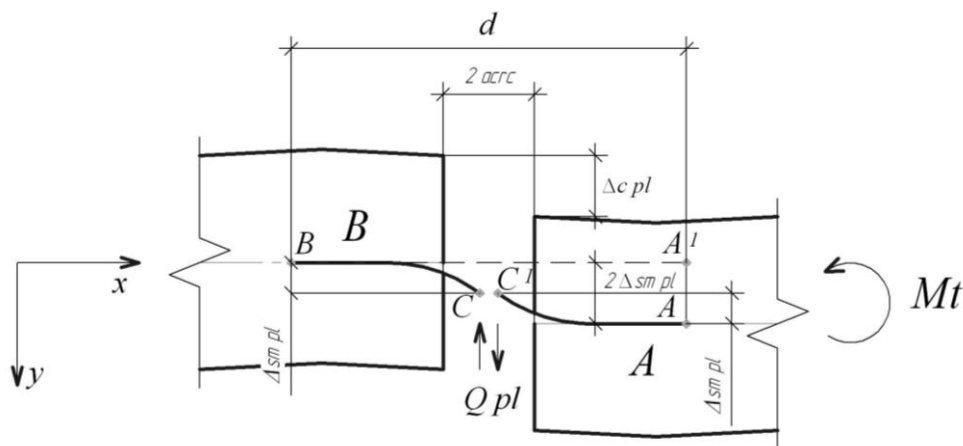


Рис. 2 Схема нелінійного деформування арматури від взаємного повороту блоків, що зазнали крутного моменту

$a_{totpl}$  - повне переміщення блока  $A$  відносно блока  $B$  з врахуванням нелінійних деформацій;

$\Delta_{smpl}$  - переміщення від зминання бетону нагельною силою  $Q$  з врахуванням нелінійних деформацій;

$2a_{crc}$  - ширина тріщини;

$d$  - довжина зони деформування арматурного стержня;

Нелінійне переміщення точки  $C$  відносно точки  $C'$  у місці розтину повинно бути рівним нулю:

$$\Delta_{Cpl} = \Delta_{Mpl} - \Delta_{Qpl} - 2\Delta_{smpl} = 0 \quad (1)$$

де:

$\Delta_{M_{tpl}}$  - переміщення точки  $C^I$  відносно точки  $C$  від кручення зовнішнім моментом  $M_t$  з врахуванням нелінійних деформацій;

$\Delta_{Q_{pl}}$  - переміщення від кручення нагельною силою  $Q$  з врахуванням нелінійних деформацій;

$\Delta_{smp}$  - переміщення від зминання бетону нагельною силою  $Q$  з врахуванням нелінійних деформацій. У зв'язку з тим, що бетон зминається одночасно у двох блоках  $A$  і  $B$ , які розмежує тріщина  $2a_{cr}$  величина  $\Delta_{smp}$  помножена на 2 (рис. 2).

Складові  $\Delta_{M_{tpl}}$  і  $\Delta_{Q_{pl}}$  визначаються з розрахунків в програмному комплексі «Ліра» двох схем коробчастих елементів із імітацією нормальних тріщин у вигляді розрізу. При цьому слід застосовувати об'ємні кінцеві елементи. Одна схема для визначення переміщень  $\Delta_{M_{tpl}}$  за дії прикладеного по торцях елемента моменту крутіння  $M_t$ , друга для визначення переміщень  $\Delta_{Q_{pl}}$  за дії нагельної сили  $Q$ , яка прикладена в місті розташування поздовжньої арматури. Розрахунок можна виконати з урахуванням нелінійних деформацій бетону з використанням метода Генієва Г.А.

Складова  $\Delta_{smp}$  від зминання нагельною силою  $Q$  визначається з використанням емпіричних даних [6]. При цьому пластичні властивості враховуються автоматично [2,9], тому що ці переміщення визначаються за експериментальними даними, які отримані для розрахунку закладних деталей залізобетонних конструкцій.

