

УДК 624.012.45/46 (07)

**РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ ЗГІНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ТАВРОВОГО ПРОФІЛЮ**

**STRENGTH CALCULATION OF BENDING T-PROFILE
ELEMENTS**

Бондарський О.Г., доцент, к.т.н., **Руський С.І.**, студент групи БДН-41, **Ужегова О.А.**, доцент, к.т.н., **Ужегов С.О.**, асистент (Луцький національний технічний університет)

Bondarskiy O.H., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, **Ruskiy S.I.**, student of BDN-41, **Uzhehova O.A.**, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, **Uzhehov S.O.**, Assistant Professor (Lutsk National Technical University)

У статті викладено теоретичні основи та алгоритм розрахунку на міцність нормальних перерізів згинальних елементів таврового профілю, а також практичне його застосування для визначення площі робочої арматури у елементах ребристої плити покриття.

Calculating the strength of bending elements quite often reduce section (box, with round cavities, with oval cavities, U-shaped etc.) to the simplified equivalent design, which often has the shape of a T-beam with a shelf in the compressed area or I-beam. The article outlines some of the provisions of strength calculation of normal sections of bending T-Profile elements taking into account the requirements of SNIP and DSTU, the calculation algorithm and its practical application to the determination of the area of the working reinforcement in the elements of a ribbed slab.

Ключові слова: розрахунок, міцність, переріз, тавр, арматура.
Keywords: calculation, strength, section, T-beam, reinforcement.

При розрахунку згинальних елементів на міцність досить часто доводиться дійсний складний переріз (коробчастий, з круглими порожнинами, з овальними порожнинами, П-подібний тощо) зводити до спрощеного еквівалентного розрахункового, який найчастіше має форму тавра з полицею у стиснутій зоні або двотавра.

Розрахунковий тавровий профіль мають також елементи монолітного ребристого балкового перекриття: головні та другорядні балки, що працюють спільно з плитою, яка на них опирається і зв'язана монолітно.

Відстань між балками-ребрами може бути досить значна, тому не вся ширина стиснутої полиці тавра може включатися у роботу, а лише її частина (рис. 1), яку називають ефективною b_{eff} .

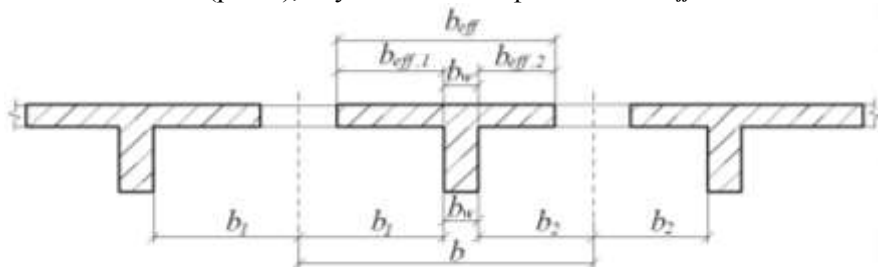


Рис. 1. Характеристики робочої ширини полиці

У таврових балках робоча ширина полиці [1, п. 5.3.2.1], яка враховується у розрахунках, залежить від розмірів стінки і полиці, виду навантаження, прольоту, умов опирання, поперечної арматури. Робочу ширину полиці необхідно враховувати на відстані l_0 між точками балки з нульовими моментами, які можна приблизно визначити за рис. 2.

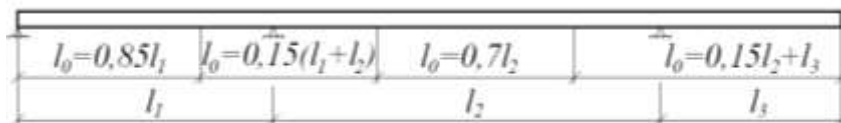


Рис. 2. До визначення відстані l_0

Робочу ширину полиці b_{eff} балки таврового профілю визначають за формулою:

$$b_{eff} = \sum b_{eff, i} + b_w ,$$

за таких умов: $l_3 \leq 0,5l_2$; $l_1 : l_2 : l_3 = 0,6 \dots 1,5$,

де $b_{eff, i} = 0,2b_i + 0,1 l_0 \leq 0,2 l_0$; $b_{eff, i} \leq b_i$.

