

Зміст

Вступ.....	4
1 Способи підсилення сталевих конструкцій	5
1.1 Сутність, причини та основні способи підсилення сталевих конструкцій.....	5
1.2 Зміна умов експлуатації та непряме підсилення.....	6
1.3 Підсилення способом зміни конструктивної схеми.....	7
1.4 Підсилення конструкцій збільшенням перерізу елементів.....	12
1.5 Підсилення з'єднань сталевих конструкцій.....	18
2 Особливості проектування та розрахунку підсилення способом збільшення перерізу	22
2.1 Особливості проектування підсилення.....	22
2.2 Особливості розрахунку підсилення сталевих конструкцій	23
2.3 Визначення навантажень та впливів.....	26
3 Розрахунок підсилення балок.....	34
3.1 Загальні положення з розрахунку.....	34
3.2 Розрахунок балок підсилення за міцністю.....	35
3.3 Розрахунок приєднання елементів підсилення.....	39
3.4 Розрахунок підсилених балок за деформаціями.....	40
3.5 Приклад розрахунку підсилення балок.....	41
4 Розрахунок підсилення стержнів ферм та колон.....	52
4.1 Розрахунок підсилення розтягнутих стержнів.....	52
4.2 Розрахунок центрально стиснених стержнів та колон.....	53
4.3 Врахування випадкових ексцентриситетів під час розрахунку стиснених стержнів та колон	54
4.4 Перевірка міцності та стійкості стержнів перед підсиленням. Вибір схеми підсилення.....	55
4.5 Розрахунок приєднання елементів підсилення.....	57
4.6 Розрахунок підсилення позацентрово-стиснених стержнів та колон.....	58
4.7 Приклад розрахунку стиснених стержнем ферм.....	61
Перелік літератури.....	72
Додаток	73
Додаток	81
Додаток	92
Додаток	103

Приклад розрахунку підсилення балок згідно з Єврокодом 3

Приклад 1. Розрахунок підсилення прокатної балки настилу робочого майданчика.

Постановка задачі. Через зміну технологічного процесу під час реконструкції цеха характеристичне значення тривалого (від обладнання) навантаження на робочий майданчик з металевим настилом товщиною

$t_1 = 10\text{мм}$ та розміром комірки $12 \times 6\text{м}$ (рис. 1) збільшується на 25%, тобто q_0 замість 20кН/м^2 становитиме 25кН/м^2 . Балки настилу виконані з прокатного двотавра №30, головні балки — із широкополичкового двотавра №70Ш1, крок балок настилу $a = 1\text{м}$. Матеріал конструкції — С235 згідно ДСТУ EN-10025-2 із розрахунковим опором $f_{y0} = 235\text{МПа}$ (фасон).

Під час обстеження конструкцій недопустимих відхилень від проекту, дефектів та пошкоджень не виявлено.

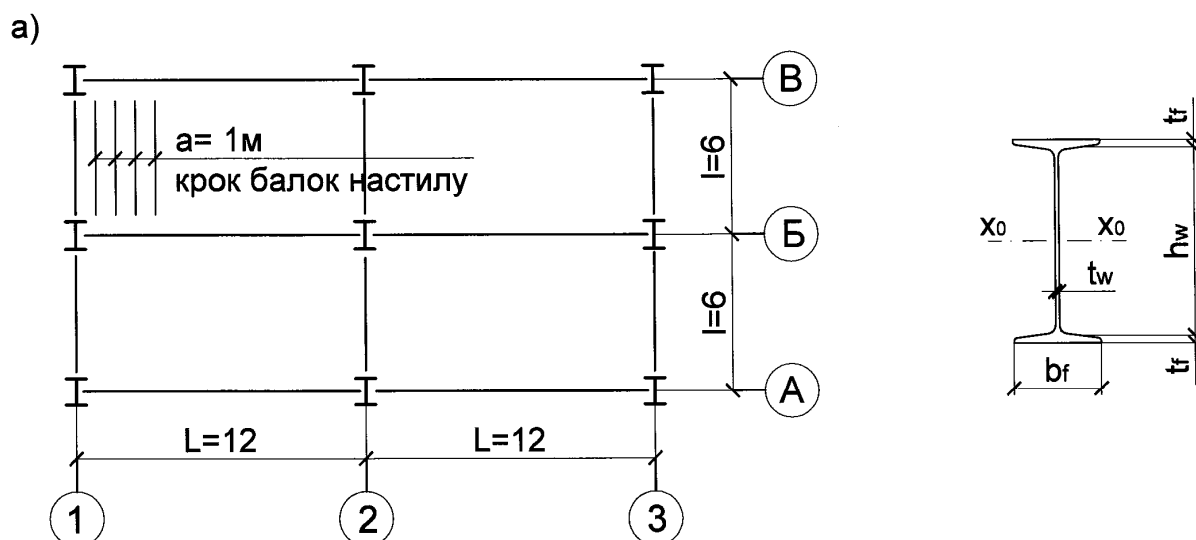


Рис. 1 — Робочий майданчик: а — план; б — переріз балки настилу

Новий технологічний процес вимагає улаштування монолітної залізобетонної плити товщиною $t_2=60\text{мм}$. Запропоновано існуючий сталевий настил не демонтувати, а використати його як опалубку при бетонуванні плити та включити в роботу плити в якості зовнішнього армування. Навантаження, що діє на майданчик, статичне. Коефіцієнт надійності за призначенням споруди $\gamma_n=0,95$, коефіцієнт умов роботи балок $\gamma_s=1$.

Необхідно підсилити балку настилу.

2. Геометричні характеристики балки настилу. У табл. 1 наведено розміри перерізу балки, яку необхідно підсилити. Балку виконано із двотавра №30. Таблицю 1 складено відповідно до табл. А.1 додатка А.

3. Обґрунтування необхідності підсилення балки настилу. Розрахункову схему балки наведено на рис. 2.

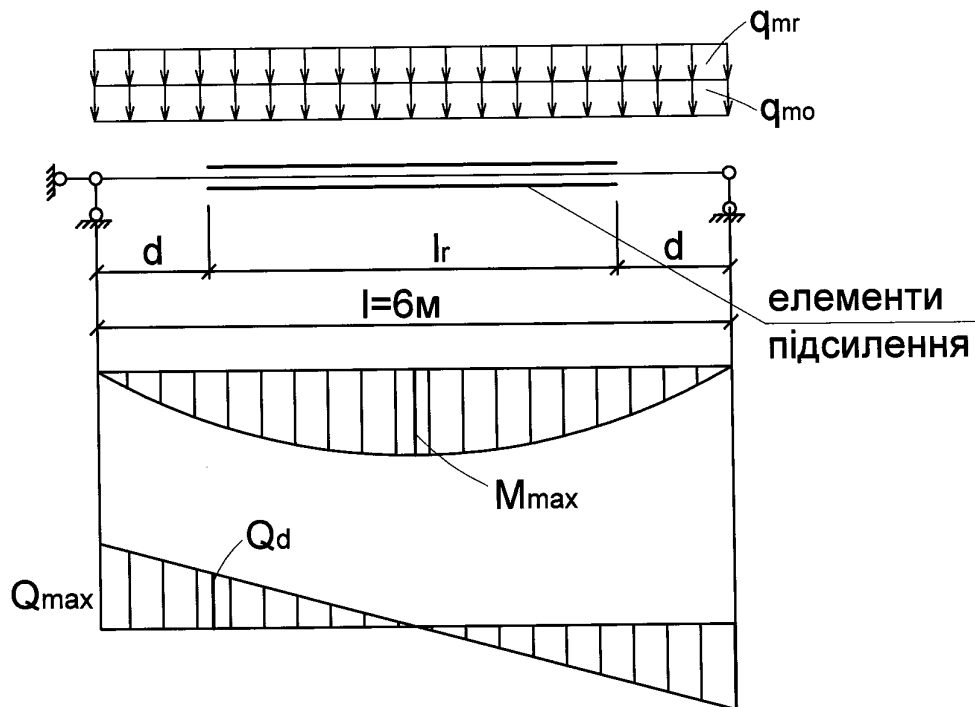


Рис. 2 — Схема підсилення балки та зусилля в ній

Навантаження від власної ваги існуючого сталевого настилу

$$q_1 = t_1 \cdot \rho_1 \cdot 10 = 0,01 \cdot 7,85 \cdot 10 = 0,785 \text{кН} / \text{м}^2$$

навантаження від власної ваги доданого залізобетонного настилу

$$q_2 = t_2 \cdot \rho_2 \cdot 10 = 0,06 \cdot 2,5 \cdot 10 = 1,5 \text{кН} / \text{м}^2$$

де ρ_1 і ρ_2 — густина (т/м³) відповідно сталі та залізобетону.

Граничне розрахункове значення навантаження на балку настилу

$$q_m = \left(q_1 \cdot \gamma_{fm1} + q_2 \cdot \gamma_{fm2} + q_0 \cdot \gamma_{fm3} \right) \cdot a \cdot \gamma_n =$$

$$= (0,785 \cdot 1,05 + 1,5 \cdot 1,3 + 25 \cdot 1,2) \cdot 1 \cdot 0,95 = 31,14 \text{ кН / м}$$

Таблиця 1 — Геометричні характеристики підсилюваного двотавра.

