



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Кафедра промислового, цивільного будівництва
та інженерних споруд

03-01-93

**Методичні вказівки
до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни
«Металеві конструкції»
на тему
«Сталевий каркас одноповерхової виробничої будівлі»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)
рівня за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
спеціалізації «Промислове і цивільне будівництво» всіх форм
навчання.
Частина 2. Розрахунок та конструювання ферми покриття.**

Рекомендовано науково- методичною
комісією зі спеціальності
192 «Будівництво та цивільна інженерія».
Протокол № 5 від 07.05.2019 р.

Рівне – 2019

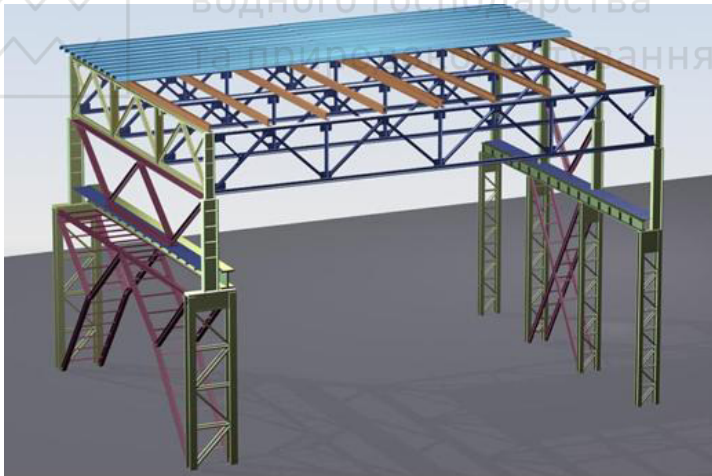


Національний університет

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Металеві конструкції» на тему «Сталевий каркас одноповерхової виробничої будівлі» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації «Промислове і цивільне будівництво» всіх форм навчання. Частина 2. Розрахунок та конструювання ферми покриття / Налєпа О. І., Філіпчук С. В. – Рівне : НУВГП, 2019. – 66 с.

Укладачі: Налєпа О. І., к.т.н. кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, доцент; Філіпчук С. В., к.т.н., доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд.

Відповідальний за випуск: Є. М. Бабич, д.т.н., професор, завідувач кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд.

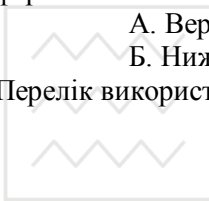


© Налєпа О. І., Філіпчук С. В., 2019
© НУВГП, 2019



Зміст

	стор.
Вступ	4
4. Розрахунок та конструювання ферми покриття	5
4.1. Збір навантажень і статичний розрахунок ферми ...	5
4.2. Підбір перерізів стержнів ферми	6
4.2.1. Загальні положення	6
4.2.2. Підбір перерізу верхнього поясу	11
4.2.3. Підбір перерізу нижнього поясу	13
4.2.4. Підбір перерізів стержнів решітки	15
4.3. Конструювання та розрахунок вузлів ферми	19
4.3.1. Конструювання та розрахунок	
4.3.2. Розрахунок та конструювання опорних вузлів	
проміжних вузлів ферми	19
ферми	42
А. Верхній опорний вузол	42
Б. Нижній опорний вузол	51
Перелік використаної літератури	66





Вступ

Курсовий проект з дисципліни "Металеві конструкції" на тему "Сталевий каркас одноповерхової виробничої будівлі" студенти виконують з метою оволодіння практичними навичками проектування конструкцій сталевих каркасів виробничих будівель.

Курсовий проект виконується за індивідуальним завданням, шифр якого для студентів денної форми навчання видає керівник курсового проекту, а для студентів заочної форми навчання складається з двох останніх цифр номера залікової книжки. До складу проекту входять розрахунково-пояснювальна записка обсягом 40...50 сторінок тексту формату А4 разом з рисунками і таблицями та графічна частина. Розрахунково-пояснювальна записка містить такі розділи:

1. Компонування поперечної рами.
2. Розрахунок поперечної рами.
3. Розрахунок та конструювання колони рами.
4. Розрахунок та конструювання ферми покриття.

Графічна частина виконується на одному аркуші формату А1 і включає: поперечний розріз будівлі, загальний вигляд колони, креслення відправної марки кроквяної ферми, геометричну схему ферми, вузли обпирання ферми на колону та колони на фундамент, специфікацію сталі на відправну марку ферми.

Виконаний студентом курсовий проект представляється до захисту і оцінюється у сумі від 60 до 100 балів, з яких від 30 до 50 балів становить повністю завершений і допущений викладачем до захисту проект і від 30 до 50 балів становить оцінка, отримана студентом під час захисту.

В даних методичних вказівках розглядаються питання збору навантажень на ферму, статичного розрахунку ферми, підбору перерізів стержнів ферми, розрахунку та конструювання вузлів ферми. Всі розрахунки розглядаються на конкретному прикладі.

Розрахунок ферми виконується після компонування поперечної рами, визначення навантажень, які діють на раму, статичного розрахунку рами, розрахунку колони. Для числового прикладу результати цих розрахунків, а відповідно вихідні дані для розрахунку та конструювання ферми вибирають з методичних вказівок 03-01-92. Нумерація розділів в методичних вказівках 03-01-92 і в даних вказівках є наскрізною, оскільки наскрізним є приклад розрахунку.



4. Розрахунок та конструювання ферми покриття

4.1 Збір навантажень і статичний розрахунок ферми

На ригель рами діють вертикальні постійне та снігове лінійні навантаження, які обчислені в пунктах 2.1.1 і 2.1.2:

$$q_p = 7,2 \text{ кН/м і } q_s = 13,44 \text{ кН/м.}$$

Зосереджені сили, які прикладаються у вузлах ферми:

а) від постійного навантаження

$$F_q = q_p \cdot l_m = 7,2 \cdot 3 = 21,6 \text{ кН;}$$

б) від снігового навантаження

$$F_s = q_s \cdot l_m = 13,44 \cdot 3 = 40,32 \text{ кН,}$$

де $l_m = 3 \text{ м}$ – довжина панелі верхнього поясу.

Схема постійного навантаження на ферму наведена на рис. 4.1,а. Схеми снігового навантаження на лівій половині прольоту ферми, на правій половині та на всьому прольоті наведені на рис. 4.1,б, 4.1,в і 4.1,г.

Опорні моменти в ригелі рами замінюємо парами сил H з плечем, рівним висоті ферми на опорі $h_0 = 2,2 \text{ м}$. Схеми навантаження ферми опорними моментами на лівій та правій опорах наведені відповідно на рис. 4.1,д та 4.1,е.

За вузлової передачі навантаження в стержнях ферми виникають осеві зусилля стиску або розтягу. Розрахункові зусилля в стержнях ферми від одиничних вузлових сил $F=1 \text{ кН}$ та одиничного від'ємного моменту $M=-1 \text{ кНм}$ наведені в табл. 4.1.

Зусилля в будь-якому стержні ферми від опорних моментів обчислюються за формулою

$$N = M_1 S_1 + M_2 S_2,$$

де M_1 і M_2 – величини відповідно лівого та правого опорних моментів в ригелі зі своїми знаками; S_1 і S_2 – зусилля відповідно в лівому та правому симетричних стержнях ферми від одиничного моменту.

Значення опорного моменту M_1 беруть з табл. 3.1 розрахункових зусиль колони для її верхнього перерізу. При цьому, вибравши найбільший момент M_1 для лівої опори ригеля в перерізі 4-4 розрахункової схеми, необхідно обчислити момент M_2 для правої



опори в перерізі 7-7 (табл. 2.7) розрахункової схеми за тієї ж комбінації навантажень, що й M_1 .

В перерізі 4-4 момент $M_1 = -392,2$ кНм (табл. 3.1). Цей момент обчислений при комбінації навантажень $1 + \psi(2 + 4 + 7 + 10)$, де 1, 2, 4, 7 і 10 – номери навантажень. В перерізі 7-7 (табл. 2.7) момент M_2 обчислюється від тих же навантажень, а саме:

$$M_2 = -59,0 + 0,9(-106,5 - 9,6 - 23,2 + 172,7) = -28,94 \text{ кНм.}$$

Зусилля від всіх схем навантажень зводять в табл. 4.2 і, сумуючи їх, обчислюють розрахункові зусилля (найбільші по модулю). Якщо в стержні можливий і розтяг, і стиск, то необхідно обчислити розрахункове розтягуюче та стискаюче зусилля. Вплив опорних моментів враховується тільки в тому випадку, якщо зусилля від опорних моментів довантажують стержні, при цьому зусилля від снігового навантаження приймається з коефіцієнтом сполучення $\psi = 0,9$.



4.2 Підбір перерізів стержнів ферми

4.2.1. Загальні положення

Стержні ферми проектується таврового перерізу з двох рівнобоких кутиків (рис. 4.2, 4.3), крім центрального стояка та стояків, до яких прикріплюються вертикальні в'язі. Ці стержні проектується хрестового перерізу (рис. 4.4).

Стержні ферми з кутиків з'єднуються в вузлах за допомогою фасонки. Товщина фасонки t_p призначається за табл. 4.3 залежно від максимального зусилля в стержнях решітки ферми (в опорному розкосі) і приймається однаковою в усіх вузлах ферми.

За товщиною фасонки t_p визначається відстань між гранями кутиків в перерізі, що впливає на геометричні характеристики перерізу.

Підбір перерізів стержнів виконується відповідно до напруженого стану.

При виборі з сортаменту номерів кутиків необхідно керуватися наступними міркуваннями:

1) з метою забезпечення найбільшої технологічності конструкції необхідно уніфікувати перерізи, доводячи число профілів до 5...6 для ферм прольотом 24 і 30 м, та до 7...8 для ферм прольотом 36 м;

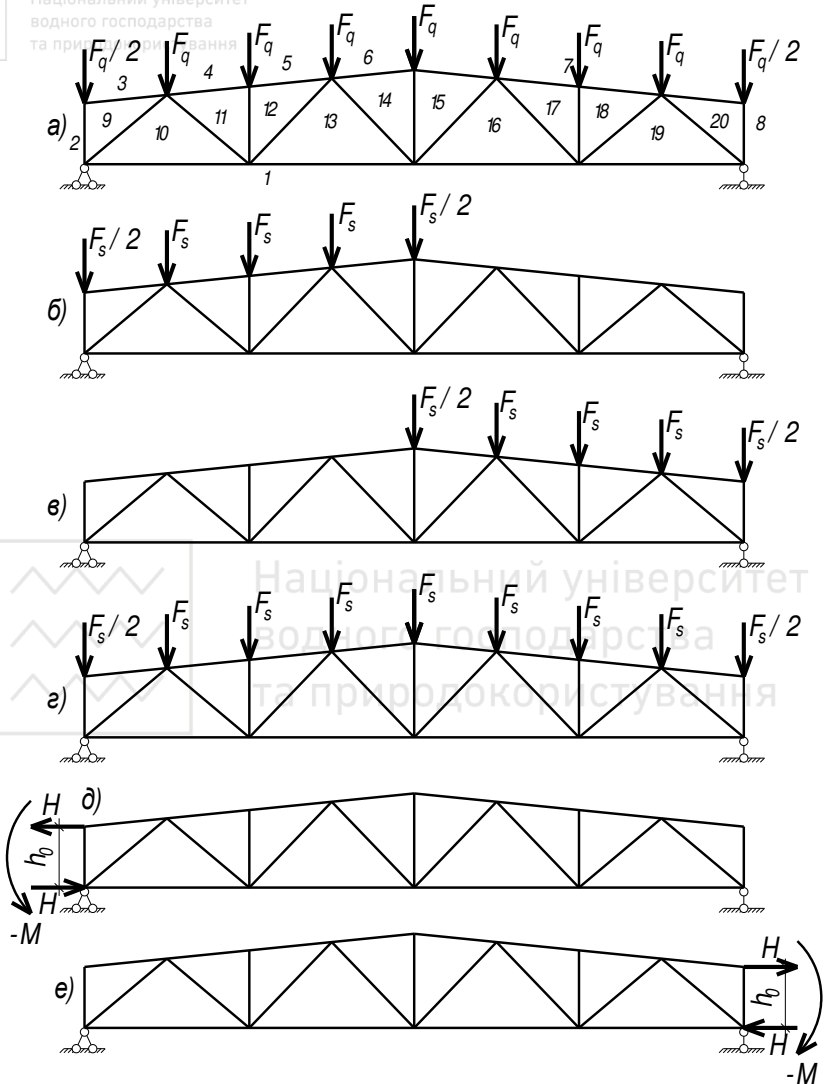


Рис. 4.1. Схеми навантажень ферми: а) постійним навантаженням; б) сніговим навантаженням на лівій половині прольоту; в) сніговим навантаженням на правій половині прольоту; г) сніговим навантаженням на всьому прольоті; д) згинаючим моментом на лівій опорі; е) згинаючим моментом на правій опорі



Таблиця 4.1

Значення поздовжніх сил в стержнях ферми від
одиничних навантажень

Елемент ферми	Позначення елемента	Від $F=1$ кН			Від $M=-1$ кНм	
		На лівій половині ферми	На правій половині ферми	На всьому прольоті ферми	На лівій опорі ферми, S_1	На правій опорі ферми, S_2
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7
Верхній пояс	3-9	0,00	0,00	0,00	0,473	0,00
	4-11	-4,42	-2,21	-6,63	0,276	0,092
	5-12	-4,42	-2,21	-6,63	0,276	0,092
	6-14	-3,63	-3,63	-7,26	0,151	0,151
Нижній пояс	1-10	3,10	1,24	4,34	-0,360	-0,052
	1-13	4,46	2,98	7,44	-0,207	-0,124
Розкоси	9-10	-3,98	-1,59	-5,57	-0,141	0,066
	10-11	1,68	1,24	2,92	0,110	-0,052
	12-13	-0,07	-1,09	-1,16	-0,097	0,046
	13-14	-1,21	0,91	-0,30	0,080	-0,038
Стояки	11-12	-1,00	0,00	-1,00	0,00	0,00
	14-15	0,22	0,22	0,44	-0,030	-0,030

Таблиця 4.2

Визначення розрахункових зусиль в стержнях ферми

Елементи ферми	№ стержня	Зусилля в елементах ферми від навантаження, кН							Зусилля від опорних моментів, кН					Розрахункові зусилля, кН	
		постійного $F_{\psi}=21,6$ кН	снігового $F_s=40,32$ кН						від $M=-1$ кНм		від $M_1=-392,2$ кНм	від $M_2=-28,94$ кНм	сумарні	розтяг	стиск
			1/2 прольоту зліва		1/2 прольоту справа		на всьому прольоті		S_1	S_2					
			$\psi=1,0$	$\psi=0,9$	$\psi=1,0$	$\psi=0,9$	$\psi=1,0$	$\psi=0,9$							
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Верхній пояс	3-9	0	0	0	0	0	0	0	0,473	0	186	0	186	186	
	4-11	-143	-178	-160	-89	-80	-267	-240	0,276	0,092	108	3	111		-410
	5-12	-143	-178	-160	-89	-80	-267	-240	0,276	0,092	108	3	111		-410
	6-14	-157	-147	-132	-147	-132	-294	-264	0,151	0,151	59	4	63		-451
Нижній пояс	1-10	94	125	113	50	45	175	158	-0,36	-0,052	-141	-2	-143	269	
	1-13	161	180	162	120	108	300	270	-0,207	-0,124	-81	-4	-85	461	
Розкоси	9-10	-120	-161	-144	-64	-58	-225	-202	-0,141	0,066	-55	2	-53		-375
	10-11	63	68	61	50	45	118	106	0,11	-0,052	43	-2	41	210	
	12-13	-25	-3	-3	-44	-40	-47	-43	-0,097	0,046	-38	1	-37		-105
	13-14	-7	-49	-44	37	33	-12	-11	0,08	-0,038	31	-1	30	56	-56
Стояки	11-12	-22	-40	-36	0	0	-40	-36	0	0	0	0	0		-62
	14-15	10	9	8	9	8	18	16	-0,03	-0,03	-12	-1	-13	28	



2) в вузлах стику поясів бажано змінювати профіль за рахунок зміни його ширини, зберігаючи товщину однаковою. Це зручно для конструктивного оформлення стику та пов'язано з розмірами зварних швів;

3) при виборі кутиків стиснутих елементів необхідно використовувати такі, у яких при однаковій площі перерізу полиці мають меншу товщину, але більшу ширину, а відповідно й більший радіус інерції;

4) з умови забезпечення необхідної жорсткості стержня при транспортуванні та монтажі ширина полиці кутика не повинна бути меншою 50 мм;

5) для зручності накладання зварних швів та для запобігання перепалювання елементів мінімальна товщина прокатних елементів рівна 5 мм.

