

## ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КРУТИЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ ТАВРОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З НОРМАЛЬНИМИ ТРІЩИНАМИ ПРИ КРУЧЕННІ

Стадник В.І. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

У статті описується методика визначення крутильної жорсткості залізобетонних елементів таврового перерізу за наявності в них нормальних тріщин. Приведені результати експериментальних досліджень і їх порівняльний аналіз з розрахунковими даними, отриманими за запропонованою методикою.

### Постановка задачі та аналіз досліджень.

Для розрахунку перекриття з урахуванням просторової роботи вимагається знання згинальної жорсткості і крутильної жорсткості складових його елементів, як за наявності різного роду тріщин, так і при їх відсутності, оскільки при появі тріщини зменшується не лише згинальна жорсткість, але і крутильна жорсткість. Існуючі методики визначення жорсткості на кручення [4,5] відносяться тільки до залізобетонних елементів з просторовими (спіральними) тріщинами.

Дослідження крутильної жорсткості елементів з нормальними тріщинами знаходяться на початковій стадії та стосуються елементів прямокутного перерізу [3]. Визначенню крутильної жорсткості елементів таврового перерізу з нормальними тріщинами не приділено уваги в літературі.

Метою цієї статті є експериментальне та теоретичне дослідження жорсткісних параметрів залізобетонних елементів при дії крутильних моментів.

### Викладення основного матеріалу.

У роботі [1] показано, що для визначення жорсткості елементів таврового перерізу з полицею в стислій від вигину зоні, за наявності в них нормальних тріщин приймається схема, при якій арматура в тріщині подумки розтинається і з умови рівності переміщень ліворуч і праворуч від розтину визначається невідома нагельна сила.

Після умовного розтину арматури в тріщині крутильний момент, з одного блоку на інший передаватиметься через стислу від згину зону висотою  $Z$ . Основним завданням буде визначення переміщень верхньої частини блоку відносно його нижньої частини. Розітнемо блок, відокремлений нормальними тріщинами, горизонтальною площиною, паралельній подовжній осі  $x$  елементу, яка проходить по висоті перерізу на рівні низу стислої зони (рис. 1).

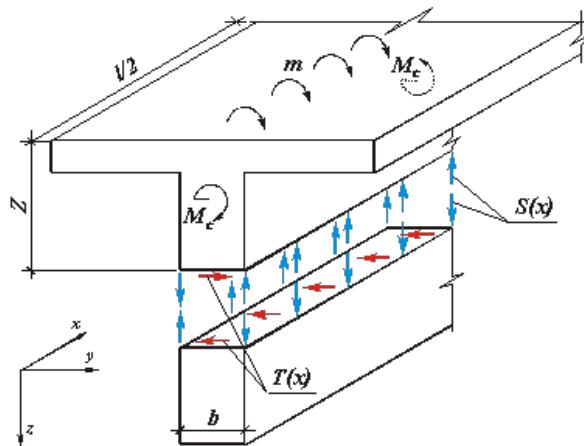


Рис. 1. Схема невідомих внутрішніх зусиль із площини розтину таврового елементу

По площині розтину діятимуть дві невідомі функції погонних внутрішніх зусиль: нормальні до ребер (вертикальні)  $S(x)$  і дотичні уздовж прольоту  $T(x)$ . Слід зазначити, що у загальному випадку в перерізі діють і поперечні моменти  $m(x)$ , які закручують верхню і нижню відсічені частини елемента, проте, як показують розрахунки по МСЕ, зважаючи на малу товщину ребра, ці моменти дуже малі і ними можна знехтувати.

Для визначення внутрішніх зусиль складається система двох диференціальних рівнянь з умови рівності зверху і знизу від перерізу (з правого або з лівого боку, не має значення) наступних переміщень та їх похідних: горизонтальних переміщень уздовж осі  $y$ ; вертикальних переміщень по осі  $z$ .

Для отримання досить простого рішення задачі невідомі  $T(x)$  і  $S(x)$ , а також зовнішній крутильний момент, слід розкласти в ряди Фур'є по косинусах. При цьому граничні умови будуть задоволені автоматично.

Після визначення невідомих внутрішніх зусиль обчислюються кути повороту і переміщення верхньої частини відносно нижньої (див. рис. 1) та визначається нагельна сила  $Q$  в подовжній арматурі з умови рівності переміщень точок  $C'$  і  $C$  по [1] (рис. 2).