Алгоритм розрахунку виглядає так:

1. Визначаємо нагельну силу  $Q$  з пружного (без врахування нелінійних властивостей бетону) розрахунку за методикою [9];
2. Проводимо розрахунок в програмному комплексі «Ліра» (або за допомогою будь-якої іншої програми) елемента з тріщиною, до якого прикладені зовнішній момент  $M_t$  та знайдена за п.1 нагельна сила  $Q$ . За результатами розрахунку отримаємо переміщення в місті розташування тріщини  $\Delta = \Delta_{M_{tpl}} - \Delta_{Q_{pl}}$  (перші дві складові правої частини виразу (1));
3. За методикою [6] визначаємо переміщення  $\Delta_{smp}$  від дії нагельної сили  $Q$ ;
4. Якщо  $\Delta_{Cpl} < 0$ , то нагельну силу  $Q$  зменшуємо на певну величину (яка задається на початку розрахунку, наприклад, 10% від  $Q$ );
5. Якщо  $\Delta_{Cpl} > 0$ , то нагельну силу навпаки  $Q$  збільшуємо на певну величину;
6. Повторюємо розрахунок з п. 2. Розрахунок повторюється до тих пір, поки умова рівняння (1) не буде задовільнена з заданою наперед точністю;

7. За методикою [6] визначаємо переміщення  $\Delta_{smpI}$  від дії знайденою ітераціями за п. 2-6 нагельної сили  $Q$ .

Визначивши невідому нагельну силу  $Q$  слід знайти повне переміщення у тріщині  $a_{topI}$ .

$$a_{topI} = 2 \cdot \Delta_{smpI} \cdot Q \quad (2)$$

Визначивши  $a_{topI}$ , визначаємо коефіцієнт  $k_{rpl}$ , який являє собою відношення деформативності елемента з нормальною тріщиною до деформативності елемента без тріщин:

$$k_{rpl} = \frac{a_{topI} + a_e}{a_e} \quad (3)$$

де  $a_e$  - переміщення від кручення елемента без тріщин, яке визначається за формулою:

$$a_e = R \cdot \varphi_e \quad (4)$$

$R$  - радіус повороту, тобто відстань від центральної осі елемента до точки визначення переміщення блоку;

$\varphi_e$  - кут повороту пружного (без тріщин) елемента довжиною  $l_{crc}$  (відстань між тріщинами елемента), який можна визначити за формулою:

$$\varphi_e = \frac{\Delta_{pl}}{R} \quad (5)$$

де:  $\Delta_{pl}$  - переміщення (без тріщин) елемента на довжині  $l_{crc}$ , отримане за допомогою програмного комплексу "Ліра" з врахуванням нелінійних властивостей бетону.

По відомій формулі опору матеріалів для визначення кута повороту:

$$\varphi_e = \frac{M_t \cdot l_{crc}}{GJ_t} \quad (6)$$

де  $GJ_t$  - крутильна жорсткість елемента без тріщин, знайдемо еквівалентний момент інерції при крученні  $J_t$ :

$$J_t = \frac{M_t \cdot l_{crc}}{G\varphi_e} \quad (7)$$

Визначивши  $J_t$  по (7) і підставивши у (6), а потім у (4) отримаємо:

$$a_e = \frac{M_t \cdot l_{crc} \cdot R}{GJ_t} \quad (8)$$

Після отриманих  $a_{topI}$  і  $a_e$  знаходимо повне теоретичне переміщення:

$$\Delta_{teoretpl} = a_{topl} + a_e \quad (9)$$

Для перевірки запропонованої методики було проведено порівняння переміщень, визначених теоретично, з експериментальними даними [3]. На рис.4 показані графіки залежності переміщення блоків, розділених нормальною тріщиною від моменту крутіння.

