МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи з дисципліни «Металеві конструкції»
для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
Розрахунок та конструювання сталевих крокв'яних
ферм покриття виконаних з парних кутиків.
(Електронне видання)

З А Т В Е Р Д Ж Е Н О
на засіданні кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування
Протокол № 6 від 17.12.2024 р.

Київ, 2024 р.

УДК 624.014

Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Металеві конструкції» для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» Розрахунок та конструювання сталевих крокв'яних ферм покриття виконаних з парних кутиків. (Електронне видання) / Уклад.: К. В. Соколенко, В. М. Соколенко – Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2024. – 52 с.

Методичні вказівки мають ціль допомогти студентам денної та заочної форми більш глибоко ознайомитися з окремими теоретичними положеннями проектування сталевих конструкцій покриття та оволодіти навичками розрахунку конструювання сталевих крокв'яних ферми виконаних з парних кутиків відповідно до чинних норм проєктування.

Рецензент: О.А. Черних, доц., к.т.н.

Укладачі: К. В. Соколенко, ст. викл., PhD
В. М. Соколенко, доц., к.т.н.

ЗМІСТ

ВСТУП 5

1 Розрахунок ферми із паралельними поясами 6

1.1 Вихідні дані 6

1.2 Вибір марок сталі несучих конструкцій 7

1.3 Розробка системи зв'язків по покриттю 7

1.4 Огороджуючі конструкції 8

1.5 Визначення розрахункових навантажень на покриття 9

1.5.1 Постійне навантаження 9

1.5.2 Снігове навантаження 10

1.6 Збір навантаження на ферму покриття 10

1.6.1 Постійне навантаження 10

1.6.2 Снігове навантаження 11

1.7 Статичний розрахунок ферми 13

1.8 Підбір перерізів елементів ферми 14

2.1.1 Верхній стиснутий пояс 14

2.1.2 Нижній розтягнутий пояс 15

2.1.3 Опорний розкіс 16

2.1.4 Розтягнуті розкоси 17

2.1.5 Стиснуті розкоси 17

2.1.6 Стиснуті стійки 18

2.1.7 Підкіс 18

2.2 Розрахунок вузлів ферми 21

2.2.1 Вихідні дані до розрахунку 21

2.2.2 Шви прикріплення розкосів та стійок 21

2.2.3 Заводський стик нижнього поясу 22

2.2.4 Заводський стик верхнього поясу 25

2.2.5 Укрупнювальний вузол нижнього поясу 28

2.2.6 Проміжні вузли 31

2.2.7 Опорний вузол 32

2.3 Визначення прогину ферми 33

2.4 Визначення фактичного моменту інерції ригеля 35
2.5 Вимоги та рекомендації щодо оформлення креслень................................ 36
2.6 Контрольні питання... 38
ДОДАТОК А. КРЕСЛЕННЯ КРОКВЯНОЇ ФЕРМИ.. 39
ДОДАТОК Б. РЕЗУЛЬТАТ РОЗРАХУНКУ СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАСОБАМИ ПК «ЛІРА-САПР» 40
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 50

ВСТУП

Дисципліна «Металеві конструкції» є однією з профілюючих дисциплін фахової підготовки інженерів-будівельників за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Метою дисципліни є вивчення методів проектування несучих металевих конструкцій будівель і споруд різного призначення, їх видів, конструктивних форм та галузей раціонального використання.

У результаті вивчення дисципліни здобувач повинен вивчити номенклатуру, галузі раціонального використання металевих конструкцій, конструктивні схеми, роботу і принципи проектування основних типів несучих конструкцій, окрім того, навчитися розраховувати та конструювати елементи і з’єднання металевих конструкцій, розробляти розрахункові схеми конструкцій, визначати навантаження, зусилля в елементах та їх перерізи, конструювати вузли поширених металевих конструкцій, виконувати креслення марок КМ і КМД.

Самостійна робота студентів зводиться до більш глибокого вивчення теоретичної частини курсу та отримання вмінь розрахунку та проектування металевих конструкцій поширених типів.

Дані методичні вказівки призначені для набуття умінь розрахунку й конструювання елементів і з'єднань найбільш поширеного виду покриття промислових одноповерхових будівель – ферми із парних кутиків, згідно з чинними нормами проектування, а також набуття навичок користування нормативною й довідковою літературою.

1 Розрахунок ферми із паралельними поясами

1.1 Вихідні дані

Необхідно запроектувати несучу конструкцію покриття сталевого каркасу одноповерхової, однопролітної виробничої будівлі. Місто будівництва – м. Лисичанськ; проліт цеху – 30 м; крок колон – 12 м; довжина цеху – 132 м; кранове обладнання (2 мостових крани); вантажопідйомність – 50/12,5 т; режим роботи кранів – 5К (середній режим роботи); відмітка головки підкранової рейки: 12 м

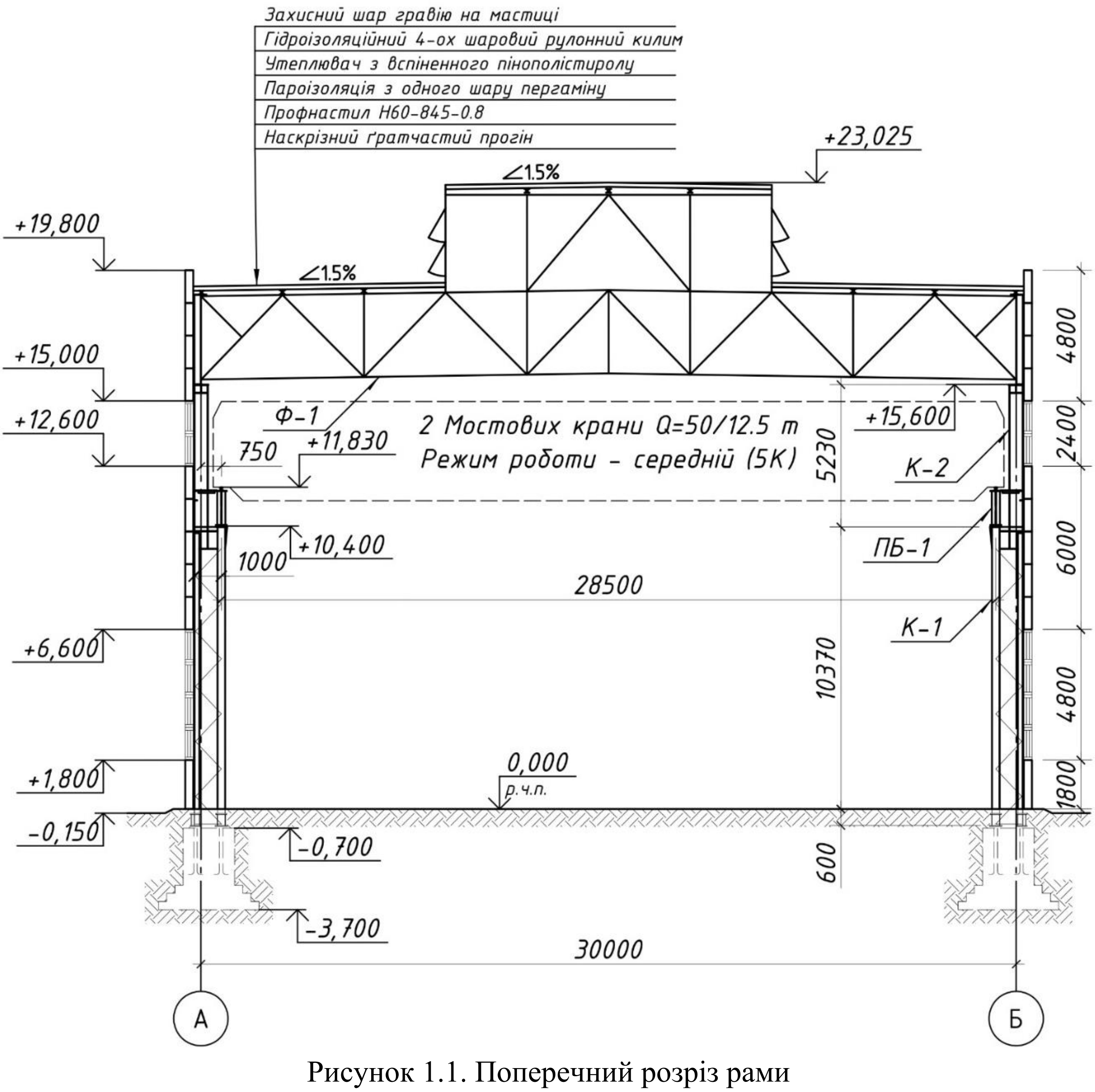


Рисунок 1.1. Поперечний розріз рами

Відомості про склад покриття див. рис. 1.1. Висоту ферми за обушками кутиків прийнято типовою відповідно до ГОСТ 23119-78, що дорівнює 3150 мм. Ферма відрізняється від типових рішень нульовою прив'язкою до поздовжніх розбивочних осей для забезпечення мінімального ексцентриситету передачі навантаження з покриття на колону. Опирання ферми на колону - шарнірне з використанням надколонної стійки. Перетин елементів приймаємо зі зварених кутиків складених у тавр.

1.2 Вибір марок сталі несучих конструкцій

Марки сталі визначаємо за додатком Г ДБН [1] залежно від групи конструкцій. Механічні властивості за ДСТУ 8539:2015 для листового і широкосмугового універсального прокату. Для елементів 4 групи (зв'язки), марку сталі приймаємо як для 3 групи конструкцій. Обрані марки сталі наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1. Вибір марки сталі та її характеристики міцності

№ п/п	Найменування елемента	Група	Марка сталі	Товщина прокату, мм	Нормативні (розрахункові) опори	
					R_{yn} (R_y), МПа	R_{un} (R_u), МПа
1	Фасонки ферм	I	С255	2…3.9 4…10 10…20 20…40	255 (230) 245 (240) 245 (240) 235 (230)	380 (370) 380 (370) 370 (360) 370 (360)
2	Кроквяні ферми	II	С245	2…20 20…30	245 (240) – –	370 (360) – –
3	Прогони	III	С235	2…20 20…40	235 (230) 225 (220)	360 (350) 360 (350)

1.3 Розробка системи зв'язків по покриттю

Поперечні зв'язкові ферми за нижніми поясами ферм встановлюємо біля торців будівлі, а оскільки температурний блок має досить велику довжину, зростає зсувність унаслідок піддатливості вузлів, між двома ліхтарними надбудовами необхідне встановлення зв'язків у середині прольоту. По низу покриття влаштовуються поздовжні зв'язкові ферми. Розпірки розташовуються по радам колон, розтяжки в площині вертикальних зв'язків у межах середини прольоту.

Поперечні зв'язкові ферми по верхніх поясах не передбачаємо, приймаючи в цьому випадку крок вертикальних зв'язків 6 м. У цьому випадку прогони, що виконують роль розпірок, прикріплені до поперечної зв'язкової ферми за нижніми поясами за допомогою вертикальних зв'язкових ферм.

Вертикальні зв'язки встановлюємо у зв'язкових блоках у торцях і середині температурного блоку, з кроком 6 м.

Під ліхтарем верхні пояси ферм розкріплюємо влаштуванням жорсткого диска у вигляді Х-подібного горизонтального зв'язку в межах торця ліхтарної надбудови, наступні ферми розкріплюють приєднанням до цього диска розпірками на гребені ферм.

На стадії монтажу ферми розкріплюють розчалками, стяжками-розпірками.

Схему зв'язків по верхньому та нижньому поясам ферм показано на рисунку 1.2.