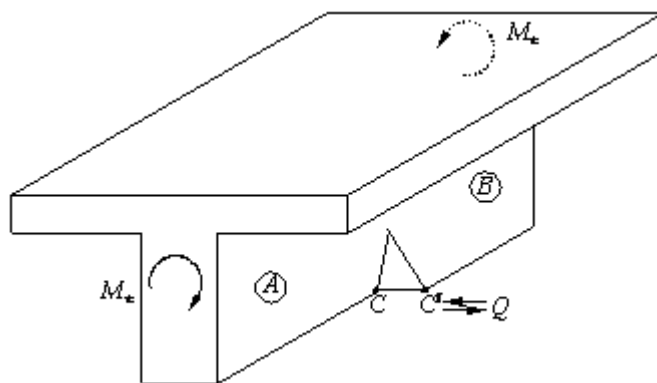


Рис. 2. Схема до визначення нагельної сили в арматурі

Після обчислення невідомої сили  $Q$  можна визначити реальне переміщення в тріщині  $a_{tot}$ , яке буде дорівнювати подвоєній сумі переміщень від зім'ятого бетону та зсуву арматури:

$$a_{tot} = 2 \cdot (\Delta_{об} + \Delta_{аб}) \quad (1)$$

Тут переміщення помножуються на 2, оскільки те, що зім'яття арматури відбувається як в блоці ліворуч, так і в блоці праворуч від тріщини.

Для визначення крутильної жорсткості елемента з нормальною тріщиною слід визначити кут повороту умовно суцільного (без тріщин) елемента:

$$\varphi_{аб} = \frac{a_{tot} + a_e}{h/2} \quad (2)$$

де  $a_e$  – складова переміщення від повороту цілої частини блоку, визначається по відомих формулах кручення пружного стержня.

Відношення кута повороту суцільного елемента без тріщин до еквівалентного, дає нам відношення жорсткості суцільного елемента до жорсткості елемента з нормальною тріщиною.

З метою перевірки запропонованої методики визначення крутильної жорсткості таврових залізобетонних елементів з нормальними тріщинами при дії кручення були проведені експериментальні дослідження жорсткості залізобетонних елементів таврового перерізу з штучно створеними в них нормальними тріщинами, імітованими вставками з ДВП товщиною 4мм [2].

Всього було створено 18 експериментальних зразків, які відрізнялися між собою геометричними характеристиками і армуванням. Товщина полиці 50 і 75мм, ширина полиці 250, 350 і 450мм (рис. 3). Армування було зроблене одинарною подовжньою арматурою періодичного профілю класом А500С діаметром 12, 18 і 22мм. Опорна зона армувалася замкнутими хомутами  $\varnothing 5$  Вр-І кроком 40мм. Полиця армувалася сіткою (розташованою в середині її товщини)  $\varnothing 3$  Вр-І з розміром чарунки 75x75 мм (рис. 4).

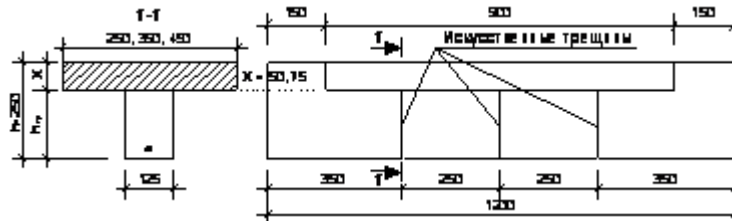


Рис. 3. Геометричні характеристики експериментальних зразків

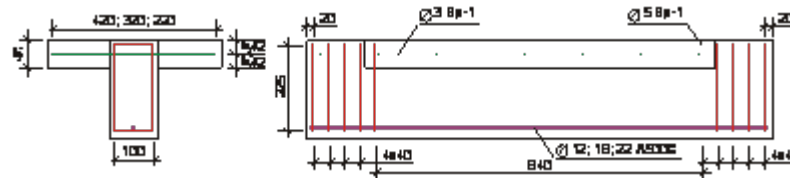


Рис. 4. Армування експериментальних зразків

Для проведення експериментальних досліджень спеціально була виготовлена експериментальна установка, мета якої полягала в тому, щоб створити у поперечних перерізах експериментального зразка тільки один внутрішній силовий чинник – крутний момент. Загальний вигляд установки разом з встановленим у ній експериментальним зразком показаний на рис. 5. Експериментальний зразок із встановленими на нього облаштуваннями для виміру переміщень між блоками показаний на рис. 6.

При дослідженні жорсткості елементів з нормальними тріщинами на етапах їх завантаження за допомогою індикаторів годинникового типу, вимірювалися переміщення двох середніх блоків В і С відносно двох крайніх блоків А і D (див. рис. 6).