Кожного разу, розпочинаючи розрахунок нормальних перерізів таврових профілів, визначають, де проходить нейтральна вісь: у полиці тавра, чи у ребрі (рис. 3).

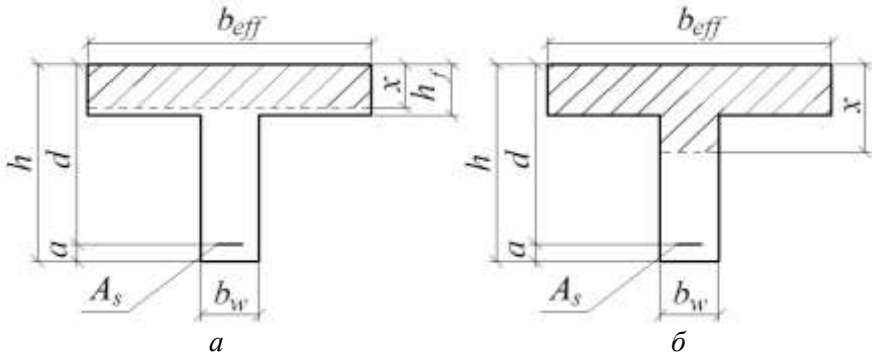


Рис. 3. Положення нейтральної осі в перерізах таврового профілю:
 а – нейтральна вісь у межах полиці тавра; б – нейтральна вісь у ребрі

Положення нейтральної осі визначають залежно від вихідних даних для розрахунку. Якщо відоме армування перерізу, то порівнюють зусилля, яке сприймає повністю стиснута полиця тавра і зусилля у розтягнутій арматурі:

- за умови $b_{eff} h_f f_{cd} \geq A_s f_{yd}$ нейтральна вісь у межах полиці тавра – $x \leq h_f$ і розрахунок виконують як прямокутного профілю шириною b_{eff} ;
- за умови $b_{eff} h_f f_{cd} < A_s f_{yd}$ нейтральна вісь перетинає ребро – $x > h_f$ і розрахунок виконують як таврового профілю.

При проектуванні перерізу за відомим згинальним моментом елемента положення нейтральної осі визначають, порівнюючи розрахунковий згинальний момент M з моментом M_f , який може сприйняти полиця тавра, вважаючи її цілком стиснутою при $x = h_f$ (момент M_f записано відносно осі, що проходить через центр ваги розтягнутої арматури):

$$M_f = b_{eff} \cdot h_f \cdot f_{cd} (d - 0,5h_f).$$

Якщо $M \leq M_f$, то $x \leq h_f$ і нейтральна вісь знаходиться у полиці. Розрахунок ведуть як для елементів прямокутного профілю.

Коли ж умова не виконується, тобто $M > M_f$, то нейтральна вісь проходить у ребрі. У цьому випадку тавровий переріз розбивають на два прямокутних блоки (рис. 4).

Площа арматури у розтягнутій зоні становить $A_s = A_{s1} + A_{s2}$. Кожен блок разом з відповідною арматурою A_{s1} та A_{s2} сприймає момент M_1 та M_2 , а разом $M = M_1 + M_2$.

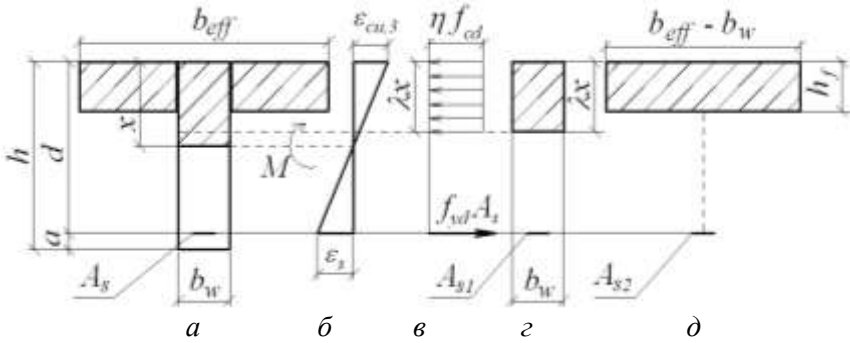


Рис. 4. До розрахунку елементів таврового профілю:
 а – переріз елемента; б – еюра деформацій; в – зусилля та напруження у перерізі; г – блок ребра перерізу; д – блок полиці