№ з/п	Позначення	Формула	Од.вим.	Значення
1	h	сортамент	см	30
2	bf	сортамент	см	13,5
3	tf	сортамент	см	1,02
4	tw	сортамент	см	0,65
5	hw	$h - 2t_f$	см	27,96
6	A _f	$b_f t_f$	см ²	13,77
7	A _w	$t_w h_w$	см ²	18,17
8	A ₀	сортамент	м ² ^c	46,5
9	W _{хо}	сортамент	см ³	472
10	I _{хо}	сортамент	см ⁴	7080
11	yo	$\frac{\frac{A_w}{2} \left(\frac{h_w}{4} + t_f \right) + A_f \frac{t_f}{2}}{\frac{A_w}{2} + A_f}$	см	3,48
12	m	сортамент	кг/м	36,5

Згинальний момент у балці

$$M_{\max} = \frac{q_m \cdot l^2}{8} = \frac{31,14 \cdot 6^2}{8} = 140,13 \text{ кНм}$$

Перевірку міцності балки настилу виконують за формулою

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{c_x \cdot W_{хо}} \leq f_{yo} \cdot \gamma_c$$

де $W_{хо} = 472 \text{ см}^3$ — момент опору перерізу (табл. 1); $c_x = 1,12$ — коефіцієнт, який враховує пластичну роботу матеріалу.

$$\sigma_{\max} = \frac{140,13 \cdot 100}{1,12 \cdot 472} = 26,5 \text{ кН / см}^2$$

$$f_{yo} \cdot \gamma_c = 23,5 \cdot 1 = 23,5 \text{кН} / \text{см}^2 ;$$

$$26,5 \text{кН} / \text{см}^2 > 23,5 \text{кН} / \text{см}^2.$$

Умова міцності не виконується. Необхідне підсилення балки, яке виконаємо методом збільшення перерізу.

4. Навантаження, що діють на балку до та після підсилення. Підсилення балки будемо проводити при частковому розвантаженні — за відсутності змінного тривалого навантаження на перекриття (обладнання). Монолітну залізобетонну плиту улаштовують після підсилення балок. Навантаження, що діють на момент підсилення, буде складатись із власної ваги сталевго настилу та власної ваги самих балок настилу. Лінійна густина двотавру №30 $m = 36,5 \text{кг} / \text{м} = 0,365 \text{кН} / \text{м}$ (см. табл. 1).

Граничне розрахункове значення навантаження на балку настилу на момент підсилення

$$q_{mo} = q_1 \cdot a \cdot \gamma_{fm1} \cdot \gamma_n + m \cdot \gamma_{fm1} \cdot \gamma_n = 0,785 \cdot 1 \cdot 1,05 \cdot 0,95 + 0,365 \cdot 1,05 \cdot 0,95 = 1,15 \text{кН} / \text{м}$$

Граничне розрахункове навантаження на балку, що прикладається після підсилення

$$q_{mr} = \left(q_2 \cdot \gamma_{fm2} + q_0 \cdot \gamma_{fm3} \right) a \cdot \gamma_n = (1,5 \cdot 1,3 + 25 \cdot 1,2) \cdot 1 \cdot 0,95 = 30,35 \text{кН} / \text{м}$$

Для розрахунку балок за деформаціями визначаємо експлуатаційне значення розрахункових навантажень, що діють на балку до та після підсилення.

$$q_{eo} = q_1 \cdot a \cdot \gamma_{fe1} \cdot \gamma_n + m \cdot \gamma_{fe1} \cdot \gamma_n = 0,785 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,95 + 0,365 \cdot 1 \cdot 0,95 = 1,09 \text{кН} / \text{м}$$

$$q_{er} = \left(q_2 \cdot \gamma_{fe2} + q_0 \cdot \gamma_{fe3} \right) a \cdot \gamma_n = (1,5 \cdot 1 + 25 \cdot 1) \cdot 1 \cdot 0,95 = 26,44 \text{кН} / \text{м}$$

5. Схема підсилення балок, матеріал для елементів підсилення.

Для підсилення балки настилу робочого майданчика використаємо схему, що наведена на рис. 3. Для підсилення стисненої верхньої зони перерізу балки використовуються два кутники $b_{xt} = 50 \times 5 \text{мм}$, для підсилення розтягнутої зони — лист $b_{xt} = 150 \times 8 \text{мм}$.

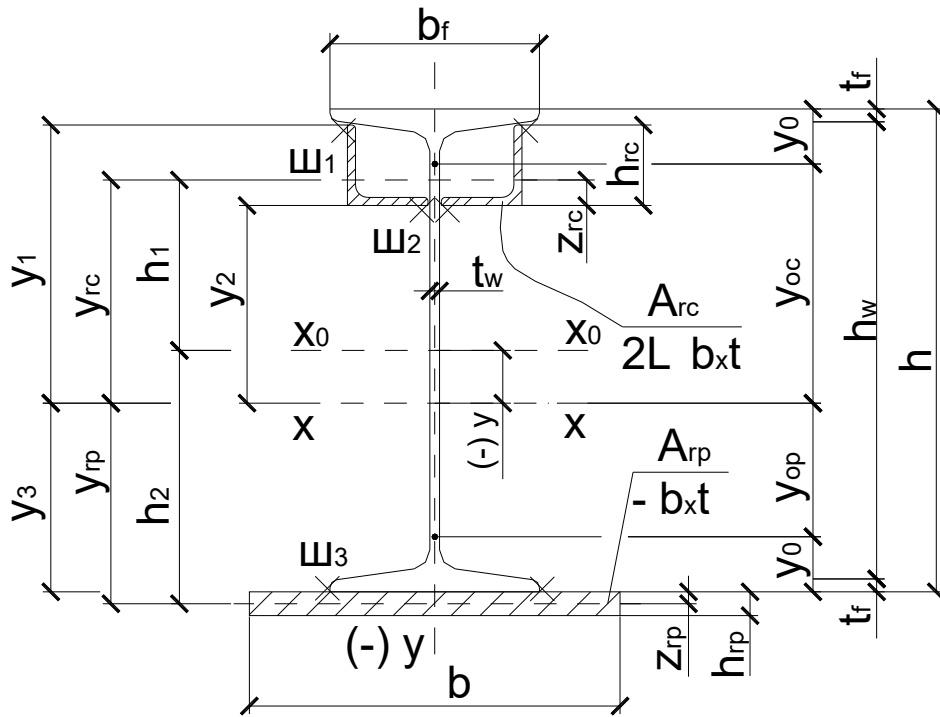


Рис. 3 — Схема підсилення балки

Довжина елементів підсилення l_r складає приблизно $(2/3)l$, де $l=6\text{м}$ — прольот балки (см. рис. 2), $l_r=(2/3)\cdot 6=4\text{м}$. Відстань від опори до початку елементів підсилення $d=(l-l_r)/2=1\text{м}$.

Елементи підсилення проектуємо із сталі марки С245 із розрахунковим опором $f_{yr}=240\text{МПа}$. Коефіцієнт α визначаємо за формулою

$$\alpha = \frac{f_{yr}}{f_{y0}} ;$$

$$\alpha = 240 / 235 = 1,02 .$$

Геометричні характеристики елементів підсилення та підсиленого перерізу балки наведено в табл. 2, яку складено відповідно до табл. А.2 додатка А.

6. Зусилля в балці до та після підсилення. Епюри згинальних моментів та поперечних сил у балці на двох опорах наведені на рис. 2.

Максимальні моменти у балці до та після підсилення від граничних значень навантажень визначаються за формулами:

$$M_0 = \frac{q_{mo} \cdot l^2}{8},$$

$$M_r = \frac{q_{mr} \cdot l^2}{8},$$

$$M_0 = \frac{1,15 \cdot 6^2}{8} = 5,18 \text{кНм},$$

$$M_r = \frac{30,35 \cdot 6^2}{8} = 136,58 \text{кНм}.$$

Повний момент у балці

$$M = M_0 + M_r = 5,18 + 136,58 = 141,76 \text{кНм}$$

Максимальна поперечна сила в підсиленому перерізі балки, визначається за формулою:

$$Q_d = (q_{mo} + q_{mr}) \left(\frac{l}{2} - d \right)$$

$$Q_d = (1,15 + 30,35) \cdot (6/2 - 1) = 63,0 \text{кН}$$

7. Напруження в балці та коефіцієнти, які характеризують їх рівень до та після підсилення. Визначаємо максимальні нормальні напруження в балці до підсилення за формулою:

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_{x0}};$$

$$\sigma_0 = \frac{5,18 \cdot 100}{472} = 1,10 \text{кН / см}^2$$

і значення коефіцієнта β_0 , що характеризує рівень напруженості конструкції до підсилення та визначається за формулою:

$$\beta_0 = \frac{\sigma_0}{f_{y0}};$$

$$\beta_0 = \frac{1,10}{23,5} = 0,046$$

За формулою $\tau_d = \frac{1,5Q_d}{t_w \cdot h_w}$ визначаємо максимальні дотичні напруження в підсиленому перерізі балки

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot 63,0}{0,65 \cdot 27,96} = 5,20 \text{ кН / см}^2$$

де $t_w=0,65\text{см}$ і $h_w=27,96\text{см}$ — відповідно товщина та висота стінки балки (см. табл. 1).

За формулою $\eta = \frac{\tau_d}{R_{s,0}}$ визначаємо значення коефіцієнта η

$$\eta = \frac{5,2}{0,58 \cdot 23,5} = 0,38$$

Оскільки $\eta < 0,4$ коефіцієнт $\sigma_t = 1$.

