

УДК 624.012.45:624.042.2

О. С. Мельник, викл.  
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

## МІЦНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТРИКУТНОГО ПРОФІЛЮ З НОРМАЛЬНИМИ ТРІЩИНАМИ ЗА ДІЇ КРУТНОГО МОМЕНТУ

*У статті вперше наведена методика розрахунку міцності залізобетонного елемента порожнистого трикутного перерізу до якого прикладений крутний момент. Дана методика дозволяє визначити максимальні зусилля у верхній полиці з великою точністю, а також передбачити запас міцності.*

**Ключові слова:** порожнистий трикутний переріз, крутний момент, максимальні напруження, запас міцності.

А. С. Мельник, преп.  
Уманский государственный педагогический университет имени Павла Тычины

## ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРЕУГОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ С НОРМАЛЬНЫМИ ТРЕЩИНАМИ ПРИ ДЕЙСТВИИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

*В статье впервые приведена методика расчета прочности железобетонного элемента полого треугольного сечения к которому прилагается крутящий момент. Данная методика позволяет определить максимальные усилия в верхней полке с большой точностью, а также предусмотреть запас прочности.*

**Ключевые слова:** полое треугольное сечение, крутящий момент, максимальные напряжения, запас прочности.

O. S. Melnyk, teacher  
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University

## DURABILITY OF REINFORCED-CONCRETE ELEMENTS OF THREE-CORNERED TYPE WITH NORMAL CRACKS FOR ACTIONS OF TWISTING MOMENT

*In the article the method of calculation of durability of reinforced-concrete element is first resulted hollow three-cornered a cut which a twisting moment is added to. This method allows to define maximal efforts in an overhead shelf with large exactness, and also to provide for stocked durability.*

**Keywords:** a hollow three-cornered cut, twisting moment, maximal tensions, stocked durability.

**Вступ.** Визначення міцності в різних видах напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій є на сьогодні одним із першочергових завдань. Проте в роботах багатьох учених не приділено достатньо уваги визначенню міцності залізобетонних елементів з

нормальними тріщинами при крученні [6]. Відсутність методів визначення даної здатності при складанні нормативних документів призводить до прийняття розрахункових припущень.

**Аналіз останніх джерел і публікацій.** Запропонована Р. Залігером схема розподілення зусиль в бетоні і арматурі отримала всесвітнє визнання [9]. Крім того саме цей вчений вперше запропонував використання паль трикутного профілю для економії будівельних матеріалів та отримання більш міцнішої конструкції. Дослідженням роботи трикутних згинальних залізобетонних елементів займався Бабіч Є.Є.[5]. Вітчизняним вченим Азізовим Т.Н вперше запропоновано використання балок порожнистого трикутного профілю у мостових конструкціях [1].

**Виділення загальної проблеми.** Загального методу визначення міцності залізобетонних елементів з нормальними тріщинами при крученні не існує.

Тому, **метою статті** є розрахунок міцності залізобетонних балок порожнистого трикутного перерізу із штучними нормальними тріщинами.