Момент M_2 , який сприймає блок полиці (рис.4, д), завжди відомий, його визначають за формулою:

$$M_2 = (b_{eff} - b_w) \cdot h_f f_{cd} (d - 0,5h_f).$$

Вираз для визначення M_2 дуже подібний до виразу M_f , тому можна підставити M_f в M_2 і отримаємо:

$$M_2 = M_f \frac{b_{eff} - b_w}{b_{eff}}.$$

Необхідна кількість арматури блока ребра перерізу A_{s1} обчислюється:

$$A_{s1} = \frac{M_1}{f_{yd}\zeta d}.$$

Необхідну кількість арматури блока полиці A_{s2} визначають з умови:

$$A_{s2} = \frac{M_2}{(d - 0,5h_f) f_{yd}}.$$

Площа всієї арматури розтягнутої зони становить:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = \frac{M_1}{f_{yd}\zeta d} + \frac{M_2}{(d - 0,5h_f) f_{yd}}.$$

Момент M_1 , який сприймає блок ребра (рис.4, г), становить:

$$M_1 = M - M_2.$$

Сучасні методи розрахунків у будівництві

Якщо $0,8x < h_f$, то приймають $0,8x_R = h_f$, $z_R = d - 0,5h_f$ і площу арматури A_s визначають за алгоритмом для розрахунку прямокутних перерізів шириною b_{eff} .

Алгоритм визначення площі перерізу поздовжньої арматури в згинальних елементах таврового профілю за умовою міцності нормальних перерізів

Вихідні дані	
M , кНм; b_w , мм; b_{eff} , мм; h , мм; h_f , мм; a , мм; клас бетону С, f_{cd} , МПа; клас арматури, f_{yd} , МПа; $\rho_{min} = 0,13\%$; $\rho_{max} = 4\%$; ξ_R	
1.	$d = h - a$
2.	$M_f = b_{eff} h_f f_{cd} (d - 0,5h_f)$
3.	Якщо $M_f < M$, то переходять до п.4. Якщо $M_f > M$, то $x < h_f$, отже, нейтральна вісь проходить у полиці і переріз розглядають як прямокутний з шириною $b = b_{eff}$.
4.	Момент, який сприймають звиси тавра $M_2 = (b_{eff} - b_w) h_f f_{cd} (d - 0,5h_f) = (b_{eff} - b_w) M_f / b_{eff}$
5.	Момент, який сприймає стиснута частина ребра тавра $M_1 = M - M_2$
6.	$\alpha_m = M_1 / b_w d^2 f_{cd}$
7.	За обчисленим в п.6 значенням α_m за таблицею коефіцієнтів визначають відповідні значення ξ та ζ .
8.	Якщо $\xi \leq \xi_R$, то продовжити обчислення з п. 9. Якщо $\xi > \xi_R$, то виконати розрахунок перерізу з подвійним армуванням.
9.	$A_s = M_1 / f_{yd} d \zeta + M_2 / (d - 0,5h_f) f_{yd}$.
10.	$\rho_{min} = 0,13\% < \rho = (A_s / bd) 100\% < 4\%$.
11.	Якщо $\rho_{min} < \rho < 4\%$, конструюють переріз. В інших випадках необхідно змінити вихідні дані і почати розрахунок з п.1.
12.	У стиснутій зоні встановлюють конструктивну арматуру за умови мінімального армування $A'_s = 0,0013 b_w d$.

Для практичного застосування наведеного алгоритму виконаємо проектування ребристої плити покриття.

Дійсний переріз плити – «П» подібний ребристий. Для розрахунку плити у поздовжньому напрямку необхідно дійсний переріз звести до спрощеного розрахункового еквівалентного. Таким перерізом є тавр з полицею вгорі. Висота перерізу плити $h = 300$ мм. Висота полиці плити $h_f = 30$ мм. Ширина ребра розрахункового перерізу $b_w = 180$ мм. Ширина полиці розрахункового перерізу $b_{eff} = 2950$ мм.