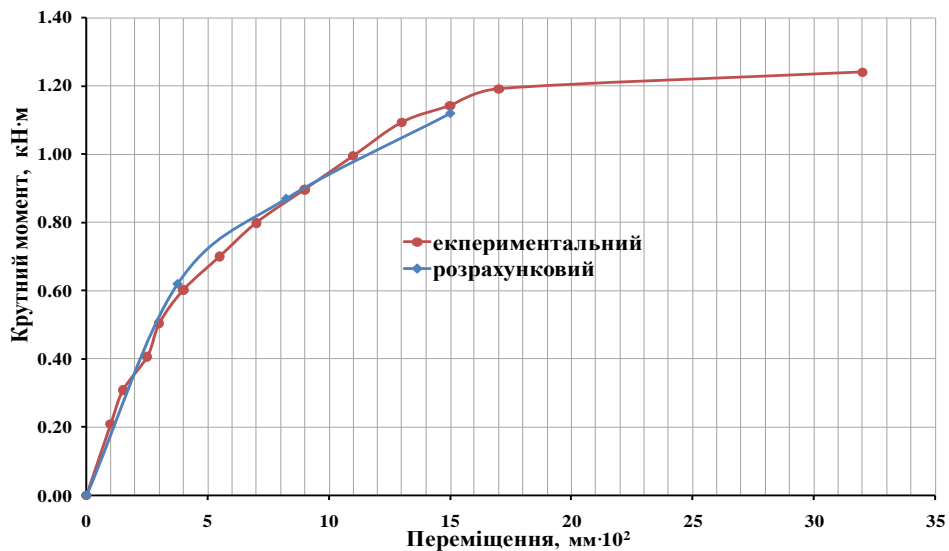
Як видно з рис. 3 розрахункові дані задовільно співпадають з експериментальним, що говорить про достовірність розробленої методики.

#### **Висновки та перспективи досліджень.**

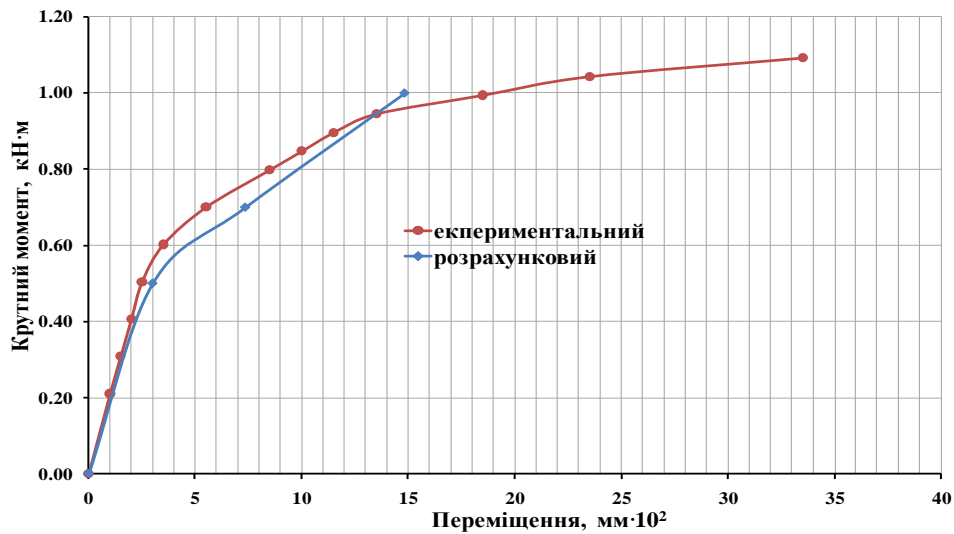
Запропонована методика дає можливість враховувати нелінійні властивості бетону при визначенні напружено-деформованого стану елементів з нормальними тріщинами, дозволяє визначити жорсткість при крутінні залізобетонних елементів з нормальними тріщинами будь-якої форми поперечного перерізу.

