

**ВИЗНАЧЕННЯ РУЙНУЮЧОГО КРУТНОГО МОМЕНТУ У
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТАХ ПОРОЖНИСТОГО ТРИКУТНОГО
ПЕРЕРІЗУ З НОРМАЛЬНИМИ ТРІЩИНАМИ**

*Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини,
Умань, Садова 2, 20300*

У статті наведено методику визначення руйнуючого крутного моменту залізобетонного елемента порожнистого трикутного перерізу. Розрахунок максимальних напружень в зоні без тріщин дозволяє передбачити запас міцності елемента при дії кручення.

Ключові слова: *порожнистий трикутний профіль, крутний момент, максимальні напруження.*

Вступ. Питання визначення напружено-деформованого стану залізобетонних елементів при дії крутного моменту є на сьогодні одним із ключових. Проте в роботах багатьох учених не приділено достатньо уваги визначенню крутильної міцності залізобетонних елементів особливо з нормальними тріщинами [6]. Як показали зарубіжні вчені, нехтування крутильного моменту призвело до цілого ряду аварій в США та Канаді.

Аналіз останніх джерел і публікацій. Схема розподілу зусиль у елементі суцільного трикутного перерізу з вершиною у розтягнутій зоні аналогічна за схемою розподілу зусиль порожнистого трикутного перерізу при згині. Розтягуючі напруження у елементі порожнистого трикутного перерізу сприйматимуться верхньою полицкою. Р. Залігер вперше запропонував використання балок трикутного перерізу, як такі, що ефективно працюють на згин [8]. Дослідженням роботи трикутних згинальних залізобетонних елементів займався Бабіч Є.Є.[5].

Виділення загальної проблеми. Загального методу визначення напружено-деформованого стану залізобетонних елементів порожнистого трикутного профілю з нормальними тріщинами при крученні не існує.

Тому, **метою статті** є визначення максимального руйнуючого крутного моменту у залізобетонних балках порожнистого трикутного перерізу з нормальними тріщинами.

Основний матеріал і результати. Розглянемо схему зусиль, що діють в нормальному перерізі з тріщиною. Крутний момент з блоку *A* до блоку *B* передаватиметься через зону без тріщин (верхню полицю) (рис.1).

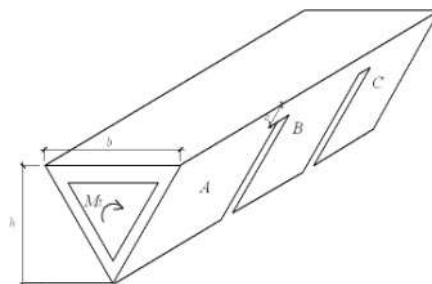


Рис. 1 Схема залізобетонного порожнистого трикутного елемента з нормальними тріщинами при дії крутного моменту

Сприйнятий крутний момент верхньою полицею M_v навколо поздовжньої осі елемента визначають:

$$M_t - Q \cdot Z_s = M_v \quad (1)$$

Де M_t – зовнішній крутний момент; Q – нагельна сила, що діє в поздовжній арматурі та спричиняє опір повороту двох суміжних блоків відділених нормальною тріщиною, визначається з умов сумісності деформацій в місці її умовного розтину [1]; Z_s – відстань від центру ваги арматури до центру ваги зони без тріщин.

Як було показано у [4] крутний момент спричинює утворення зусиль, що діють в перерізі подовж всього прольоту балки. Найбільшу залежність спричинюють горизонтальні зусилля $H(x)$ (2), а також поперечні згинальні моменти $m(x)$ (3):

$$H(x) = \sum_{i=1}^n H_i \cdot \cos\left(\frac{n \cdot \pi}{l}\right) \quad (2)$$

$$m(x) = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \cos\left(\frac{n \cdot \pi}{l}\right) \quad (3)$$

Де H_i , m_i – коефіцієнти ряду Фур'є, в який розкладаються дані зусилля визначені з умов сумісності деформацій за [4].

Розбиваємо довжину балки l на i -частин відповідної довжини l_i :

$$l_i = \frac{l}{2} - \left[\frac{l}{2 \cdot i} \cdot (i-1) + \frac{\Delta}{2} \right] \quad (4)$$

Кожне вище описане зусилля спричинює кручення в певному напрямку. Кути повороту від дії цих зусиль представлені у вигляді:

$$\varphi_H = \sum_{i=1}^n \frac{l \cdot b \cdot l_i \cdot (H_i + H_{i-1})}{2 \cdot i \cdot G \cdot I_t}$$

$$\varphi_m = \sum_{i=1}^n \frac{l \cdot l_i \cdot m_i}{i \cdot G \cdot I_t} \quad (5)$$

Кут повороту всього перерізу буде рівний різниці кутів повороту від дії зовнішнього крутного моменту M_t та поперечних згинальних моментів $m(x)$ і горизонтальних сил $H(x)$.

$$\varphi_t = \frac{M_t \cdot l}{G I_t} - (\varphi_H + \varphi_m) \quad (6)$$

Де φ_H – кут повороту від дії зусиль $H(x)$; φ_m кут повороту від дії моментів $m(x)$.