8. Перевірка міцності підсиленої балки. Залежно від умов експлуатації та допустимості пластичних деформацій конструкція, що підсилюється, — прокатна балка робочого майданчика — належить до IV класу. Пластичні деформації враховуються відповідно до критерія розвинених пластичних деформацій (РПД). Пластичну роботу враховують коефіцієнтом γ_M . У нашому випадку $A_{rp} > A_{rc}$, значення коефіцієнта обчислюється за формулою:

$$\gamma_M = 0,95 - 0,1(\alpha + \beta_0 - 1)$$

$$\gamma_M = 0,95 - 0,1(\alpha + \beta_0 - 1) = 0,95 - 0,1(1,02 + 0,046 - 1) = 0,943$$

Перевірку міцності підсиленої балки виконують за формулою:

$$M \leq [M] \cdot \sigma_t \cdot \gamma_c$$

де $M=141,76\text{кНм}$, $\sigma_t=1$, $\gamma_c=1$.

$$\begin{aligned} [M] &= \left(A_{oc} \cdot y_{oc} + A_{op} \cdot y_{op} + \alpha \cdot \left(A_{rc} \cdot y_{rc} + A_{rp} \cdot y_{rp} \right) \right) \cdot f_{y0} \cdot \gamma_M = \\ &= (24,474 \cdot 12,32 + 22,026 \cdot 10,72 + 1,02(9,6 \cdot 9,6 + 12 \cdot 16,2)) \cdot 23,5 \cdot 0,943 = \\ &= 18430,7 \text{ кНсм} = 184,31 \text{ кНм} \end{aligned}$$

Остаточо маємо

$$141,76 \text{ кНм} < 184,31 \text{ кНм.}$$

Умова міцності виконується.

9. Розрахунок зварних швів, які прикріплюють елементи підсилення. Приварювання елементів підсилення рекомендується виконувати переривчастими (шпонковими) швами. Катети швів приймаємо мінімальними (табл. Б.3 додатока Б). При товщині зварюваних елементів 5...10мм приймаємо катет швів $k_f=5\text{мм}$. Відстань між шпонками у стисненій зоні балки

$$a_{wc} = 40i_{rc} = 40 \cdot 1,42 = 56,80\text{см}$$

Приймаємо $a_{wc}=50\text{см}$. Радіус інерції i_{rc} та статичний момент S_{rc} елементів підсилення, розміщених у стисненій зоні наведені в табл. 2.

Зсувна сила у зварних швах стисненої зони:
$$T_{rc} = \frac{Q_d \cdot S_r}{I_{xn}} \cdot a_w ;$$

$$T_{rc} = \frac{63 \cdot 107,5}{11166,82} \cdot 50 = 30,3\text{кН}$$

Максимальну довжину безперервної ділянки зварювального шва (шпонки) визначають за формулою

$$l_{wc} = \frac{T}{n \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} + 1\text{см}$$

де n — число швів, які приварюють елементи підсилення; $n=4$ для елементів підсилення з площею A_{rc} і $n=2$ для елементів підсилення з площею A_{rp} (рис. 3); k_f — катет шва, який рекомендується приймати мінімальним (табл. Б.3 додатока Б); β_f — коефіцієнт глибини провару; для ручного зварювання $\beta_f=0,7$; R_{wf} — розрахунковий опір металу шва, приймається залежно від типу електрода (табл. Б.2 додаток Б).

$$l_{wc} = \frac{30,3}{4 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1} + 1 = 2,2\text{см}$$

Приймаємо довжину шпонкового шва $l_{wc}=50\text{мм}$.

Умовна осьова сила:

$$N_{fic} = 0,5 \cdot A_{rc} \cdot R_{yr} = 0,5 \cdot 9,6 \cdot 24 = 115,2\text{кН}$$

Довжину кінцевих ділянок шпонкових швів визначають за формулою:

$$l_{wk} = \frac{(T + N_{fic})}{n \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см}$$

$$l_{wk} = \frac{26 + 115,2}{4 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1} + 1 = 6,6 \text{ см}$$

Приймаємо довжину кінцевої ділянки шва $l_{wk} = 70 \text{ мм}$.

Відстань між шпонками у розтягненій зоні

$$a_{wp} = 80 \cdot i_{rp} = 80 \cdot 0,23 = 18,4 \text{ см}$$

Приймаємо $a_{wp} = 18 \text{ см}$. Радіус інерції i_{rp} та статичний момент S_{rp} елементів підсилення, розміщених у розтягненій зоні наведені в табл. 2.

Зсувна сила в зварних швах розтягнутої зони

$$T_{rp} = \frac{Q_d \cdot S_{rp}}{I_{xn}} \cdot a_{wp};$$

$$T_{rp} = \frac{63 \cdot 175,2}{11166,82} \cdot 18 = 17,8 \text{ кН}$$

Довжина ділянки шва (шпонки):

$$l_{wp} = \frac{T_{rp}}{n \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см}$$

$$l_{wp} = \frac{17,8}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1} + 1 = 2,6 \text{ см}$$

Приймаємо довжину шпонкового шва $l_{wp} = 50 \text{ мм}$.

Умовна осьова сила:

$$N_{fic} = 0,5 \cdot A_{rp} \cdot R_{yr} = 0,5 \cdot 12 \cdot 24 = 144 \text{ кН}$$

Довжина кінцевої ділянки шва:

$$l_{wp1} = \frac{T_{rp} + N_{fic}}{n \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см};$$

$$l_{wp1} = \frac{17,8 + 144}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 1} + 1 = 14 \text{ см}$$

10. Прогин балки від навантаження, що діє до та після підсилення. Оскільки при натурному обстеженні балок початковий прогин не виявлено, деформації балок від навантаження, що діяло до підсилення, визначається за формулою:

$$f_0 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{e0} \cdot l^4}{E \cdot I_{x0}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,09 \cdot 10^{-2} \cdot 6^4 \cdot 10^8}{2,1 \cdot 10^4 \cdot 7080} = 0,12 \text{ см}$$

де q_{e0} — експлуатаційне розрахункове значення навантаження до підсилення; $E=2,1 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2$ — модуль пружності сталі; I_{x0} — момент інерцій двотавра, що підсилюється (рис. 1).

Прогин балки від навантаження, прикладеного після підсилення визначається за формулою:

$$f_g = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{er} \cdot l^4}{E \cdot I_{xn}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{26,44 \cdot 10^{-2} \cdot 6^4 \cdot 10^8}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 11166,82} = 1,9 \text{ см}$$

де q_{er} — експлуатаційне значення навантаження, що діє після підсилення; I_{xn} — момент інерції підсиленого перерізу балки (см. табл. 2).

12. Прогин балки від приварювання елементів підсилення. Значення цього прогину визначається за формулою: $f_w = C \sum n_i \cdot y_i \cdot \alpha_i$.

Параметр повздовжнього скорочення елементів від накладання шва

$$V = 0,04 \cdot k_f^2 = 0,04 \cdot 0,5^2 = 0,01;$$

де $k_f=5 \text{ мм}$ — прийнятий катет кутового шва.

$$C = \frac{l_r(2l - l_r) \cdot V}{8 \cdot I_{xn}}$$

Коефіцієнт C визначається за формулою

де l — довжина балки; l_r — довжина елементів підсилення (рис.1);

V — параметр повздовжнього зменшення елемента від накладання шва

$$C = \frac{400(2 \cdot 600 - 400) \cdot 0,01}{8 \cdot 11166,82} = 0,0358$$

Значення коефіцієнта α для швів, які прикріплюють елементи підсилення

в стисненій зоні:
$$\alpha_c = \frac{l_{wc}}{a_{wc}} = \frac{5}{50} = 0,1$$

Теж саме для швів у розтягненій зоні: $\alpha_p = \frac{l_{wp}}{a_{wp}} = \frac{5}{18} = 0,28$

Значення пі та уі наведено у табл. 2.

Таблиця 2 — Геометричні характеристики елементів підсилення та підсиленого перерізу балки

з/п	Позначення	Обчислення	Од. вим.	Значення
	Arc	$2A_{y2} = 2 \cdot 4,8$	см ²	9,6
	Arp	$b \cdot t = 15 \cdot 0,8$	см ²	12,0
	hrc	$B_{y2} = 5$	см	5
	hrp	$t = 0,8$	см	0,8
	zrc	$z_{0y2} = 1,42$	см	1,42
	zrp	$\frac{t}{2} = \frac{0,8}{2}$	см	0,4
	Irc	$2I_{xy2} = 2 \cdot 11,2$	см ⁴	22,4
	Irp	$\frac{bt^3}{12} = \frac{15 \cdot 0,8^3}{12}$	см ⁴	0,64
	irc	$i_{rc} = 1,42$	см	1,42
0	irp	$\sqrt{\frac{I_{rp}}{A_{rp}}} = \sqrt{\frac{0,64}{12}}$	см	0,23
1	h1	$\frac{h_w}{2} - h_{rc} + z_{rc} = \frac{27,96}{2} - 5 + 1,42$	см	10,4
2	h2	$\frac{h}{2} + z_{rp} = \frac{30}{2} + 0,4$	см	15,4
3	y	$\frac{9,6 \cdot 12,4 - 12 \cdot 15,4}{46,5 + 9,6 + 12}$	см	0,8
4	урс	$h_1 + y = 10,4 + 0,8$	см	11,2
5	урр	$h_2 - y = 15,4 - 0,8$	см	14,6
6	уос	$\frac{h}{2} - y_0 + y = \frac{30}{2} - 3,48 + 0,8$	см	12,32
7	уор	$\frac{h}{2} - y_0 - y = \frac{30}{2} - 3,48 - 0,8$	см	10,72
з/п	Позначення	Обчислення	Од. вим.	Значення