Перспективою досліджень є розроблення програми для ЕОМ для автоматичного проведення ітераційних розрахунків з використанням програмного комплексу «Ліра» та підпрограми для ітераційного визначення нагельної сили.

а)



б)



в)

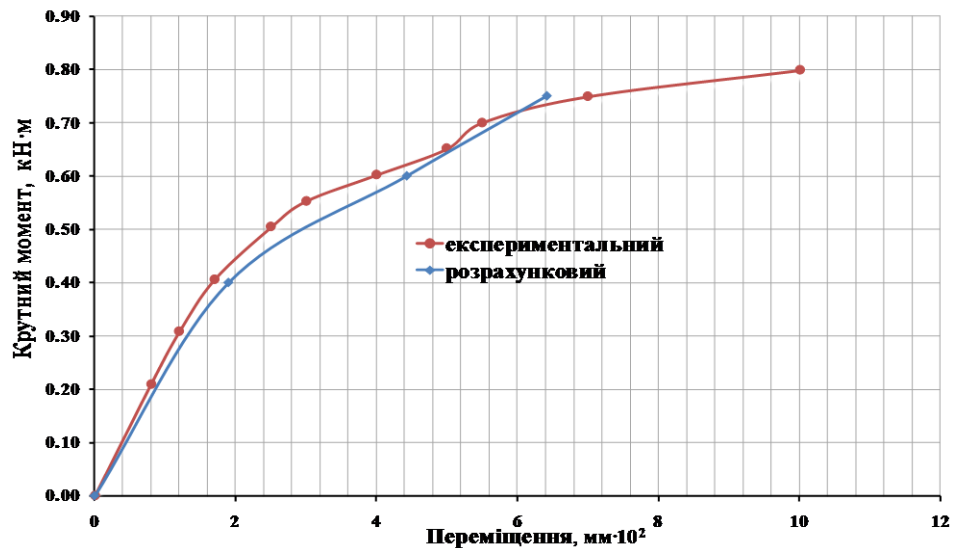


Рис. 3 Залежність „крутий момент-переміщення” для балок:

а) арматура  $\varnothing$  8 мм товщина верхньої полки 50 мм; б) арматура  $\varnothing$  8 товщина верхньої полки 35 мм; в) арматура  $\varnothing$  10 мм товщина верхньої полки 25 мм;

#### Література

1. Азизов Т.Н. Теория пространственной работы перекрытий. – Киев: Науковий світ, 2001. – 276 с.
2. Азизов Т.Н. Общий подход к определению крутильной жесткости железобетонных элементов с трещинами//Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 17., – Рівне: Нац. ун-т водного господарства та природокористування, 2008. – С. 92-99.
3. Азизов Т.Н., Мельник О.В., "Експериментальні дослідження жорсткості та міцності залізобетонних елементів коробчастого перерізу з нормальними тріщинами при крученні" м. Одеса

4. Верещага А.И. Напряженно-деформированное состояние и прочность сборных железобетонных перекрытий. Дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Сумский национальный аграрный ун-т. – Сумы, 2002. – 248 с.
5. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.
6. Рекомендации по проектированию стальных закладных деталей для железобетонных конструкций / НИИЖБ. –М.: Стройиздат, 1984. – 87 с.
7. Улицкий Б.Е., Потапкин А.А, Руденко В.И., Сахарова И.Д., Егорушкин Ю.М. Пространственные расчёты мостов. – М.: Транспорт, 1967. – 404 с.
8. Яременко А.Ф., Чучмай А.М., Яременко Н.А. Инженерная методика определения крутильной жесткости железобетонных балок с нормальными трещинами // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. – С. 146 – 151.
9. Azizov T.N. Effect of torsional rigidity of concrete elements with normal cracks onto special work of bridges and floorings // International Science Ukrainian Edition. Volume 3. USA – December, 2010. – P.55-59.