**Основний матеріал і результати.** Розглянемо схему зусиль, що діють в нормальному перерізі з тріщиною. (рис.1).

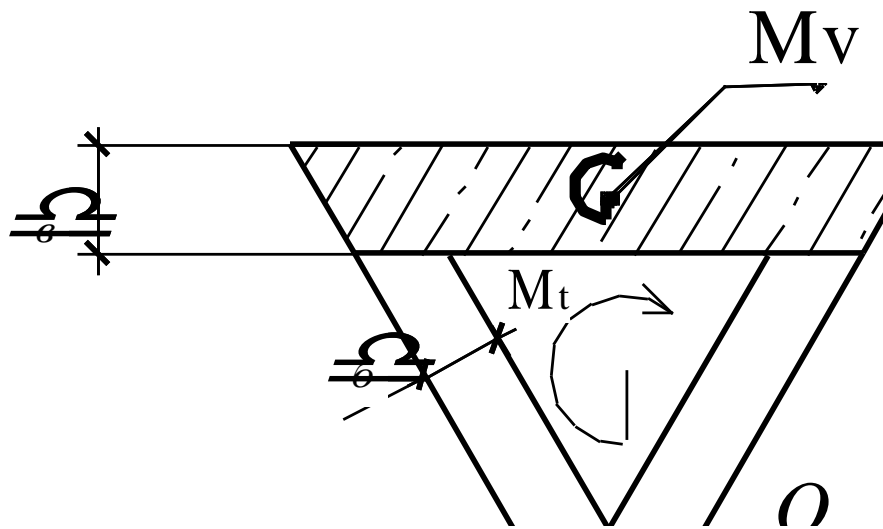


Рис. 1. Зусилля в поперечному перерізі пустотілого профілю з нормальною тріщиною

Зовнішній момент кручення  $M_t$  утворює у верхній полиці крутний момент  $M_v$  і момент  $M_Q$ , що утворюється парою сил  $Q$  і  $Q_b$ . Момент пари цих сил (рис. 1) рівний:

$$M_Q = Q \cdot Z_s \quad (1)$$

$Z_s$  – відстань від центру ваги арматури до центру ваги зжатої зони бетону).

Умову рівноваги (кручення навколо повздовжньої осі елемента) записують у вигляді:

$$M_t - M_Q = M_V \quad (2)$$

Як було показано у [4] крутний момент спричинює утворення сил, що діють вздовж всього прольоту балки. Найбільшу залежність спричинюють горизонтальні сили  $H(x)$  і поперечні згинальні моменти  $m(x)$ , і записуються у вигляді:

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

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

Розбиваємо довжину балки на кілька частин  $\Delta = \frac{l}{2 \cdot i}$ . Відповідно довжина  $l_i$   $i$ -частинки буде рівна:

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

Кути повороту від дії поперечних згинальних моментів  $m(x)$  і горизонтальних сил  $H(x)$  представлені у вигляді:

$$\varphi_H = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \cdot b \cdot l_i \cdot (H_i + H_{i-1})}{G \cdot I_t} \quad (5)$$

$$\varphi_m = \sum_{i=1}^n \frac{2 \cdot \Delta \cdot l_i \cdot m_i}{G \cdot I_t}$$

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  $H(x)$ .

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

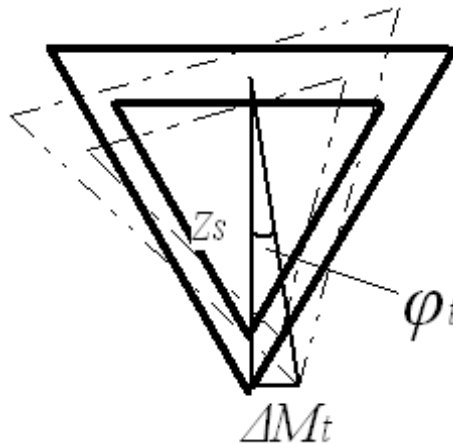


Рис. 2. Схема повороту під дією крутного моменту.

З рис. 2. видно, що:

$$\Delta_{Mt} = \frac{\varphi_t \cdot Z_s}{2} \quad (7)$$

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

$$\Delta Q_s = Q_s \cdot Z_s \quad (8)$$

$$Q_s = \frac{\Delta M_t}{M_t} \quad (9)$$

Взявши до уваги формули 8-9 та зробивши певні математичні перетворення, отримаємо:

$$\Delta Q_s = \Delta M_t \cdot \frac{Z_s}{M_t} \quad (10)$$

Переміщення від змінання бетону у верхній полиці визначатиметься за методикою [2].

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

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta M_t}{\Delta Q_{s,s} + 2 \cdot \Delta_{sm,s}} \quad (11)$$

Через те, що бетон зминається у двох блоках величину  $\Delta_{sm,ed}$  слід помножити на 2, і весь дріб фізичних величин поділити на 2.

Як видно з [3] руйнування відбувається практично відразу після утворення тріщини у верхній частини перерізу. Це дозволяє сформулювати ще одну форму руйнування, коли максимальна розтягуюча напруга у верхній полиці перерізу (стислої від згину зони) досягає межі міцності бетону на розтяг.

