

РОЗМЕЖУВАННЯ ФОРМ СТИСНУТОЇ ЗОНИ БЕТОНУ В ПЕРЕРІЗИ КОСО ЗІГНУТИХ БАЛОК ТАВРОВОГО ПРОФІЛЮ

**Павліков А.М., д.т.н., проф., Бойко О.В., к.т.н.,
Харченко М.О., аспірантка**

*Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка, Україна*

Важливим фактором напружено-деформованого стану поперечного перерізу залізобетонних елементів таврового профілю, які зазнають косоного деформування, є положення нейтральної лінії, котре залежить від ряду чинників. Головним із них є кут β нахилу силової площини до вертикальної вісі симетрії перерізу елемента.

Положення нейтральної лінії в елементах таврового профілю визначається двома параметрами – висотою x стиснутої зони бетону та кутом θ нахилу нейтральної лінії до горизонтальної вісі. Розрахунок елементів таврового перерізу проводиться залежно від форми стиснутої зони.

При плоскому згині в залізобетонних елементах таврового профілю можливі два суттєво різні випадки положення нейтральної лінії: перший – нейтральна лінія проходить в полиці, область існування $x \leq h_{eff}$; другий випадок – в ребрі. Ситуація суттєво ускладнюється, коли елемент починає зазнавати складного деформування. В результаті цього кількість форм стиснутої зони перерізу значно зростає.

Питанню вивчення та виведення теоретичних залежностей між кутом θ нахилу нейтральної лінії та кутом β нахилу силової площини у явному вигляді присвячені праці багатьох вчених [1 – 4]. В роботі [3] автором була розроблена методика розрахунку міцності косо зігнутих залізобетонних елементів таврового профілю, яка дозволяє з високою точністю і невеликою трудомісткістю визначати випадки положення нейтральної лінії та форми стиснутої зони бетону, що дає можливість оцінювати напружено-деформований стан вказаних елементів. До недоліків даної роботи можливо віднести те, що в ній не враховується дійсна робота матеріалів. Як показав аналіз останніх досліджень, подальше вдосконалення методу розрахунку міцності косо зігнутих балкових елементів таврового профілю потребує використання реальних діаграм деформування матеріалів. У діючих нормах проектування залізобетонних конструкцій [5, 6] рекомендується в стиснутій зоні бе-

тону приймати дійсний характер розподілення напружень, тобто криволінійний. Поряд із криволінійними діаграмами стану бетону й арматури з фізичною межею текучості пропонується використовувати дволінійні діаграми, котрі у багатьох випадках суттєво спрощують розрахункові залежності.

Отже, основним завданням досліджень є отримання розрахункових залежностей для визначення положення нейтральної лінії та форми стиснутої зони в перерізі косо зігнутих залізобетонних балок таврового профілю на основі деформаційної моделі, для описання котрої прийнято дволінійні діаграми залежності між напруженнями та деформаціями в бетоні й арматурі.

Залежно від кута β нахилу зовнішньої силової площини до вертикальної вісі симетрії перерізу та коефіцієнта армування можна виділити 3 групи форм стиснутої зони бетону в перерізі косо зігнутих балок таврового профілю при прямокутній епюрі напружень в бетоні. Групу форм стиснутої зони бетону визначатиметься залежно від початкового положення висоти x стиснутої зони бетону, яке вона може зайняти при $\beta = 0$, тобто як при плоскому згині.

Із використанням передумови за [5, 6] про розподіл напружень в бетоні стиснутої зони за дволінійною епюрою, граничні умови, за якими можна визначити групу форм стиснутої зони бетону, отримані у такому вигляді:

$$1\text{-ша група} \quad x \leq 0,5h_{eff}; \quad (1)$$

$$2\text{-га група} \quad 0,5h_{eff} \leq x \leq 0,5h_{eff}(1+b_{eff}/b); \quad (2)$$

$$3\text{-я група} \quad 0,5h_{eff}(1+b_{eff}/b) \leq x \leq h_{eff}. \quad (3)$$

При цьому в (1) – (3) висота стиснутої зони x :

$$x = \frac{f_{yd} A_s}{f_{cd} b \omega}, \quad (4)$$

де ω – функція повноти епюри напружень у бетоні відносно до прямокутної форми епюри напружень у стиснутій зоні [4].

Розмежування на групи дозволяє в кожному випадку отримати залежність, яка точно описує форму стиснутої зони бетону для конкретних значень кута β нахилу силової площини і коефіцієнта армування ρ_1 .

В кожному із трьох груп, як показує аналіз, входять по чотири види форм стиснутої зони бетону, котрі послідовно можна отримати при поступовому збільшенні кута β . Можливі форми стиснутої зони бетону в тавровому перерізі в 1-й групі зображені на рис. 1.