Переміщення від дії одиничної нагельної сили Q_s , що діє на одиницю ширини буде рівним:

$$\Delta Q_s = \Delta M_t \cdot \frac{Z_s}{M_t} \quad (7)$$

При досягненні критичного моменту біля берегів тріщини в експериментальних дослідженнях спостерігався певний зсув арматури [3], що відбувався під дією нагельної сили Q , яка в свою чергу виникала від дії зминання бетону у зоні без тріщин і визначається за методикою Азізова Т.Н. [2]:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta M_t}{\Delta Q_{s,s} + 2 \cdot \Delta_{sm,s}} \quad (8)$$

Як видно з [3] руйнування відбувається практично відразу після утворення тріщини у верхній частині перерізу. Це дозволяє сформулювати ще одну форму руйнування, коли максимальна розтягуюче напруження у верхній полиці перерізу (стиснутої від згину зони) досягає межі міцності бетону на розтяг f_{ctk} .

При дослідженні тріщиностійкості була використана методика, запропонована Касаєвим Д. Х. і використаною Дюрменовою С.Ю.[7,9] у своїх дослідженнях для балок з наскрізними отворами. Згідно цієї методики було обчислено крутний момент сприйнятий верхньою полицею (зони без тріщин), який представлено у вигляді:

$$M_v = \left(0.88 + 0.08 \cdot \frac{\delta_a}{b} \right) \cdot f_{ctk} \cdot W_{pl} \quad (9)$$

Де W_{pl} – пружньо-пластичний момент опору.

Експериментальними дослідженнями було встановлено значення руйнуючих крутних моментів для балок порожнистого трикутного профілю [3]. В таблиці 1 наведено порівняння значень експериментальних руйнуючих моментів з теоретичними за розробленою методикою.

Таблиця 1

Міцність залізобетонних елементів з нормальними тріщинами

Шифр балки	Діаметр арматури d_s , мм	Товщина верхньої полиці (висота зони без тріщин) δ_v , мм	Товщина бокової полиці δ_b , мм	Крутний момент M_{exp} , кН·м	Максимальний теоретичний руйнуючий крутний момент M_{teor} , кН·м	Відхилення, %
Б 1-1	8	30	30	75	66.5	12,6
Б 2-1	8	45	30	80	71.36	12,1
Б 3-1	8	60	30	120	107.5	11,6
Б 1-2	10	30	45	80	71.04	12,6
Б 2-2	10	45	45	90	80.28	12,1
Б 3-2	10	60	45	125	112	11,6
Б 1-3	14	30	60	72	63.94	12,6
Б 2-3	14	45	60	78	69.58	12,1
Б 3-3	14	60	60	120	107.5	11,6
Б 4-1	8	45	30	140	124.9	12,1
Б 4-2	10	45	60	140	124.9	12,1
Б 4-3	14	45	45	125	111.5	12,1

З таблиці 1 видно, що теоретичні дані задовільно співпадають з експериментальними. Середнє значення величини відхилень при визначенні міцності складає 12%, що дає змогу рекомендувати дану методику для використання в будівельній практиці.

Висновки. Представлена автором методика розрахунку напружень сприйнятих верхньою полицею залізобетонних елементів порожнистого трикутного перерізу з нормальними тріщинами при крученні є на сьогодні найбільш ефективною для даного типу елементів, що дозволяє визначити руйнуючий крутний момент з досить великою точністю.

Розрахункові значення руйнуючого крутного моменту, визначеного за запропонованою методикою, задовільно збігаються з експериментальними даними [3], а тому наведена методика може бути використана при розробці нормативних документів та державних стандартів з проектування конструкцій порожнистого трикутного профілю. Наведена методика дозволяє враховувати геометричні параметри залізобетонних елементів.

Література:

1. 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.
2. Азизов Т.Н. Прочность железобетонных элементов с нормальными трещинами при кручении/ Т.Н. Азизов, Н.Н. Срибняк, Л.А. Циганенко// Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2007. – Вип.28. –С.9-18.
3. Азізов Т.Н. Експериментальні дослідження крутильної жорсткості та міцності залізобетонних елементів порожнистого трикутного перерізу з нормальними тріщинами при крученні/ Т.Н. Азізов, О.С. Мельник /Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. // Зб. наук. статей. Вип.9. – Кривий Ріг: КТУ, 2011. – 235 с.

4. 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 – Випуск 22 Рівне, 2011 – С.154-161.

5. Бабіч Є.Є. Робота і розрахунок згинальних залізобетонних елементів трикутного профілю. Дис...кандидата техн. наук: 05.23.01/ Бабіч Євген Євгенович. - Рівне, 1998. – 210 с.

6. Байков В.Н. Эффект крутящих моментов и распоров в железобетонных плитах, опертых по контуру/ В.Н. Байков, А.И. Бедов, А.К. Фролов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1992. – № 3. – С. 41-48.

7. Дюрменова С.Ю. Прочность железобетонных балок со сквозными отверстиями при интенсивном кручении Дис. ... кандидата техн. наук: 05.23.01/ Дюрменова Светлана Суюновна. – Черкесск, 2006 – 193 с.

8. Залигер Р. Железобетон, его расчет и проектирование: Пер. с нем. Стройиздат, М.-Л.М.: Стройиздат, 1928. - 262 с.

9. Касаев Д.Х. Прочность элементов железобетонных конструкций при кручении и изгибе с кручением. Ростов н/Д.: Изд-во Рост, ун-та, 2001.-176с.