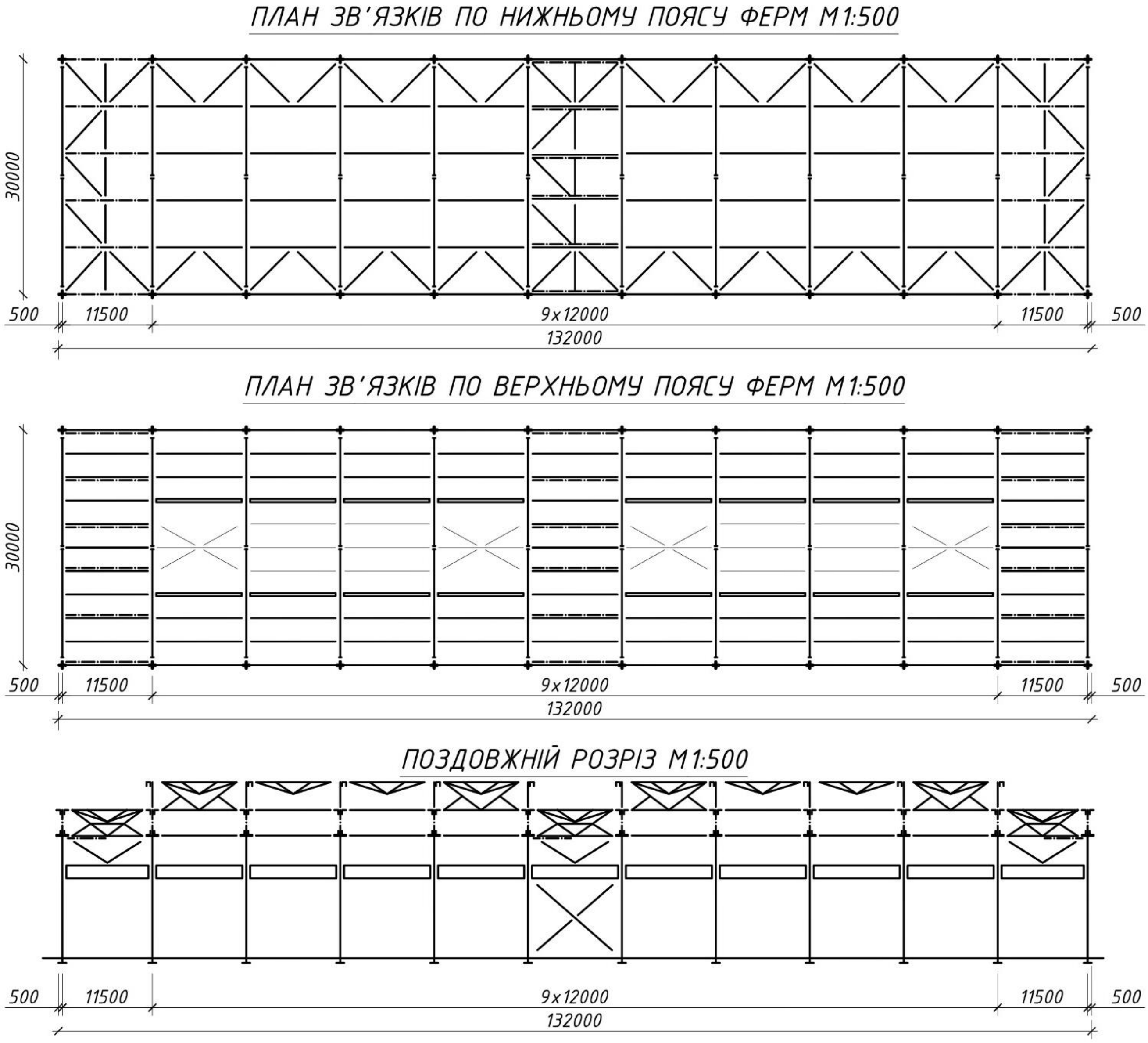


Рисунок 1.2. Схема зв'язків покриття

1.4 Огороджуючі конструкції

Конструкція покрівельного покриття будівлі вирішується із застосуванням решітчастих прогонів прольотом 12 м за серією 1.462.3-17/85 «Сталеві решітчасті прогони виробничих будівель прольотом 12 м із застосуванням профілів за скороченим сортаментом металопрокату». Прогони встановлюються між крокв'яними фермами з кроком 3 м. Основою під покрівлю слугує сталевий профільований настил за ДСТУ 8802:2018 «Вироби з тонколистової сталі із захисно-декоративним покриттям для будівництва». Кріплення настилу до прогонів здійснюється самонарізними гвинтами, між собою листи з'єднуються комбінованими заклепками. Оскільки будівля опалювальна – покрівельне покриття утеплене. Покрівля – рулонна, з ухилом 1.5%.

Як огороджувальні стінові конструкції застосовано легкобетонні панелі з керамзитобетону *(ρ=1000 кг/м³)* номінальною довжиною 12 м за серією 1.432.1-22 «Стіни призначені для опалювальних одноповерхових виробничих будівель із залізобетонним каркасом, з кроком крайніх колон 12 м, з відносною вологістю повітря усередині приміщень до 75%, які споруджуються в несейсмічних районах із сухим, нормальним і вологим кліматом».

1.5 Визначення розрахункових навантажень на покриття

1.5.1 Постійне навантаження

До постійно діючих навантажень відносимо вагу огороджувальних і несучих конструкцій каркаса. Величина навантаження на 1 м^2 покриття наведена в таблиці 1.2. Лінійне розподілене навантаження збирається з площі, що дорівнює кроку колон і прольоту ферми. Характеристичне значення навантаження визначаємо за фізичними характеристиками матеріалів або за довідковими даними. Навантаження множимо на коефіцієнт надійності за відповідальністю для будівель із середнім класом наслідків (СС2), що приймаємо рівним – 0.95.

Таблиця 1.2. Навантаження на 1 м^2 покриття

№ п/п	Елемент конструкції	Характеристичне навантаження, кПа	γ_f	Розрахункове навантаження, кПа
1	2	3	4	5
Огороджувальні елементи покрівлі				
1	Захисний шар гравію на мастиці	0.3	1.3	0.39
2	Гідроізоляційний 4-ох шаровий килим	0.2	1.3	0.26
3	Утеплювач зі спіненого пінополістиролу	0.064	1.2	0.077
4	Пароізоляція з одного шару пергаміну	0.05	1.3	0.065
Несучі елементи покрівлі				
5	Профільований оцинкований настил Н60-845-0.8	0.1	1.05	0.105
Несучі конструкції покриття				
6	Наскрізний ґратчастий прогін під навантаження 7.9 кН⁄м	0.119	1.05	0.125

1	2	3	4	5
7	Вага кроквяної ферми	0.3	1.05	0.315
8	Вага зв'язків по покриттю	0.08	1.05	0.084
9	Каркас світлоаераційного ліхтаря	0.12	1.05	0.126
Разом		1.333		1.547
З урахуванням коефіцієнта надійності за відповідальністю $\gamma_n = 0.95$		1.249		1.47

Розрахункове навантаження на 1 п. м. ригеля від навантаження покриття:

$$q_n = \frac{1.47 \cdot 12}{\cos\alpha} = 17.64\ \frac{кН}{м}$$

де $\cos\alpha = 1$, для ферми з паралельними поясами.

Опорна реакція ригеля як шарнірно-опертої балки:

$$Q_n = 17.4 \cdot \frac{30}{2} = 264.6\ кН$$

1.5.2 Снігове навантаження

За додатком В ДБН [2], визначаємо приблизний термін експлуатації виробничих будівель $T_{ef} = 60$ років, відповідно середній період повторюваності $T = T_{ef}$. Коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням снігового навантаження $\gamma_{fm} = 1.04$, $C = \mu C_e C_{alt} = 1$

За додатком Е снігове навантаження для міста Лисичанська становить 1370 Па.

Граничне розрахункове значення снігового навантаження на 1 м^2 горизонтальної проекції:

$$S_m = 1.04 \cdot 1.37 \cdot 1 = 1.425\ кПа$$

Граничне розрахункове рівномірно-розподілене навантаження на ригель:

$$q_c = 1.425 \cdot 12 \cdot 0.95 = 16.245\ \frac{кН}{м}$$

Опорна реакція ригеля як шарнірно-опертої балки від снігового навантаження:

$$Q_c = 16.245 \cdot \frac{30}{2} = 243.675\ кН$$

1.6 Збір навантаження на ферму покриття

1.6.1 Постійне навантаження

Постійне навантаження від власної ваги покриття (без ваги ліхтаря):

$$p^*_{кр} = \left(p_{кр} - p_{фон}\right)\gamma_n = \left(1.547 - 0.126\right) \cdot 0.95 = 1.35\ \frac{кН}{м^2}$$

Масу світлоаераційного ліхтаря врахуємо в місцях фактичного обпирання конструкцій на ферму – $p_{фон} = 0.12 \cdot 1.05 \cdot 0.95 \cong 0.12\,кН/м^2$. Додатково врахуємо масу віконного заповнення ліхтаря і бортових конструкцій - на один погонний метр стіни ліхтаря приймаємо навантаження – $q_{б.ст.} = 2.0 \cdot 0.95 = 1.9\ кН/м$.

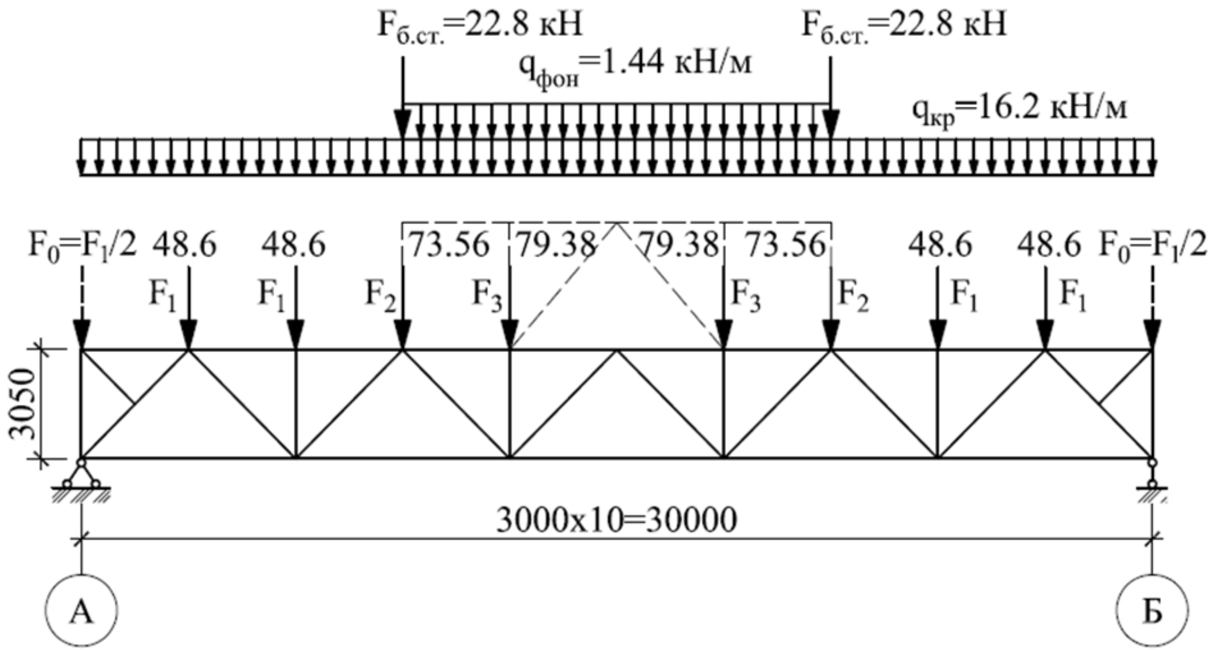


Рисунок 1.3. Розрахункова схема постійного навантаження

Вузлові навантаження від постійного навантаження:

$$F_0 = 1.35 \cdot 12 \cdot \frac{3}{2} = 24.3\ кН$$
$$F_1 = 1.35 \cdot 12 \cdot 3 = 48.6\ кН$$
$$F_2 = \left(1.35 \cdot 3 + 0.12 \cdot \frac{3}{2} + 1.9\right) \cdot 12 = 73.56\ кН$$
$$F_3 = \left(1.35 + 0.12\right) \cdot \left(\frac{3}{2} + 3\right) \cdot 12 = 79.38\ кН$$

Навантаження F_0 у крайніх вузлах не враховуємо, вважаючи, що воно передається на надколонну стійку.

1.6.2 Снігове навантаження

Граничне значення снігового навантаження на 1 м^2 горизонтальної поверхні визначено раніше в підпункті 1.5.2. Нерівномірність завантаження покриття снігом ураховуємо коефіцієнтом μ, який визначаємо згідно зі схемою 3 ДБН [1], для будівель із поздовжнім ліхтарем, закритим зверху. Снігове навантаження розглядаємо у двох варіантах для зони C – ділянка з ліхтарем.