Величина  $R_{btm}$  визначається за методикою Вахненка П.Ф.[7] за формулою:

$$R_{btm} = 0.233 \cdot \sqrt[3]{R_{bt}^2} \quad (12)$$

Де  $R_{bt}$  – призмова міцність бетону,

При дослідженні тріщиностійкості була використана методика, запропонована Касаєвим Д. Х. і використаною Дюрменовою С.Ю.[8,10] у своїх дослідженнях для балок з наскрізними пустотами. Згідно цієї методики значення моменту утворення тріщини для суцільного перерізу:

$$T_{crc} = \left( 0.88 + 0.08 \cdot \frac{h}{b} \right) \cdot R_{btm} \cdot W_{\tau,pl} \quad (13)$$

Де  $W_{\tau,pl}$  – пружньо-пластичний момент опору, який після математичних перетворень набуватиме вигляду:

$$W_{\tau,pl} = \frac{M_v}{\left( 0.88 + 0.08 \cdot \frac{\delta_a}{b} \right) \cdot R_{btm}} \quad (14)$$

За відомою формулою з курсу опору матеріалів величина напруження у стиснутій зоні визначається:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_v}{W_{\tau,pl}} \leq R_{btm} \quad (15)$$

Величину  $\sigma_{\max}$  порівнюємо з міцністю бетону на розтяг  $R_{btm}$  і визначаємо відсоток запасу міцності. З таблиці 1 видно, що середнє значення запасу міцності складає 10.8 %.

**Таблиця 1. Визначення максимальних напружень та запасу міцності експериментальних балок.**

Марка балки	Mt, кН·см	Q, кН	Z, см	Mv, кН·см	Rbt, кН/см <sup>2</sup>	w, см <sup>3</sup>	$\sigma_m$ , кН/см <sup>2</sup>	%, запасу
Б 1-1	75	1.54	21.48	42.03	0.36	133.32	0.32	11.2
Б 2-1	80	1.70	20.73	44.82	0.36	141.54	0.32	10.8
Б 3-1	120	2.41	19.98	71.79	0.36	225.68	0.32	10.4
Б 4-1	140	2.64	19.23	89.27	0.36	281.91	0.32	10.8
Б 1-2	80	1.70	21.48	43.53	0.37	133.92	0.33	11.2
Б 2-2	90	1.98	20.73	48.95	0.37	149.94	0.33	10.8
Б 3-2	125	2.67	19.98	71.65	0.37	218.49	0.33	10.4
Б 4-2	140	2.87	19.23	84.75	0.37	259.59	0.33	10.8
Б 1-3	72	1.58	21.48	38.17	0.31	139.55	0.27	11.2
Б 2-3	78	1.77	20.73	41.33	0.31	150.42	0.27	10.8
Б 3-3	120	2.70	19.98	66.11	0.31	239.56	0.28	10.4
Б 4-3	125	2.76	19.23	71.88	0.31	261.65	0.27	10.8
<b>Середнє значення міцності</b>								<b>10.8</b>

**Висновки.** Розроблена інженерна методика визначення крутильної жорсткості залізобетонних елементів порожнистого трикутного перерізу з нормальними тріщинами з врахуванням нелінійних властивостей бетону. Розрахункові значення міцності, визначеної 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. Встановлено, що розрахунок нагельної сили в поздовжній арматурі в пружній стадії йде в запас міцності. Виведена методика дозволяє враховувати типорозмір балки та його жорсткісні параметри.

#### *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. Азизов Т.Н. Експериментальні дослідження крутильної жорсткості та міцності залізобетонних елементів порожнистого трикутного перерізу з нормальними тріщинами при крученні/ Т.Н. Азизов, О.С. Мельник /Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. // Зб. наук. статей. Вип.9. – Кривий Ріг: КТУ, 2011. – С. 47-53.
4. Азизов Т.Н. Інженерний метод визначення НДС залізобетонних балок порожнистого перерізу з нормальними тріщинами/ Т.Н. Азизов, 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. Вахненко П.Ф. Залізобетонні конструкції. – Київ: Урожай, 1995. – 364 с.
8. 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.
9. Залигер Р. Железобетон, его расчет и проектирование: Пер. с нем. Стройиздат, М.-Л.М.: Стройиздат, 1928. - 262 с.
10. Касаев Д.Х. Прочность элементов железобетонных конструкций при кручении и изгибе с кручением. Ростов н/Д.: Изд-во Рост, ун-та, 2001.-176с.