Таким чином, мінімальний розмір кутика для стержнів ферми – L 50x5.

При розрахунках стержнів необхідно знати їх геометричні довжини (по осям). Оскільки висота ферм на опорі по координатній осі ($h_0 = 2,2$ м) приймається по обушкам поясних кутиків, то геометричні довжини стержнів решітки залежать від значень прив'язок кутиків верхнього поясу $z_{0,в.п.}$ та нижнього поясу $z_{0,н.п.}$ (рис. 4.5). Ці значення прив'язок можна отримати лише після підбору перерізів поясних кутиків. Тому підбір перерізів стержнів ферми необхідно виконувати в наступній послідовності:

1) прийняти товщину вузлових фасонки залежно від значення зусилля в опорному розкосі;

2) виконати підбір перерізу кутиків верхнього поясу та виписати з сортаменту значення $z_{0,в.п.}$, кратне 5 мм. Геометрична довжина стержнів верхнього поясу залежить лише від його нахилу (3,015 м при нахилі 1:10);

3) виконати підбір перерізу кутиків нижнього поясу та виписати з сортаменту значення $z_{0,н.п.}$, кратне 5 мм. Геометрична довжина стержнів нижнього поясу рівна відстані між вузлами (6 м);

4) викреслити геометричну схему ферми, обчислити геометричні довжини всіх стержнів (з точністю до 1 мм) та проставити їх на схемі (рис. 4.5);

5) виконати підбір перерізів всіх стержнів решітки.



В курсовому проекті наводиться повна послідовність розрахунку верхнього та нижнього поясу, а розрахунок стержнів решітки виконується в табличній формі.

Таблиця 4.3

Товщина вузлових фасонки

Максимальне зусилля в стержні решітки, кН	до 250	260...400	410...600	610...1000	1010...1400	1410...1800	Більше 1800
Товщина фасонки t_p , мм	8	10	12	14	16	18	20

4.2.2. Підбір перерізу верхнього поясу

Товщину вузлових фасонки ферми приймаємо за табл. 4.3 залежно від максимального зусилля в стержнях решітки, а саме $N=375$ кН, яке діє в опорному розкосі 9-10: $t_p = 10$ мм.

Верхній пояс ферми проектуємо з одного типорозміру кутиків за максимальним зусиллям в усіх панелях поясу. Максимальне зусилля в поясі становить $N=451$ кН в панелі 6-14 (табл. 4.2). Переріз поясу приймаємо з двох спарених рівнобоких кутиків, зіставлених тавром (рис. 4.2).

Матеріал ферми – сталь С375. За табл. Г.2 [1] для сталі С375 при товщині 2...10 мм розрахунковий опір сталі розтягу, стиску, згину за межею текучості $R_y = 365$ МПа (фасонний та листовий прокат).

За табл. 5.1 [1] коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1,0$.

Розрахункові довжини стержнів верхнього поясу (за табл. 13.1 [1]):

в площині ферми $l_{ef,x} = l = 3,015$ м;

з площини ферми $l_{ef,y} = l = 3,015$ м,

де l – геометрична довжина стержнів верхнього поясу (рис. 4.5).

З досвіду проектування задаємося попередньо гнучкістю стержня $\lambda_0 \leq \lambda_u = 120$. Для поясів і опорних розкосів рекомендується приймати попередньо $\lambda_0 = 70...100$, а для елементів решітки $\lambda_0 = 100...120$.

Задаємося гнучкістю $\lambda_0 = 70 < \lambda_u = 120$ (на попередньому етапі).

Умовна гнучкість



$$\bar{\lambda}_0 = \lambda_0 \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 70 \cdot \sqrt{\frac{365}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,95$$

За табл. Ж.1 [1] при $\bar{\lambda}_0 = 2,95$ для кривої стійкості типу «с» - $\varphi_0 = 0,5629$.

Виходячи з умови стійкості центрально-стиснутих елементів

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R_y \gamma_c,$$

обчислюємо необхідну площу поперечного перерізу стержня:

$$A_{необ.} = \frac{N \cdot 10}{\varphi_0 R_y \gamma_c} = \frac{451 \cdot 10}{0,5629 \cdot 365 \cdot 1} = 22,0 \text{ см}^2.$$

Оскільки переріз стержня складається з двох кутиків, то обчислюємо необхідну площу перерізу одного кутика:

$$A_{необ.}^* = \frac{A_{необ.}}{2} = \frac{22}{2} = 11 \text{ см}^2.$$

Необхідний радіус інерції перерізу стержня відносно центральної осі $x-x$ (в площині ферми):

$$i_{x,необ.} = \frac{l_{ef,x}}{\lambda_0} = \frac{301,5}{70} = 4,31 \text{ см}.$$

Маючи значення $A_{необ.}^* = 11 \text{ см}^2$ та $i_{x,необ.} = 4,31 \text{ см}$, вибираємо з сортаменту рівнобоких кутиків [2] номер кутика з характеристиками, близькими до необхідних, та виписуємо фактичні геометричні характеристики перерізу: кутик $\perp 100 \times 8$, для якого $A = 15,5 \text{ см}^2$, $i_x = 3,07 \text{ см}$, $z_0 = 2,75 \text{ см}$.

Оскільки переріз складається з двох кутиків, то обчислюємо фактичні значення площі перерізу та радіусів інерції складеного перерізу: $A = 2 \cdot 15,5 = 31 \text{ см}^2$, $i_x = 3,07 \text{ см}^2$,

$$i_y = \sqrt{i_x^2 + (z_0 + 0,5t_p)^2} = \sqrt{3,07^2 + (2,75 + 0,5 \cdot 1)^2} = 4,47 \text{ см}.$$

Обчислюємо фактичні гнучкості стержня та максимальну з них:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{301,5}{3,07} = 98;$$



$$\lambda_y = \frac{l_{ef,y}}{i_y} = \frac{301,5}{4,47} = 68;$$

$$\lambda_{max} = \lambda_x = 98; \bar{\lambda}_{max} = \lambda_{max} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 98 \cdot \sqrt{\frac{365}{2,06 \cdot 10^5}} = 4,13.$$

За значеннями $\bar{\lambda}_{max} = 4,13$ обчислюємо фактичне значення коефіцієнта поздовжнього згину φ (за табл. Ж.1 [1]): $\varphi = 0,3992$.

Перевіряємо максимальну гнучкість стиснутого стержня, яка повинна задовольняти умові:

$$\lambda_{max} = 98 < \lambda_u = 120,12,$$

де λ_u – гранична гнучкість, що визначається за табл. 13.9 [1]

$$\lambda_u = 180 - 60\alpha = 180 - 60 \cdot 0,998 = 120,12;$$

α – коефіцієнт, який відображає рівень розрахункових напружень і обчислюється за формулою $\alpha = \frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c}$, але приймається остаточно не менше 0,5.

$$\alpha = \frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} = \frac{451 \cdot 10}{0,3992 \cdot 31 \cdot 365 \cdot 1} = 0,998.$$

Виконуємо перевірку стійкості підбраного перерізу:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{451 \cdot 10}{0,421 \cdot 31} = 364 \text{ МПа} < R_y \gamma_c = 365 \cdot 1 = 365 \text{ МПа}.$$

Визначаємо точність підбору перерізу за величиною недонапруження:

$$\delta = \frac{R_y \gamma_c - \sigma}{R_y \gamma_c} 100\% = \frac{365 \cdot 1 - 364}{365 \cdot 1} 100\% = 0,27\% < 5\%,$$

отже, переріз підбраний економічно.

4.2.3. Підбір перерізу нижнього поясу

Нижній пояс ферми проектуємо з одного типорозміру кутиків за максимальним зусиллям в усіх панелях поясу. Максимальне зусилля в поясі становить $N=461$ кН в панелі 1-13 (табл. 4.2). Переріз поясу



приймаємо з двох спарених рівнобоких кутиків, зіставлених тавром (рис. 4.3).

З умови міцності центрально-розтягнутих елементів

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq R_y \gamma_c$$

обчислюємо необхідну площу поперечного перерізу стержня:

$$A_{необ.} = \frac{N \cdot 10}{R_y \gamma_c} = \frac{461 \cdot 10}{365 \cdot 1} = 12,64 \text{ см}^2.$$

Оскільки переріз стержня складається з двох кутиків, то обчислюємо необхідну площу перерізу одного кутика:

$$A_{необ.}^* = \frac{A_{необ.}}{2} = \frac{12,64}{2} = 6,32 \text{ см}^2.$$

Маючи значення $A_{необ.}^* = 6,32 \text{ см}^2$, вибираємо з сортаменту рівнобоких кутиків [2] номер кутика з площею, близькою до необхідної, та виписуємо фактичні геометричні характеристики перерізу: кутик $\perp 70 \times 5$, для якого $A = 6,86 \text{ см}^2$, $i_x = 2,16 \text{ см}$, $z_0 = 1,9 \text{ см}$.

Оскільки переріз складається з двох кутиків, то обчислюємо фактичні значення площі перерізу та радіусів інерції складеного перерізу: $A = 2 \cdot 6,86 = 13,72 \text{ см}^2$, $i_x = 2,16 \text{ см}$,

$$i_y = \sqrt{i_x^2 + (z_0 + 0,5t_p)^2} = \sqrt{2,16^2 + (1,9 + 0,5 \cdot 1)^2} = 3,23 \text{ см}.$$

Розрахункова довжина стержнів нижнього поясу в площині ферми (у вертикальній площині): $l_{ef,x} = l = 6 \text{ м}$, де l – геометрична довжина стержнів нижнього поясу (рис. 4.5).

Обчислюємо гнучкість стержня у вертикальній площині:

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{i_x} = \frac{600}{2,16} = 278 < \lambda_u = 400,$$

де λ_u – гранична гнучкість, що визначається за табл. 13.10 [1].

Виконуємо перевірку міцності підбраного перерізу:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{461 \cdot 10}{13,72} = 337 \text{ МПа} < R_y \gamma_c = 365 \cdot 1 = 365 \text{ МПа}.$$

Визначаємо точність підбору перерізу за величиною недонапруження:



$$\delta = \frac{R_y \gamma_c - \sigma}{R_y \gamma_c} 100\% = \frac{365 \cdot 1 - 337}{365 \cdot 1} 100\% = 4,82\% < 5\% ,$$

отже, переріз підібраний економічно.

4.2.4. Підбір перерізів стержнів решітки

Для розрахунків стержнів решітки необхідно знати їх геометричні довжини (по осям). Для цього викреслюємо геометричну схему півферми (рис.4.5) і проставляємо на ній обчислені нижче геометричні довжини стержнів решітки:

$$l_{9-10} = \sqrt{2750^2 + 2450^2} = 3683 \text{ мм} ;$$

$$l_{10-11} = \sqrt{3000^2 + 2450^2} = 3873 \text{ мм} ;$$

$$l_{12-13} = l_{13-14} = \sqrt{3000^2 + 3050^2} = 4278 \text{ мм} .$$

Послідовність розрахунку стиснутих та розтягнутих стержнів решітки така ж, як верхнього та нижнього поясів. Перерізи стержнів решітки приймаються з двох спарених рівнобоких кутиків, зіставлених тавром, крім центрального стояка, переріз якого приймається хрестовим (рис. 4.4).

Розрахунок виконується в табличній формі (табл. 4.3). При виконанні розрахунків необхідно враховувати наступне:

- розрахункові довжини стержнів решітки в площині ферми $l_{ef,x}$ та з площини ферми $l_{ef,y}$ визначаються за табл. 13.1 [1];
- коефіцієнти умов роботи γ_c приймаються за табл. 5.1 [1].

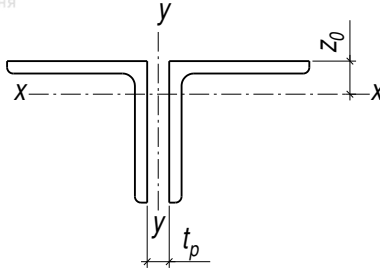


Рис. 4.2. Поперечний переріз верхнього поясу

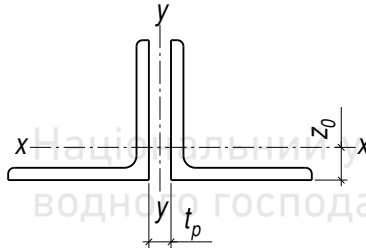


Рис. 4.3. Поперечний переріз нижнього поясу

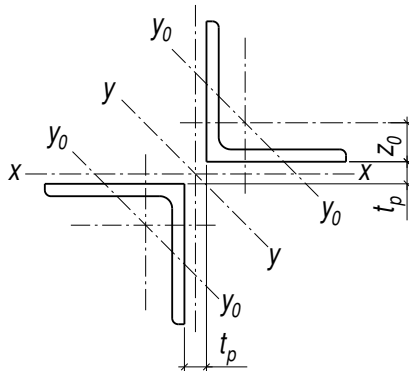


Рис. 4.4. Поперечний переріз центрального стюака

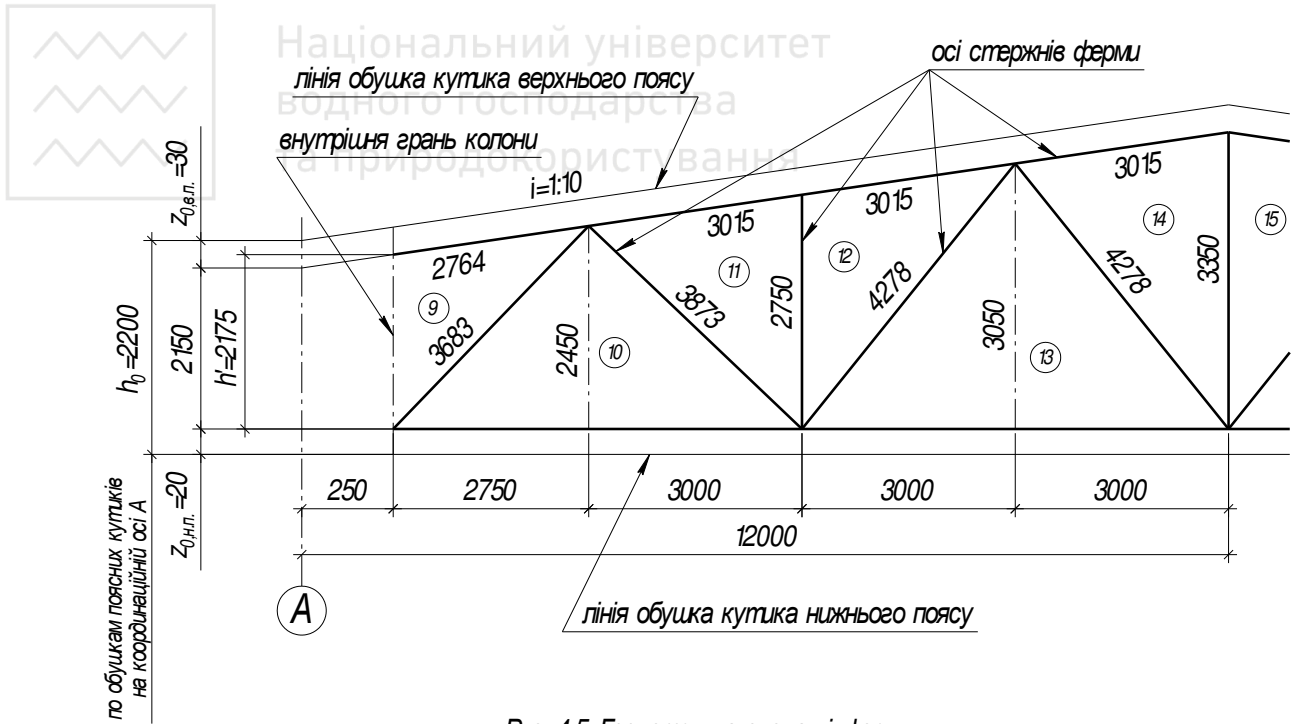


Рис. 4.5. Геометрична схема півферми

Таблиця 4.4

Підбір перерізів стержнів ферми

Елементи ригеля	№ стержнів	Розрахункові зусилля, кН	Склад перерізу	Площа перерізу, см ²	Геометрична довжина, см	Розрахункова довжина, см		Радіуси інерції, см			Гнучкість		φ	γ_c	σ , МПа	R_y, γ_c , МПа
						$l_{ef,x}$	$l_{ef,y}$	z_0 , см	i_x	i_y	λ_x	λ_y				
Верхній пояс	3-9	186	2L 100×8	31	276,4	276,4	276,4	3,0	3,07	4,47	90	61	-	1,0	60	365
	4-11	-410	2L 100×8	31	301,5	301,5	301,5	3,0	3,07	4,47	98	68	0,421	1,0	315	365
	5-12	-410	2L 100×8	31	301,5	301,5	301,5	3,0	3,07	4,47	98	68	0,421	1,0	315	365
	6-14	-451	2L 100×8	31	301,5	301,5	301,5	3,0	3,07	4,47	98	68	0,421	1,0	346	365
Нижній пояс	1-10	269	2L 70×5	13,72	575	575	575	2,0	2,16	3,23	266	178	-	1,0	197	365
	1-13	461	2L 70×5	13,72	600	600	600	2,0	2,16	3,23	278	186	-	1,0	337	365
Розкоси	9-10	-375	2L 110×7	30,4	368,3	368,3	368,3	3,0	3,4	4,85	108	76	0,358	1,0	345	365
	10-11	210	2L 50×5	9,6	387,3	387,3	387,3	1,5	1,53	2,45	253	158	-	1,0	219	365
	12-13	-105	2L 100×7	27,6	427,8	342,2	427,8	2,5	3,08	4,45	112	97	0,213	0,8	179	292
	13-14	-56	2L 100×7	27,6	427,8	342,2	427,8	2,5	3,08	4,45	112	97	0,213	0,8	96	292
Стояки	11-12	-62	2L 63×5	12,26	275	220	275	1,5	1,94	2,96	114	93	0,210	0,8	241	292
	14-15	28	2L 50×5	9,6	335	335	335	1,5	1,53	2,45	219	138	-	1,0	30	365



4.3. Конструювання та розрахунок вузлів ферми

Вузли ферми поділяють на проміжні, вузли стику поясів, опорні та монтажні. Позначення вузлів ферми наведено на рис.4.6.