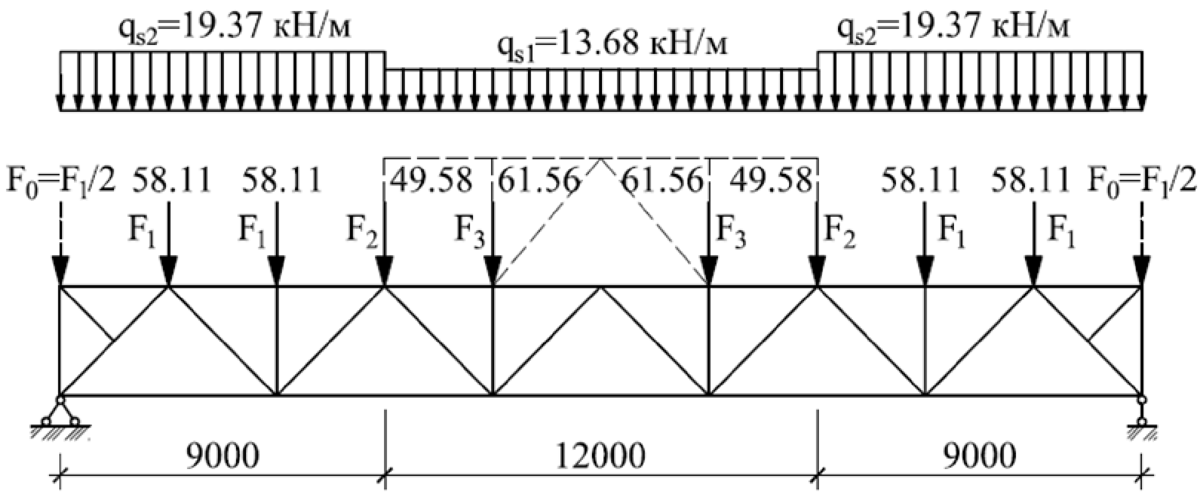
$$\mu = 1;\ q_s = 1.425 \cdot 1 \cdot 12 = 17.1\ \frac{кН}{м}$$

$$\mu_1 = 0.8;\ q_{s1} = 1.425 \cdot 0.8 \cdot 12 = 13.68\ \frac{кН}{м}$$

$$\mu_2 = 1 + 0.1\frac{a}{b} = 1 + 0.1 \cdot \frac{12}{9} = 1.133;\ q_{s2} = 1.425 \cdot 1.133 \cdot 12 = 19.37\ \frac{кН}{м}$$

$$\mu_3 = 1 + 0.5\frac{a}{h_l} = 1 + 0.5 \cdot \frac{12}{3.565} = 2.683 < 4;\ q_{s3} = 1.425 \cdot 2.683 \cdot 12 = 45.88\ \frac{кН}{м}$$

Завантаження №2. Снігове навантаження 1 варіант



Завантаження №3. Снігове навантаження 2 варіант

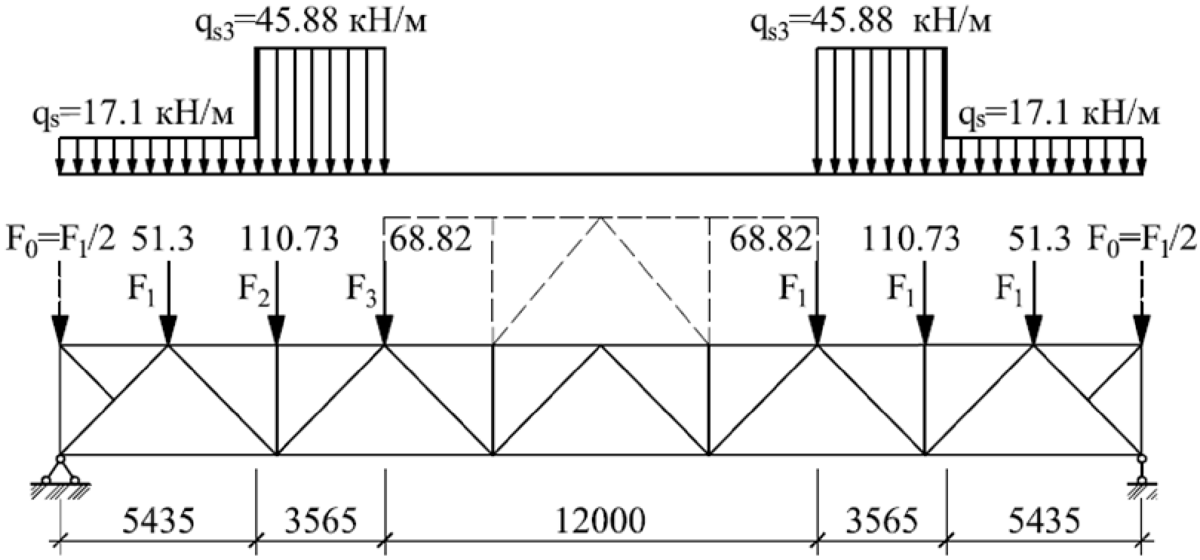


Рисунок 1.4. Розрахункова схема снігового навантаження

Вузлові навантаження від 1-го варіанта снігового навантаження:

$$F_0 = 19.37 \cdot \frac{3}{2} = 29.055\ кН$$

$$F_1 = 19.37 \cdot 3 = 58.11\ кН$$

$$F_2 = 19.37 \cdot \frac{3}{2} + 13.68 \cdot \frac{3}{2} = 49.58 \ \kappa H$$

$$F_3 = 13.68 \cdot \left(\frac{3}{2} + 3\right) = 61.56 \ \kappa H$$

Вузлові навантаження від 2-го варіанта снігового навантаження:

$$F_0 = 17.1 \cdot \frac{3}{2} = 25.65 \ \kappa H$$

$$F_1 = 17.1 \cdot 3 = 51.3 \ \kappa H$$

$$F_2 = 17.1 \cdot (4.5 - 3.565) + 45.88 \cdot (3.565 - 1.5) = 110.73 \ \kappa H$$

$$F_3 = 45.88 \cdot \frac{3}{2} = 68.82 \ \kappa H$$

Снігове навантаження на половині прольоту не розглядаємо у складанні розрахункових зусиль, оскільки зусилля, що стискають, які виникають у середніх розкосах, незначні, і їхній переріз добирають за граничною гнучкістю.

1.7 Статичний розрахунок ферми

Ферму розраховуємо в ПК «ЛІРА-САПР», тип скінченного елемента стрижнів ферми – КЕ 1 – скінченний елемент плоскої ферми, з двома лінійними ступенями свободи.

Розрахунковою схемою ферми є геометричні осі стрижнів, що проходять через їхній центр тяжіння, і оскільки розмір ферми дано за обушками кутиків, у розрахунковій схемі відстань між осями поясів приймаємо рівною 3050 мм. Розрахункова схема ферми приведена на рис. 1.5, результати розрахунку для видів навантажень, що розглядаються наведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3. Розрахункові зусилля в стрижнях кроквяної ферми

Елемент ферми	**Номер стержня**	**Постійне навантаження**	**Снігове навантаження**		**Розрахункові зусилля**
			Варіант 1	**Варіант 2**	
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Верхній пояс	6	0	0	0	0
	7	-444.275	-390.108	-403.672	-847.95
	8	-444.275	-390.108	-403.672	-847.95
	9	-672.787	-559.977	-471.364	-1232.764
	10	-672.787	-559.977	-471.364	-1232.764
Нижній пояс	1	246.039	223.633	227.065	473.104
	2	594.708	499.426	471.364	1094.134
	3	672.787	559.977	471.364	1232.764
Розкоси	34	0	0	0	0
	30	-350.864	-318.911	-323.806	-674.67
	31	-350.864	-318.911	-323.806	-674.67
	22	282.694	237.402	251.849	534.543
	23	-214.524	-155.893	-96.5318	-370.417

1	2	3	4	5	6
	24	111.344	86.348	0	197.692
	25	0	0	0	0
Стійки	16	0	0	0	0
	17	-48.6	-58.11	-110.73	-159.33
	18	-79.38	-61.56	0	-140.94

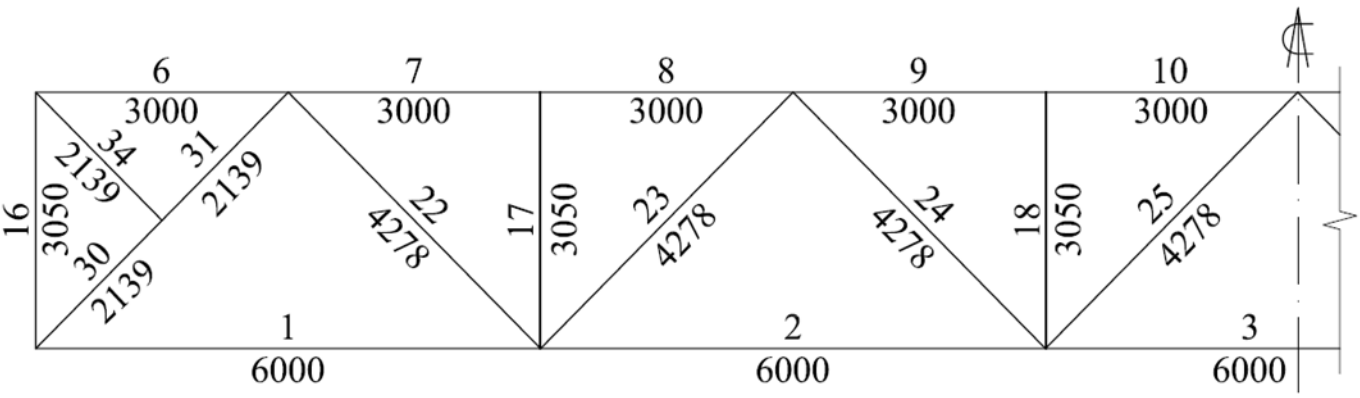


Рисунок 1.5. Нумерація стрижнів та їхні геометричні довжини

1.8 Підбір перерізів елементів ферми

2 Ферма проектується з елементами таврового перерізу з парних кутиків – рівнополочних за ДСТУ 2251:2018, нерівнополочних за ДСТУ 8769:2018. Під час підбору перерізів ферми проводимо їх уніфікацію, з метою застосування не більше шести типорозмірів перерізів. За довжини прольоту ферми *30 м* доцільна зміна перерізу поясів. За зусилля в опорному розкосі *-674,67 кН* приймаємо товщину вузлових фасонок рівною *14 мм*.

Для стиснутих основних елементів (крім опорних) решітки під час розрахунку на стійкість у разі гнучкості цих елементів $\lambda \geq 60$ застосовуємо коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0.8$ (табл. 5.1 ДБН [1]), для решти стрижнів $\gamma_c = 1$.

Під час визначення граничної гнучкості керуємося табл. 13.9 для стиснутих і табл. 13.10 ДБН [1]для розтягнутих елементів. Розрахункові довжини стрижнів ферми визначаємо відповідно до табл. 13.1 ДБН [1]

2.1.1 Верхній стиснутий пояс

<u>Стрижні №10 и №9</u> – $N_{10,9} = -1232.764\,кН$, розрахункова довжина в площині ферми $l_{ef}^{x} = 300\,см$, з її площини – $l_{ef}^{y} = 600\,см$

Визначаємо необхідну площу перерізу, задаючись гнучкістю стрижня $\lambda = 60$, по таблиці Ж.1 ДБН [1], крива стійкості *c* при $\bar{\lambda} = 60\sqrt{R_y / E} = 2.731$ визначаємо коефіцієнт поздовжнього вигину в разі центрального стиску – $\varphi = 0.611$

$$A_{req} = \frac{N}{R_y \varphi} = \frac{1232.764}{24 \cdot 0.611} = 84.09 \text{ см}^2$$

Приймаємо переріз із парних рівнополочних кутиків 180×12

Геометричні характеристики прийнятого перерізу:

$$A_{tot} = 2 \cdot 42.19 = 84.38\, см^2;\ i_x = 5.59\, см;\ x_0 = 4.89\, см$$

$$i_y = \sqrt{i_y^2 + \left(x_0 + \frac{t_ф}{2}\right)^2} = \sqrt{5.59^2 + \left(4.89 + 0.7\right)^2} = 7.905\, см$$

Перевіряємо підібраний переріз:

$$\lambda_x = \frac{300}{5.59} = 53.667;\ \lambda_y = \frac{600}{7.905} = 75.897;\ \overline{\lambda_y^{max}} = 2.591 \rightarrow \varphi = 0.637$$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A_{tot}} = \frac{1232.764}{0.637 \cdot 84.38} = 22.944\, \frac{кН}{см^2} < 24\, \frac{кН}{см^2}$$