Методика проведення експерименту полягала в наступному:

- в опорні торцеві короби експериментальної установки монтувався зразок, на який в подальшому встановлювалися чотири рамки з куточків L32x4. Кінці елемента в установці через металеві пластини затискалися болтами;

- вивірялося горизонтальне положення зразка в установці; рамки встановлювалися на зразку і фіксувалися притискними болтами. Між рамками P-1 і P-2, P-3 і P-4 витримувалась відстань в 250мм (база виміру), яка дорівнювала довжині блоку між тріщинами;

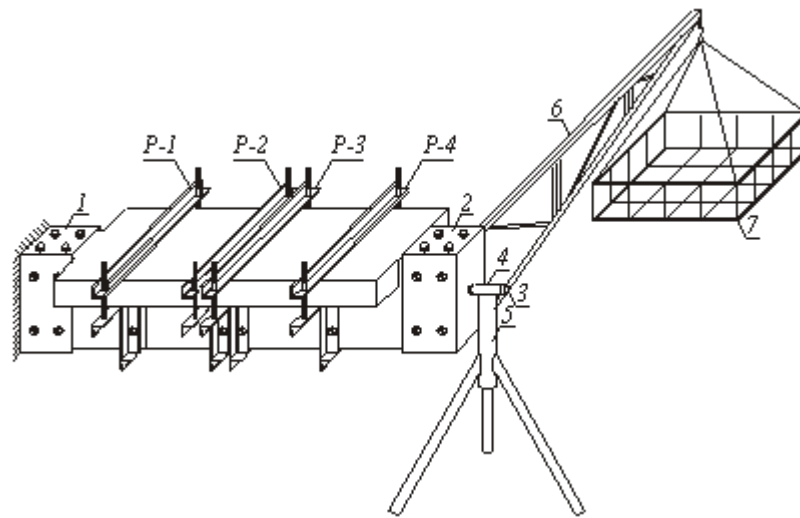


Рис. 5. Загальний вигляд експериментальної установки: 1 – короб, затиснений жорстко; 2 – короб, що має шарнірну опору; 3 – вісь, приварена до другого опорного короба; 4 – втулка; 5 – стійка; 6 – важіль; 7 – кошик для укладання вантажів; P-1, P-2, P-3, P-4 – рамки для кріплення вимірювальних приладів

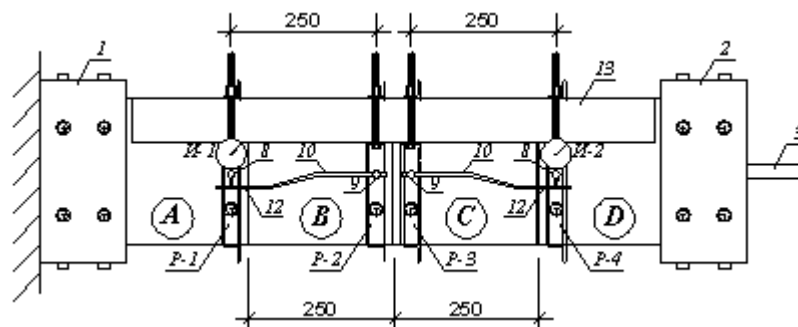


Рис. 6. Пристосування для виміру переміщень між блоками: И-1, И-2 – індикатори годинникового типу; P-1, P-2, P-3, P-4 – сталеві рамки з кутка L32x4; 1 – опорний короб, жорстко закріплений до випробувального стенду; 2 – опорний короб з шарнірним закріпленням; 3 – вісь короба з шарнірним закріпленням; 8 – утримувач з гладкої арматури під індикатор; 9 – утримувач з гладкої арматури під пруток; 10 – пруток; 12 – пластина для спирання ніжки індикатора; 13 – експериментальний зразок.

- замірялася відстань від ніжок індикаторів И-1 і И-2 до бічної грані елемента;
- завантаження зразків виконувалося поетапно, з витримкою під навантаженням упродовж 10 хвилин, аж до їх руйнування.
- в журналі запису відліків по індикаторах годинникового типу вносилися дані переміщень блоків на початку і у кінці кожного етапу завантаження.

#### **Результати та аналіз досліджень.**

Для кожного експериментального зразка були побудовані два графіки залежності «кут повороту – крутний момент».

Перший графік був побудований за даними журналу запису відліків за індикаторами годинного типу для кожного етапу витримки зразка під навантаженням.