В пояснювальній записці наводиться детальний розрахунок одного проміжного вузла та обох опорних вузлів (верхнього та нижнього). Інші проміжні вузли розраховуються в табличній формі з обов'язковим конструюванням, яке наводиться в записці.

4.3.1. Конструювання та розрахунок проміжних вузлів ферми

Розрахунок вузлів полягає в розміщенні підібраних стержнів відносно осей ферми; визначенні розмірів зварних швів, які прикріплюють стержні у вузлах; призначенні розмірів вузлових фасонки. Конструювання супроводжується викреслюванням вузлів з одночасним розрахунком зварних швів.

Конструювання вузлів ферми виконується у певному порядку за загальними правилами.

Вузол №1.

Виконуємо конструювання вузла в наступній послідовності.

Викреслюються осі ферми, які сходяться в центрі вузла (рис. 4.7). При цьому зусилля, що сходяться у вузлі, врівноважуються без виникнення додаткових моментів.

На осі в прийнятому масштабі (як правило М1:10) наносяться контурні лінії стержнів так, щоб осьові лінії збіглися з центром ваги перерізів. Відстані від осі до обушків кутиків z_0 ("прив'язка") приймається за сортаментом з округленням їх до значень, кратних 5 мм. Якщо верхній або нижній пояс складаються з двох різних кутиків (тобто мають вузли стику), то їх прив'язка до осі здійснюється за середнім значенням z_0 .

Визначаються положення торців кутиків решітки. Відстань між найближчими точками поясного кутика і кутика решітки повинна бути

$$a = 6t_p - 20 \text{ мм} = 6 \cdot 10 - 20 = 40 \text{ мм},$$

але не більшою 80 мм і не меншою 40 мм. Це робиться для зменшення зварювальних напружень. Таких же відстаней необхідно дотримуватися між сусідніми стержнями решітки у вузлі. На



кресленні вузла на відстані $a=40$ мм від лінії пера поясного кутика проводиться тонка лінія паралельно верхньому поясу (рис. 4.8). Торці кутиків стержнів решітки доводять до цієї лінії. Торці проводять, як правило, перпендикулярно до осі. Для досягнення більшої компактності вузла (тобто зменшення розмірів вузлових фасонки) в кутиках з полицями шириною більше 90 мм допускаються косі зрізи торців. При цьому слід мати на увазі, що така операція в технологічному процесі збільшує трудомісткість виготовлення ферми, а отже не завжди виправдана.

Після першого етапу конструювання вузла подальший розрахунок полягає у визначенні розрахункових опорів швів, міцнісному розрахунку швів, які прикріплюють стержні решітки до фасонки, конструюванні фасонки, розрахунку поясних швів.

За табл. Д.2 [1] розрахунковий опір кутових швів зрізу по металу шва для сталі С375 рівний: $R_{wf} = 215$ МПа. Для визначення розрахункового опору кутових швів зрізу по металу межі сплавлення R_{wz} попередньо визначається межа міцності R_{un} з'єднаних елементів. За табл. Г.2 [1] для сталі класу С375:

- значення R_{un} фасонного прокату при товщині полиці кутиків $t_a = 2 \dots 10$ мм - $R_{un} = 510$ МПа;

- значення R_{un} листового прокату при товщині фасонки $t_p = 10$ мм - $R_{un} = 510$ МПа.

Якщо значення межі міцності для фасонного та листового прокату різні, то остаточно приймається менше з двох.

Тоді:

$$R_{wz} = 0,45 R_{un} = 0,45 \cdot 510 = 229,5 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнти глибини проплавлення швів β_f та β_z згідно табл. 16.2 [1] для ручного зварювання рівні: $\beta_f = 0,7$; $\beta_z = 1$.

Оскільки

$$\beta_f R_{wf} = 0,7 \cdot 215 = 150,5 \text{ МПа} < \beta_z R_{wz} = 1 \cdot 229,5 = 229,5 \text{ МПа},$$

то розрахунок кутових зварних швів виконується лише по металу шва за умовою міцності

$$\tau_{wf} = \frac{N}{A_{wf}} \leq R_{wf} \gamma_c.$$

Розраховуються шви, які прикріплюють стержні решітки до фасонки, на дію розрахункових зусиль в стержнях.



Кожний з двох кутиків стержня приварюється двома фланговими швами (біля обушка та біля пера) з виносом їх на торець на довжину 20 мм.

Оскільки кутик є асиметричним профілем, то його прикріплення до фасонки повинно забезпечити співпадання рівнодіючої зусиль, що передається двома швами, з нейтральною віссю кутика. Виходячи з цього, розрахункове зусилля в стержні N розподіляється між швами біля обушка і біля пера обернено пропорційно відстаням від цих швів до осі кутика.

Якщо в стержні з двох кутиків діє зусилля N , то шов біля обушка одного кутика сприймає зусилля

$$N_c = \frac{(b - z_0)}{b} \cdot \frac{N}{2} = \alpha_c \cdot \frac{N}{2},$$

а шов біля пера

$$N_t = \frac{z_0}{b} \cdot \frac{N}{2} = \alpha_t \cdot \frac{N}{2},$$

де α_c і α_t - коефіцієнти перерозподілу зусилля відповідно на шов біля обушка і шов біля пера; b - ширина полиці кутика, прилеглої до фасонки; z_0 - відстань від центра ваги кутика до обушка;

$$\alpha_c = \frac{(b - z_0)}{b}; \quad \alpha_t = \frac{z_0}{b}.$$

Додатковим індексом “с” позначені характеристики, які відносяться до шва біля обушка, а індексом “t” - до шва біля пера.

Ці коефіцієнти практично залежить тільки від типу кутика та від того, якою полицею (більшою чи меншою) він прилягає до фасонки, тому вони мають сталі значення: для рівнобоких кутиків $\alpha_c = 0,7$ і $\alpha_t = 0,3$; для нерівнобоких кутиків з прилеглою до фасонки меншою полицею $\alpha_c = 0,75$ і $\alpha_t = 0,25$; для нерівнобоких кутиків з прилеглою до фасонки більшою полицею $\alpha_c = 0,68$ і $\alpha_t = 0,32$.

Розрахунок приєднання стержнів решітки до фасонки виконується в наступній послідовності. Виходячи з умови міцності шва (по металу шва) $\frac{N}{A_{wf}} \leq R_{wf} \gamma_c$, визначається необхідна площа перерізу одного шва окремо для кожного стержня решітки, що



входять у вузол: біля обушка $A_{wfc} = \frac{N_c}{R_{wf} \gamma_c} = \frac{0,7 \cdot N}{2R_{wf} \gamma_c}$, біля пера

$$A_{wft} = \frac{N_t}{R_{wf} \gamma_c} = \frac{0,3 \cdot N}{2R_{wf} \gamma_c}.$$

Площа перерізу, виражена через параметри шва, рівна

$$A_{wf} = \beta_f \cdot k_f \cdot l_w.$$

Знаючи площу та задаючись катетом шва (максимальним, щоб отримати найменшу довжину шва, а вузол в цілому найбільш компактним), визначають необхідну розрахункову довжину швів:

$$\text{біля обушка } l_{wc} = \frac{A_{wfc}}{\beta_f \cdot k_{fc}}, \quad \text{біля пера } l_{wt} = \frac{A_{wft}}{\beta_f \cdot k_{ft}}, \quad \text{де}$$

$k_{fc} = k_{fc,max} = 1,2t_{min}$ (t_{min} – менша з товщин полиці кутика або фасонки); $k_{ft} = k_{ft,max} = 0,9t_a$ (t_a – товщина полиці кутика). Максимальне значення катету шва біля пера $k_{ft,max}$ обмежується товщиною полиці кутика t_a . Але покласти шов на повну товщину t_a при прокатних (вальцьованих) кромках практично не вдається, оскільки внутрішній контур кромки пера має певний радіус заокруглення r . А тому значення $k_{ft,max}$ приймається дещо меншим за товщину t_a , а саме $0,9t_a$.

Остаточні катети швів приймаються кратними 1 мм, а розрахункові довжини швів – кратними 10 мм.

Перевіряються конструктивні вимоги до швів.

Стержень 9-10. Розрахункове зусилля в стержні $N=375кН$. Переріз стержня - 2L 110×7. Товщина вузлової фасонки $t_p=10$ мм.

Обчислюються теоретичні значення розмірів швів.

Шов біля обушка:

необхідна площа шва

$$A_{wfc} = \frac{0,7 \cdot N}{2R_{wf} \gamma_c} = \frac{0,7 \cdot 375 \cdot 10}{2 \cdot 215 \cdot 1} = 6,11 \text{ см}^2;$$

$$\text{катет шва } k_{fc} = k_{fc,max} = 1,2t_{min} = 1,2 \cdot 0,7 = 0,84 \text{ см};$$

приймемо остаточно $k_{fc} = 0,8$ см (заокруглюємо в меншу сторону до числа, кратного 1 мм);
розрахункова довжина шва



$$l_{wc} = \frac{A_{wfc}}{\beta_f \cdot k_{fc}} = \frac{6,11}{0,7 \cdot 0,8} = 10,92 \text{ см};$$

приймаємо остаточно $l_{wc} = 11 \text{ см}$ (заокруглюємо в більшу сторону до числа, кратного 1 см).

Перевіряються конструктивні вимоги до шва біля обушка.

Катет шва повинен бути в межах

$$k_{fc,min} \leq k_{fc} \leq k_{fc,max},$$

де $k_{fc,min}$ і $k_{fc,max}$ - відповідно мінімальний і максимальний катети шва біля обушка.

$$k_{fc,min} = 5 \text{ мм (за табл. 16.1 [1])}.$$

$$k_{fc,max} = 1,2t_{min} = 1,2 \cdot 0,7 = 0,84 \text{ см}.$$

Тоді остаточно:

$$k_{fc,min} = 5 \text{ мм} < k_{fc} = 8 \text{ мм} < k_{fc,max} = 8,4 \text{ мм}.$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення k_{fc} .

Розрахункова довжина шва повинна бути в межах

$$l_{wc,min} \leq l_{wc} \leq l_{wc,max},$$

де $l_{wc,min}$ та $l_{wc,max}$ - відповідно мінімальне та максимальне значення розрахункової довжини шва.

$$l_{wc,min} = 4k_{fc} = 4 \cdot 0,8 = 3,2 \text{ см};$$

$$l_{wc,min} = 5 \text{ см};$$

$$l_{wc,max} = 85\beta_f k_{fc} = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 47,6 \text{ см}.$$

Остаточне значення l_{wc} повинно бути одночасно не меншим двох значень $l_{wc,min}$, обчислених за виразами, наведеними вище.

Тоді остаточно:

$$l_{wc,min} = 5 \text{ см} < l_{wc} = 11 \text{ см} < l_{wc,max} = 47,6 \text{ см}.$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення l_{wc} .

Шов біля пера:

необхідна площа шва



$$A_{wft} = \frac{0,3 \cdot N}{2R_{wf} \gamma_c} = \frac{0,3 \cdot 375 \cdot 10}{2 \cdot 215 \cdot 1} = 2,62 \text{ см}^2;$$

катет шва $k_{ft} = k_{ft,max} = 0,9 \cdot t_a = 0,9 \cdot 7 = 6,3 \text{ мм}$; приймаємо
остаточно $k_{ft} = 0,5 \text{ см}$

розрахункова довжина шва

$$l_{wt} = \frac{A_{wft}}{\beta_f \cdot k_{ft}} = \frac{2,62}{0,7 \cdot 0,5} = 7,49 \text{ см};$$

приймаємо остаточно $l_{wt} = 8 \text{ см}$ (заокруглюємо в більшу сторону до числа, кратного 1 см).

Перевіряються конструктивні вимоги до шва біля пера.

Катет шва повинен бути в межах

$$k_{ft,min} \leq k_{ft} \leq k_{ft,max},$$

де $k_{ft,min}$ і $k_{ft,max}$ - відповідно мінімальний і максимальний катети шва біля обушка.

$$k_{ft,min} = 5 \text{ мм (за табл. 16.1 [1])}.$$

$$k_{ft,max} = 0,9 \cdot t_a = 0,9 \cdot 7 = 6,3 \text{ мм}.$$

Тоді остаточно:

$$k_{ft,min} = 5 \text{ мм} = k_{ft} = 5 \text{ мм} < k_{ft,max} = 6,3 \text{ мм}$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення k_{ft} .

Розрахункова довжина шва повинна бути в межах

$$l_{wt,min} \leq l_{wt} \leq l_{wt,max},$$

де $l_{wt,min}$ та $l_{wt,max}$ - відповідно мінімальне та максимальне значення розрахункової довжини шва.

$$l_{wt,min} = 4k_{ft} = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ см};$$

$$l_{wt,min} = 5 \text{ см};$$

$$l_{wt,max} = 85\beta_f k_{ft} = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,5 = 29,75 \text{ см}.$$

Остаточне значення l_{wt} повинно бути одночасно не меншим двох значень $l_{wt,min}$, обчислених за виразами, наведеними вище.

Тоді остаточно:



$$l_{wt,min} = 4 \text{ см} < l_{wt} = 8 \text{ см} < l_{wt,max} = 29,75 \text{ см}.$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення l_{wt} .

Отримані розрахунком значення розмірів швів заносяться в графі „теоретичні значення” табл. 4.5.

Стержень 10-11. Розрахункове зусилля в стержні $N=210 \text{ кН}$. Переріз стержня - 2L 50×5. Товщина вузлової фасонки $t_p=10 \text{ мм}$.

Обчислюються теоретичні значення розмірів швів.

Шов біля обушка:

необхідна площа шва

$$A_{wfc} = \frac{0,7 \cdot N}{2R_{wf} \gamma_c} = \frac{0,7 \cdot 210 \cdot 10}{2 \cdot 215 \cdot 1} = 3,42 \text{ см}^2;$$

$$\text{катет шва } k_{fc} = k_{fc,max} = 1,2t_{min} = 1,2 \cdot 0,5 = 0,6 \text{ см};$$

розрахункова довжина шва

$$l_{wc} = \frac{A_{wfc}}{\beta_f \cdot k_{fc}} = \frac{3,42}{0,7 \cdot 0,6} = 8,15 \text{ см}; \text{ приймаємо } \text{остаточно}$$

$$l_{wc} = 9 \text{ см} \text{ (заокруглюємо до числа, кратного 1 см).}$$

Перевіряються конструктивні вимоги до шва біля обушка.