Запас міцності – 4.4%

Коефіцієнт використання перерізу:

$$\alpha = \frac{\sigma}{R_y} = \frac{22.944}{24} = 0.956$$

Гранична гнучкість стиснутого поясу:

$$\lambda_u = 180 - 60\alpha = 180 - 60 \cdot 0.956 = 122.639 > \lambda_y = 75.897$$

<u>Стрижні №8 и №7</u> – $N_8, 7 = -847.95\, кН;\, l_e f^x = 300\, см;\, l_e f^y = 600\, см$

$$\lambda = 90;\ \overline{\lambda} = 3.072 \rightarrow \varphi = 0.549$$

$$A_{req} = \frac{N}{R_y \varphi} = \frac{847.95}{24 \cdot 0.549} = 64.35\, см^2$$

Приймаємо переріз із парних рівнополочних кутиків 160×10

$$A_{tot} = 2 \cdot 31.43 = 62.86\, см^2;\ i_x = 4.96\, см;\ x_0 = 4.3\, см$$

$$i_y = \sqrt{4.96^2 + \left(4.3 + 0.7\right)^2} = 7.043\, см$$

$$\lambda_x = \frac{300}{4.96} = 60.484;\ \lambda_y = \frac{600}{7.043} = 85.193;\ \overline{\lambda_y^{max}} = 2.908 \rightarrow \varphi = 0.579$$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A_{tot}} = \frac{847.95}{0.579 \cdot 62.86} = 23.315\, \frac{кН}{см^2} < 24\, \frac{кН}{см^2};\ \Delta = 2.9\%$$

$$\alpha = \frac{\sigma}{R_y} = \frac{23.315}{24} = 0.971$$

$$\lambda_u = 180 - 60\alpha = 180 - 60 \cdot 0.971 = 121.713 > \lambda_y = 85.193$$

2.1.2 Нижній розтягнутий пояс

<u>Стрижень №3</u> – $N_3 = 1232.764\, кН;\ l_{ef}^x = l_{ef}^y = 600\, см$

$$A_{req} = \frac{N}{R_y} = \frac{1232.764}{24} = 51.365\,см^2$$

Приймаємо переріз із парних нерівнополичних кутиків 140×10

$$A_{tot} = 2 \cdot 27.33 = 54.66\,см^2;\; i_x = 4.33\,см;\; x_0 = 3.82\,см$$

$$i_y = \sqrt{4.33^2 + \left(3.82 + 0.7\right)^2} = 6.259\,см$$

$$\lambda_x = \frac{600}{4.33} = 138.568 < \lambda_u = 400;\; \lambda_y = \frac{600}{6.259} = 95.862;$$

$$\sigma = \frac{N}{A_{tot}} = \frac{1232.764}{54.66} = 22.553\,\frac{кН}{см^2} < 24\,\frac{кН}{см^2};\, \Delta = 6.0\%$$

<u>Стрижень №2</u> ($N_2 = 1094.134\,кН$) приймаємо конструктивно 140×10

$$\sigma = \frac{N}{A_{tot}} = \frac{1094.134}{54.66} = 20.017\,\frac{кН}{см^2} < 24\,\frac{кН}{см^2};\, \Delta = 16.6\%$$

<u>Стрижень №1</u> – $N_1 = 473.104\,кН; l_ef^x = l_ef^y = 600\,см$

$$A_{req} = \frac{N}{R_y} = \frac{473.104}{24} = 19.713\,см^2$$

Приймаємо переріз із парних рівнополочних кутиків 80×8

$$A_{tot} = 2 \times 12.3 = 24.6\,см^2;\; i_x = 2.44\,см;\; x_0 = 2.27\,см$$

$$i_y = \sqrt{2.44^2 + \left(2.27 + 0.7\right)^2} = 3.844\,см$$

$$\lambda_x = \frac{600}{2.44} = 245.902 < \lambda_u = 400;\; \lambda_y = \frac{600}{3.844} = 156.087;$$

$$\sigma = \frac{N}{A_{tot}} = \frac{473.104}{24.6} = 19.232\,\frac{кН}{см^2} < 24\,\frac{кН}{см^2};\, \Delta = 19.9\%$$

2.1.3 Опорний розкіс

<u>Стрижні №30 и №31</u> – $N_30,31 = -674.67\,кН; l_ef^x = 213.9\,см; l_ef^y = 427.8\,см$

$$\lambda = 80;\; \overline{\lambda} = 2.731 \to \varphi = 0.611$$

$$A_{req} = \frac{N}{R_y \varphi} = \frac{674.67}{24 \cdot 0.611} = 46.021\,см^2$$

Приймаємо переріз із парних нерівнополочних кутиків 160×100×9

$$A_{tot} = 2 \times 22.87 = 45.74\,см^2;\; i_x = 2.85\,см;\; i_y^1 = 5.15\,см;\; y_0 = 5.19\,см$$

$$i_y = \sqrt{5.15^2 + \left(5.19 + 0.7\right)^2} = 7.824\,см$$

$$\lambda_x = \frac{213.9}{2.85} = 75.053;\; \lambda_y = \frac{427.8}{7.824} = 54.678;\; \overline{\lambda_x^{max}} = 2.562 \to \varphi = 0.642$$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A_{tot}} = \frac{674.67}{0.642 \cdot 45.74} = 22.973\,\frac{кН}{см^2} < 24\,\frac{кН}{см^2};\, \Delta = 4.3\%$$

$$\alpha = \frac{\sigma}{R_y} = \frac{22.973}{24} = 0.957$$

$$\lambda_u = 180 - 60\alpha = 180 - 60 \cdot 0.957 = 122.569 > \lambda_x = 75.053$$

2.1.4 Розтягнуті розкоси

Стрижень №22 – $N_{22} = 534.543\,кН;\; l_{ef}^x = 342.24\,см;\; l_{ef}^y = 427.8\,см$

$$A_{req} = \frac{N}{R_y} = \frac{534.543}{24} = 22.273\,см^2$$

Приймаємо переріз із парних рівнополочних кутиків 80×8

$$A_{tot} = 24.6\,см^2;\; i_x = 2.44\,см;\; i_y = 3.844\,см;$$

$$\lambda_x = \frac{342.24}{2.44} = 140.262 < \lambda_u = 400;\; \lambda_y = \frac{427.8}{3.844} = 111.29;$$

$$\sigma = \frac{N}{A_{tot}} = \frac{534.543}{24.6} = 21.729\,\frac{кН}{см^2} < 24\,\frac{кН}{см^2};\, \Delta = 9.5\%$$

Стрижень №24 – $N_{24} = 197.692$

Конструктивно приймаємо переріз із парних рівнополочних кутиків 80×8

$$\sigma = \frac{N}{A_{tot}} = \frac{197.692}{24.6} = 8.036\,\frac{кН}{см^2} < 24\,\frac{кН}{см^2};\, \Delta = 66.5\%$$

Стрижні №24 та 25 можуть зазнавати стискуючих зусиль при завантаженні половини прольоту ферми сніговим навантаженням, внаслідок чого їх перетин призначимо з умови мінімальної граничної гнучкості при $\alpha = \alpha_{max} = 1$:

$$\lambda_u^{min} = 210 - 60\alpha = 150;$$

$$i_x^{req} = \frac{l_{ef}^x}{\lambda_u^{min}} = \frac{342.24}{150} \cong 2.28\,см$$

$$i_y^{req} = \frac{l_{ef}^y}{\lambda_u^{min}} = \frac{427.8}{150} = 2.85\,см$$

Цим умовам відповідає раніше прийнятий переріз із парних рівнополочних кутиків 80×8 – $i_x = 2.44\,см \approx i_x^{req};\; i_y = 3.844\,см > i_y^{req}$

2.1.5 Стиснуті розкоси

Стрижень №23 – $N_{23} = -370.417\,кН;\, l_e f^x = 342.24\,см;\, l_e f^y = 427.8\,см$

$$\lambda = 90;\; \overline{\lambda} = 3.072 \to \varphi = 0.549$$

$$A_{тр} = \frac{N}{R_y \varphi \gamma_c} = \frac{370.417}{24 \cdot 0.549 \cdot 0.8} = 35.138\,см^2$$

Приймаємо переріз із парних рівнополочних кутиків 125×9

$$A_{tot} = 2 \cdot 22 = 44\ см^2;\ i_x = 3.86\ см;\ x_0 = 3.40\ см$$
$$i_y = \sqrt{3.86^2 + \left(3.86 + 0.7\right)^2} = 5.631\ см$$
$$\lambda_x = \frac{342.24}{3.86} = 88.663;\ \lambda_y = \frac{427.8}{5.631} = 75.971;\ \overline{\lambda_x^{max}} = 3.026 \to \varphi = 0.557$$
$$\sigma = \frac{N}{\varphi A_{tot}} = \frac{370.417}{0.557 \cdot 44} = 15.114 \frac{кН}{см^2} < 24 \cdot 0.8 = 19.2 \frac{кН}{см^2};\ \Delta = 21.3\%$$
$$\alpha = \frac{\sigma}{R_y} = \frac{15.114}{19.2} = 0.787$$
$$\lambda_u = 210 - 60\alpha = 180 - 60 \cdot 0.787 = 162.791 > \lambda_x = 88.663$$

2.1.6 Стиснуті стійки

Стрижень №17 – $N_{17} = -159.33\ кН; l_e f^x = 244\ см; l_e f^y = 305\ см$

Приймаємо переріз із парних рівнополочних кутиків 80×8

$$A_{tot} = 24.6\ см^2;\ i_x = 2.44\ см;\ i_y = 3.844\ см$$
$$\lambda_x = \frac{244}{2.44} = 100;\ \lambda_y = \frac{305}{3.844} = 79.349;\ \overline{\lambda_x^{max}} = 3.413 \to \varphi = 0.49$$
$$\sigma = \frac{N}{\varphi A_{tot}} = \frac{159.33}{0.49 \cdot 24.6} = 13.218 \frac{кН}{см^2} < 24 \cdot 0.8 = 19.2 \frac{кН}{см^2};\ \Delta = 31.2\%$$
$$\alpha = \frac{\sigma}{R_y} = \frac{13.218}{19.2} = 0.688$$
$$\lambda_u = 210 - 60\alpha = 210 - 60 \cdot 0.688 = 168.72 > \lambda_x = 100$$

Стрижень №18 – $N_{18} = -140.94$ кН;

Приймаємо переріз із парних рівнополочних кутиків 80×8

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A_{tot}} = \frac{140.94}{0.49 \cdot 24.6} = 11.692 \frac{кН}{см^2} < 24 \cdot 0.8 = 19.2 \frac{кН}{см^2};\ \Delta = 39.1\%$$
$$\alpha = \frac{\sigma}{R_y} = \frac{11.692}{19.2} = 0.609$$
$$\lambda_u = 210 - 60\alpha = 210 - 60 \cdot 0.609 = 173.46 > \lambda_x = 100$$

2.1.7 Підкіс

Переріз підкосу №34, призначеного для зменшення розрахункової довжини опорного розкосу в площині ферми, підбираємо за граничною гнучкістю на стиск, переріз компонуємо з одного куточка. Гранична гнучкість для цього елемента за п.6 табл. 13.9 ДБН [1] становить 200

$$l_{ef}^x = 171.12\ см; l_{ef}^y = 213.9\ см;$$
$$i_x^{req} = \frac{l_{ef}^x}{\lambda_u^{min}} = \frac{171.12}{200} = 0.86\ см;\ i_y^{req} = \frac{l_{ef}^y \mu}{\lambda_u^{min}} = \frac{213.9}{200} = 1.07\ см$$

Цим умови відповідає раніше прийнятий куточок 80×8 для якого $i_{min} = 1.57\,см$ Приймаємо його для зменшення кількості типорозмірів перерізів ферми.

Усі результати розрахунку зведено в табл. 1.4. Запроектована ферма містить 6 типорозмірів перерізів прокатних кутиків. Найбільш навантажені елементи мають незначний запас міцності, запас міцності менш навантажених елементів є вимушеним, для скорочення кількості застосовуваних типорозмірів кутиків.

Більш економічним рішенням були б кутик 75×8 замість кутика 80×8 і 125×8 замість 125×9, але так як зсув осей елементів верхнього поясу перевищує 1.5% (п. 17.3.1 ДБН [1]), у вузлах, де відбувається зміна перерізу поясів, виникає згинальний момент, і ці калібри кутиків не можуть його сприйняти.