8	Ao c	$0,5(46,5 - 1,02(9,6 - 12))$	см2	24,474
9	Ao p	$0,5(46,5 + 1,02(9,6 - 12))$	см2	22,026
0	Src	$A_{rc} \cdot y_{rc} = 9,6 \cdot 11,2$	см3	107,5
1	Srp	$A_{rp} \cdot y_{rp} = 12,0 \cdot 14,6$	см3	175,2
2	Ixn	$I_{x0} + A_0 \cdot y^2 + I_{rc} + A_{rc} \cdot y_{rc}^2 + I_{rp} + A_{rp} \cdot y_{rp}^2 =$ $7080 + 46,5 \cdot 0,8^2 + 22,4 + 9,6 \cdot 9,6^2 + 0,64 + 12 \cdot 14,6^2$	см4	11166,82
3	y1	$y_{rc} + h_{rc} - z_{rc} = 11,2 + 5 - 1,42$	см	14,78
4	y2	$y_{rc} - z_{rc} = 11,2 - 1,42$	см	9,78
5	y3	$y_{rp} - z_{rp} = 14,6 - 0,4$	см	14,2
6	ξ1	$\frac{M_0 \cdot y_1}{I_{x0} \cdot R_{y0}} = \frac{3,69 \cdot 100 \cdot 14,78}{7080 \cdot 23,5}$	—	0,033
7	ξ2	$\frac{M_0 \cdot y_2}{I_{x0} \cdot R_{y0}} = \frac{3,69 \cdot 100 \cdot 9,78}{7080 \cdot 23,5}$	—	0,022
8	ξ3	$\frac{M_0 \cdot y_3}{I_{x0} \cdot R_{y0}} = \frac{3,69 \cdot 100 \cdot 14,2}{7080 \cdot 23,5}$	—	0,032
9	n1	$1 - \frac{1 \cdot \ln(1 - \xi_1)}{\ln 2} = 1 - \frac{1 \cdot \ln(1 - 0,033)}{\ln 2}$	—	1,048
0	n2	$1 - \frac{1 \cdot \ln(1 - \xi_2)}{\ln 2} = 1 - \frac{1 \cdot \ln(1 - 0,022)}{\ln 2}$	—	1,032
1	n3	$1 - \frac{1 \cdot \ln(1 - \xi_3)}{\ln 2} = 1 - \frac{1 \cdot \ln(1 - 0,032)}{\ln 2}$	—	1,047

Прогин від приварювання елементів підсилення

$$f_w = 0,0358 \cdot (2 \cdot 1,048 \cdot 14,78 \cdot 0,1 + 2 \cdot 1,032 \cdot 9,78 \cdot 0,1 - 2 \cdot 1,047 \cdot 14,2 \cdot 0,28) = -0,11$$

Прогин від приварювання елементів підсилення виявився протилежного знака відносно до прогинів від дії навантажень.

13. Перевірка жорсткості підсиленої балки. Сумарний прогин визначається

за формулою: $f = f_0 + f_g + f_w$;

$$f = 0,12 + 1,9 - 0,11 = 1,91 \text{ см}$$

Жорсткість балки перевіряється за формулою $\frac{f}{l} \leq \left[\frac{f}{l} \right]$:

$$\frac{f}{l} = \frac{1,91}{600} = 0,00317$$

Граничний відносний прогин $[f/l]$ для балки настилу становить $1/250=0,004$. Відносний прогин балки менший за граничний; отже, умова міцності виконується.

Приклад розрахунку кроквяної ферм

1. Постановка задачі. За новим нормами [1] снігове навантаження на покриття будівель збільшилося. Схему сталеві ферми наведено на рис. 4.

Матеріал конструкції — сталь марки ВСтЗпсб-1 з розрахунковим опором $f_{y0}=240\text{МПа}$. Ферма виконана із парних кутників. На ферму діє постійне навантаження та навантаження від ваги снігового покриву.

Під час обстеження не виявлено недопустимих відхилень від проекту, дефектів та пошкоджень.

Статичний розрахунок ферми показав, що зусилля у верхньому поясі ферми від дії постійного навантаження $N_1=560\text{кН}$, від розрахункового снігового навантаження відповідно до діючих норм [1] $N_2= 152\text{кН}$.

Верхній пояс ферми виконано із двох рівнополичкових кутників 125x9мм; товщина фасонки $t=10\text{мм}$. Коефіцієнт умови роботи стержня $\gamma_c = 0,95$.

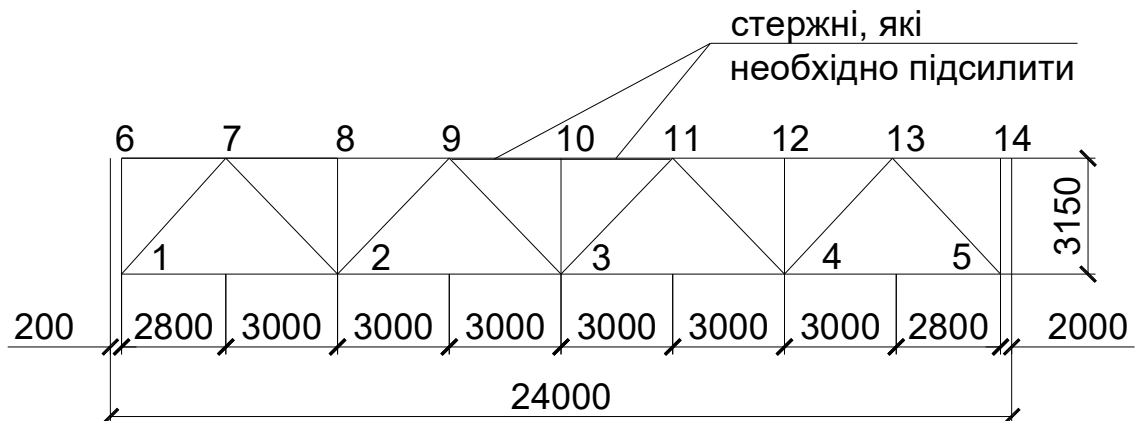


Рис. 4 — Схема кроквяної ферми.

Необхідно підсилити середні панелі верхнього пояса.

2. Геометричні характеристики перерізу, який підсилюється. Переріз верхнього пояса — два кутники $B_{0 \times t_0} = 125 \times 9$ мм. Розміри перерізу та його геометричні характеристики наведені в табл. 3, яку складено відповідно до табл. В.1, додаток В.

Таблиця 3 — Розміри та геометричні характеристики стержня 9-10 верхнього пояса, його гнучкості до підсилення

№ з/п	Позначення	Обчислення	Од. вим.	Значення
1	h_0	сортамент	см	12,5
2	t_0	сортамент	см	0,9
3	z_{00}	сортамент	см	3,4
4	t_1	за призначенням	см	1,0
5	x_0	$1/2 + 3,4$	см	3,9
6	A_0	$2 \cdot A = 2 \cdot 22$	см ²	44
7	I_{x0}	$2 \cdot I_0 = 2 \cdot 327$	см ⁴	654
8	i_{x0}	сортамент	см	3,8
9	i_{y0}	сортамент	см	5,48
10	W_{01}	$\frac{I_{x0}}{z_{00}} = \frac{654}{3,4}$	см ³	192
11	W_{02}	$\frac{I_{x0}}{h_0 - z_{00}} = \frac{654}{12,5 - 3,4}$	см ³	71,9
12	ρ_{01}	$\frac{W_{01}}{A_0} = \frac{192}{44}$	см	4,36
13	ρ_{02}	$\frac{W_{02}}{A_0} = \frac{71,9}{44}$	см	1,63
14	l_{efx}	$l_0 \cdot \mu_1 = 300 \cdot 1$	см	300
15	l_{efy}	$l_0 \cdot \mu_2 = 300 \cdot 1$	см	300
16	λ_x	$\frac{l_{efx}}{i_{x0}} = \frac{300}{3,8}$	—	79
17	λ_y	$\frac{l_{efy}}{i_{y0}} = \frac{300}{5,48}$	—	54,7

18	φ_0	Додаток 7 [11], $\lambda=79, f_{y0}=240\text{МПа}$	—	0,69
----	-------------	--	---	------

3. Обґрунтування необхідності підсилення стержня. У табл. 4 наведено перевірку стійкості стержня від сумарного зусилля, яке складається із зусилля від постійного навантаження та зусилля від снігового навантаження за чинними нормами $N=560+152=712\text{кН}$. Перевірка виконується за формулою

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A_0} \leq f_y \gamma_c.$$

Із таблиці видно, що напруження в стержні $\sigma=23,45\text{кН/см}^2$ більше за добуток $f_y \gamma_c=22,8\text{кН/см}^2$. Значення коефіцієнта $\gamma_c=0,95$ (см. табл. Б.5, додаток Б). Стержень потребує підсилення.

Таблиця 4 — Перевірка стійкості стержня

Зусилля, кН	Пере-різ	A_0 , см ²	$\frac{l_{efx}}{l_{efy}}$	$\frac{i_{x0}}{i_{y0}}$	$\frac{\lambda_{x0}}{\lambda_{y0}}$	λ_u	φ	γ_c	σ , кН/см ²	$f_y \gamma_c$, кН/см ²
712	2L 125x9	44	$\frac{300}{300}$	$\frac{3,86}{5,48}$	$\frac{79}{54,7}$	120	0,69	0,95	23,45	22,8

4. Вибір режиму підсилення. Підсилення стержнів будемо виконувати при частковому розвантаженні — за відсутності снігового навантаження. Тоді початкове (на момент підсилення) зусилля в стержні $N_r=152\text{кН}$. Повне навантаження $N=712\text{кН}$.