Катет шва повинен бути в межах

$$k_{fc,min} \leq k_{fc} \leq k_{fc,max},$$

де $k_{fc,min}$ і $k_{fc,max}$ - відповідно мінімальний і максимальний катети шва біля обушка.

$$k_{fc,min} = 5 \text{ мм} \text{ (за табл. 16.1 [1])}.$$

$$k_{fc,max} = 1,2t_{min} = 1,2 \cdot 0,5 = 0,6 \text{ см}.$$

Тоді остаточно:

$$k_{fc,min} = 5 \text{ мм} < k_{fc} = 6 \text{ мм} = k_{fc,max} = 6 \text{ мм}.$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення k_{fc} .

Розрахункова довжина шва повинна бути в межах

$$l_{wc,min} \leq l_{wc} \leq l_{wc,max},$$

де $l_{wc,min}$ та $l_{wc,max}$ - відповідно мінімальне та максимальне значення розрахункової довжини шва.



$$l_{wc,min} = 4k_{fc} = 4 \cdot 0,6 = 2,4 \text{ см};$$

$$l_{wc,min} = 5 \text{ см};$$

$$l_{wc,max} = 85\beta_f k_{fc} = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,6 = 35,7 \text{ см}.$$

Остаточне значення l_{wc} повинно бути одночасно не меншим двох значень $l_{wc,min}$, обчислених за виразами, наведеними вище.

Тоді остаточно:

$$l_{wc,min} = 5 \text{ см} < l_{wc} = 9 \text{ см} < l_{wc,max} = 35,7 \text{ см}.$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення l_{wc} .

Шов біля пера:

необхідна площа шва

$$A_{wft} = \frac{0,3 \cdot N}{2R_{wf} \gamma_c} = \frac{0,3 \cdot 210 \cdot 10}{2 \cdot 215 \cdot 1} = 1,47 \text{ см}^2;$$

катет шва $k_{ft} = k_{ft,max} = t_a = 5 \text{ мм};$

розрахункова довжина шва

$$l_{wt} = \frac{A_{wft}}{\beta_f \cdot k_{ft}} = \frac{1,47}{0,7 \cdot 0,5} = 4,2 \text{ см};$$

приймаємо остаточно $l_{wt} = 5 \text{ см}$ (заокруглюємо до числа, кратного 1 см).

Перевіряються конструктивні вимоги до шва біля пера.

Катет шва повинен бути в межах

$$k_{ft,min} \leq k_{ft} \leq k_{ft,max},$$

де $k_{ft,min}$ і $k_{ft,max}$ - відповідно мінімальний і максимальний катети шва біля пера.

$$k_{ft,min} = 5 \text{ мм (за табл. 16.1 [1]).}$$

$$k_{ft,max} = 5 \text{ мм}.$$

Тоді остаточно:

$$k_{ft,min} = 5 \text{ мм} = k_{ft} = 5 \text{ мм} = k_{ft,max} = 5 \text{ мм}.$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення k_{ft} .

Розрахункова довжина шва повинна бути в межах



$$l_{wt,min} \leq l_{wt} \leq l_{wt,max},$$

де $l_{wt,min}$ та $l_{wt,max}$ - відповідно мінімальне та максимальне значення розрахункової довжини шва.

$$l_{wt,min} = 4k_{ft} = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ см};$$

$$l_{wt,min} = 5 \text{ см};$$

$$l_{wt,max} = 85\beta_f k_{ft} = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,5 = 29,75 \text{ см}.$$

Остаточне значення l_{wt} повинно бути одночасно не меншим двох значень $l_{wt,min}$, обчислених за виразами, наведеними вище.

Тоді остаточно:

$$l_{wt,min} = 5 \text{ см} < l_{wt} = 8 \text{ см} < l_{wt,max} = 29,75 \text{ см}.$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення l_{wt} .

Отримані розрахунком значення розмірів швів заносяться в графі „теоретичні значення” табл. 4.5.

Далі продовжується почате раніше конструювання вузла (рис. 4.8, 4.9). Від торців кутиків стержнів решітки в прийнятому масштабі відкладаються розрахункові довжини швів і окреслюється контур фасонки. Форма фасонки повинна бути простою (прямокутник або трапеція), яка дозволяє виготовити її прямими різаними ножиць з мінімальними відходами. Для плавної передачі зусиль від стержнів решітки на пояси бокові грані фасонки проводяться під кутом не менше 15° до осі стержня решітки. Верхній край фасонки випускають за межі обушка поясного кутика на 20 мм.

В результаті конструювання може виникнути ситуація, коли довжина контакту деяких стержнів решітки з фасонкою біля пера або біля обушка перевищує розрахункову довжину шва. При виготовленні ферми зварювання завжди виконується на всю довжину контакту. А тому для цих стержнів виникає необхідність у перерахунку категу та довжини шва.

Для стержня 10-11 теоретична довжина шва біля пера $l_{wt} = 5 \text{ см}$, а довжина контакту кутика з фасонкою біля пера при конструюванні вузла виявилась рівною 14 см (знімається з



креслення). Приймаючи довжину шва рівною довжині контакту

$l_{wt} = 14$ см, перераховуємо катет шва:

$$k_{ft} = \frac{A_{wft}}{\beta_f \cdot l_{wt}} = \frac{1,47}{0,7 \cdot 14} = 0,15 \text{ см}.$$

Остаточню приймаємо $k_{ft} = k_{ft, \min} = 5$ мм.

Дійсні розміри швів після конструювання вузла заносяться в графі „фактичні значення” табл. 4.5. Фактична площа шва обчислюється, як $A_{wf} = \beta_f k_f l_w$.

Форма верхнього краю фасонки залежить від наявності накладок у вузлах верхнього поясу. При товщині полиць кутиків верхнього поясу 10 мм та менше при кроці ферм 6 м, і 14 мм та менше при кроці ферм 12 м, верхній пояс в місцях обпирання на нього несучих елементів покриття (наприклад, ребер залізобетонних плит покриття) необхідно посилювати накладками. Накладка має товщину 12 мм, довжину 240 мм (по 120 мм в кожную сторону від центру вузла) і приварюється до поясу поздовжніми швами. Фасонки в місцях постановки накладок не доводяться до кромки обушків поясних кутиків на 10...15 мм і не приварюються. Зазори між накладкою та виступами фасонки залишаються по 10 мм (рис. 4.10).

Розраховуються зварні шви, які прикріплюють **поясні кутики** до фасонки. Ці шви розраховуються на зусилля, яке рівне рівнодіючій різниці зусиль в поясах $\Delta N = N_2 - N_1$ та зосередженої сили F , яка прикладається до верхнього пояса ферми. У вузлах нижнього поясу $F=0$.

Розрахункове зусилля у швах:

$$N = \sqrt{(N_2 - N_1)^2 + F^2} = \sqrt{(410 - 186)^2 + 61,92^2} = 600 \text{ кН},$$

де N_1 – зусилля в лівій від вузла панелі верхнього поясу, тобто в стержні 3-9; N_2 – зусилля в правій від вузла панелі верхнього поясу, тобто в стержні 4-11; F – вузлова сила від постійного та снігового навантажень: $F = F_q + F_s = 21,6 + 40,32 = 61,92$ кН.

Значення N_1 , N_2 , F та N заносяться в табл. 4.6.

Обчислюються необхідні площі кутових швів:

біля обушка



$$A_{wfc} = \frac{0,7 \cdot N}{2R_{wff} \gamma_c} = \frac{0,7 \cdot 600 \cdot 10}{2 \cdot 215 \cdot 1} = 9,77 \text{ см}^2;$$

біля пера

$$A_{wft} = \frac{0,3 \cdot N}{2R_{wff} \gamma_c} = \frac{0,3 \cdot 600 \cdot 10}{2 \cdot 215 \cdot 1} = 4,19 \text{ см}^2.$$

Значення площ заносяться в табл. 4.6.

Оскільки вузол на даному етапі розрахунку вже повністю за конструйований, то розрахункова довжина швів знімається з креслення і приймається рівною довжині контакту фасонки з поясними кутиками біля обушка та біля пера за виключенням 10 мм на дефекти шва. Вузол має накладку, тому шов, який з'єднує кутики з фасонкою біля обушка, складається з двох окремих ділянок довжиною l_{c1} та l_{c2} .

Визначаємо розрахункові довжини швів:

біля обушка

$$l_{wc} = \underbrace{(\llcorner 1 - 1 \text{ см})}_{\text{біля пера}} + \underbrace{(\llcorner 2 - 1 \text{ см})}_{\text{біля пера}} = \underbrace{(6 - 1)}_{\text{біля пера}} + \underbrace{(1 - 1)}_{\text{біля пера}} = 21 \text{ см};$$

біля пера

$$l_{wt} = l_t - 1 \text{ см} = 49 - 1 = 48 \text{ см}.$$

Значення розрахункових довжин заносяться в табл. 4.6.

Обчислюються необхідні катети швів:

біля обушка

$$k_{fc,1} \geq \frac{A_{wfc}}{\beta_f l_{wc}} = \frac{9,77}{0,7 \cdot 21} = 0,7 \text{ см};$$

$$k_{fc,2} \geq \frac{1}{\beta_f} \sqrt{\frac{A_{wfc}}{85}} = \frac{1}{0,7} \sqrt{\frac{9,77}{85}} = 0,5 \text{ см};$$

$$k_{fc,3} \geq k_{fcmin} = 0,5 \text{ см (за табл. 16.1 [1]);}$$

приймаємо остаточно більше з трьох значень

$$k_{fc} = 0,7 \text{ см};$$

біля пера

$$k_{ft,1} \geq \frac{A_{wft}}{\beta_f l_{wt}} = \frac{4,19}{0,7 \cdot 48} = 0,2 \text{ см};$$



$$k_{ft,2} \geq \frac{1}{\beta_f} \sqrt{\frac{A_{wft}}{85}} = \frac{1}{0,7} \sqrt{\frac{4,19}{85}} = 0,4 \text{ см};$$

$$k_{ft,3} \geq k_{ftmin} = 0,5 \text{ см (за табл. 16.1 [1]);}$$

приймаємо остаточно більше з трьох значень

$$k_{ft} = 0,5 \text{ см}.$$

Значення катетів швів заносяться в табл. 4.6.

На цьому розрахунок і конструювання проміжного вузла №1 закінчено. Остаточне його конструктивне рішення наведено на рис. 4.11.

Як приклад, на рис. 4.12 показане конструктивне рішення вузла без накладки по верхньому поясу. В цьому випадку розрахункова довжина шва біля обушка поясного кутика рівна: $l_{wc} = l_c - 1 \text{ см} = 49 - 1 = 48 \text{ см}$, де $l_c = 49 \text{ см}$ - довжина контакту кутика з фасонкою біля обушка (знімається з креслення).

Інші проміжні вузли розраховуються в табличній формі (табл. 4.5, 4.6) з обов'язковим їх конструюванням. Конструктивні рішення вузлів №№ 2, 3 і 4 наведені на рис. 4.13, 4.14, 4.15.

В кожному вузлі повинні бути проставлені розміри, які дозволяють визначити габарити всіх деталей вузла:

- проставляються прив'язки торців стержнів решітки до центрів вузлів з таким розрахунком, щоб «чисті» довжини кутиків мали розміри, кратні 10 мм;
- проставляються розміри від центрів вузлів до країв фасонки. Ці розміри бажано мати також кратними 10 мм;
- проставляються розміри зварних швів;
- для кожного кутика проставляється його прив'язка z_0 до осі.



Національний університет
водного господарства
та природокористування

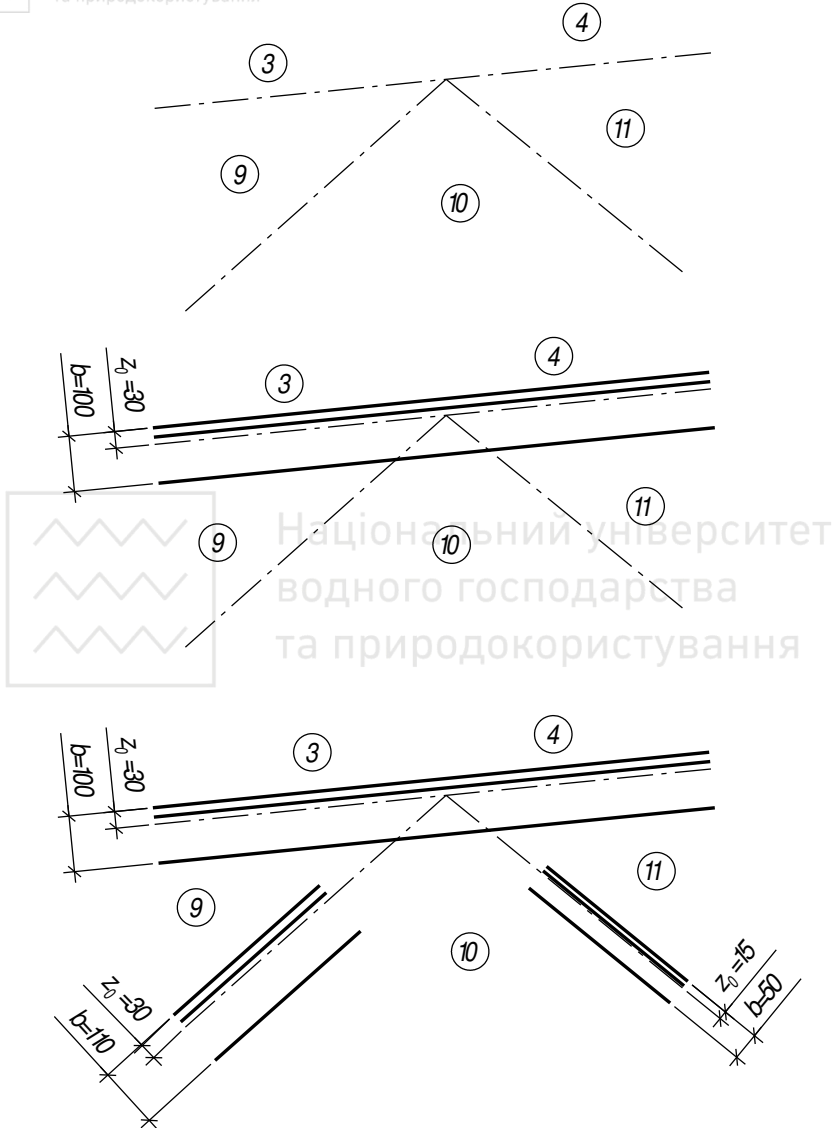


Рис. 4.7. I етап конструювання вузла №1

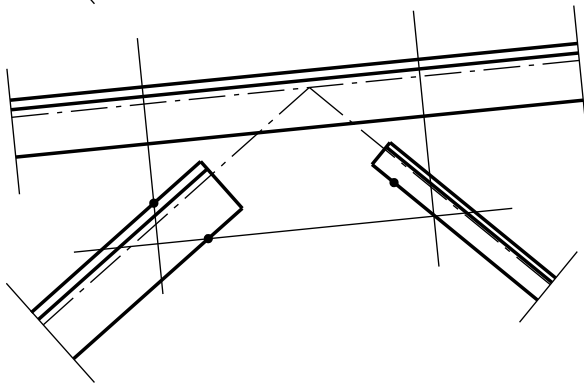
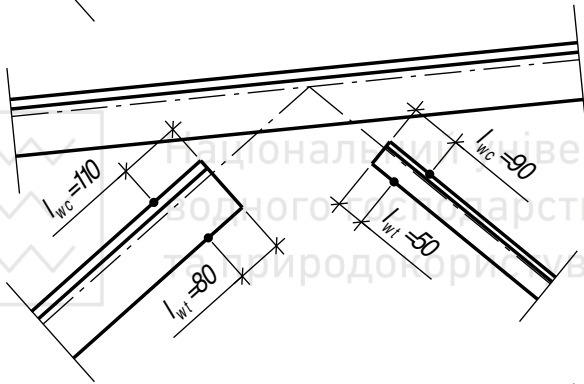
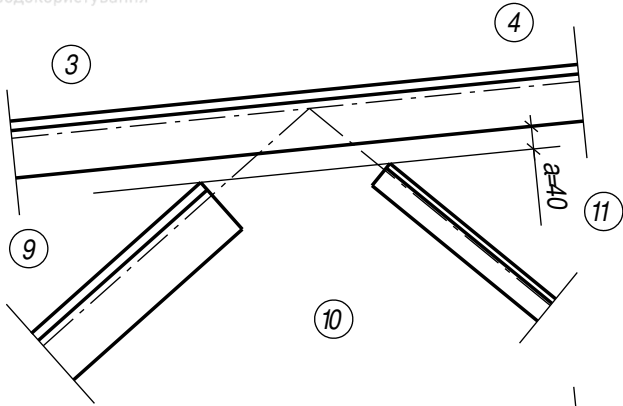