Таблиця 1.4. Перевірка перерізів стержнів ферми

Елемент	№ стрижня	Зусилля, кН	Переріз стрижня	Площа, см²	$\frac{l_{ef}^{x}}{l_{ef}^{y}}$, *см*	$\frac{i_x}{i_y}$, *см*	$\frac{\lambda_x}{\lambda_y}$	λ_u	φ_{min}	$\sigma, \frac{кН}{см^2}$	$R_y\gamma_c, \frac{кН}{см^2}$	Δ, %
ВП	10, 9	-1232.764	┐┌ 180×12	84.38	$\frac{300}{600}$	$\frac{5.59}{7.905}$	$\frac{53.667}{75.897}$	122.639	0.637	22.944	24	4.4
	8, 7	-847.95	┐┌ 160×10	62.86		$\frac{4.96}{7.043}$	$\frac{60.484}{85.193}$	121.713	0.579	23.315		2.9
	6	0	┐┌ 160×10									
НП	3	1232.764	┐┌ 140×10	54.66	$\frac{600}{600}$	$\frac{4.33}{6.259}$	$\frac{138.568}{95.862}$	400	-	22.553	24	6.0
	2	1094.134	┐┌ 140×10							20.017		16.6
	1	473.104	┐┌ 80×8	24.6		$\frac{2.44}{3.844}$	$\frac{245.902}{156.087}$			19.232		19.9
РС	30, 31	-674.67	┐┌ 160×100×9	45.74	$\frac{213.9}{427.8}$	$\frac{2.85}{7.824}$	$\frac{75.053}{54.678}$	122.569	0.642	22.973		4.3
	22	534.543	┐┌ 80×8	24.6	$\frac{342.24}{427.8}$	$\frac{2.44}{3.844}$	$\frac{140.262}{111.29}$	400	-	21.729		9.5
	23	-370.417	┐┌ 125×9	44		$\frac{3.86}{5.631}$	$\frac{88.663}{75.971}$	157.385	0.557	15.114	19.2	21.3
	24	197.692	┐┌ 80×8	24.6		$\frac{2.44}{3.844}$	$\frac{140.262}{111.29}$	400	-	8.036	24	66.5
	25	0	┐┌ 80×8					150	-	-	-	-
	34	0	┌ 80×8	11.5	$\frac{171.12}{213.9}$	$\frac{1.57}{1.57}$	$\frac{108.993}{136.242}$	200	-	-	-	-
СТ	17	-159.33	┐┌ 80×8	24.6	$\frac{244}{305}$	$\frac{2.44}{3.844}$	$\frac{100}{79.349}$	168.72	0.49	13.218	19.2	31.2
	18	-140.94	┐┌ 80×8					173.46		11.692		39.1
Гнучкість ВП у стадії монтажу – $l_{ef}^{y} = 1500\,см; i_{cp} = \left(600 \cdot 7.905 + 900 \cdot 7.043\right)/1500 \approx 7.39\,см; \lambda = 1500/7.39 = 202.977 < \lambda_u = 220$												

Примітки. ВП – верхній пояс; НП – нижній пояс; РС – розкоси; СТ – стійки

2.2 Розрахунок вузлів ферми

2.2.1 Вихідні дані до розрахунку

Зварювання проводиться механізованим способом покритим електродом Э42А за ГОСТ 9467.

Розрахунковий опір металу кутових швів умовному зрізу в площині наплавленого металу $R_{wf} = 180$ *МПа*, при класі міцності основного металу С315 і нижче.

Розрахунковий опір металу кутових швів умовному зрізу в площині металу межа сплавлення – $R_{wz} = 0.45 \cdot 370 = 166.5$ *МПа*

Коефіцієнти, що враховують режим зварювання при катетах швів 3…8:

$$\beta_f = 0.9; \beta_z = 1.05$$

Положення шва - нижнє, горизонтальне, вертикальне

$$\beta_z R_{wz} \cong 175\,МПа > \beta_f R_{wf} = 144\,МПа$$

Розрахунковим є переріз по металу шва.

Для кутиків під час накладення шва вздовж закругленої кромки (по перу) катет шва приймаємо не більше $0.9t_{кут}$, під час зварювання по обрізку не більше $1.2t_{кут}$

2.2.2 Шви прикріплення розкосів та стійок

Розрахунок виконуємо в табличному вигляді (табл. 1.5). Під час розрахунку швів враховуємо перерозподіл зусиль по перу і обушку кутика.

Довжини швів округляємо до 10 мм, мінімальну довжину шва прийнято не менше ніж 60 мм (з урахуванням дефектів на початку і наприкінці шва). За розрахунковими довжинами швів встановлюємо конфігурацію і розміри фасонок.

Таблиця 1.5. Розрахунок швів

№	Переріз	*N, кН*	Шов по обушку			Шов по перу		
			$N_{об}$	k_f, *мм*	l_w, *мм*	$N_п$	k_f, *мм*	l_w, *мм*
30, 31	160×100×9	674.67	523.544	8	220	151.126	4	130
22	80×8	534.543	382.866	8	160	151.677	4	130
17	80×8	-159.33	114.12	8	60	45.21	4	60
23	125×9	-370.417	270.849	8	120	99.568	4	90
24	80×8	197.692	140.597	8	70	56.095	4	60
18	80×8	-140.94	100.948	8	60	39.992	4	60
25	80×8	-	-	4	60	-	4	60

2.2.3 Заводський стик нижнього поясу

Стик виноситься за межі вузла на 300 мм, у бік панелі з меншим зусиллям. Через різну товщину кутиків стик перекриваємо листовими накладками.

Ширину кожної накладки призначаємо виходячи з ширини полиці більшого поясного кутика, з урахуванням зазору між кромкою накладки і фасонки 40 мм, і звису накладки 20 мм, для виконання зварних швів.

$$b_н = 140 - 40 + 20 = 120\,мм$$

Товщину накладок приймаємо рівною товщині фасонки – 14 мм

Міцність ослабленого перерізу перевіримо за спрощеною формулою з урахуванням роботи фасонки заввишки, що дорівнює подвоєній ширині полиці малого кутика:

$$\sigma = \frac{1.2N_1}{A_{ум}} = \frac{1.2 \cdot 473.104}{2 \cdot 1.4 \cdot 12 + 2 \cdot 8 \cdot 1.4} = 10.138\frac{кН}{см^2} < R_y = 24\frac{кН}{см^2}$$

Кріплення накладок до поясів розрахуємо на зусилля в накладці:

$$N_н = A_н\sigma = 1.4 \cdot 12 \cdot 10.138 = 170.32\,кН$$

Катет шва прикріплення накладок до кутиків приймаємо рівним 4 мм, тоді сумарна довжина шва по один бік стику:

$$\sum l_w = \frac{170.32 \cdot 10^3}{0.9 \cdot 4 \cdot 180} + 10\,мм = 272.836 \cong 280\,мм$$

Довжина накладки при двох швах кріплення до кутика складе – $(280/2) \times 2 + 50 = 330\,мм$

Розрахунковим зусиллям для швів, що прикріплюють поясні кутики лівої панелі до фасонки є більше з двох:

$$N_{p1} = 1.2N_1 - 2N_n = 1.2 \cdot 473.104 - 2 \cdot 170.32 = 227.085\,кН;$$

$$N_{p2} = \frac{1.2N_1}{2} = \frac{1.2 \cdot 473.104}{2} = 283.862\,кН$$

Необхідна довжина шва з боку обушка ($k_f = 4\,мм$):

$$l_{w,об} = \frac{283.862 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 4 \cdot 180} \cdot \left(\frac{80 - 22.7}{80}\right) + 10\,мм = 166.88 \cong 170\,мм$$

Необхідна довжина шва з боку пера ($k_f = 4\,мм$):

$$l_{w,n} = \frac{283.862 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 4 \cdot 180} \cdot \left(\frac{22.7}{80}\right) + 10\,мм = 72.15 \cong 80\,мм$$

Розрахункове зусилля для кутиків правої панелі:

$$N_{p1} = 1.2N_2 - 2N_n = 1.2 \cdot 1094.134 - 2 \cdot 170.32 = 972.321\,кН;$$

$$N_{p2} = \frac{1.2N_2}{2} = \frac{1.2 \cdot 1094.134}{2} = 656.484\,кН$$

Необхідна довжина шва з боку обушка (k_f = *4 мм*):

$$l_{w,об} = \frac{972.321\times10^3}{2\cdot0.9\cdot4\cdot180}\cdot\left(\frac{140-38.2}{140}\right)+10\,мм = 555.537 \cong 560\,мм$$

Необхідна довжина шва з боку пера (k_f = *4 мм*):

$$l_{w,n} = \frac{972.321\cdot10^3}{2\cdot0.9\cdot4\cdot180}\cdot\left(\frac{38.2}{140}\right)+10\,мм = 214.71 \cong 220\,мм$$

Конструктивно приймаємо довжину цих швів по всій довжині фасонки.

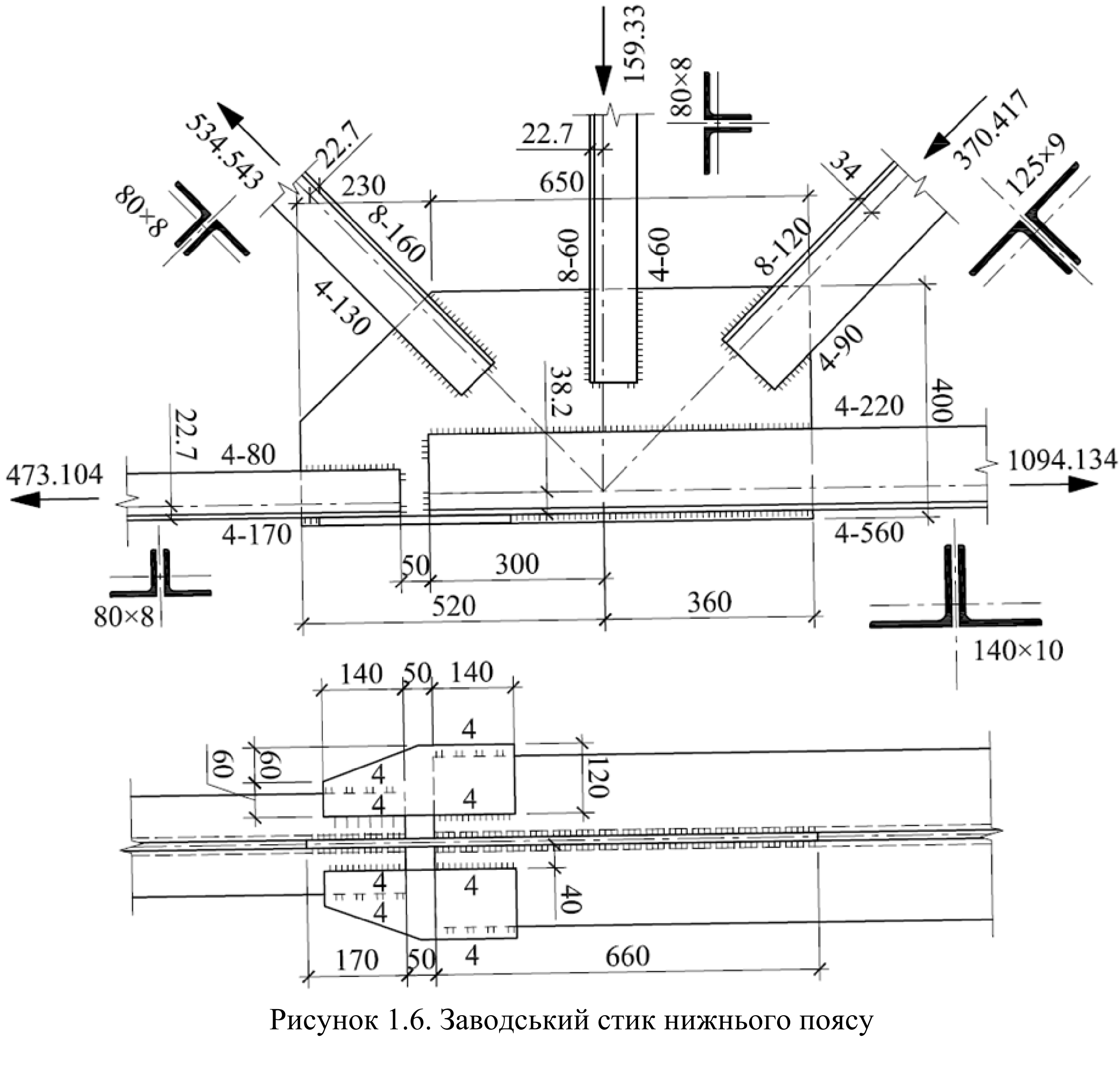


Рисунок 1.6. Заводський стик нижнього поясу

Зміщення осей елементів поясу становить:

$$38.2-22.7=15.5\,мм;\left(1-\frac{80-15.5}{80}\right)=19.375\%>1.5\%$$

Умова не виконується, врахуємо вплив вузлового моменту на міцність елементів, що сходяться у вузлі.