5. Визначення початкових напружень в стержні. Початкові напруження визначаються від зусилля N_0 , при цьому враховують випадковий ексцентриситет e_0 та початковий прогин f_0 , які можливі як у додатному (вгору), так і у від'ємному (вниз) напрямках (рис. 5). Обчислення початкових напружень σ_{01} та σ_{02} відповідно у точках 1 і 2 перерізу наведені у табл.5.

Отримані напруження у крайніх фібрах основного перерізу не перевищують значення $f_{y0} \gamma_c$, що дорівнює $24 \cdot 1=24\text{кН/см}^2$.

Коефіцієнт $\beta_0 < 0,8$, отже додаткове розвантаження елементів перед підсиленням не потрібне.

6. Перевірка стійкості стержня перед підсиленням.

$$\sigma = \frac{N_0}{\varphi_0 A_0} = \frac{560}{0,69 \cdot 44} = 18,12\text{кН/см}^2 < 24 \cdot 0,95 = 22,8\text{кН/см}^2.$$

Стійкість стержня на момент підсилення забезпечена.

7. Вибір схеми підсилення стержня, матеріалу для елементі підсилення.

Для підсилення стисненого верхнього пояса приймаємо схему В.1.1 із використанням двох кутників $B_{xt}=90 \times 7\text{мм}$. Елементи підсилення проектуємо із сталі марки С255 з розрахунковим опором $f_{yr}=250\text{МПа}$ (табл. Б.1, додаток Б). Коефіцієнт $\alpha=f_{yr}/f_{y0}=250/240=1,04$. Оскільки $\alpha=1,04 < 1,15$, то розрахунковий

опір $f_{y,ef}$, який використовують у розрахунках підсилених стержнів, приймається рівним f_{y0} , тобто $f_{y,ef} = f_{y0} = 240$ МПа.

Таблиця 4.3 — Початкові напруження у перерізі

№ з/П	Позначення	Обчислення	Од. вим.	Значення
1	m_0	графік рис. 6 $\lambda_x=79$	—	0,13
2	e_{01}	$m_0 \rho_{01} = 0,13 \cdot 4,36$	см	0,57
3	e_{02}	$m_0 \rho_{02} = 0,13 \cdot 1,63$	см	-0,21
4	N_{0e}	$\frac{\pi^2 EI_{x0}}{l_{efx}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 654}{300^2}$	кН	1505
5	f_{01}	$\frac{N_0 \cdot e_{01}}{N_{0e} - N_0} = \frac{560 \cdot 0,57}{1505 - 560}$	см	0,34
6	f_{02}	$\frac{N_0 \cdot e_{02}}{N_{0e} - N_0} = \frac{560 \cdot 0,21}{1505 - 560}$	см	-0,12
7	σ_{01}	$\frac{N_0}{A_0} + \frac{N_0(e_{01} + f_{01})}{W_{01}} = \frac{560}{44} + \frac{560(0,57 + 0,34)}{192}$	кН/см ²	15,38
8	σ_{02}	$\frac{N_0}{A_0} + \frac{N_0(e_{02} + f_{02})}{W_{02}} = \frac{560}{44} + \frac{560(0,21 + 0,12)}{71,9}$	кН/см ²	15,29
9		$f_{y0} \cdot \gamma_c = 24 \cdot 1$	кН/см ²	24
10	β_0	$\sigma_{\max} / f_{y0} = 15,38 / 24$	—	0,64

8. Геометричні характеристики підсиленого перерізу. У табл. 6 наведені геометричні підсиленого перерізу стержня та його гнучкості. Таблицю складено відповідно до табл. В.1.1 додатка В.

9. Розрахунок приєднання елементів підсилення до основного стержня. Для зварювання використовують електроди Е42. При ручному зварюванні небезпечною є площа $f-f$; розрахунок виконують за металом шва, $R_{wf}=180$ МПа, $\beta_f=0,7$. Катети кутових шві приймаються мінімальними (табл. Б.3, додаток Б). Якщо товщина більш товстого елемента $t_0=9$ мм (товщина кутника основного перерізу), приймаємо $k_f=5$ мм. Приварювання елементів підсилення виконуємо переривчастими (шпонковими) швами, довжина безперервних ділянок l_w повинна бути не менш, ніж 50 мм.

Таблиця 6 — Геометричні характеристики підсиленого перерізу стержня

№ з/п	Позначення	Обчислення	Од. вим.	Значення
1	h_r	сортамент	см	9,0
2	t_r	сортамент	см	0,7
3	z_{0r}	сортамент	см	2,47
4	A	сортамент	см ²	12,3
5	I_x	сортамент	см ⁴	94,3
6	i_{xr}	сортамент	см	2,77
7	A_r	$2A = 2 \cdot 12,3$	см ²	24,6
8	I_{xr}	$2I_x = 2 \cdot 94,3$	см ⁴	188,6
9	A_n	$A_0 + A_r = 44 + 24,6$	см ²	68,6
10	y_0	$\frac{A_r(z_{00} + z_{0r})}{A_n} = \frac{24,6(3,4 + 2,47)}{68,6}$	см	2,1
11	y_r	$z_{00} + z_{0r} - y_0 = 3,4 + 2,47 - 2,1$	см	3,77
12	I_{xn}	$I_{x0} + A_0 \cdot y_0^2 + I_{xr} + A_r y_r^2 =$ $= 654 + 44 \cdot 2,1^2 + 188,6 + 24,6 \cdot 3,77^2$	см ⁴	1478,34
13	x_1	призначається	см	2,0
14	x_r	$x_1 + h_r - z_{0r} = 2 + 9 - 2,74$	см	8,26
15	x_0	$z_{00} + t_1/2 = 3,4 + 0,5$	см	3,9
16	I_{yn}	$I_{x0} + A_0 \cdot x_0^2 + I_{xr} + A_r \cdot x_r^2 =$ $= 654 + 44 \cdot 3,9^2 + 188,6 + 24,6 \cdot 8,26^2$	см ⁴	3295,64
17	y_1	$z_{00} - y_0 = 3,4 - 2,1$	см	1,3
18	h_1	$h_r + y_1 = 9 + 1,3$	см	10,3
19	h_2	$h_0 - y_1 = 12,5 - 1,3$	см	11,2
20	W_{n1}	$I_{xn}/h_1 = 1478,34/10,3$	см ³	143,5
21	W_{n2}	$I_{xn}/h_2 = 1478,34/11,2$	см ³	132
22	ρ_{n1}	$W_{n1}/A_n = 143,5/68,6$	см	2,09
23	ρ_{n2}	$W_{n2}/A_n = 132/68,6$	см	1,92
24	i_{xn}	$\sqrt{I_{xn}/A_n} = \sqrt{1478,34/68,6}$	см	4,64
25	i_{yn}	$\sqrt{I_{yn}/A_n} = \sqrt{3295,64/68,6}$	см	6,93
26	λ_{xn}	$l_{efx}/i_{xn} = 300/4,64$	—	64,7
27	λ_{yn}	$l_{efy}/i_{yn} = 300/6,93$	—	43,3
28	φ_n	Додаток 7 [8], $\lambda=64,7, f_{y,ef}=240\text{МПа}$	—	0,783

Розрахунок приєднання елементів підсилення до основного перерізу наведено у табл. 4.5

Таблиця 4.5 — Розрахунок приєднання елементів підсилення

№ з/п	Позначення	Обчислення	Од. вим.	Значення
1	k_f	Табл. Б.3 додатка Б		
2	n	кількість швів за кресленням	—	4
3	a_w	$40 \cdot i_{xr} = 40 \cdot 2,77 = 111 \text{ см}$, приймаємо $a_w = 60 \text{ см}$	см	60
4	Q_{fic}	$7,15 \cdot 10^{-6} \left(2330 - \frac{E}{f_{y0}} \right) \cdot \frac{N}{\varphi_n} =$ $= 7,15 \cdot 10^{-6} \left(2330 - \frac{2,1 \cdot 10^5}{240} \right) \frac{712}{0,783}$	кН	9,45
5	S_r	$A_r \cdot y_r = 24,6 \cdot 3,77$	см ³	92,74
6	T	$\frac{Q_{fic} \cdot S_r \cdot a_w}{I_{xn}} = \frac{9,45 \cdot 92,74 \cdot 60}{1478,34}$	кН	35,57
7	l_w	$\frac{T}{n \beta_f k_f R_{wf} \gamma_w \gamma_c} + 1 \text{ см} =$ $= \frac{35,57}{4 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 18} + 1 \text{ см} = 2,4 \text{ см}$ <p>Приймаємо $l_w = 5 \text{ см}$</p>	см	5
8	N'_r	$N_r \cdot A_r / A_n = 152 \cdot 24,6 / 68,6$	кН	54,5
9	l_{wk}	$\frac{T + N'_r}{n \beta_f k_f R_{wf} \gamma_w \gamma_c} + 1 \text{ см} =$ $= \frac{35,57 + 54,5}{4 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 18} + 1 \text{ см} = 4,57$ <p>Приймаємо $l_{wk} = 5 \text{ см}$</p>	см	5
10	χ	$l_w / a_w = 5 / 60$	—	0,083

10. Визначення прогину f_1 , який виникає від приєднання елементів підсилення до поверхонь, що мають незначні початкові викривлення.

Значення f_{01} у додатньому напрямку та f_{02} у від'ємному напрямку наведені у табл. 5. Обчислення значень f_{11} та f_{12} наведено у табл. 8.

Таблиця 8 — Визначення прогинів f_{11} та f_{12} .