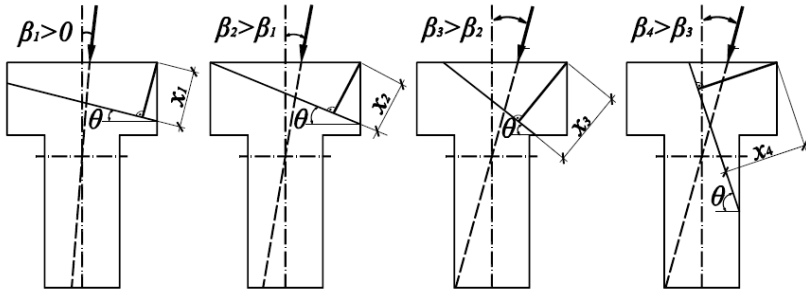


Рис. 1 – Динаміка зміни положення нейтральної лінії зі збільшенням кута β для 1-ої групи форм стиснутої зони бетону

З метою розмежування форм 1-ої групи одна від одної були розглянуті граничні випадки положення нейтральної лінії (табл. 1), для описання яких достатньо знати кут β нахилу силової площини, геометричні параметри перерізу елемента та характеристики міцності й деформативності бетону та арматури.

Для розмежування першої та другої форм стиснутої зони бетону при β_1 та β_2 відповідно (рис. 1) була прийнята передумова про перетворення трапецієподібної форми стиснутої зони в трикутну на межі граничного стану її існування. Розглядуваний стан характеризується одним випадком положення нейтральної лінії, а саме таким, коли нейтральна лінія перетинає менш стиснуте ребро при $\beta_{1,2}$ (табл. 1). Таке положення нейтральної лінії, як це видно з порівняння схем, зображених на рис. 1, є граничним між першою та другою формами стиснутої зони бетону.

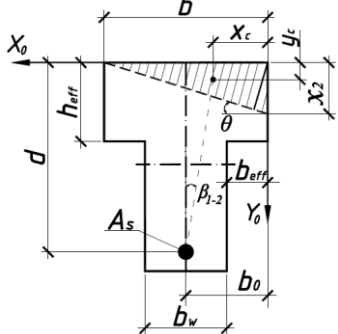
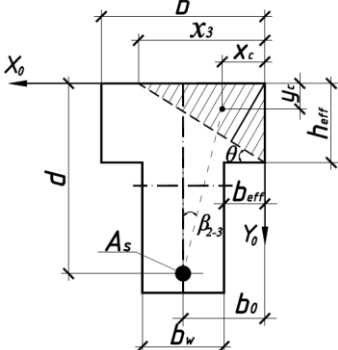
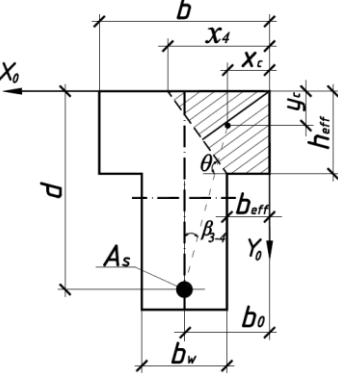
Аналогічним чином були визначені граничні випадки положення нейтральної лінії, що розмежують другу та третю, а також третю і четверту форми стиснутої зони при $\beta_{2,3}$ та $\beta_{3,4}$ відповідно (табл. 1).

Зовнішній згинальний момент M_β , який діє в площині, що проходить під кутом β до вертикальної вісі симетрії перерізу, має ортогональні складові: M_{X_0} – момент відносно вісі X_0 і M_{Y_0} – момент відносно вісі Y_0 , що пов'язані наступною залежністю:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{M_{Y_0}}{M_{X_0}}. \quad (5)$$

Згідно з передумовою про паралельність зовнішньої і внутрішньої силових площин кут нахилу зовнішньої площини рівний куту нахилу внутрішньої площини, котра проходить через рівнодійні зусиль в стиснутій та розтягнутій зонах перерізу.

Табл. 1 – Граничні випадки положення нейтральної лінії для 1-ої групи форм стиснутої зони бетону