Вузловий момент:

$$M=473.104\cdot 1.55=733.311\,кН\cdot см$$

Момент розподілимо пропорційно погонним жорсткостям елементів:

$$\sum\frac{I_{x,i}}{l_i}=\frac{2\cdot 73.36}{600}+\frac{2\cdot 73.36}{427.8}+\frac{2\cdot 73.36}{305}+\frac{2\cdot 327.48}{427.8}+\frac{2\cdot 512.29}{600}=4.307\frac{см^4}{см}$$

Згинальний момент у площині ферми, що діє в i-му стрижні:

$$M_1=733.311\cdot\frac{\frac{2\cdot 73.36}{600}}{4.307}=41.634\,кН\cdot см$$

$$M_{22}=733.311\cdot\frac{\frac{2\cdot 73.36}{427.8}}{4.307}=58.393\,кН\cdot см$$

$$M_{17}=733.311\cdot\frac{\frac{2\cdot 73.36}{305}}{4.307}=81.904\,кН\cdot см$$

$$M_{23}=733.311\cdot\frac{\frac{2\cdot 327.48}{427.8}}{4.307}=260.668\,кН\cdot см$$

$$M_2=733.311\cdot\frac{\frac{2\cdot 512.29}{600}}{4.307}=290.742\,кН\cdot см$$

Елементи, що піддаються розтягуванню з вигином, у запас міцності ведемо розрахунок у межах пружної роботи за коефіцієнтів $c_x=n=1$, по формулі (10.1) ДБН [1]

<u>Стрижень 1</u>, розтягнення з боку обушка.

$$W_{x,p}=\frac{2\cdot 73.36}{2.27}=64.634\,см^3$$

$$\frac{473.104}{24.6}+\frac{41.634}{64.634}=19.876\frac{кН}{см^2}<24\frac{кН}{см^2}$$

<u>Стрижень 22</u>, розтягнення з боку обушка.

$$W_{x,p}=\frac{2\times 73.36}{8-2.27}=25.606\,см^3$$

$$\frac{534.543}{24.6}+\frac{58.393}{25.606}\cong 24\frac{кН}{см^2}=24\frac{кН}{см^2}$$

<u>Стрижень 2</u>, розтягнення з боку пера.

$$W_{x,p} = \frac{2 \cdot 327.48}{14 - 3.4} = 125.254 см^3$$

$$\frac{1094.134}{24.6} + \frac{290.742}{125.254} \cong 22.338 \frac{кН}{см^2} < 24 \frac{кН}{см^2}$$

Стрижні, що піддаються стиску, розраховуємо на стійкість у площині дії моменту – площині найбільшої гнучкості.

Стрижень 17

$$e = \frac{81.904}{159.33} = 0.514; W_c = \frac{2 \cdot 73.36}{2.27} = 64.634 см^3; \rho_c = \frac{64.634}{24.6} = 2.627$$

$$m_x = \frac{0.514}{2.627} = 0.196; \eta = 1.8 + 0.12 \cdot 0.196 = 1.824; m_{ef} = 0.196 \cdot 1.824 = 0.358$$

$$\overline{\lambda_x} = 100 \cdot \sqrt{\frac{24}{20600}} = 3.413 \to \varphi = 0.505; \frac{159.33}{0.505 \cdot 24.6} = 12.825 \frac{кН}{см^2} < 19.2 \frac{кН}{см^2}$$

Стрижень 23

$$e = \frac{260.668}{370.417} = 0.704; W_c = \frac{2 \cdot 327.48}{12 - 3.4} = 71.974 см^3; \rho_c = \frac{71.974}{44} = 1.636$$

$$m_x = \frac{0.704}{1.636} = 0.43; \eta = 1.8 + 0.12 \cdot 0.43 = 1.852; m_{ef} = 0.43 \cdot 1.852 = 0.796$$

$$\overline{\lambda_x} = 88.663 \cdot \sqrt{\frac{24}{20600}} = 3.026 \to \varphi = 0.455; \frac{370.417}{0.455 \cdot 44} = 18.502 \frac{кН}{см^2} < 19.2 \frac{кН}{см^2}$$

2.2.4 Заводський стик верхнього поясу

Стик виноситься за межі вузла на 500 мм, у бік панелі з меншим зусиллям. Ширина накладки:

$$b_н = 180 - 40 + 20 = 160 мм$$

Товщина накладки – 14 мм

Міцність ослабленого перерізу, з урахуванням роботи фасонки:

$$\sigma = \frac{1.2 N_8}{A_{ум}} = \frac{1.2 \cdot 847.95}{2 \cdot 1.4 \cdot 16 + 2 \cdot 16 \cdot 1.4} = 11.356 \frac{кН}{см^2} < R_y = 24 \frac{кН}{см^2}$$

Кріплення накладок до поясів розрахуємо на зусилля в накладці:

$$N_н = A_н \sigma = 1.4 \cdot 16 \cdot 11.356 = 254.374 кН$$

Катет шва прикріплення накладок до кутиків приймаємо рівним 4 мм, тоді сумарна довжина шва по один бік стику:

$$\sum l_w = \frac{254.374 \cdot 10^3}{0.9 \cdot 4 \cdot 180} + 10 мм = 402.552 \cong 400 мм$$

Довжина накладки при двох швах кріплення до куточка складе – $(400/2) \cdot 2 + 50 = 450 мм$

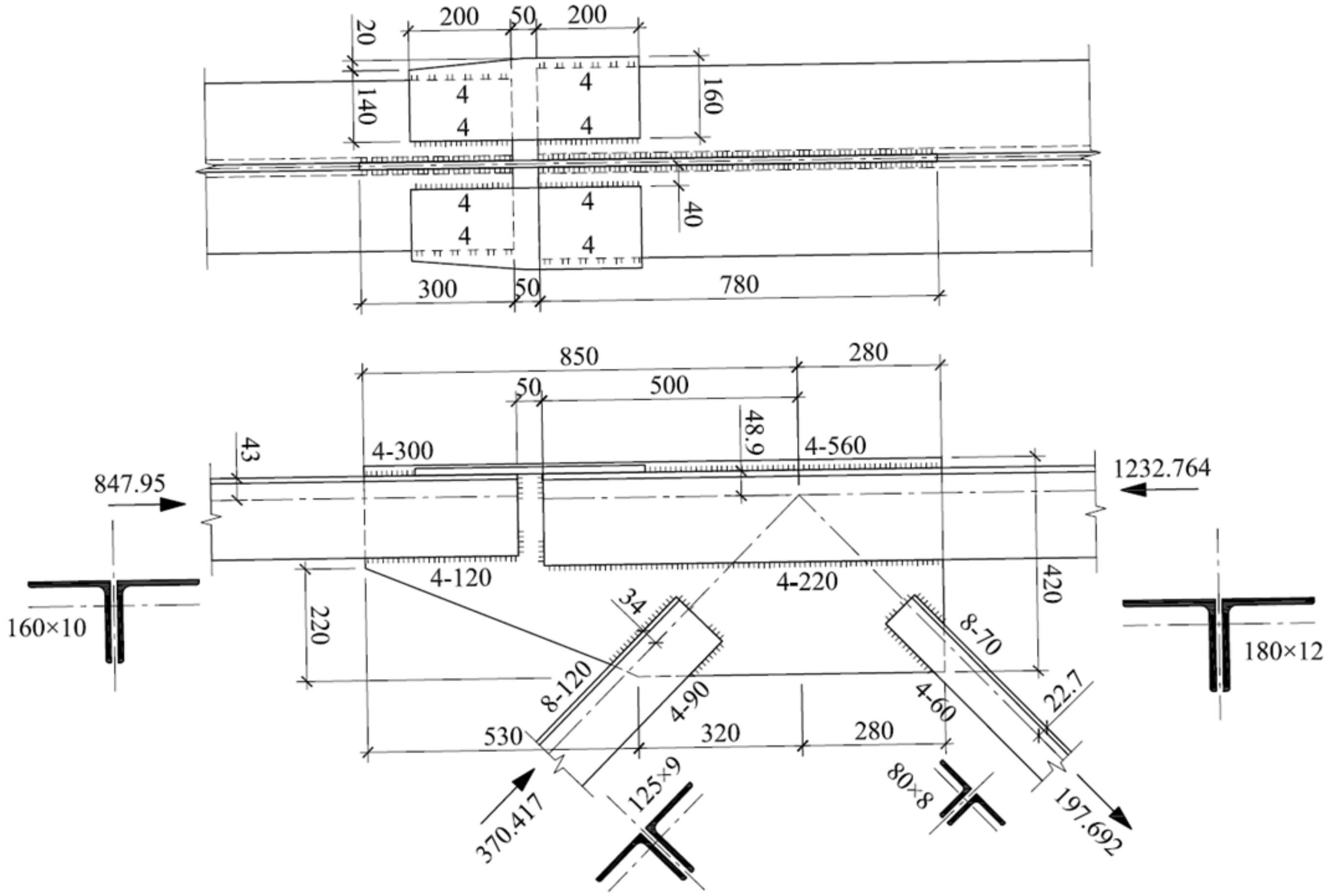


Рисунок 1.7. Заводський стик верхнього поясу

Розрахунковим зусиллям для швів, що прикріплюють поясні куточки лівої панелі до фасонки є більше з двох:

$$N_{p1} = 1.2N_8 - 2N_n = 1.2 \cdot 847.95 - 2 \cdot 254.374 = 508.792\,кН$$

$$N_{p2} = \frac{1.2N_8}{2} = \frac{1.2 \cdot 847.95}{2} = 508.77\,кН$$

Необхідна довжина шва з боку обушка ($k_f = 4\ мм$):

$$l_{w,об} = \frac{508.792 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 4 \cdot 180} \cdot \left(\frac{160-43}{160}\right) + 10\,мм = 297.079 \cong 300\,мм$$

Необхідна довжина шва з боку пера ($k_f = 4\ мм$):

$$l_{w,n} = \frac{508.792 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 4 \cdot 180} \cdot \left(\frac{43}{160}\right) + 10\,мм = 115.508 \cong 120\,мм$$

Розрахункове зусилля для кутиків правої панелі:

$$N_ф = 1.2N_2 - 2N_n = 1.2 \cdot 1232.764 - 2 \cdot 254.374 = 970.57\,кН;$$

$$N_p = \frac{1.2N_9}{2} = \frac{1.2 \cdot 1232.764}{2} = 739.66\,кН$$

З урахуванням вузлового навантаження $F = 142.38$ кН, розрахункове зусилля:

$$N_p = \sqrt{970.57^2 + 142.38^2} = 980.958\,кН$$

Необхідна довжина шва з боку обушка ($k_f = 4\ мм$):

$$l_{w,об} = \frac{980.958 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 4 \cdot 180} \cdot \left(\frac{180 - 48.9}{180}\right) + 10\,мм = 561.284 \cong 560\,мм$$

Необхідна довжина шва з боку пера ($k_f = 4\ мм$):

$$l_{w,n} = \frac{980.958 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 4 \cdot 180} \cdot \left(\frac{48.9}{180}\right) + 10\,мм = 215.628 \cong 220\,мм$$

$$l_{w,max} = 85\beta_f k_f = 85 \cdot 0.9 \cdot 8 = 612\,мм$$

Конструктивно приймаємо довжину цих швів по всій довжині фасонки.