№ з/п	Позначення	Обчислення	Од. вим.	Значення
1	f_{01}	Табл. 5	см	0,34
2	f_{02}	Табл. 5	см	-0,12
3	N_{en}	$\frac{\pi^2 EI_{xn}}{l_{efx}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 1478,34}{300^2}$	кН	3401,03
4	α_n	$\frac{N_e}{N_e - N} = \frac{3401,4}{3401,4 - 712}$	—	1,26
5	f_{11}	$f_{01} \cdot \frac{1 - \alpha_x I_{xr}}{I_{x0} + I_{xr}} = 0,34 \cdot \frac{1 - 1,26 \cdot 188,6}{654 + 188,6}$	см	0,24
6	f_{12}	$f_{02} \cdot \frac{1 - \alpha_n I_{xr}}{I_{x0} + I_{xr}} = -0,12 \cdot \frac{1 - 1,26 \cdot 188,6}{654 + 188,6}$	см	-0,10

11. Визначення залишкового зварювального прогину f_w , що виникає від приварювання елементів підсилення. Елементи підсилення приварюються переривчастими швами; число швів $n=4$; коефіцієнт переривчастості шва $\chi=0,083$ (табл. 7).

Значення прогину f_{w1} визначається при додатному напрямку випадкового ексцентриситету, f_{w2} — при від'ємному. Визначення залишкового зварювального прогину f_{wi} наведено у табл. 8.

12. Визначення розрахункового еквівалентного ексцентриситету. Розрахунковий еквівалентний ексцентриситет визначається за формулою

$$e_{fi} = e_i + f_{1i} + k_w f_{wi},$$

де $e_i = e_{0i} - y_0$; y_0 — зміщення вісі центра ваги перерізу при підсиленні, приймається зі своїм знаком. Для запропонованої схеми підсилення $y_0 > 0$. Якщо випадковий ексцентриситет має додатній напрямок, то

$$e_1 = e_{01} - y_0 = 0,57 - 2,1 = -1,53 \text{ см};$$

Таблиця 4.7 — Визначення прогину f_w .

№ з/п	Позначення	Обчислення	Од. вим.	Значення
1	V	$0,04k_f^2 = 0,04 \cdot 0,5^2$	см ⁴	0,01
2	C_1	$\frac{\alpha_N \cdot V \cdot \chi \cdot \lambda_{xn}^2}{8A_n} = \frac{1,26 \cdot 0,01 \cdot 0,083 \cdot 64,7^2}{8 \cdot 68,6}$	$\frac{1}{\text{см}^2}$	$7,95 \cdot 10^{-3}$
3	y_l	$z_{00} - y_0 = 3,4 - 2,1$	см	1,3

4	σ_{w1}	$\frac{N_0}{A_0} + \frac{N_0(e_{01} + f_{11})}{I_{x0}} \cdot y_1 = \frac{560}{44} + \frac{560(0,57 + 0,24)}{654} \cdot 1,3$	$\frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$	13,63
5	ξ_1	$\sigma_{w1}/R_{y0} = 13,63/24$	—	0,57
6	n_1	$1 - \frac{0,5 \ln(1 - \xi_1)}{\ln 2} = 1 - \frac{0,5 \ln(1 - 0,57)}{\ln 2}$	—	1,59
7	σ_{w2}	$\frac{N_0}{A_0} + \frac{N_0(e_{02} + f_{12})}{I_{x0}} \cdot y_1 = \frac{560}{44} - \frac{560(0,21 + 0,10)}{654} \cdot 1,3$	$\frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$	12,39
8	ξ_2	$\sigma_{w2}/R_{y0} = 12,39/24$	—	0,52
9	n_2	$1 - \frac{0,5 \ln(1 - \xi_2)}{\ln 2} = 1 - \frac{0,5 \ln(1 - 0,52)}{\ln 2}$	—	1,53
10	f_{w1}	$C_1 \sum n_{1i} y_i = 7,95 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 1,3 \cdot 1,59$	см	0,07
11	f_{w2}	$C_1 \sum n_{2i} y_i = 7,95 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 1,3 \cdot 1,53$	см	0,06

якщо від'ємний напрямок —

$$e_2 = e_{02} - y_0 = -0,21 - 2,1 = -2,31 \text{ см.}$$

Розрахунковий еквівалентний ексцентриситет у додатному напрямку

$$e_{f1} = e_1 + f_{11} + k_w f_{w1} = -1,53 + 0,24 + 0,5 \cdot 0,07 = -1,26 \text{ см.}$$

Розрахунковий еквівалентний ексцентриситет у від'ємному напрямку

$$e_{f2} = e_2 + f_{12} + k_w f_{w2} = -2,31 - 0,09 + 0,5 \cdot 0,06 = -2,37 \text{ см.}$$

13. Перевірка стійкості підсиленого стержня як позацентрово стисненого елемента. Розрахунки із перевірки стійкості стержня наведено у табл. 9. Перевірку необхідно виконувати для еквівалентного ексцентриситету додатного напрямку (e_{f1}), і для еквівалентного ексцентриситету від'ємного напрямку (e_{f2}).

Із таблиці бачимо, що умови стійкості стиснених елементів верхнього пояса в площині ферми виконуються. Перевірку стійкості стержнів із площини ферми виконувати необов'язково, оскільки $I_{yn} > I_{xn}$.

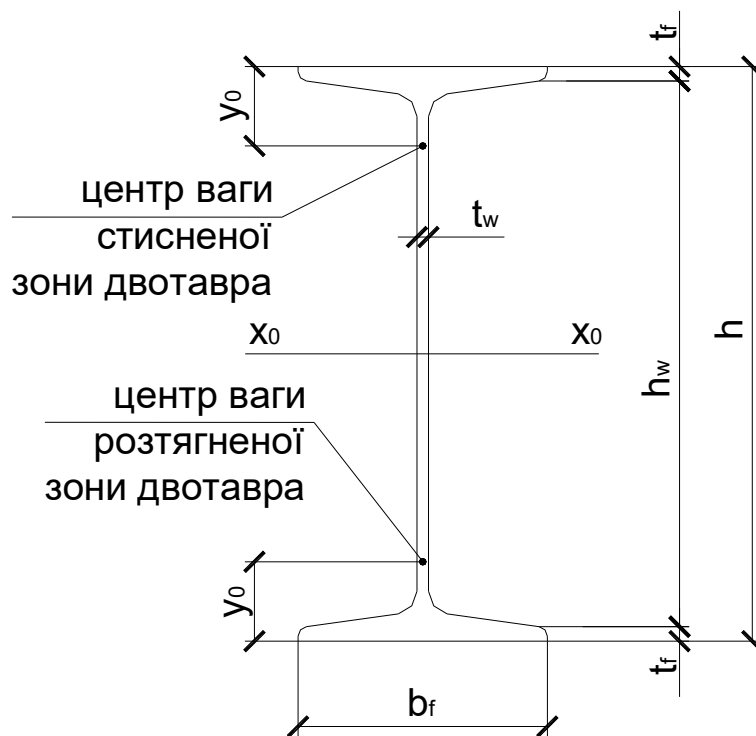
Таблиця 9 — Перевірка стійкості стержня як позацентрово стисненого елемента.

№ з/п	Позначення	Обчислення	Од. вим.	Значення
1	m_{x1}	$e_{f1}/\rho_{n1} = 1,26/2,09$	—	0,6
2	$\bar{\lambda}_x$	$\lambda_{xn} \sqrt{R_{y0}/E} = 64,7 \sqrt{240/2,1 \cdot 10^5}$	—	2,18
3	η_1	$(0,25 + 0,15 m_{x1}) + 0,03(5 - m_{x1}) \bar{\lambda}_x = (0,25 + 0,15 \cdot 0,6) + 0,03(5 - 0,6) \cdot 2,18$	—	0,63

4	m_{ef1}	$m_{x1} \cdot \eta = 0,6 \cdot 0,63$	—	0,38
5	φ_{e1}	$\bar{\lambda} = 2,18; m_{ef}=0,38$, додаток 8 [11]	—	0,674
6	σ_1	$\frac{N}{\varphi_{e1} A_n} = \frac{712}{0,674 \cdot 68,6}$	$\frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$	15,4
7	m_{x2}	$e_{f2} / \rho_{n2} = 2,37 / 1,92$	—	1,23
8	η_2	$(0,25 + 0,15 m_{x2}) + 0,03(5 - m_{x2}) \sqrt{\bar{\lambda}_x} =$ $= (0,25 + 0,15 \cdot 1,23) + 0,03(5 - 1,23) \cdot 2,18$	—	0,68
9	m_{ef2}	$m_{x2} \cdot \eta_2 = 1,23 \cdot 0,68$	—	0,84
10	φ_{e2}	$\bar{\lambda} = 2,18; m_{ef}=0,84$, додаток 8 [11]	—	0,548
11	σ_2	$\frac{N}{\varphi_{e2} A_n} = \frac{712}{0,548 \cdot 68,6}$	$\frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$	18,94
12	R_{y0}^*	$R_{y0}^* = R_{y0} (\alpha < 1,15)$	$\frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$	24,0
13		$R_{y0}^* \cdot \gamma_c = 24 \cdot 0,95$	$\frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$	22,8