Другий графік мав лінійну залежність і був побудований по двох точках. Перша точка – початок координат, друга точка отримана розрахунком за запропонованою методикою (у припущенні пружної роботи) для рівня завантаження елемента, який складає 30% від руйнівного навантаження. У таблиці 1 приведені експериментальні і теоретичні значення переміщень блоків елемента один відносно одного, відокремлених один від одного

нормальною тріщиною, при значенні крутильного моменту, рівному 30% від руйнівного навантаження.

Далі по цих двох графіках будувався третій графік (поєднаний), по якому обчислювалася міра збігу експериментальних і розрахункових даних на різних етапах завантаження. На рис. 7 приведені поєднані графіки залежності «кут повороту – крутий момент», для експериментальних балок однієї із серії з шириною полиці 350 мм.

По графіках можна бачити, що зразки деформувалися за лінійним законом до дуже високих рівнів навантаження (70-75% від руйнівного навантаження) і тільки на етапах близьких до руйнування спостерігалися суттєві пластичні деформації.

### Висновок

Проведений порівняльний аналіз показав, що середнє значення величини погрішності теоретичних і експериментальних даних при визначенні кута закручування на рівні, близькому до межі пропорційності, не перевищує 14%. Це дає основу рекомендувати розроблену методику для використання в практиці проектування.

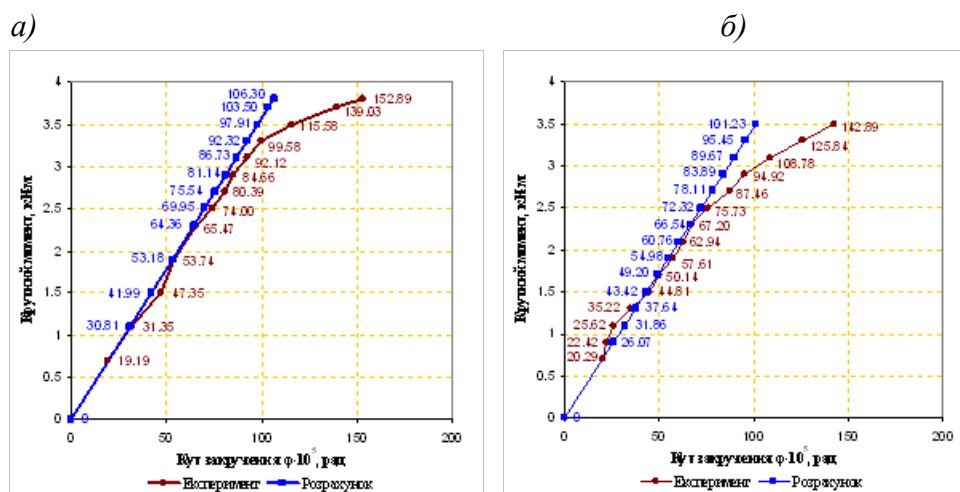


Рис. 7. Залежність «крутий момент – кут закручення» експериментальних зразків:  
а) Б- 12-75-350; б) Б- 22-50-350

Таблиця 1

Маркування зразків	Діаметр арматури (мм)	Висота стиснутої зони (мм)	Переміщення, мм		
			Експер.	Теоретич.	
Б- 22-75-250	22	75	0.17	0.1651	0.971
Б- 18-75-350	18	75	0.13	0.1426	1.097
Б- 12-75-350	12	75	0.15	0.1445	0.963
Б- 18-50-350	18	50	0.15	0.1570	1.047
Б- 22-75-450	22	75	0.13	0.1428	1.099
Б- 22-50-450	22	50	0.14	0.1665	1.190

### SUMMARY

In the article the methods of determination of turning inflexibility of reinforce - concrete elements of T-shaped section are described at presence of in them normal cracks. Results over of experimental researches and their comparative analysis are brought with calculation data, got on the offered methods.

## *Література*

1. Азизов Т.Н., Стадник В.И. Крутильная жесткость тавровых железобетонных элементов с нормальными трещинами // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 33 – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. – С. 4-11. 2. Азизов Т.Н., Стадник В.И. Экспериментальные исследования крутильной жесткости и прочности тавровых железобетонных элементов с нормальными трещинами при кручении // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 37 – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2010. – С. 9-16. 3. Азізов Т.Н., Срібняк Н.М. Експериментальні дослідження крутильної жорсткості та міцності залізобетонних елементів з нормальними тріщинами при крученні// Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 34 – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. – С. 4-14. 4. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с. 5. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.