Виконаємо розрахунок плити у поздовжньому напрямку на міцність за нормальними перерізами. Вихідні дані: бетон класу C20/25, $f_{cd} = 14,5$ МПа, $M = 65,38$ кНм; $h = 300$ мм; $b_w = 180$ мм; $h_f = 30$ мм; $b_{eff} = 2950$ мм; $a = 50$ мм; клас арматури A400C, $f_{yd} = 365$ МПа; $\rho_{min} = 0,13\%$; $\rho_{max} = 4\%$; $\xi_R = 0,641$.

1. $d = h - a = 300 - 50 = 250$ мм;

2. $M_f = b_{eff} h_f f_{cd} (d - 0,5 h_f) = 2950 \cdot 30 \cdot 14,5 (250 -$

$0,5 \cdot 30) = 301,56$ кНм;

3. Виконується умова $M_f > M$, тому $x < h_f$, отже, нейтральна вісь

проходить у полиці і переріз розглядають як прямокутний з шириною $b = b_{eff}$, розрахунок продовжують за алгоритмом для прямокутних профілів:

2. $\alpha_m = M / b d^2 f_{cd} = 65,38 \cdot 10^6 / (2950 \cdot 250^2 \cdot 14,5) = 0,024$;

3. За обчисленим в п.2 значенням α_m визначають відповідні значення ξ та ζ : $\xi = 0,03$; $\zeta = 0,988$.

4. Умова $\xi \leq \xi_R$ виконується, бо $\xi = 0,03 < \xi_R = 0,641$.

5. Якщо $\zeta < 0,95$, то продовжити з п. 6. Умова не виконується, оскільки $\zeta = 0,988 > 0,95$. Приймаємо $\zeta = 0,95$.

6. $A_s = M / f_{yd} d \zeta = 65,38 \cdot 10^6 / (365 \cdot 250 \cdot 0,95) = 754,2$ мм².

Підбирають армування: 2Ø22A400C, $A_s = 759,9$ мм².

7. $\rho_{min} = 0,13\% < \rho = (A_s / b d) 100\% < 4\%$.

$\rho = (759,9 / 180 \cdot 250) 100\% = 1,7\%$.

8. Якщо $\rho_{min} < \rho < 4\%$, конструюють переріз.

Умова виконується, робоча арматура підібрана правильно.

9. У стиснутій зоні арматура за розрахунком не потрібна, її встановлюють конструктивно за умови мінімального армування

Сучасні методи розрахунків у будівництві

$A'_s = 0,0013bd = 0,0013 \cdot 180 \cdot 250 = 58,5 \text{ мм}^2$. За сортаментом підбирають армування: 2Ø8A240С, $A'_s = 100,5 \text{ мм}^2$.

Рєбриста плита покриття «П» подібного перерізу має по краях два поздовжні ребра і з кроком 1,5 м п'ять поперечних ребер, два з яких торцеві, а три – рядові. Поперечні ребра називають ребрами жорсткості, оскільки саме вони забезпечують жорсткість плити і є опорами для полиці плити. Кожне поперечне ребро монолітно зв'язане з поздовжніми ребрами. Розрахункова схема поперечного ребра – однопролітна балка, навантажена рівномірно розподіленим погонним навантаженням, защемлена на краях, тому максимальні значення моментів спостерігаються на опорах і у прольоті.

Розрахунок поперечного ребра для пролітного перерізу виконуємо за наведеним алгоритмом. Вихідні дані: бетон класу С20/25, $f_{cd} = 14,5 \text{ МПа}$, $M = 5,15 \text{ кНм}$; $h = 150 \text{ мм}$; $b_w = 70 \text{ мм}$; $h_f = 30 \text{ мм}$; $b_{eff} = 757,8 \text{ мм}$; $a = 30 \text{ мм}$; клас арматури А400С, $f_{yd} = 365 \text{ МПа}$; $\rho_{min} = 0,13\%$; $\rho_{max} = 4\%$; $\xi_R = 0,641$, $\alpha_R = 0,381$.