№ з/п	Граничний випадок положення нейтральної лінії	Координати точки прикладання рівнодійної зусиль у стиснутій зоні бетону
1		$x_c = b \frac{\omega_1 - \varphi_1}{2\omega_1};$ $y_c = x_2 \frac{\omega_1 - \varphi_1}{2\omega_1},$ <p>де $x_2 = \frac{2A_c}{b\omega_1};$</p> $A_c = \frac{f_{yd} A_s}{f_{cd}}$
2		$x_c = x_3 \frac{\omega_1 - \varphi_1}{2\omega_1};$ $y_c = h_{eff} \frac{\omega_1 - \varphi_1}{2\omega_1},$ <p>де $x_3 = \frac{2A_c}{h_{eff}\omega_1};$</p> $A_c = \frac{f_{yd} A_s}{f_{cd}}$
3		$x_c = \frac{x_4^2(3\omega_1 - 3\omega + 1) + x_4 b_{eff}(3\omega - 2) + b_{eff}^2}{3(x_4(2\omega - 1) + b_{eff})};$ $y_c = \frac{h_{eff}(x_4(3\omega - 2) + 2b_{eff})}{3(x_4(2\omega - 1) + b_{eff})},$ <p>де $x_4 = \left(\frac{2A_c}{h_{eff}} - b_{eff} \right) \cdot \frac{1}{2\omega - 1};$</p> $A_c = \frac{f_{yd} A_s}{f_{cd}}$

Як видно з табл. 1, кут нахилу внутрішньої силової площини визначається за формулою:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{b_0 - x_c}{d - y_c}, \quad (6)$$

де b_0 , d – робочі висоти поперечного перерізу косо зігнутого залізобетонного елемента в напрямку осей X_0 і Y_0 ;

x_c ; y_c – координати точок прикладання рівнодійної N_c зусиль в бетоні стиснутої зони.

Таким чином, при відомих координатах прикладання рівнодійної N_c можна однозначно за формулою (6) обчислити значення кута β , котре відповідає тому чи іншому граничному положенню нейтральної лінії.

Порівнюючи задане значення кута β нахилу зовнішньої силової площини зі значенням кута β при граничному положенні нейтральної лінії, можна встановити форму стиснутої зони бетону.

Наприклад, якщо $\beta > \beta_{1-2}$, то маємо першу трапецієподібну форму стиснутої зони бетону. При $\beta < \beta_{1-2}$, враховуючи послідовну зміну форм згідно з рис. 1, порівнюємо β з наступним граничним значенням кута β_{2-3} . Порівняння продовжуємо до остаточного визначення форми стиснутої зони бетону.

Параметри ω_1 , φ_1 та ω , котрі входять у формули (табл. 1) для визначення координат прикладання рівнодійної напружень у стиснутій зоні бетону, дають можливість враховувати вплив форми епюри розподілення напружень по перерізу стиснутої зони бетону.

При використанні в якості розрахункової дволінійної залежності напруження-деформації бетону стиснутої зони за [5] шукані величини визначаються наступним чином:

$$\omega_1 = \frac{1 + \lambda + \lambda^2}{3}; \quad (7)$$

$$\varphi_1 = \frac{1 + \lambda + \lambda^2 - \lambda^3}{6}; \quad (8)$$

$$\omega = \frac{1 + \lambda}{2}, \quad (9)$$

де $\lambda = 1 - \varepsilon_{c3,cd} / \varepsilon_{c(1)}$ – рівень пластичності бетону [7].

Висновок. Таким чином, використовуючи дані табл. 1 та формулу (6) при відомих геометричних параметрах перерізу, значенні кута β нахилу зовнішньої силової площини та характеристиках міцності й деформативності бетону та арматури, можна однозначно встановити форму стиснутої зони бетону в нормальному перерізі косо зігнутих залізобетонних балок таврового профілю.

Summary

The method for determination the form of compressed zone of concrete and the coordinates of the point of application resultant of forces in the area of compressed concrete in the normal section of biaxial bended T-beams is offered. The limiting cases of the neutral line position are considering. The two-linear stress-strain relations in concrete and reinforcement are using.

1. Павліков А.М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану в косо завантажених сзалізобетонних елементів у закритичній стадії: монографія / А.М. Павліков. – Полтава: ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, 2007. – 259 с.

2. Семко А.В. Образование и раскрытие трещин, нормальных к продольной оси косоизгибаемых железобетонных элементов таврового и Г-образного сечения: дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / А.В. Семко ; Полт. инж.-строит. ин-т. – Полтава, 1988. – 184 с.

3. Хохлов А.Г. Влияние точности монтажа крановых рельсов на несущую способность подкрановых железобетонных балок: автореф. дис.на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.32.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / А.Г. Хохлов. – Полтава, 2000. – 24 с.

4. Бойко О.В. Оцінка міцності навскісно зігнутих балок на основі дволінійних діаграм деформування бетону та арматури: автореф. дис.на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.32.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / О.В. Бойко. – Полтава, 2010. – 22 с.

5. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. ДБН В.2.6-98:2009 / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – К., 2011. – 71 с.

6. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – К., 2011. – 118 с.

7. Павліков А.М. Визначення кута нахилу нейтральної лінії в перерізах косозігнутих залізобетонних елементів з урахуванням нелінійних властивостей бетону на основі діаграми його стану / А.М. Павліков, О.В. Бойко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2011. – Вип. 21. – С. 264 – 269.