Зміщення осей елементів поясу становить:

$$48.9 - 43 = 5.9\,мм; \left(1 - \frac{160 - 5.9}{160}\right) = 3.688\% > 1.5\%$$

Вузловий момент:

$$M = 847.95 \cdot 0.59 = 500.291\,кН \cdot см$$

Момент розподілимо пропорційно погонним жорсткостям елементів:

$$\sum \frac{I_{x,i}}{l_i} = \frac{2 \cdot 774.24}{300} + \frac{2 \cdot 1316.62}{300} + \frac{2 \cdot 327.48}{427.8} + \frac{2 \cdot 73.36}{427.8} = 15.813\,\frac{см^4}{см}$$

Згинальний момент у площині ферми, що діє в i-му стрижні:

$$M_8 = 500.291 \cdot \frac{\frac{2 \cdot 774.24}{300}}{15.813} = 163.302\,кН \cdot см$$

$$M_9 = 500.291 \cdot \frac{\frac{2 \cdot 1316.62}{300}}{15.813} = 277.701\,кН \cdot см$$

$$M_{23} = 500.291 \cdot \frac{\frac{2 \cdot 327.48}{427.8}}{15.813} = 48.434\,кН \cdot см$$

$$M_{24} = 500.291 \cdot \frac{\frac{2 \cdot 73.36}{427.8}}{15.813} = 10.851\,кН \cdot см$$

Більшу частину зусилля (88.15%) сприймають стиснуті пояси, у зв'язку з цим перевірку розкосів не проводимо, оскільки стрижень 23 було перевірено на вплив більшого згинального моменту під час розрахунку стику нижнього поясу, а стрижень 24 працює на розтягнення, і його переріз збільшено порівняно з необхідним.

Стиснуті елементи верхнього поясу згинаються в площині меншої жорсткості, і гнучкість із площини дії моменту перевищує гнучкість у площині дії моменту. Перевірку стійкості проводимо в площині за формулою (10.6) ДБН [1] і з площини моменту як центрально-стиснутого стрижня за формулою (10.12) ДБН [1].

Стрижень 8

$$e = \frac{163.302}{847.95} = 0.193; W_c = \frac{2 \cdot 774.24}{4.3} = 360.112\,см^3; \rho_c = \frac{360.112}{62.86} = 5.729$$

$$m_x = \frac{0.193}{5.729} = 0.034 < 0.1;$$

Перевірка на стійкість у площині моменту не потрібна. Перевірка з площини моменту забезпечена, оскільки переріз підбирався з цієї умови.

Стрижень 23

$$e = \frac{277.701}{1232.764} = 0.225; W_c = \frac{2 \cdot 1316.62}{12 - 3.4} = 200.857\,см^3; \rho_c = \frac{200.857}{84.38} = 2.38$$

$$m_x = \frac{0.225}{2.38} = 0.095 < 0.1$$

2.2.5 Укрупнювальний вузол нижнього поясу

Монтажний стик ферми передбачено посередині ферми. Для забезпечення необхідної жорсткості під час транспортування стик конструюється з додатковою вертикальною стійкою з нульовим зусиллям.

Горизонтальні листові накладки приймаємо перерізом 160×14 мм. Міцність стику з урахуванням роботи фасонки:

$$\sigma = \frac{1.2 N_9}{A_{ум}} = \frac{1.2 \cdot 1232.764}{2 \cdot 1.4 \cdot 16 + 2 \cdot 18 \cdot 1.4} = 15.539 \frac{кН}{см^2} < R_y = 24 \frac{кН}{см^2}$$

Кріплення накладок до поясів розрахуємо на зусилля в накладці:

$$N_н = A_н \sigma = 1.4 \cdot 16 \cdot 15.539 = 348.074\,кН$$

Сумарна довжина швів (з одного боку), що прикріплюють одну накладку до кутиків верхнього поясу, за катета шва $k_f = 8\,мм$, виконані ручним монтажним зварюванням за коефіцієнта $\beta_f = 0.7$:

$$\sum l_w = \frac{348.074 \cdot 10^3}{0.7 \cdot 8 \cdot 180} + 10\,мм = 355.312 \cong 400\,мм$$

Дещо більша довжина шва проти необхідної взята для уніфікації з вузлом верхнього поясу. Приймаємо два шви - по перу кутика фланговий і по скосу накладки косий. Під час конструювання скосу накладки, між косим швом і швом прикріплення обушка кутика до фасонки, витримуємо відстань не менше 40 мм.

Розрахункове зусилля для кріплення кутиків поясу до вертикальної фасонки:

$$N_{p1} = 1.2N_8 - 2N_н = 1.2 \cdot 1232.764 - 2 \cdot 348.074 = 783.169\,кН$$

$$N_{p2} = \frac{1.2N_8}{2} = \frac{1.2 \cdot 1232.764}{2} = 739.658\,кН$$

Необхідна довжина шва з боку обушка ($k_f = 8$ *мм*):

$$l_{w,об} = \frac{783.169 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 8 \cdot 180} \cdot \left(\frac{140 - 38.2}{140}\right) + 10\,мм = 229.705 \cong 230\,мм$$

Необхідна довжина шва з боку пера ($k_f = 4$ *мм*):

$$l_{w,п} = \frac{783.169 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 4 \cdot 180} \cdot \left(\frac{38.2}{140}\right) + 10\,мм = 174.887 \cong 180\,мм$$

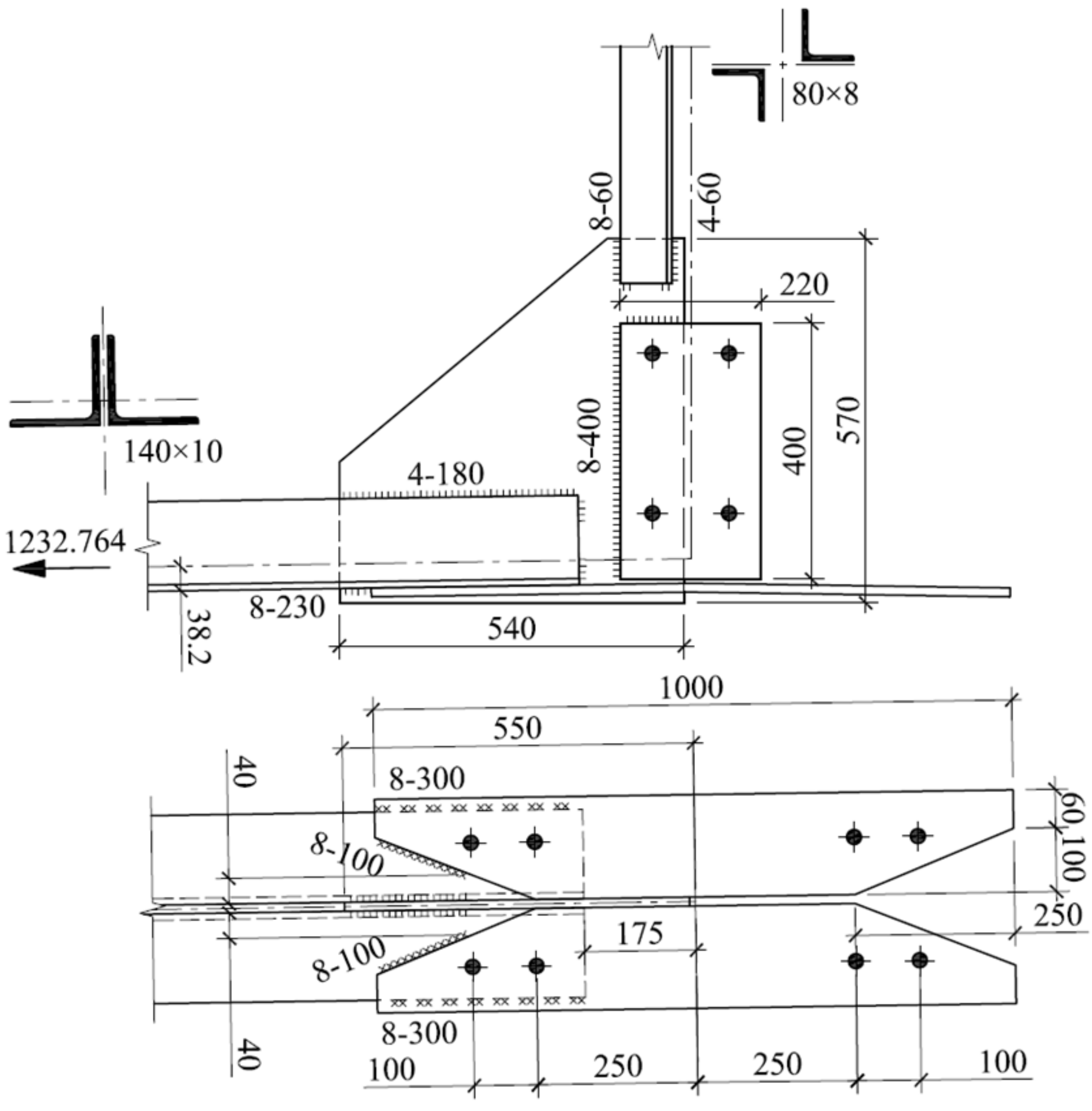


Рисунок 1.8. Монтажний вузол нижнього поясу

Товщину вертикальної накладки приймаємо рівною товщині фасонки - 14 мм, ширину призначаємо з урахуванням розміщення монтажних болтів М20, отвори під які 23 мм і зазору між фасонками:

$$b_{в.н.} = 2 \cdot 2 \cdot \left(2d\right) + 20 = 204\,мм$$

Приймаємо 220 мм. Довжину визначимо з умови розміщення зварних швів, що прикріплюють вертикальні накладки до фасонки. Шви розраховуємо на зусилля – $N_{p2} = 739.658\,кН$

Довжина зварного шва ($k_f = 8$ *мм*):

$$l_w = \frac{783.169 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.7 \cdot 8 \cdot 180} + 10\,мм = 398.477 \cong 400\,мм$$

Шви прикріплення додаткової стійки призначаємо мінімальними - довжина 60 мм, катет 4 мм.

В навчальному проектування для зменшення механічних обчислень розраховуємо тільки один монтажний вузол. Верхній вузол відрізняється збільшеним перетином накладки – 200×14 мм. Напівфасонку нижнього і верхнього вузлів уніфікуємо в процесі конструювання.