Рис. 4.8. II етап конструювання вузла Net

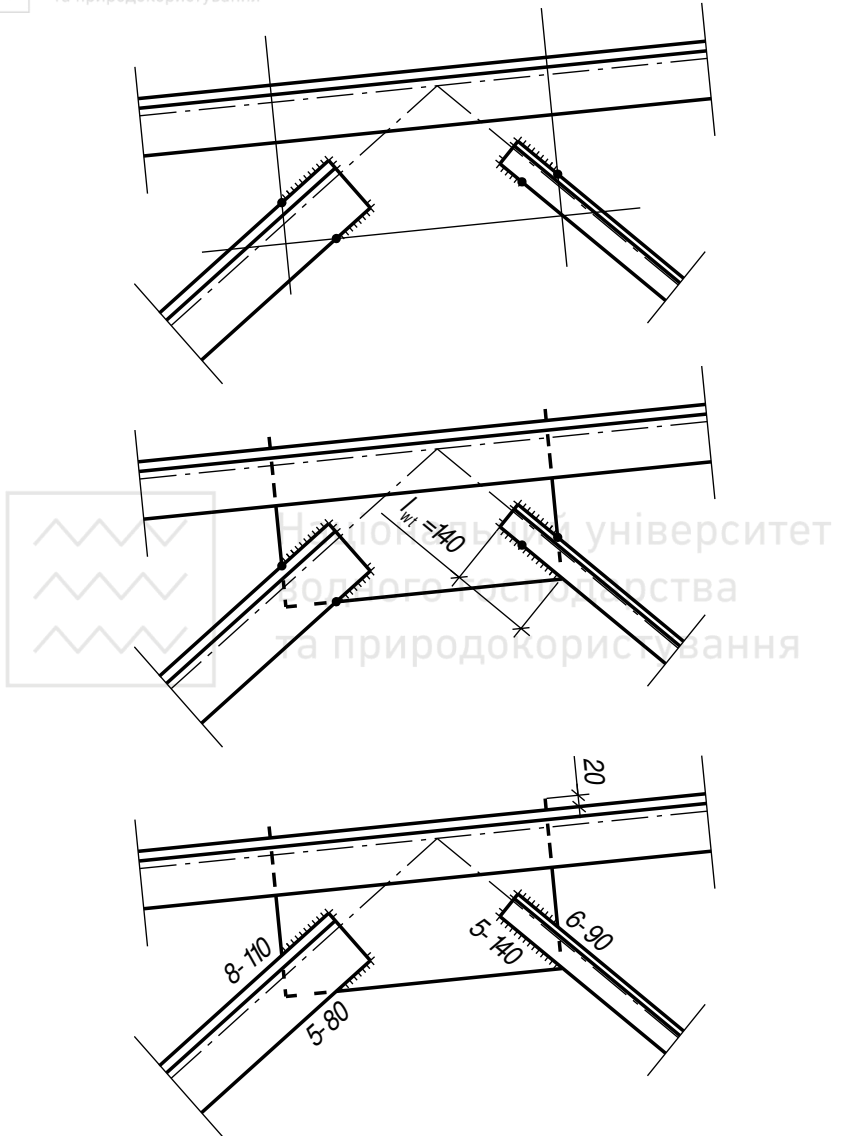


Рис. 4.9. III етап конструювання вузла №1

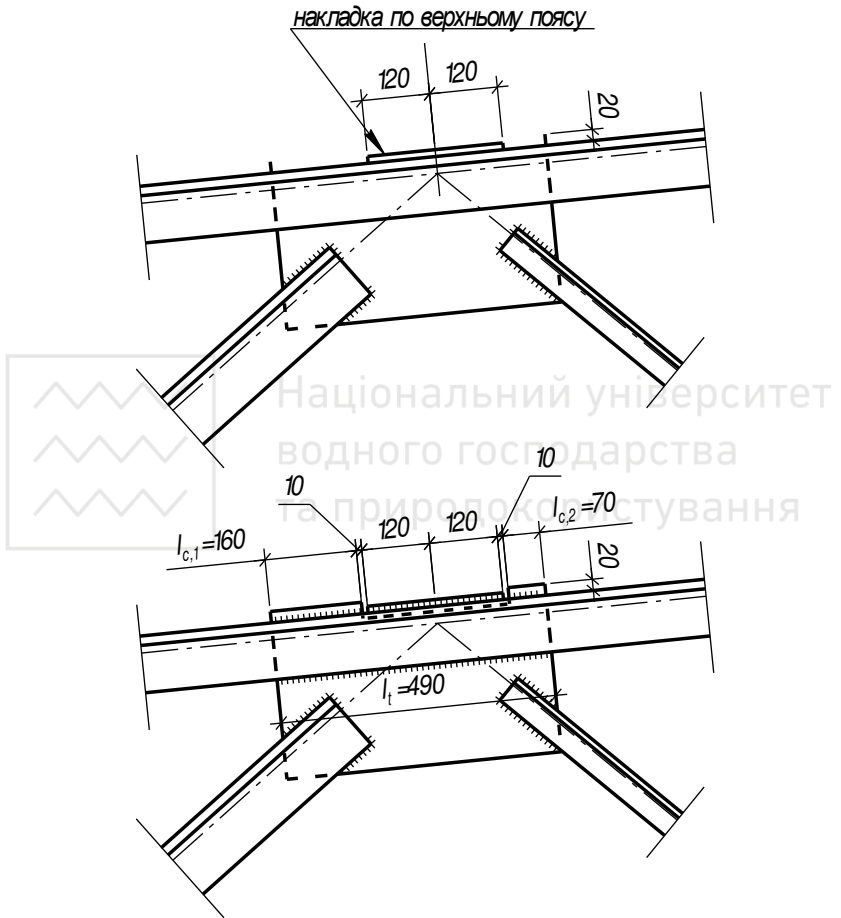


Рис. 4.10. IV етап конструювання вузла №1

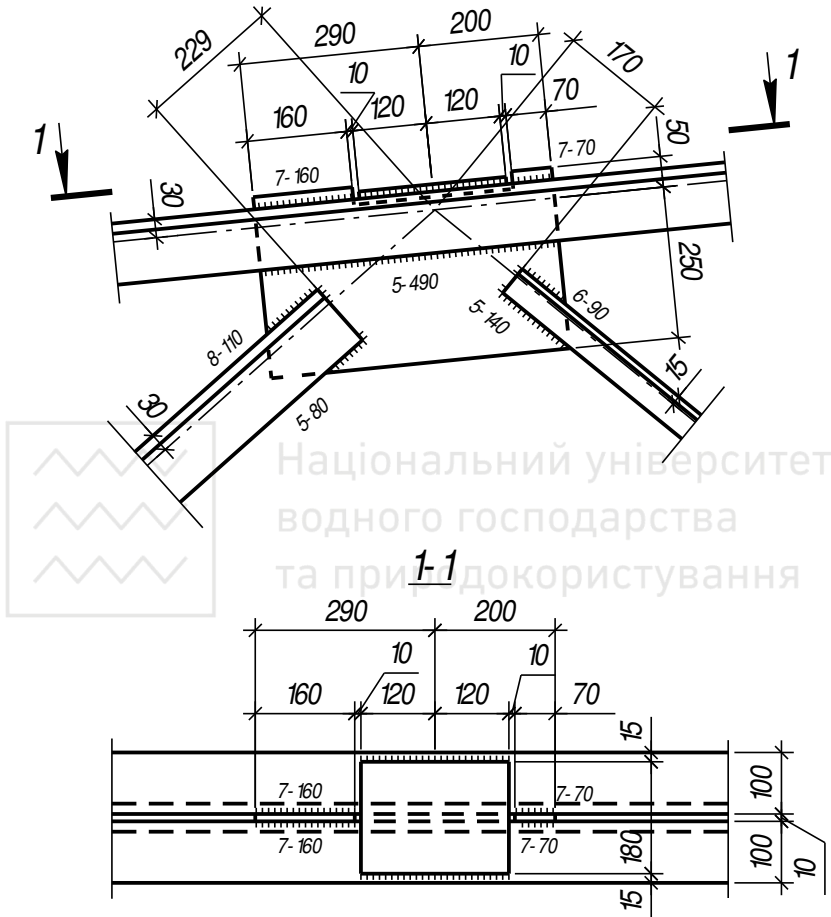


Рис. 4.11. Остаточне конструктивне рішення вузла №1

Таблиця 4.5

Розрахунок приєднання стержнів решітки до фасонки

№ вузла	№ стержня решітки	Розрахункове зусилля в стержні, кН	Склад перерізу	Обушок						Перо					
				Теоретичні значення (отримані розрахунком)			Фактичні значення (після конструювання вузла)			Теоретичні значення (отримані розрахунком)			Фактичні значення (після конструювання вузла)		
				$A_{wfc},$ $см^2$	$k_{fc},$ $мм$	$l_{wc},$ $см$	$k_{fc},$ $мм$	$l_{wc},$ $см$	$A_{wfc},$ $см^2$	$A_{wft},$ $см^2$	$k_{ft},$ $мм$	$l_{wt},$ $см$	$k_{ft},$ $мм$	$l_{wt},$ $см$	$A_{wft},$ $см^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	14
1	9-10	-375	2L 110×7	6,11	8	11	8	11	6,16	2,62	5	8	5	8	2,8
	10-11	210	2L 50×5	3,42	6	9	6	9	3,78	1,47	5	5	5	14	4,9
2	11-12	-62	2L 63×5	1,01	6	5	5	5	1,75	0,44	5	5	5	5	1,4
3	12-13	-105	2L 100×7	1,71	8	5	8	5	2,24	0,74	5	5	5	5	1,4
	13-14	-56	2L 100×7	0,92	8	5	5	9	3,15	0,40	5	5	5	5	1,75
4	10-11	210	2L 50×5	3,42	6	9	6	9	3,78	1,47	5	5	5	5	1,75
	11-12	-62	2L 63×5	1,01	6	5	5	10	3,5	0,44	5	5	5	10	3,5
	12-13	-105	2L 100×7	1,71	8	5	8	5	2,24	0,74	5	5	5	5	1,4

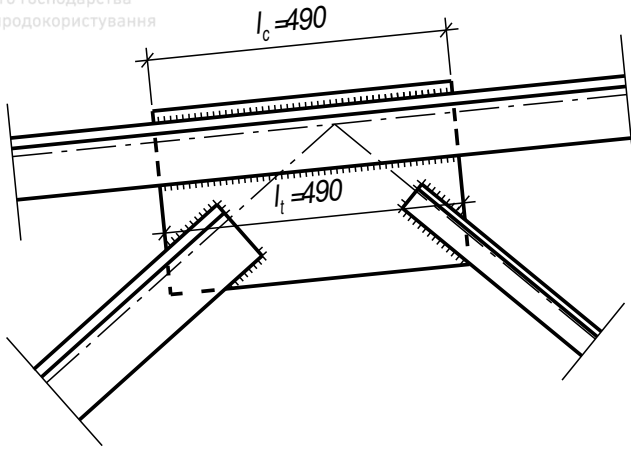


Розрахунок приєднання поясних кутиків до фасонки

№ вузла	Силві фактори				Обушок						Перо					
	$N_1,$ кН	$N_2,$ кН	$F,$ кН	$N,$ кН	$A_{wfc},$ см ²	$l_{wc},$ см	$k_{fc,1},$ мм	$k_{fc,2},$ мм	$k_{fc,3},$ мм	$k_{fc},$ мм	$A_{wft},$ см ²	$l_{wt},$ см	$k_{ft,1},$ мм	$k_{ft,2},$ мм	$k_{ft,3},$ мм	$k_{ft},$ мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	186	-410	61,92	600	9,77	21	7	5	5	7	4,19	48	2	4	5	5
2	-410	-410	61,92	61,92	1,01	8	2	2	5	5	0,44	21	1	2	5	5
3	-410	-451	61,92	74,3	1,21	10	2	2	5	5	0,52	37	1	2	5	5
4	269	461	-	192	3,13	41	1	3	5	5	1,34	41	1	2	5	5



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Національний університет
водного господарства
та природокористування

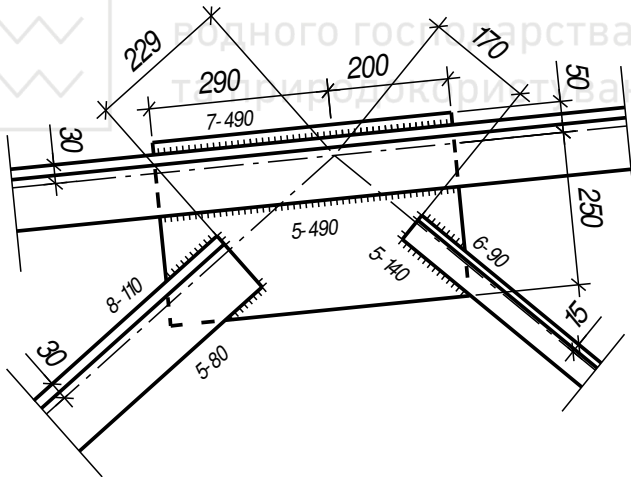


Рис. 4.12. Приклад конструювання вузла №1 без
накладки по верхньому поясу

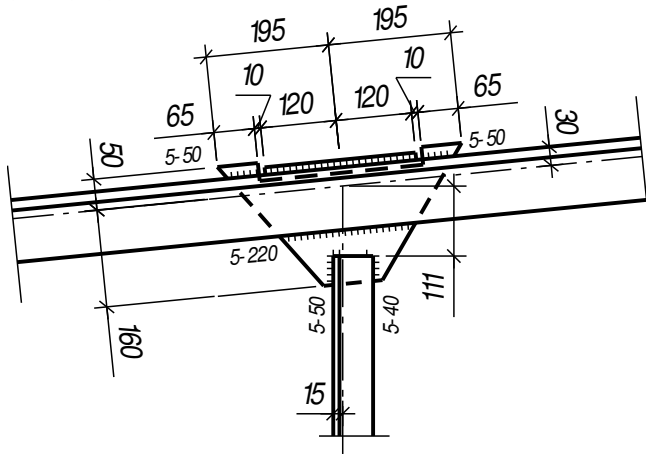


Рис. 4.13. Конструювання вузла №2

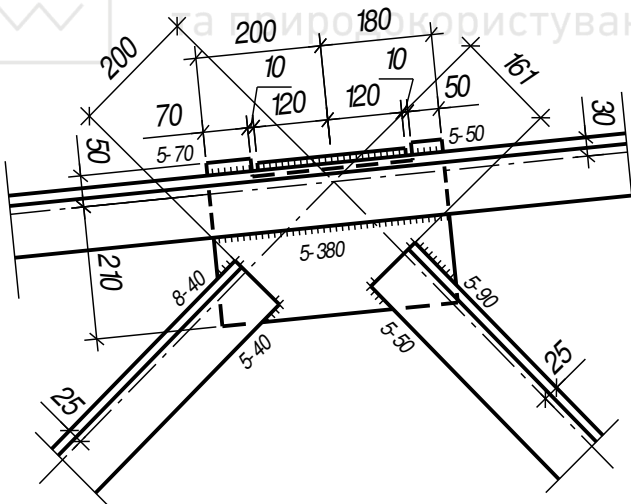
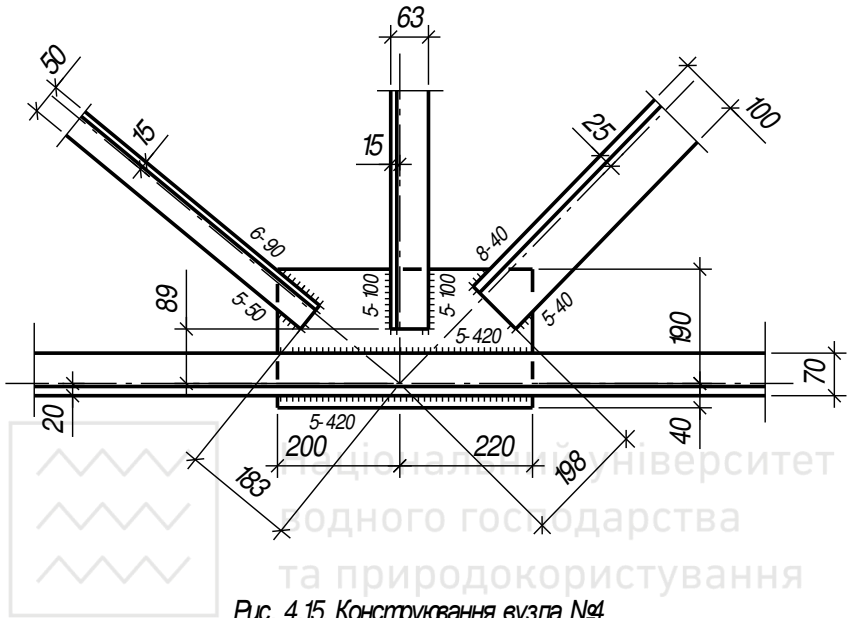


Рис. 4.14. Конструювання вузла №3





4.3.2. Розрахунок та конструювання опорних вузлів ферми

А. Верхній опорний вузол.