Додаток А

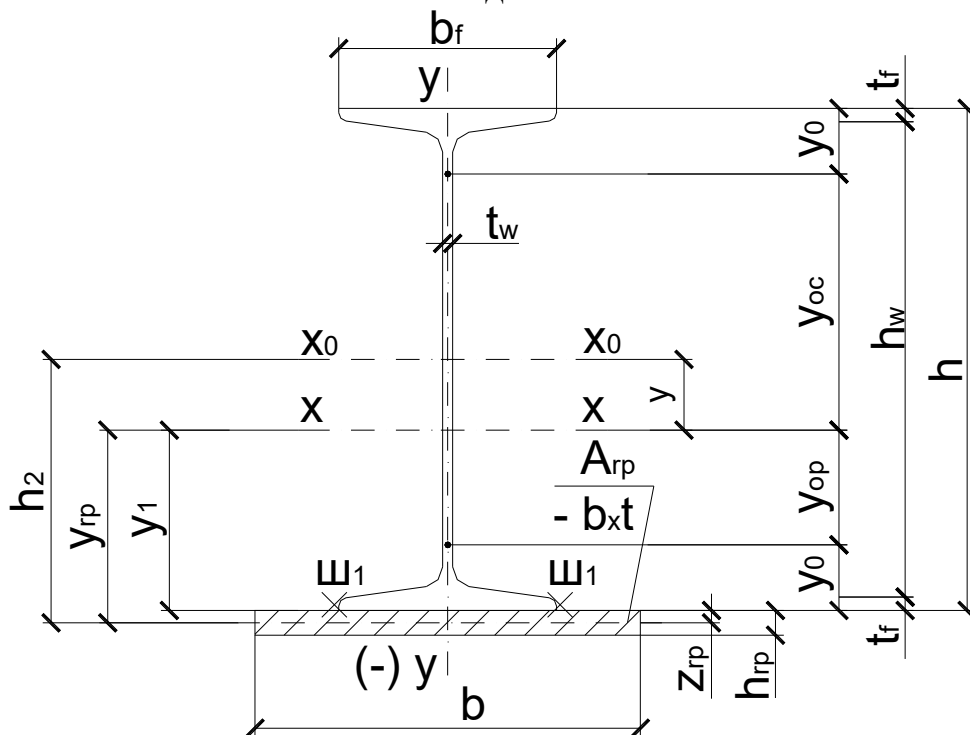
РОЗРАХУНОК ПІДСИЛЕННЯ БАЛКИ Схема А.1 — Переріз балки, яка підсилюється



Таблиця А.1 — Характеристики основного перерізу балки

№ з/п	Позначення	Найменування величини	Формула	Од. вим.
1	h	Висота двотавра	сортамент	см
2	b_f	Ширина полички	сортамент	см
3	t_f	Товщина полички	сортамент	см
4	t_w	Товщина стінки	сортамент	см
5	h_w	Висота стінки	$h - 2t_f$	см
6	A_w	Площа стінки	$h_w t_w$	см ²
7	A_f	Площа пояса	$t_f b_f$	см ²
8	A_0	Площа двотавра	сортамент	см ²
9	W_{x0}	Момент опору	сортамент	см ³
10	I_{x0}	Момент інерції	сортамент	см ⁴
11	y_0	Положення центра ваги стисненої та розтягнутої зон двотавра	$\frac{\frac{A_w}{2} \left(\frac{h_w}{4} + t_f \right) + A_f \frac{t_f}{2}}{\frac{A_w}{2} + A_f}$	см
12	m	Лінійна густина	сортамент	кг/м

Схема А.2 - Підсилення балки



Таблиця А.2 — Геометричні характеристики підсиленого перерізу

№ з/п	Позначення	Найменування величини	Формула	Од. вим.
1	A_{rc}	—	—	—
2	A_{rp}	Площа елементів підсилення, розташованих у розтягнутій зоні	$b \cdot t$	см ²
3	h_{rc}	—	—	—
4	h_{rp}	Висота елементів підсилення, розташованих у розтягнутій зоні	t	см
5	z_{rc}	—	—	—
6	z_{rp}	Положення центра ваги розтягнутого елемента підсилення	$t/2$	см
7	I_{rc}	—	—	—
8	I_{rp}	Момент інерції розтягнутого елемента підсилення	$\frac{b \cdot t^3}{12}$	см ⁴
9	i_{rc}	—	—	—
10	i_{rp}	Радіус інерції розтягнутих елементів підсилення	$\sqrt{I_{rp} / A_{rp}}$	см

№ з/п	Позначення	Найменування величини	Формула	Од. вим.
11	h_1	—	—	—
12	h_2	Відстань від осі x_0-x_0 до центра ваги елементів з площею A_{rp}	$\frac{h}{2} + z_{pc}$	см
13	y	Положення центра ваги підсиленого перерізу	$\frac{-A_{rp} \cdot h_2}{A_0 + A_{rp}}$	см
14	y_{rc}	—	—	—
15	y_{rp}	Відстань від осі $x-x$ до центра ваги елементів з площею A_{rp}	$h_2 - y$	см
16	y_{oc}	Відстань від осі $x-x$ до центра ваги стисненої зони двотавра	$\frac{h}{2} - y_0 + y$	см
17	y_{op}	Відстань від осі $x-x$ до центра ваги розтягнутої зони двотавра	$\frac{h}{2} - y_0 - y$	см
18	A_{oc}	Площа стисненої зони двотавра	$0,5(A_0 - \alpha(A_{rc} - A_{rp}))$	см ²
19	A_{op}	Площа розтягнутої зони двотавра	$0,5(A_0 + \alpha(A_{rc} - A_{rp}))$	см ²
20	S_{rc}	—	—	—
21	S_{rp}	Статичний момент розтягнутих елементів підсилення	$A_{rp} \cdot y_{rp}$	см ³
22	I_{xn}	Момент інерції підсиленого перерізу	$I_x + A_0 y^2 + I_{rc} + A_{rc} \cdot y_{rc}^2 + I_{rp} + A_{rp} y_{rp}^2$	см ⁴
23	y_l	Відстань від вісі $x-x$ до зварного шва III1	$y_{rp} - z_{rp}$	см
24	ξ_l	Рівень зварних напружень в зоні зварного шва III1	$\frac{M_0 y_1}{I_{x0} R_{y0}}$	—
25	n_l	Коефіцієнт напруженості	$1 - \frac{1,5 \ln(1 - \xi_1)}{\ln 2}$	—

Примітка: якщо зварні шви розміщені тільки у розтягненій зоні прогин f_w , що виникає від приварювання елементів підсилення можна не враховувати.

**НОРМАТИВНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПОСИЛЕННЯ
КОНСТРУКЦІЙ**

Таблиця Б.1 — Нормативні і розрахункові опори прокату

Марка сталі	Товщина прокату, мм	Нормативні опори прокату				Розрахункові опори прокату			
		листового		фасонного		листового		фасонного	
		R_{yn}	R_{un}	R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u	R_y	R_u
С235	4÷20	235	360	235	360	230	350	230	350
	21÷40	225	360	225	360	220	350	220	350
С245	4÷20	245	370	245	370	240	360	240	360
	21÷30	—	—	235	370	—	—	230	360
С255	4÷10	245	380	255	380	240	370	250	370
	11÷20	245	370	245	370	240	360	240	360
	21÷40	235	370	235	370	230	360	230	360
С275	4÷10	275	380	275	390	270	370	270	380
	11÷20	265	370	275	380	260	360	270	375
С285	4÷10	275	390	280	400	270	380	280	390
	11÷20	265	380	275	390	260	370	270	380

Таблиця Б.2 — Нормативні і розрахункові опори металу швів зварних з'єднань з кутовими швами, МПа

Зварювальні матеріали		R_{wun}	R_{wf}
Тип електроду (за ГОСТ 9787-75)	Марка дроту	МПа	
Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А	СВ-08, СВ-08А, СВ-08ГА,	410	180
	СВ-10ГА, СВ-08Г2С, СВ-08Г2СЦ,	450	200
	ПП-АН6, ПП-АП3	490	215
Э60	СВ-08Г2С, СВ-08Г2СЦ, СВ-10НМА, СВ-10Г2	590	240
Э70	СВ-10ХГ2СМА, СВ-08ХН2ГМЮ	685	280
Э85	—	835	340

Таблиця Б.3 — Мінімальні катети зварних швів при ручному зварюванні в з'єднаннях за допомогою накладок

Межа текучості R_{yn} , МПа	Мінімальні катети швів k_f при товщині більш товстого з елементів, що зварюють, t , мм						
	4÷5	6÷10	11÷16	17÷22	23÷32	33÷40	41÷80
До 400	4	5	6	7	8	9	10
Понад 430 до 580	5	6	7	8	9	10	12

Таблиця Б.4 – Розрахункові довжини елементів ферм

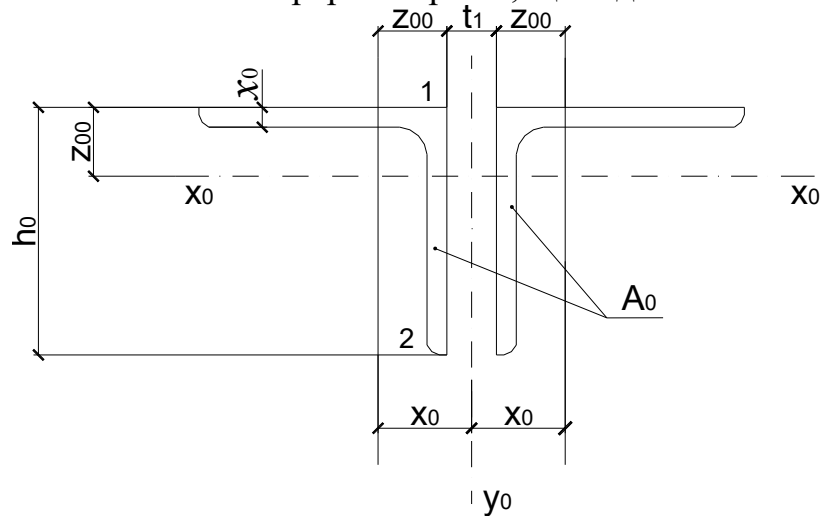
Напрямок повздожнього згину	Розрахункові довжини l_{ef}		
	поясів	опорних розкосів і стояків	інших елементів решітки
1. У площині ферми (l_{efx}):			
а) для ферм із кутників і таврів;	l	l	$0,8 l$
б) для ферм із труб і гнутозварених профілів	l	l	$0,9 l (l)$
2. Із площини ферми (l_{efy}):			
а) для ферм із кутників і таврів;	l_1	l_1	l_1
б) для ферм із труб і гнутозварених профілів	l_1	l_1	$0,9 l_1 (l)$
<p>Позначення, які використані у таблиці: l – геометрична довжина елемента (відстань між центрами вузлів); l_1 – відстань між вузлами, які закріплені від зміщення із площини ферми: для елементів верхнього пояса l_1 — відстань між прогонами, або між вузлами ферми, до яких приварюються залізобетонні плити; для елементів нижнього пояса l_1 — відстань між зв'язками (розтяжками); для елементів решітки — відстань між центрами вузлів.</p> <p>Примітка. Значення, які наведені у дужках, відносяться до стержнів трубчастих ферм зі сплющеними кінцями.</p>			