1. $d = h - a = 150 - 30 = 120 \text{ мм}$;

2. $M_f = b_{eff} h_f f_{cd} (d - 0,5 h_f) = 757,8 \cdot 30 \cdot 14,5 (120 -$

$0,5 \cdot 30) = 34,6 \text{ кНм}$;

3. Виконується умова $M_f > M$, тому $x < h_f$, отже, нейтральна вісь проходить у полиці і переріз розглядають як прямокутний з шириною $b = b_{eff}$, розрахунок продовжують за алгоритмом для прямокутних профілів:

2. $\alpha_m = M / b d^2 f_{cd} = 5,15 \cdot 10^6 / (757,8 \cdot 120^2 \cdot 14,5) = 0,032$;

3. За обчисленим в п.2 значенням α_m визначають відповідні значення ξ та ζ : $\xi = 0,042$; $\zeta = 0,984$.

4. Умова $\xi \leq \xi_R$ виконується, бо $\xi = 0,042 < \xi_R = 0,641$.

5. Якщо $\zeta < 0,95$, то продовжити з п. 6. Умова не виконується, оскільки $\zeta = 0,982 > 0,95$. Приймаємо $\zeta = 0,95$.

6. $A_s = M / f_{yd} d \zeta = 5,15 \cdot 10^6 / (365 \cdot 120 \cdot 0,95) = 123,8 \text{ мм}^2$. За сортаментом підбирають армування: Ø14A400С, $A_s = 153,9 \text{ мм}^2$.

7. $\rho_{min} = 0,13\% < \rho = (A_s / b d) 100\% < 4\%$.

$\rho = (153,9 / 70 \cdot 120) 100\% = 1,8\%$.

8. Якщо $\rho_{min} < \rho < 4\%$, конструюють переріз.

Умова виконується, робоча арматура підібрана правильно.

Розрахунок поперечного ребра для опорного перерізу виконуємо як для елементів прямокутного профілю за тими ж вихідними даними.

1. $d = h - a = 150 - 30 = 120 \text{ мм};$

2. $\alpha_m = M / bd^2 f_{cd} = 5,15 \cdot 10^6 / (70 \cdot 120^2 \cdot 14,5) = 0,352;$

3. За обчисленим в п.2 значенням α_m визначають відповідні значення ξ та ζ : $\xi = 0,57$; $\zeta = 0,772$.

4. Умова $\xi \leq \xi_R$ виконується, бо $\xi = 0,57 < \xi_R = 0,641$.

5. Якщо $\zeta < 0,95$, то продовжити з п.6. Умова виконується, $\zeta = 0,772$.

6. $A_s = M / f_{yd} d \zeta = 5,15 \cdot 10^6 / (365 \cdot 120 \cdot 0,772) = 152,3 \text{ мм}^2$. За сортаментом підбирають армування: $\text{Ø}14\text{A}400\text{C}$, $A_s = 153,9 \text{ мм}^2$.

7. $\rho_{min} = 0,13\% < \rho = (A_s / bd) 100\% < 4\%$.

$\rho = (153,9 / 70 \cdot 120) 100\% = 1,8\%$.

8. Якщо $\rho_{min} < \rho < 4\%$, конструюють переріз.

Умова виконується, робоча арматура підібрана правильно.

9. У стиснутій зоні арматура за розрахунком не потрібна.

1. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення / Мінрегіонбуд України: ДБН В.2.6-98:2009. – Чинні від 01.06.11. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

2. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування / Мінрегіонбуд України: ДСТУ Б В.2.6.-156: 2010 – Чинний від 01.06.11. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с. – Національний стандарт України.

3. ДСТУ 3760-2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. – К.: Мінбуд України, 2006. – 20 с.

4. Eurocode-2: Design of concrete structures. – Part 1-1: General rules and rules for building: EN 1992-1-1. – [Final draft, December, 2004]. – Brussels: CEN, – 2004. – 225 р. – Європейський стандарт.

5. Мурашко Л.А., Колякова В.М., Сморгалов Д.В. Розрахунок за міцністю перерізів, нормальних та похилих до поздовжньої осі, згинальних залізобетонних елементів за ДБН В.2.6-98:2009: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2012. – 62 с.

6. Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6-98:2009 у порівнянні з розрахунком за СНиП 2.0301-84* і EN 1992-1-1 (Eurocode 2) / В.М. Бабаєв, А.М. Бамбура, О.М. Пустовойтов та ін.; за заг. ред. В.С. Шмуклера. – Харків: Золоті сторінки, 2015. – 208 с.