Розрахунок та конструювання вузла виконується одночасно.

Приймаємо болтове з'єднання ферми з колоною. В цьому випадку вузол складається з фасонки, до якої приварений стержень верхнього поясу ферми, та опорного фланця, який приварений в торець фасонки і за допомогою болтів приєднується до внутрішнього поясу колони. Приймаємо з'єднання на чотирьох болтах, які розміщуємо симетрично відносно центру фланця.

Розрахунок вузла виконується на дію найбільшого від'ємного опорного моменту в перерізі 4-4 рами, який відриває фланець від колони. За табл. 3.1 цей момент рівний: $M = -392,2 \text{ кНм}$. При цьому згинаючий момент замінюємо парою сил H (рис. 4. 16):

$$H = \frac{M}{h'} = \frac{392,2}{2,175} = 180,4 \text{ кН},$$

де h' – відстань між центрами верхнього та нижнього опорних вузлів на внутрішній грані колони; за рис. 4.5 $h' = 2,175 \text{ м}$.

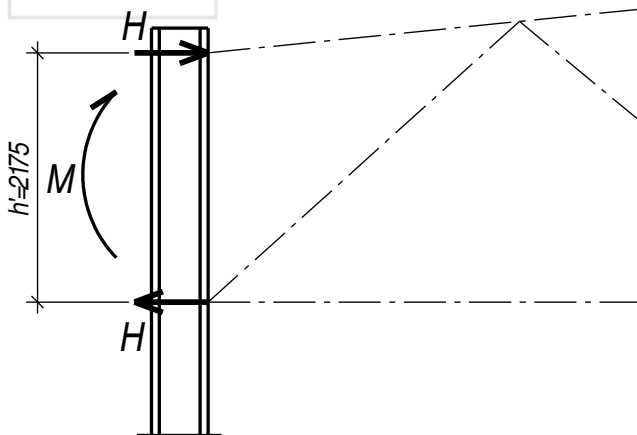


Рис. 4.16. Др визначення сили H в опорних вузлах



Вузол проектується так, щоб лінія дії сили H проходила через середину фланця (центр опорного вузла). Це призводить до рівномірного навантаження всіх болтів і зварного шва, який з'єднує фланець з фасонкою. Товщина опорного фланця конструктивно приймається $t_f = 20$ мм і в подальшому перевіряється на міцність.

Для конструювання фасонки опорного вузла розраховуються зварні шви, які з'єднують верхній пояс з фасонкою, на дію поздовжнього зусилля в крайній панелі поясу, тобто в стержні 3-9 (див. рис. 4.1,а). За табл. 4.2. $N_{3,9} = 186$ кН. Стержень верхнього поясу складається з двох рівнобоких кутиків $2 \perp 100 \times 8$.

Розраховується зварний шов біля обушка:

катет шва приймається максимальним

$$k_{fc} = k_{fc,max} = 1,2t_{min} = 1,2 \cdot 0,8 = 0,96 \text{ см},$$

приймається $k_{fc} = 0,9$ см;

розрахункова довжина шва

$$l_{wc} = \frac{0,7N}{2\beta_f k_{fc} R_{wf} \gamma_c} = \frac{0,7 \cdot 186 \cdot 10}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 215 \cdot 1} = 4,81 \text{ см},$$

приймається остаточно $l_{wc} = 5$ см.

Перевіряються конструктивні вимоги до шва біля обушка.

Катет шва повинен бути в межах

$$k_{fc,min} \leq k_{fc} \leq k_{fc,max},$$

де $k_{fc,min}$ і $k_{fc,max}$ - відповідно мінімальний і максимальний катети шва біля обушка.

$$k_{fc,min} = 5 \text{ мм (за табл. 16.1 [1]).}$$

$$k_{fc,max} = 1,2t_{min} = 1,2 \cdot 0,8 = 0,96 \text{ см}.$$

Тоді остаточно:

$$k_{fc,min} = 5 \text{ мм} < k_{fc} = 9 \text{ мм} < k_{fc,max} = 9,6 \text{ мм}.$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення k_{fc} .

Розрахункова довжина шва повинна бути в межах

$$l_{wc,min} \leq l_{wc} \leq l_{wc,max},$$

де $l_{wc,min}$ та $l_{wc,max}$ - відповідно мінімальне та максимальне значення розрахункової довжини шва.



$$l_{wc,min} = 4k_{fc} = 4 \cdot 0,8 = 3,2 \text{ см};$$

$$l_{wc,min} = 5 \text{ см};$$

$$l_{wc,max} = 85\beta_f k_{fc} = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 53,55 \text{ см}.$$

Остаточне значення l_{wc} повинно бути одночасно не меншим двох значень $l_{wc,min}$, обчислених за виразами, наведеними вище.

Тоді остаточно:

$$l_{wc,min} = 5 \text{ см} = l_{wc} = 5 \text{ см} < l_{wc,max} = 53,55 \text{ см}.$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення l_{wc} .

Розраховується зварний шов біля пера:

катет шва приймається максимальним

$$k_{ft} = k_{ft,max} = 0,9t_a = 0,9 \cdot 8 = 7,2 \text{ мм}; \quad \text{остаточно приймаємо}$$

$$k_{ft} = 6 \text{ мм};$$

розрахункова довжина шва

$$l_{wt} = \frac{0,3N}{2\beta_f k_{ft} R_{wf} \gamma_c} = \frac{0,3 \cdot 186 \cdot 10}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 215 \cdot 1} = 3,09 \text{ см},$$

приймається остаточно $l_{wt} = 5 \text{ см}$.

Перевіряються конструктивні вимоги до шва біля пера.

Катет шва повинен бути в межах

$$k_{ft,min} \leq k_{ft} \leq k_{ft,max},$$

де $k_{ft,min}$ і $k_{ft,max}$ - відповідно мінімальний і максимальний катети шва біля обушка.

$$k_{ft,min} = 5 \text{ мм (за табл. 16.1 [1])}.$$

$$k_{ft,max} = 0,9t_a = 0,9 \cdot 8 = 7,2 \text{ мм}.$$

Тоді остаточно:

$$k_{ft,min} = 5 \text{ мм} < k_{ft} = 6 \text{ мм} < k_{ft,max} = 7,2 \text{ мм}.$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення k_{ft} .

Розрахункова довжина шва повинна бути в межах

$$l_{wt,min} \leq l_{wt} \leq l_{wt,max},$$



де $l_{wt,min}$ та $l_{wt,max}$ - відповідно мінімальне та максимальне значення розрахункової довжини шва.

$$l_{wt,min} = 4k_{ft} = 4 \cdot 0,6 = 2,4 \text{ см};$$

$$l_{wt,min} = 5 \text{ см};$$

$$l_{wt,max} = 85\beta_f k_{ft} = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,6 = 35,7 \text{ см}.$$

Остаточне значення l_{wt} повинно бути одночасно не меншим двох значень $l_{wt,min}$, обчислених за виразами, наведеними вище.

Тоді остаточно:

$$l_{wt,min} = 5 \text{ см} = l_{wt} = 5 \text{ см} < l_{wt,max} 35,7 \text{ см}.$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення l_{wt} .

Далі виконується конструювання вузла в наступній послідовності (як правило, в масштабі 1:10):

1) вертикальними лініями зображуються контури колони (рис. 4.17). На внутрішній грані колони вибирається точка (центр опорного вузла) і з неї проводиться вісь верхнього поясу під кутом, який відповідає прийнятому його нахилу. До проведеної осі прив'язується кутик верхнього поясу. Вертикальною лінією показується товщина опорного фланця $t_{\phi} = 20$ мм. Торець кутика проводиться перпендикулярно до осі, при цьому відстань між найближчими точками кутика і фланця повинна бути не меншою 40 мм;

2) від торця кутика відкладаються в масштабі розраховані вище довжини швів біля обушка та біля пера. Через їх кінці проводиться пряма лінія і виводиться за межі кутика біля обушка та біля пера на 10...20 мм. Ця пряма є правим краєм фасонки. Кожний шов виноситься на торець кутика на 20 мм;

3) з нижньої точки правого краю фасонки (рис. 4.18) під кутом не менше 15° до осі верхнього поясу проводиться лінія до перетину з внутрішньою гранню фланця. Горизонтальною лінією показується нижній край фланця. Відстань від центра опорного вузла, який одночасно є серединою фланця по висоті, до нижнього краю фланця остаточно приймається кратною 10 мм;

4) визначається графічно верхній край фланця та колони, виходячи з того, що центр опорного вузла повинен ділити фланець по висоті на



Проводиться верхній край фасонки, тобто з'єднується верх фланця з верхньою точкою правого краю фасонки.

Висота фланця знімається з креслення: $h = 24$ см. Ширина фланця b призначається, виходячи з вимог табл. 16.3 [1] до розміщення болтів. Болти попередньо приймаються діаметром 2 см. Відстані в болтовому з'єднанні повинні задовольняти наступним вимогам:

між центрами отворів в будь-якому напрямку

$$m_{min} = 2d_1 = 22 = 44 \text{ мм};$$

$$m_{max,1} = 8d_1 = 8 \cdot 22 = 176 \text{ мм};$$

$$m_{max,2} = 12t = 12 \cdot 10 = 120 \text{ мм};$$

від центру отвору до краю елемента

$$n_{min} = 1,5d_1 = 1,5 \cdot 22 = 33 \text{ мм};$$

$$n_{max,1} = 4d_1 = 4 \cdot 22 = 88 \text{ мм};$$

$$n_{max,2} = 8t = 8 \cdot 10 = 80 \text{ мм},$$

де $d_1=22$ мм – діаметр отворів під болти класу точності B ; t – менша з товщин з'єднуваних болтами елементів (або t_f – товщина поясу двотавра верхньої частини колони, або t_ϕ – товщина фланця); в даному випадку $t=t_f=10$ мм (рис. 4.19).

На рис. 4.19 наведені обчислені вище мінімальні та максимальні відстані в болтовому з'єднанні, а також остаточно прийняті розміри. Ширину фланця b бажано остаточно приймати мінімально можливою і кратною 10 мм. Тому відстані від центрів отворів до країв фланця по горизонталі прийняті по 40 мм, а відстань між центрами отворів по горизонталі, враховуючи товщину вузлової фасонки $t_p=10$ мм, наявність кутових зварних швів з кожного боку фасонки та зручність постановки болтів (розміри гайок вимагають певного вільного простору), прийнята 100 мм. Таким чином ширина фланця становить $b=180$ мм.



Національний університет
водного господарства
та природокористування

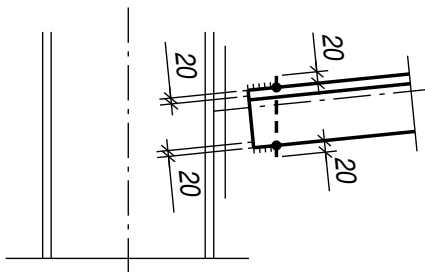
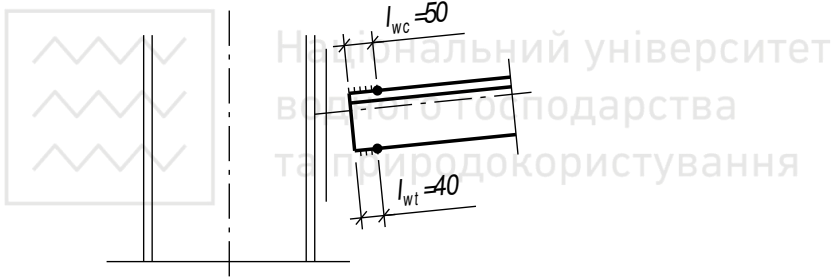
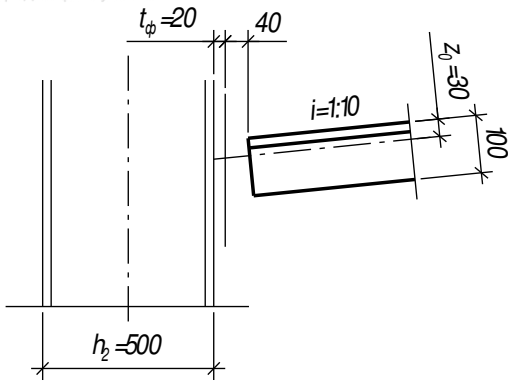
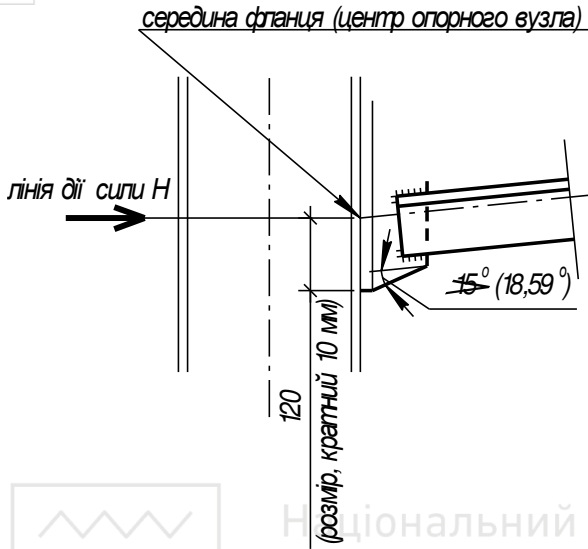


Рис. 4.17. I етап конструювання верхнього опорного вузла



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Національний університет
водного господарства
та природокористування

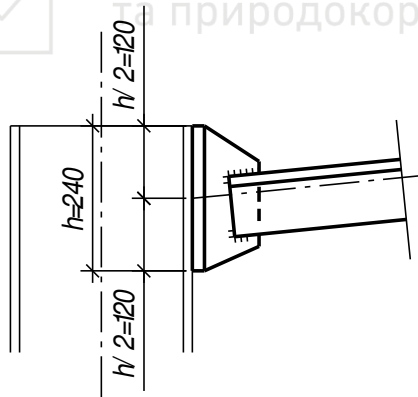


Рис. 4.18. II етап конструювання верхнього опорного вузла

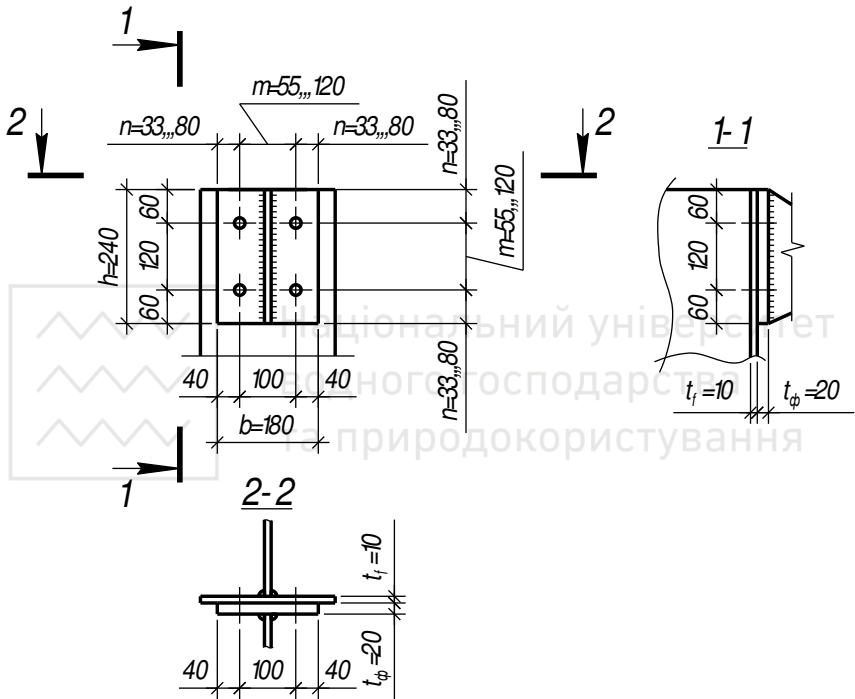


Рис. 4.19. Др розміщення болтів у вузлі



Остаточне конструктивне рішення верхнього опорного вузла наведене на рис. 4.20.