Таблиця Б.5 — Коефіцієнт умов роботи γ_c для елементів ферм

Тип ферми	Коефіцієнт умов роботи γ_c			
	для стиснених поясів, опорних розкосів і стояків	для інших стиснених елементів решітки	для розтягнених поясів	для розтягнених елементів решітки
Ферми із кутників і таврів	0,95	0,8	0,95	0,95
Ферми із труб	1	1 (0,85)	0,95	0,8
Ферми із гнутозварених профілів	1	1	0,95	0,95

РОЗРАХУНОК ПІДСИЛЕННЯ СТРЕЖНІВ ФЕРМ ІЗ ПАРНИХ
КУТНИКІВ

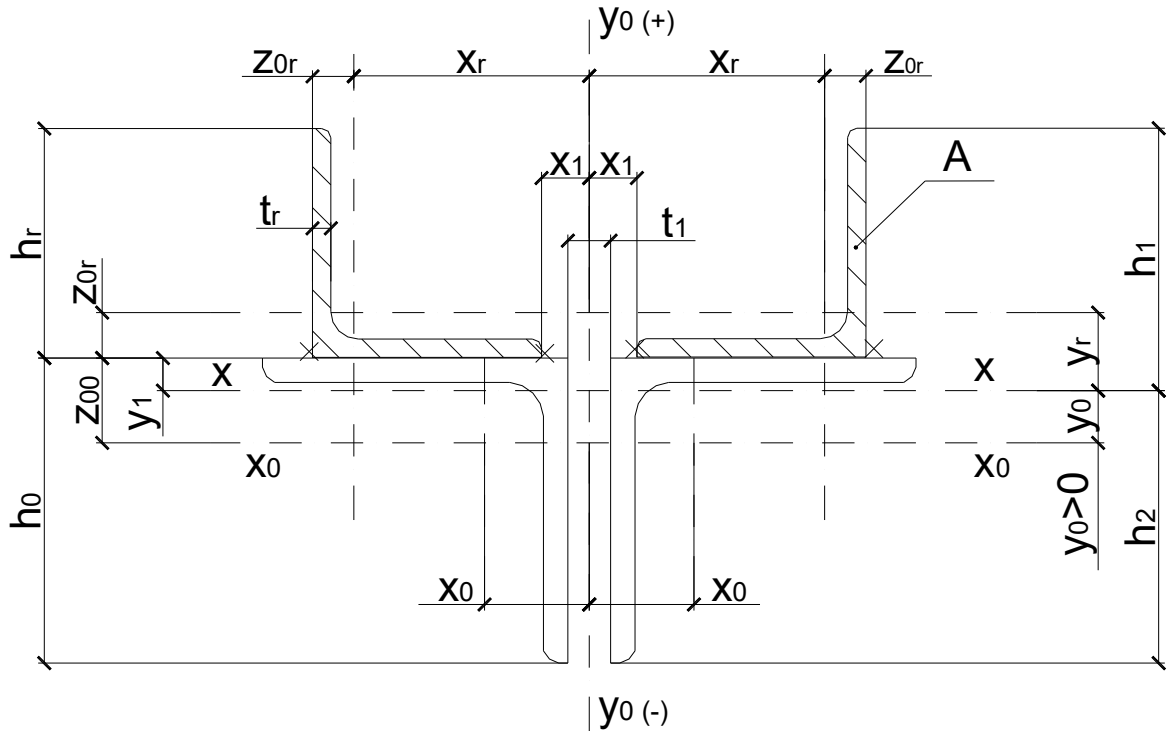
Схема В.1 — Переріз стержня, що підсилюється



Таблиця В.1 — Характеристики основного перерізу стержня

№ з/п	Позначення	Найменування величини	Формула	Од. вим.
1	h_0	Ширина полицки	Сортамент	см
2	t_0	Товщина полицки	Сортамент	см ²
3	z_{00}	Відстань до центра ваги	Сортамент	см
4	t_1	Товщина фасонки	За призначенням	см
5	x_0	Положення центра ваги	$z_{00} + t_1/2$	см
6	A_0	Площа перерізу стержня	$2A$	см ²
7	I_{x0}	Момент інерції стержня	$2I_x$	см ⁴
8	i_{x0}	Радіус інерції відносно осі x_0-x_0	Сортамент	см
9	i_{y0}	Радіус інерції відносно осі y_0-y_0	Сортамент	см
10	W_{x1}	Момент опору для точки 1	I_{x0}/z_{00}	см ³
11	W_{x2}	Момент опору для точки 2	$I_{x0}/(h_0 - z_{00})$	см ³
12	ρ_{x1}	Ядрова відстань	W_{x1}/A_0	см
13	ρ_{x2}	Ядрова відстань	W_{x2}/A_0	см
14	l_{efx}	Розрахункова довжина в площині ферми	$l_0 \cdot \mu_1$	см
15	l_{efy}	Розрахункова довжина із площини ферми	$l_0 \cdot \mu_2$	см
16	λ_x	Гнучкість стержня у площині ферми	l_{efx}/i_{x0}	—
17	λ_y	Гнучкість стержня із площини ферми	l_{efy}/i_{y0}	—
18	φ_0	Коефіцієнт осьового згину	Додаток 7 [11]	—

Схема В.1.1 підсилення стержнів із парних кутників



Таблиця В.1 — Геометричні характеристики підсиленого перерізу

№ з/п	Позначення	Найменування величини	Формула	Од. вим.
1	h_r	Висота елемента підсилення	Сортамент	см
2	t_r	Товщина елемента підсилення	Сортамент	см
3	z_{0r}	Відстань до центра ваги елемента підсилення	Сортамент	см
4	A	Площа елемента підсилення	Сортамент	см ²
5	I_x	Момент інерції елемента підсилення	Сортамент	см ⁴
6	i_{xr}	Радіус інерції елемента підсилення	Сортамент	см
7	A_r	Площа перерізу елементів підсилення	$2A$	см ²
8	I_{xr}	Момент інерції елементів підсилення	$2I_x$	см ⁴
9	A_n	Площа перерізу підсиленого стержня	$A_0 + A_r$	см ²
10	y_0	Відстань від осі x_0-x_0 до центра ваги підсиленого перерізу (до вісі $x-x$)	$\frac{A_r(z_{00} + z_{0r})}{A_n}$	см
11	y_r	Відстань до центра ваги елементів підсилення	$z_{00} + z_{0r} - y_0$	см

№ з/п	Позначення	Найменування величини	Формула	Од. вим.
12	I_{xn}	Момент інерції підсиленого перерізу	$I_{x0} + A_0 y_0^2 + I_{xr} + A_r y_r^2$	см ⁴
13	x_l	Відстань від осі y_0-y_0 до початку елемента підсилення	Призначається у межах 2...3см	см
14	x_r	Відстань до центра ваги елементів підсилення	$x_1 + h_r - z_{0r}$	см
15	x_0	Відстань до центра ваги основного кутника	$z_{00} + t_1/2$	см
16	I_{yn}	Момент інерції підсиленого перерізу	$I_{y0} + A_0 x_0^2 + I_{yr} + A_r x_r^2$	см ⁴
17	y_l	Відстань до зварних швів; n=4	$z_{00} - y_0$	см
18	h_1	Відстань до крайньої фібри у додатному напрямку	$h_r + y_1$	см
19	h_2	Те саме у від'ємному напрямку	$h_0 - y_1$	см
20	W_{n1}	Момент інерції крайньої фібри додатного напрямку	$\frac{I_{xn}}{h_1}$	см ³
21	W_{n2}	Те саме від'ємного напрямку	$\frac{I_{xn}}{h_2}$	см ³
22	ρ_{x1}	Ядрова відстань додатного напрямку	$\frac{W_{n1}}{A_n}$	см
23	ρ_{x2}	Те саме від'ємного напрямку	$\frac{W_{n2}}{A_n}$	см
24	i_{xn}	Радіус інерції підсиленого перерізу відносно осі x-x	$\sqrt{\frac{I_{xn}}{A}}$	см
25	i_{yn}	Те саме відносно осі y-y	$\sqrt{\frac{I_{yn}}{A}}$	см
26	λ_{xn}	Гнучкість підсиленого стержня відносно осі x-x	$\frac{l_{efx}}{i_{xn}}$	—
27	λ_{yn}	Те саме відносно осі y-y	$\frac{l_{efy}}{i_{yn}}$	—
28	φ_n	Коефіцієнт осьового згину	Додаток 7 [11]	—