Оскільки кількість болтів ($n=4$ шт.) прийнята попередньо, то необхідно перевірити їх достатню кількість за формулою:

$$n \geq \frac{H}{\gamma_c N_b},$$

де N_b – розрахункове зусилля, яке може бути сприйняте одним болтом з умови його роботи на розтяг при відриві фланця від колони.

Міцність болтів повинна бути не меншою міцності елементів, які вони з'єднують. А тому призначається необхідний клас міцності болтів.

Перше число в позначенні класу міцності болтів повинне бути не меншим, ніж

$$\frac{R_{un}}{100} = \frac{510}{100} = 5,1;$$

друге число – не меншим, ніж

$$\frac{R_{yn}}{R_{un}} \cdot 10 = \frac{375}{510} \cdot 10 = 7,35,$$

де R_{un} і R_{yn} – відповідно межа міцності та межа текучості більш міцної сталі (ферми або колони). Для сталі С375 за товщини листового прокату $2\text{мм} < t \leq 10\text{мм}$ - $R_{un}=510$ МПа, $R_{yn}=375$ МПа.

Остаточню приймається клас міцності болтів 8.8. За табл. Д.4 [1] розрахунковий опір болтів розтягу $R_{bt}=435$ МПа. Тоді

$$N_b = R_{bt} A_{bn} / 10 = 435 \cdot 2,45 / 10 = 106 \text{ кН},$$

де $A_{bn}=2,45 \text{ см}^2$ – площа перерізу болта „нетто” за табл. Д.8 [1].

Необхідна кількість болтів

$$n \geq \frac{H}{\gamma_c N_b} = \frac{180,4}{1 \cdot 106} = 1,7.$$

Отже, чотирьох болтів у з'єднанні достатньо.

Шви, які прикріплюють фланець до фасонки, мають розрахункову довжину, яка визначається при конструюванні вузла (зімається з креслення):

$$l_w = h - 1 \text{ см} = 24 - 1 = 23 \text{ см}.$$

Необхідний катет шва:



$$k_f \geq \frac{H}{2\beta_f l_w R_{wf} \gamma_c} = \frac{180.4 \cdot 10}{2 \cdot 0.7 \cdot 23 \cdot 215 \cdot 1} = 0.27 \text{ см.}$$

Приймаємо остаточно $k_f = k_{fmin} = 7 \text{ мм}$ (за табл. 16.1 [1] при товщині більш товстого зі з'єднаних елементів $t_\phi = 20 \text{ мм}$).

Перевіряємо розрахункову довжину:

$$l_w = 23 \text{ см} < l_{w,max} = 85\beta_f k_f = 85 \cdot 0.7 \cdot 0.7 = 41.65 \text{ см.}$$

Сила H намагається відірвати фланець від колони і викликає його згин (рис. 4.21). Момент при згині фланця визначається як в защемленій балці прольотом „ a ”, рівним відстані між вертикальними рядами болтів:

$$M_\phi = \frac{Ha}{8}.$$

Перевіряємо міцність фланця:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M_\phi}{W_\phi} = \frac{H \cdot a}{8} \cdot \frac{h \cdot t_\phi^2}{6} = \frac{3 \cdot H \cdot a \cdot 10}{4 \cdot h \cdot t_\phi^2} = \\ &= \frac{3 \cdot 180.4 \cdot 10 \cdot 10}{4 \cdot 24 \cdot 2^2} = 141 \text{ МПа} < R_y \gamma_c = 345 \cdot 1 = 345 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

де $R_y = 345 \text{ МПа}$ для сталі С375 при товщині $t_\phi = 20 \text{ мм}$ (за табл. Г.2 [1]).

Міцність фланця забезпечена.

Б. Нижній опорний вузол.

Проектування вузла починається з його конструювання в масштабі (як правило 1:10).

Конструювання та одночасний розрахунок виконується в наступній послідовності.

1. Вертикальними лініями показуються контури колони (рис. 4.22). На внутрішній грані колони вибирається точка (центр опорного вузла) і з неї проводяться осі нижнього поясу (горизонтально) та опорного розкосу (під відповідним кутом). До проведених осей прив'язуються підібрані кутики нижнього поясу та опорного розкосу.

2. Вертикальною лінією показується товщина опорного фланця $t_\phi = 20 \text{ мм}$. Визначаються положення торців кутиків. Торець кутиків



Національний університет
водного господарства
та природокористування

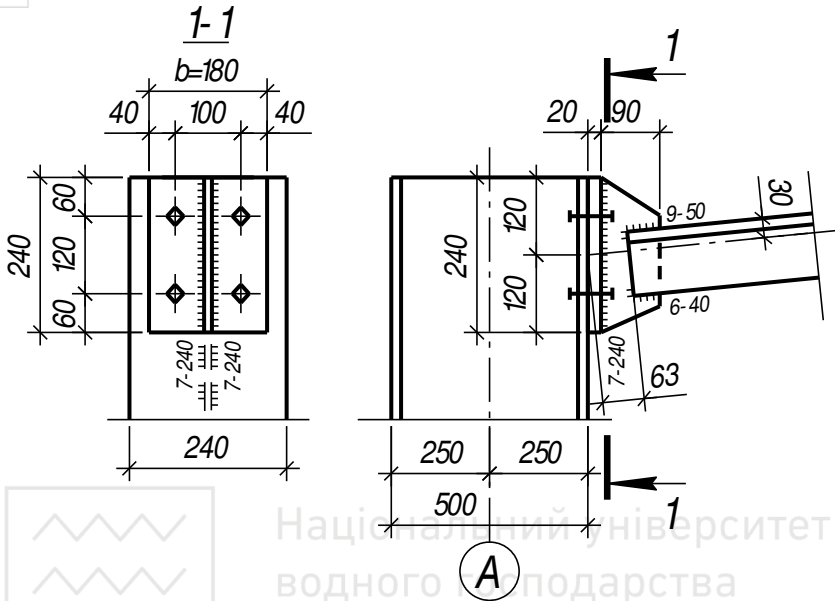


Рис. 4.20. Остаточне конструктивне рішення верхнього опорного вузла

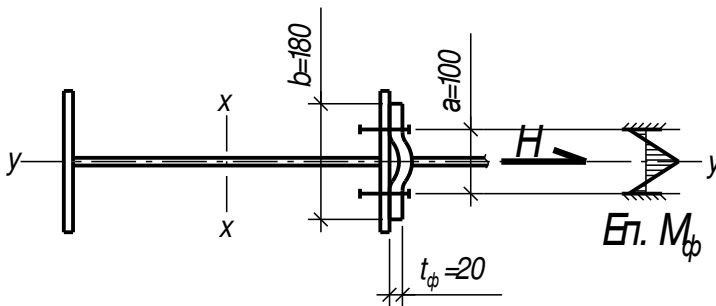


Рис. 4.21. До розрахунку фланця



нижнього поясу проводиться перпендикулярно до його осі, при цьому відстань між внутрішнім краєм фланця і торцем кутиків повинна бути не меншою 40 мм. Торець опорного розкошу проводиться також перпендикулярно до осі стержня, при цьому відстань між найближчими точками кутиків нижнього поясу та опорного розкошу повинна бути

$$a = 6t_p - 20 \text{ мм} = 6 \cdot 10 - 20 = 40 \text{ мм},$$

але не більшою 80 мм і не меншою 40 мм.

Для визначення контурів опорної фасонки розраховуються зварні шви, які з'єднують опорний розкіс та нижній пояс з фасонкою.

Стержень 9-10. Розрахункове зусилля в стержні $N_{9-10} = 375 \text{ кН}$. Переріз стержня - 2L 110×7. Товщина вузлової фасонки $t_p = 10 \text{ мм}$.

Обчислюються теоретичні значення розмірів швів.

Шов біля обушка:

необхідна площа шва

$$A_{wfc} = \frac{0,7 \cdot N}{2R_{wf} \gamma_c} = \frac{0,7 \cdot 375 \cdot 10}{2 \cdot 215 \cdot 1} = 6,11 \text{ см}^2;$$

катет шва $k_{fc} = k_{fc,max} = 1,2t_{min} = 1,2 \cdot 0,7 = 0,84 \text{ см}$;

приймаємо остаточно $k_{fc} = 0,8 \text{ см}$ (заокруглюємо до числа, кратного 1 мм);

розрахункова довжина шва

$$l_{wc} = \frac{A_{wfc}}{\beta_f \cdot k_{fc}} = \frac{6,11}{0,7 \cdot 0,8} = 10,92 \text{ см};$$

приймаємо остаточно $l_{wc} = 11 \text{ см}$ (заокруглюємо до числа, кратного 1 см).

Перевіряються конструктивні вимоги до шва біля обушка.

Катет шва повинен бути в межах

$$k_{fc,min} \leq k_{fc} \leq k_{fc,max},$$

де $k_{fc,min}$ і $k_{fc,max}$ - відповідно мінімальний і максимальний катети шва біля обушка.

$$k_{fc,min} = 5 \text{ мм (за табл. 16.1 [1]).}$$

$$k_{fc,max} = 1,2t_{min} = 1,2 \cdot 0,7 = 0,84 \text{ см}.$$

Тоді остаточно:



$$k_{fc,min} = 5 \text{ мм} < k_{fc} = 8 \text{ мм} < k_{fc,max} = 8,4 \text{ мм} .$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення k_{fc} .

Розрахункова довжина шва повинна бути в межах

$$l_{wc,min} \leq l_{wc} \leq l_{wc,max} ,$$

де $l_{wc,min}$ та $l_{wc,max}$ - відповідно мінімальне та максимальне значення розрахункової довжини шва.

$$l_{wc,min} = 4k_{fc} = 4 \cdot 0,8 = 3,2 \text{ см} ;$$

$$l_{wc,min} = 5 \text{ см} ;$$

$$l_{wc,max} = 85\beta_f k_{fc} = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 47,6 \text{ см} .$$

Остаточне значення l_{wc} повинно бути одночасно не меншим двох значень $l_{wc,min}$, обчислених за виразами, наведеними вище.

Тоді остаточно:

$$l_{wc,min} = 5 \text{ см} < l_{wc} = 11 \text{ см} < l_{wc,max} = 47,6 \text{ см} .$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення l_{wc} .

Шов біля пера:

необхідна площа шва

$$A_{wft} = \frac{0,3 \cdot N}{2R_{wf} \gamma_c} = \frac{0,3 \cdot 375 \cdot 10}{2 \cdot 215 \cdot 1 \cdot 1} = 2,62 \text{ см}^2 ;$$

катет шва $k_{ft} \leq k_{ft,max} = 0,9 \cdot t_a = 0,9 \cdot 7 = 6,3 \text{ мм}$; приймаємо остаточно $k_{ft} = 5 \text{ мм}$;

розрахункова довжина шва

$$l_{wt} = \frac{A_{wft}}{\beta_f \cdot k_{ft}} = \frac{2,62}{0,7 \cdot 0,5} = 7,49 \text{ см} ;$$

приймаємо остаточно $l_{wt} = 8 \text{ см}$ (заокруглюємо до числа, кратного 1 см).

Перевіряються конструктивні вимоги до шва біля пера.

Катет шва повинен бути в межах

$$k_{ft,min} \leq k_{ft} \leq k_{ft,max} ,$$



де $k_{ft,min}$ і $k_{ft,max}$ - відповідно мінімальний і максимальний катети шва біля пера.

$$k_{ft,min} = 5 \text{ мм (за табл. 16.1 [1]).}$$

$$k_{ft,max} = 0,9 \cdot 7 = 6,3 \text{ мм .}$$

Тоді остаточно:

$$k_{ft,min} = 5 \text{ мм} = k_{ft} = 5 \text{ мм} = k_{ft,max} = 6,3 \text{ мм} .$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення k_{ft} .

Розрахункова довжина шва повинна бути в межах

$$l_{wt,min} \leq l_{wt} \leq l_{wt,max} ,$$

де $l_{wt,min}$ та $l_{wt,max}$ - відповідно мінімальне та максимальне значення розрахункової довжини шва.

$$l_{wt,min} = 4k_{ft} = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ см} ;$$

$$l_{wt,min} = 5 \text{ см} ;$$

$$l_{wt,max} = 85\beta_f k_{ft} = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,5 = 29,75 \text{ см} .$$

Остаточне значення l_{wt} повинно бути одночасно не меншим двох значень $l_{wt,min}$, обчислених за виразами, наведеними вище.

Тоді остаточно:

$$l_{wt,min} = 5 \text{ см} < l_{wt} = 8 \text{ см} < l_{wt,max} = 29,75 \text{ см} .$$

Умова виконується. Якщо умова не виконується, то необхідно відповідним чином скоректувати значення l_{wt} .

Далі продовжується розпочате раніше конструювання вузла (рис. 4.22). Від торця розкошу відкладаються в масштабі розраховані довжини швів біля обушка та біля пера. Кожний шов виноситься на торець кутика на 20 мм.

Через крайню точку шва біля обушка проводиться горизонтальна лінія (верхній край фасонки та фланця), а через крайню точку шва біля пера – вертикальна лінія (правий край фасонки), яка виводиться за межі обушка нижнього поясу на 10...20 мм. Таким чином, довжина контакту l_k фасонки з кутиком нижнього поясу (а отже і довжина зварного шва, оскільки шов накладається по всій довжині контакту), визначилась графічно при конструюванні вузла.



Стержень 1-10. Розрахункове зусилля в стержні $N_{1-10}=269кН$.
Переріз стержня - 2L 70×5. Товщина вузлової фасонки $t_p=10$ мм.

Шов біля обухка:

розрахункова довжина шва знімається з креслення

$$l_{wc} = l_k = 22 \text{ см};$$

катет шва

$$k_{fc} = \frac{0,7 \cdot N}{2\beta_f l_{wc} R_{wf} \gamma_c} = \frac{0,7 \cdot 269 \cdot 10}{2 \cdot 0,7 \cdot 22 \cdot 215 \cdot 1} = 0,29 \text{ см};$$

приймаємо $k_{fc} = k_{fc,min} = 0,5 \text{ см}$ (за табл. 16.1 [1]);

перевіряємо розрахункову довжину

$$l_{wc} = 22 \text{ см} < l_{wc,max} = 85\beta_f k_{fc} = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,5 = 29,75 \text{ см}.$$

Шов біля пера:

розрахункова довжина шва знімається з креслення

$$l_{wt} = l_k = 22 \text{ см};$$

катет шва

$$k_{ft} = \frac{0,3 \cdot N}{2\beta_f l_{wt} R_{wf} \gamma_c} = \frac{0,3 \cdot 269 \cdot 10}{2 \cdot 0,7 \cdot 22 \cdot 215 \cdot 1} = 0,13 \text{ см};$$

приймаємо $k_{ft} = k_{ft,min} = 0,5 \text{ см}$ (за табл. 16.1 [1]);

перевіряємо розрахункову довжину

$$l_{wt} = 22 \text{ см} < l_{wc,max} = 85\beta_f k_{ft} = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,5 = 29,75 \text{ см}.$$

Розраховані шви позначаються на кресленні і виносяться на торець кутиків на 20 мм.

Проводиться лінія нижнього краю фасонки під кутом не менше 15° до осі нижнього поясу (рис. 4.23), при цьому довжина контакту фасонки з фланцем l_p (висота лівого краю фасонки) остаточно приймається кратною 10 мм ($l_p = 360$ мм при куті $15,97^\circ$). Нижній торець фланця для чіткості обпирання ферми опускається нижче примикання фасонки на 20 мм. Далі остаточно показуються необхідні шви та розміщення болтів. В даному вузлі приймають, як правило, 6 болтів у два вертикальні ряди. При значній висоті фланця кількість болтів може бути більшою. Вимоги до їх розміщення такі ж, як у верхньому опорному вузлі. Ширина фланця за аналогією з верхнім



опорним вузлом $b = 180 \text{ мм}$, висота фланця за результатами конструювання вузла $h = 380 \text{ мм}$.

Прийняті попередньо розміри перерізу фланця ($b = 180 \text{ мм}$ та $t_\phi = 20 \text{ мм}$) повинні відповідати конструктивним вимогам та забезпечувати місцеву стійкість фланця:

$$t_\phi \geq 20 \text{ мм}; t_\phi = 20 \text{ мм} > t_p = 10 \text{ мм};$$

$$\frac{b}{t_\phi} = \frac{18}{2} = 9 < \sqrt{\frac{E}{R_y}} = \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^5}{345}} = 24,4.$$

Остаточні розміри поперечного перерізу фланця повинні забезпечувати умову міцності на зминання торцевої поверхні, оскільки торець фланця передає опорну реакцію ригеля:

$$\sigma = \frac{V}{A_\phi} \leq R_p \gamma_c,$$

де V – опорна реакція ригеля як вільно лежачої балкової конструкції від дії постійного та снігового навантажень

$$V = V_p + V_s = 86,4 + 161,28 = 247,68 \text{ кН},$$

V_p та V_s – опорні реакції ригеля відповідно від постійного та снігового навантажень

$$V_p = 4F_q = 4 \cdot 21,6 = 86,4 \text{ кН};$$

$$V_s = 4F_s = 4 \cdot 40,32 = 161,28 \text{ кН},$$

F_q та F_s – зосереджені вузлові сили відповідно від постійного та снігового навантажень, які прикладені до ферми покриття;

A_ϕ – площа поперечного перерізу фланця

$$A_\phi = t_\phi b = 2 \cdot 18 = 36 \text{ см}^2;$$

$R_p = 445 \text{ МПа}$ – розрахунковий опір сталі зминанню торцевої поверхні за табл. Г.4 [1] при $R_{un} = 490 \text{ МПа}$ для сталі С375 за товщини листового прокату $t = t_\phi = 20 \text{ мм}$.

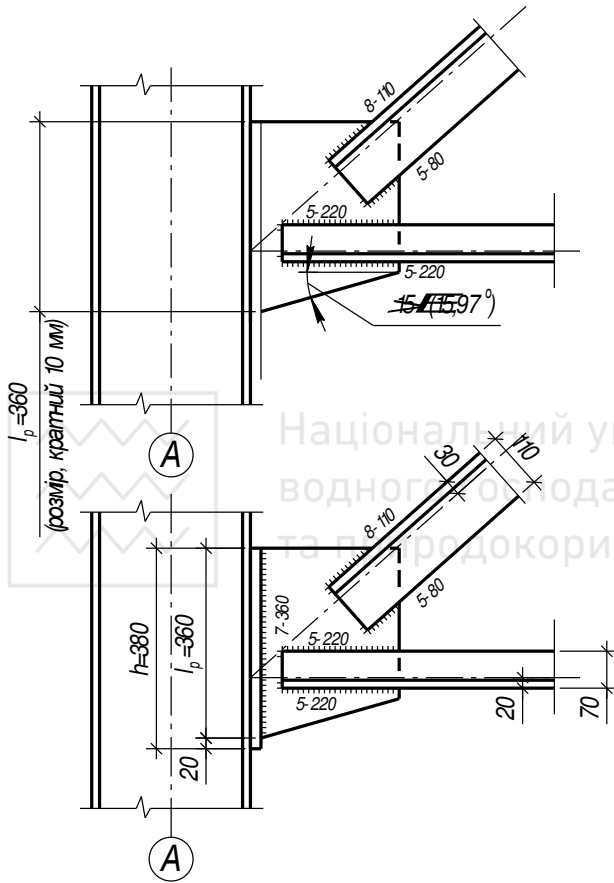


Рис. 4.23. II етап конструювання нижнього опорного вузла



Остаточно:

$$\sigma = \frac{V}{A_{\phi}} = \frac{247,68 \cdot 10}{36} = 68,8 \text{ МПа} < R_p \gamma_c = 445 \cdot 1 = 445 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується. Якщо дана умова не виконується, то необхідно скоректувати розміри фланця і повторити розрахунок.

Якщо в опорному вузлі можлива дія сили H_t , яка викликає відрив фланця від колони, то він розраховується на згин як пластина, защемлена в місцях розміщення болтів. Значення сили H_t визначається як (рис. 4.24):

$$H_t = \frac{+M_{max}}{h'} = \frac{114,2}{2,175} = 52,6 \text{ кН},$$

де $+M_{max}$ – максимальний додатній згинаючий момент в перерізі 4-4 рами. За табл. 3.1 $+M_{max} = 114,2 \text{ кНм}$.

Розрахунок полягає в перевірці товщини фланця:

$$t_{\phi} = 2 \text{ см} > 0,5 \sqrt{\frac{3aH_t}{hR_y \gamma_c}} = 0,5 \sqrt{\frac{3 \cdot 10 \cdot 52,6 \cdot 10}{38 \cdot 345 \cdot 1}} = 0,55 \text{ см},$$

де $a = 100 \text{ мм}$ – відстань між вертикальними рядами болтів; $h = 380 \text{ мм}$ – висота опорного фланця.

Якщо дана умова не виконується, то необхідно збільшити товщину фланця.

При відсутності додатнього моменту в перерізі 4-4 рами розрахунок фланця на згин не виконується.

Далі необхідно розрахувати зварні шви, які з'єднують фасонку з опорним фланцем. Вони працюють в складному напруженому стані під дією вертикальної опорної реакції ферми $V = 247,68 \text{ кН}$ та стискаючої сили від рамних зусиль $H = 180,4 \text{ кН}$, яка прикладена з ексцентриситетом $e = 65 \text{ мм}$ відносно середини шва (рис. 4.25), оскільки діє вздовж осі нижнього поясу. Розрахункова довжина кожного з двох швів (з кожного боку фасонки) отримана при конструюванні вузла і рівна:

$$l_w = l_p - 1 \text{ см} = 36 - 1 = 35 \text{ см},$$

де $l_p = 36 \text{ см}$ – конструктивна довжина шва, рівна довжині контакту фасонки з опорним фланцем.

Подальша задача розрахунку полягає в обчисленні необхідного катету шва з умови міцності за рівнодіючим напруженням. Рівнодіюче



напруження в найбільш напруженій точці шва A (крайня точка шва, див. рис. 4.25):

$$\sigma = \sqrt{\sigma_w^2 + \tau_w^2} \leq R_{wf} \gamma_c,$$

де $\sigma_w = \frac{H}{A_w} + \frac{M}{W_w}$; $\tau_w = \frac{V}{A_w}$.

Враховуючи, що

$$A_w = \beta_f k_f l_w; \quad W_w = \frac{\beta_f k_f l_w^2}{6}; \quad M = H e,$$

а також те, що зусилля сприймаються двома швами, отримаємо:

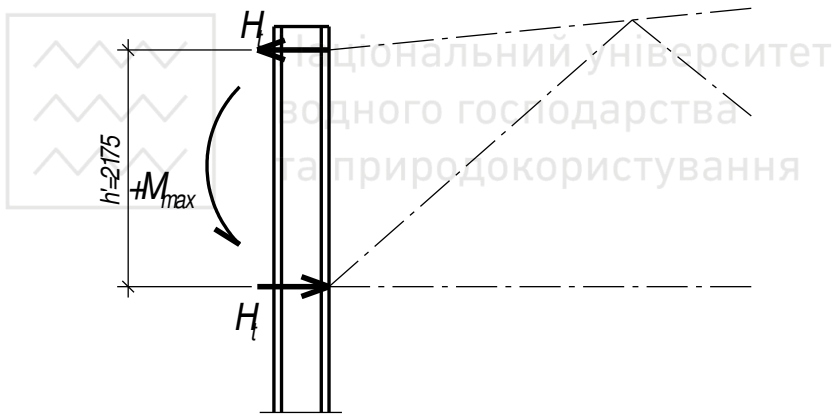


Рис. 4.24. До визначення сили H_t



$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\left(\frac{H}{2\beta_f k_f l_w} + \frac{6He}{2\beta_f k_f l_w^2}\right)^2 + \left(\frac{V}{2\beta_f k_f l_w}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{H}{2\beta_f k_f l_w} + \frac{\frac{6He}{l_w}}{2\beta_f k_f l_w}\right)^2 + \left(\frac{V}{2\beta_f k_f l_w}\right)^2} = \\ &= \frac{\sqrt{\left(H + \frac{6He}{l_w}\right)^2 + V^2}}{2\beta_f k_f l_w} \leq R_{wf} \gamma_c.\end{aligned}$$

Звідси необхідний катет шва:

$$\begin{aligned}k_f &= \frac{\sqrt{\left(H + \frac{6He}{l_w}\right)^2 + V^2}}{2\beta_f l_w R_{wf} \gamma_c} = \\ &= \frac{\sqrt{\left(180,4 + \frac{6 \cdot 180,4 \cdot 6,5}{35}\right)^2 + 247,68^2}}{2 \cdot 0,7 \cdot 35 \cdot 21,5 \cdot 1} = 0,44 \text{ см.}\end{aligned}$$

Приймаємо остаточно $k_f = k_{f,min} = 7 \text{ мм}$ (за табл. 16.1 [1]).

Перевіряємо розрахункову довжину шва:

$$l_w = 35 \text{ см} < l_w = 85 \beta_f k_f = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 41,65 \text{ см}.$$

Розрахунок опорного столика, необхідного для обпирання ферми та сприйняття вертикальної опорної реакції V , полягає у визначенні довжини, ширини та товщини столика (див. рис. 4.25).

Товщина опорного столика t_{cm} призначається конструктивно 30...40 мм, дотримуючись в загальному випадку умови: $t_{cm} \approx 2t_\phi$.

Остаточно приймається $t_{cm} = 2t_\phi = 2 \cdot 2 = 4 \text{ см}$.



Ширина столика b_{cm} приймається на 15...20 мм більшою ширини фланця в кожну сторону:

$$b_{cm} = b + 2 \cdot 1,5 = 18 + 2 \cdot 1,5 = 21 \text{ см.}$$

Довжина столика l_{cm} призначається з умови розміщення зварних швів, які з'єднують столик з колоною. Конструктивно приймається з'єднання столика двома фланговими швами з виносом на торець на 20 мм. Приймаючи катет шва $k_f = k_{f,min} = 9 \text{ мм}$ (за табл. 16.1 [1] при товщині більш товстого зі з'єднуваних елементів $t = t_{cm} = 40 \text{ мм}$), визначається довжина столика, яка рівна розрахунковій довжині шва:

$$l_{cm} = l_w = \frac{1,5V}{2\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} = \frac{1,5 \cdot 247,68 \cdot 10}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 215 \cdot 1} = 13,72 \text{ см.}$$

В даній формулі, враховуючи можливе нерівномірне розподілення зусиль між двома швами, опорна реакція ригеля V приймається з коефіцієнтом 1,5.

Остаточно приймається $l_{cm} = l_w = 14 \text{ см.}$

Перевіряємо розрахункову довжину шва:

$$l_w = 14 \text{ см} < l_{w,max} = 85\beta_f k_f = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 53,55 \text{ см.}$$

Кінцеве конструктивне рішення вузла наведено на рис. 4.25.

Опорний фланець кріпиться до полиць колони болтами. За наявності в перерізі 4-4 рами додатнього згинаючого моменту болти розраховуються на розтягуюче зусилля H_t , яке в свою чергу викликає у вузлі згинаючий момент внаслідок неспівпадання центра ваги болтового з'єднання з віссю нижнього поясу ферми. Несуча здатність болтового з'єднання в цьому випадку перевіряється за формулою:

$$\frac{H_t z y_1}{2 \sum y_i^2} \leq A_{bn} R_{bt},$$

де $z = 175 \text{ мм}$ – відстань від лінії дії сили H_t (осі нижнього поясу) до найбільш віддаленого болта по вертикалі; $y_1 = 240 \text{ мм}$ – відстань між крайніми болтами по вертикалі; $\sum y_i^2$ – сума квадратів відстаней між крайнім рядом болтів, найбільш віддаленим від центру вузла, з наступними рядами (по вертикалі):

$$\sum y_i^2 = y_1^2 + y_2^2 = 24^2 + 12^2 = 720 \text{ см}^2;$$



$A_{bn}=2,45 \text{ см}^2$ — площа поперечного перерізу болта „нетто” діаметром 20 мм за табл. Д.8 [1]; $R_{bt}=435 \text{ МПа}$ – розрахунковий опір болтів розтягу за табл. Д.4 [1] для класу міцності 8.8 (встановлений вище).

$$\frac{H_{1zy1}}{2 \sum y_i^2} = \frac{52,6 \cdot 10 \cdot 17,5 \cdot 24}{2 \cdot 720} = 153,42 \text{ кН} < A_{bn} R_{bt} = \\ = 2,45 \cdot 435 = 1065 \text{ кН}.$$

Умова міцності виконується.

Якщо у вузлі відсутня сила, яка відриває фланець від колони (тобто, якщо в перерізі 4-4 рами діють лише від’ємні згинаючі моменти і сила H , відсутня), то опорний фланець кріпиться до колони болтами, діаметр яких призначається конструктивно $d=20\text{мм}$. Несуча здатність болтового з’єднання в цьому випадку не перевіряється.

Для забезпечення стійкості стінки колони в місцях прикладання сили H встановлюються парні поперечні ребра жорсткості, осі яких суміщаються з центрами опорних вузлів ферми (рис. 4.26).

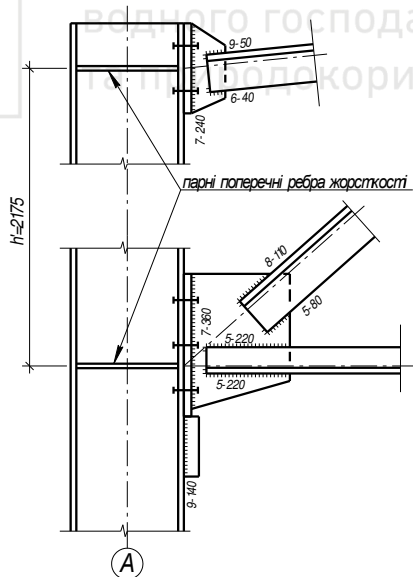


Рис. 4.26. Розміщення поперечних ребер жорсткості



1. ДБН В.2.6–198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Київ, 2014. 199 с.
2. Бабич В. І., Огороднік В. І., Романюк В. В. Таблиці для проектування будівельних конструкцій. Довідник. Рівне, 1999.
3. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбудархітектури України. К. : Сталь, 2006. 59 с.
4. 051-159. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему „Стальний каркас одноповерхової виробничої будівлі” з дисципліни „Металеві конструкції” студентами напряму підготовки 6.060101 „Промислове та цивільне будівництво” всіх форм навчання. Компонування каркасу. Визначення навантажень та статичний розрахунок поперечної рами. / Налєпа О. І., Романюк В. В. Рівне : НУВГП, 2011. 28 с.
5. 051-160. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему „Стальний каркас одноповерхової виробничої будівлі” з дисципліни „Металеві конструкції” студентами напряму підготовки 6.060101 „Промислове та цивільне будівництво” всіх форм навчання. Розрахунок колони рами. / Налєпа О. І., Романюк В. В. Рівне : НУВГП, 2011. 28 с.
6. 051-161. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему „Стальний каркас одноповерхової виробничої будівлі” з дисципліни „Металеві конструкції” студентами напряму підготовки 6.060101 „Промислове та цивільне будівництво” всіх форм навчання. Збір навантажень на ферму. Статичний розрахунок ферми. Підбір перерізів стержнів ферми. / Налєпа О. І. Рівне : НУВГП, 2011. 20 с.
7. 051-162. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему „Стальний каркас одноповерхової виробничої будівлі” з дисципліни „Металеві конструкції” студентами напряму підготовки 6.060101 „Промислове та цивільне будівництво” всіх форм навчання. Конструювання та розрахунок проміжних вузлів ферми. / Налєпа О. І. Рівне : НУВГП, 2011. 28 с.
8. Зміна № 1 ДБН В.1.2.2.-2006. Навантаження та впливи. К. : Мінбуд України, 2006.