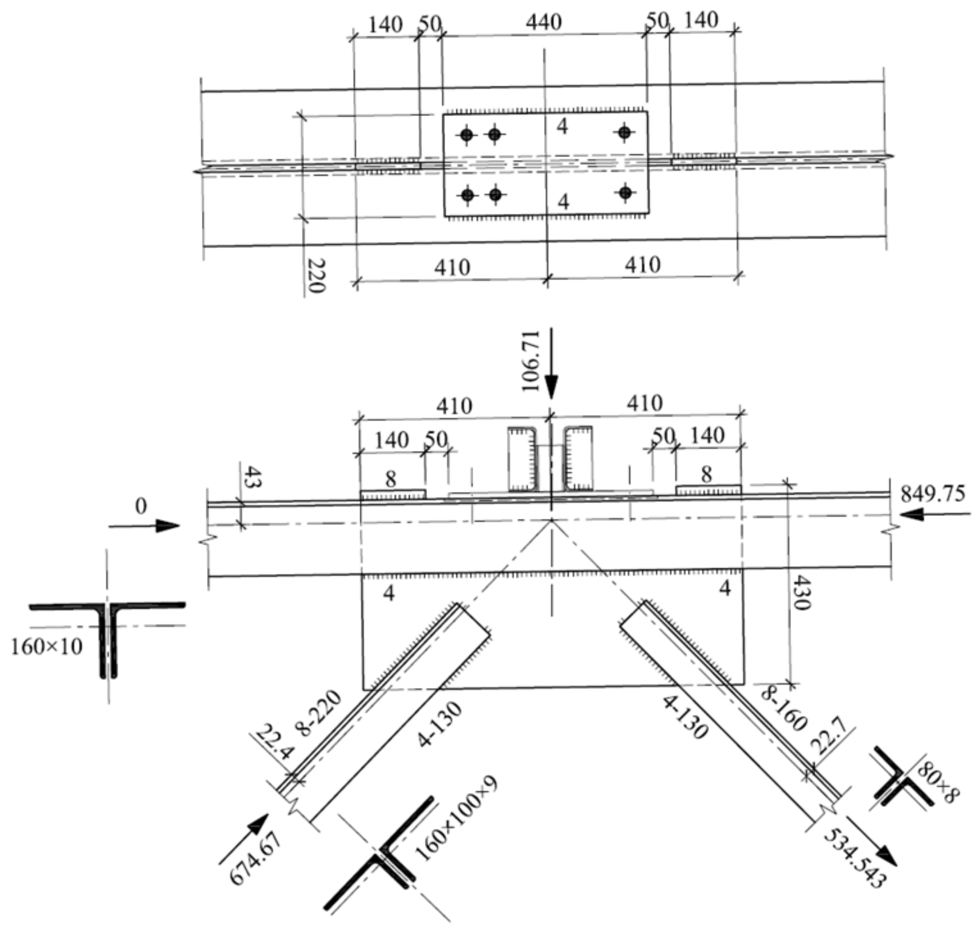


Рисунок 1.8. Проміжний вузол 1

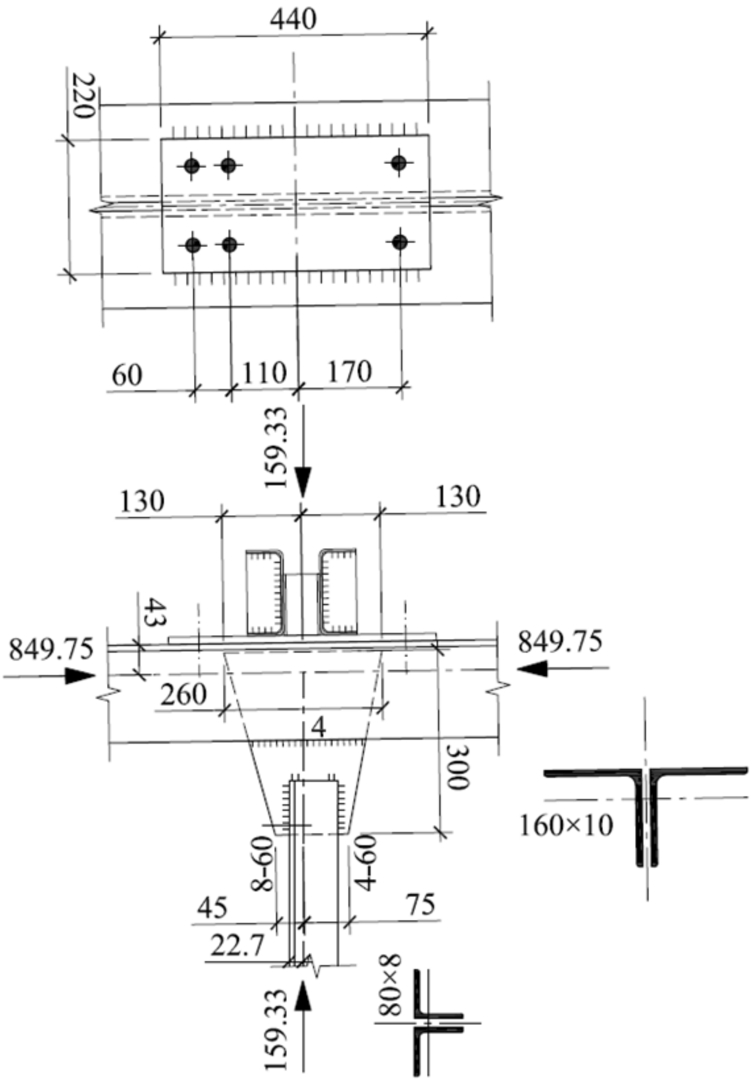


Рисунок 1.9. Проміжний вузол 2

2.2.6 Проміжні вузли

Вузол 1. Довжина швів, необхідних для прикріплення стиснутого поясу до фасонки, розраховується на сприйняття рівнодійного поздовжнього зусилля і вузлового навантаження:

$$N = \sqrt{\left(N_7 - N_6\right)^2 + P^2} = \sqrt{\left(849.75 - 0\right)^2 + \left(58.11 + 48.6\right)^2} = 854.44\,кН$$

Необхідна довжина шва з боку обушка ($k_f = 8\ мм$):

$$l_{w,об} = \frac{854.44 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 8 \cdot 180} \cdot \left(\frac{160 - 43}{160}\right) + 10\,мм = 251.053 \cong 260\,мм$$

Необхідна довжина шва з боку пера ($k_f = 4\ мм$):

$$l_{w,п} = \frac{854.44 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 4 \cdot 180} \cdot \left(\frac{43}{160}\right) + 10\,мм = 187.184 \cong 190\,мм$$

Довжина зварних швів, що прикріплюють розкоси, дана в таблиці 1.5.

Для обпирання прогону передбачаємо виріз – фасонку не доводять до крайки полиць кутика, цю щілину заповнюють наплавленим металом, оскільки в цьому разі важко забезпечити гарний провар, цей шов як розрахунковий не розглядаємо.

Вузол 2. Різниця поздовжніх зусиль у суміжних панелях дорівнює нулю, шви прикріплення фасонки до поясу розраховуємо на зусилля в стійці.

Оскільки у вузлі спирається прогін, фасонку не доводимо до кромки полиці кутика, як і у випадку вузла 1 – фасонка кріпиться до поясу по перу кутика двома швами.

Довжина шва ($k_f = 4\ мм$):

$$l_w = \frac{159.33 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 4 \cdot 180} + 10\,мм = 132.94 \cong 140\,мм$$

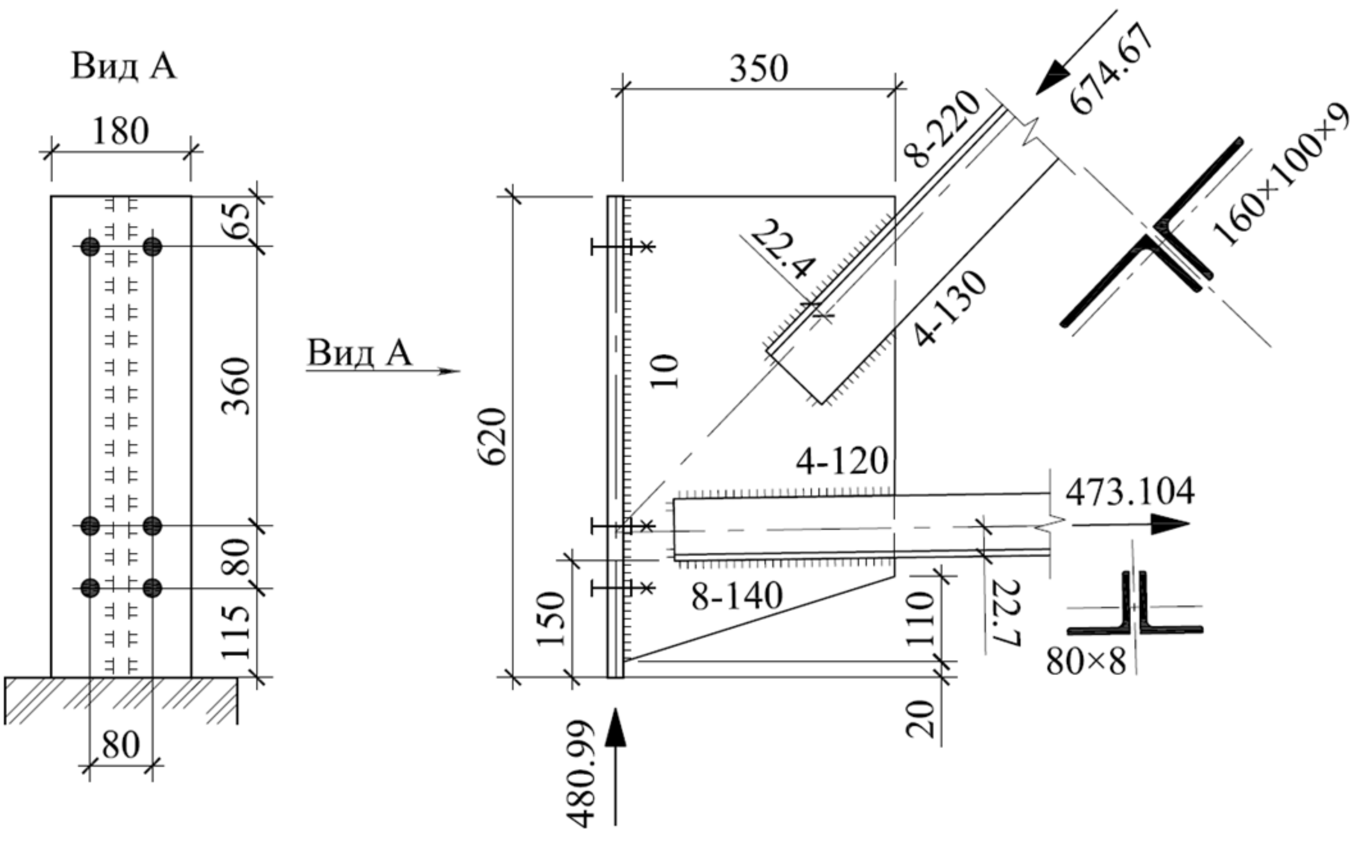


Рисунок 1.10. Опорний вузол

2.2.7 Опорний вузол

Верхній опорний вузол проектуємо конструктивно. Зварні шви, що прикріплюють верхній пояс і укіс із нульовими зусиллями, приймаємо катетом 4 мм за пером і 8 мм за обушком, і довжиною 60 мм, кріплення здійснюється монтажними болтами на овальних отворах до вертикальної фасонки, привареної до опорної стійки. Надколонник проєктується звареним двотаврового перерізу, плиту оголовка надколонника приймаємо 12 мм із виносом 200 мм для обпирання прогону, для збереження їхнього постійного кроку (конструкції верхнього опорного вузла за серією ПК-01-133)

Нижній опорний вузол виконано шарнірним з обпиранням на колону зверху. Фасонка нижнього опорного вузла має опорний фланець, товщину якого приймаємо конструктивно 20 мм. Фланець для чіткості передавання навантаження виступає знизу фасонки на 20 мм, торцева поверхня фланця фрезерується і вільно розташовується на струганій поверхні оголовка колони. Фланець кріпиться до опорної стійки 6 болтами М20.

Найбільша опорна реакція виникає від комбінації постійного та снігового навантаження за другим варіантом завантаження:

$$V_a = V_b = V = 480.99\,кН$$

З умови роботи опорного фланця на зминання, ширина фланця:

$$b_{фл} = \frac{V}{t_{фл} R_p} = \frac{480.99}{2 \cdot 36} = 6.68\,см$$

Ширину фланця конструктивно приймаємо 180 мм.

Довжину фланця визначимо з умови розміщення двосторонніх кримінальних швів кріплення його до фасонки. Катет шва приймаємо – $k_f = 8\ мм$

$$l_{фл} = \frac{V}{2\beta_f\, k_f R_{wf}} = \frac{480.99 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 8 \cdot 180} + 10 = 195.567 \cong 200\,мм$$

$$l_{w,max} = 85\beta_f k_f = 85 \cdot 0.9 \cdot 8 = 612\,мм$$

Розміри фланця уточнюємо під час конструювання.

Шви прикріплення опорного розкосу до фасонки були розраховані раніше.

Необхідна довжина шва прикріплення поясу з боку обушка ($k_f = 8\ мм$):

$$l_{w,об} = \frac{473.104 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 8 \cdot 180} \cdot \left(\frac{80 - 22.7}{80} \right) + 10\,мм = 140.733 \cong 140\,мм$$

Необхідна довжина шва прикріплення поясу з боку пера ($k_f = 4\ мм$):

$$l_{w,п} = \frac{473.104 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.9 \cdot 4 \cdot 180} \cdot \left(\frac{22.7}{80} \right) + 10\,мм = 113.583 \cong 120\,мм$$

2.3 Визначення прогину ферми

Прогин ферми визначаємо від дії постійного і снігового рівномірно-розподілених експлуатаційних розрахункових навантажень.

Експлуатаційне розрахункове значення постійного навантаження від ваги кроквяних конструкцій приймається рівним характеристичному (табл. 1.2):

$$p_{кр}^{*} = \left(p_{кр} - p_{фон} \right) \gamma_n = (1.333 - 0.12) \cdot 0.95 = 1.152 \frac{кН}{м^2}$$

Маса світлоаераційного ліхтаря:

$$p_{фон} = 0.12 \cdot 0.95 \cong 0.114 кН/м^2$$

Маса віконного заповнення ліхтаря і бортових конструкцій:

$$q_{б.ст.} = \frac{2.0}{1.1} \cdot 0.95 = 1.73 кН/м$$

Експлуатаційне розрахункове значення снігового навантаження (п. 8.3 ДБН [2]) на горизонтальну проекцію покриття (при $\mu = 1$):

$$S_e = \gamma_{fm} S_0 C = 0.49 \cdot 1.37 \cdot 1 = 0.671 кПа$$

Де $\gamma_{fm} = 0.49$ при $\eta = 0.02$ (табл. 8.3 ДБН [2])

Розрахункова схема та приведення розподіленого навантаження до вузлового, показано на рисунку.

Постійне навантаження

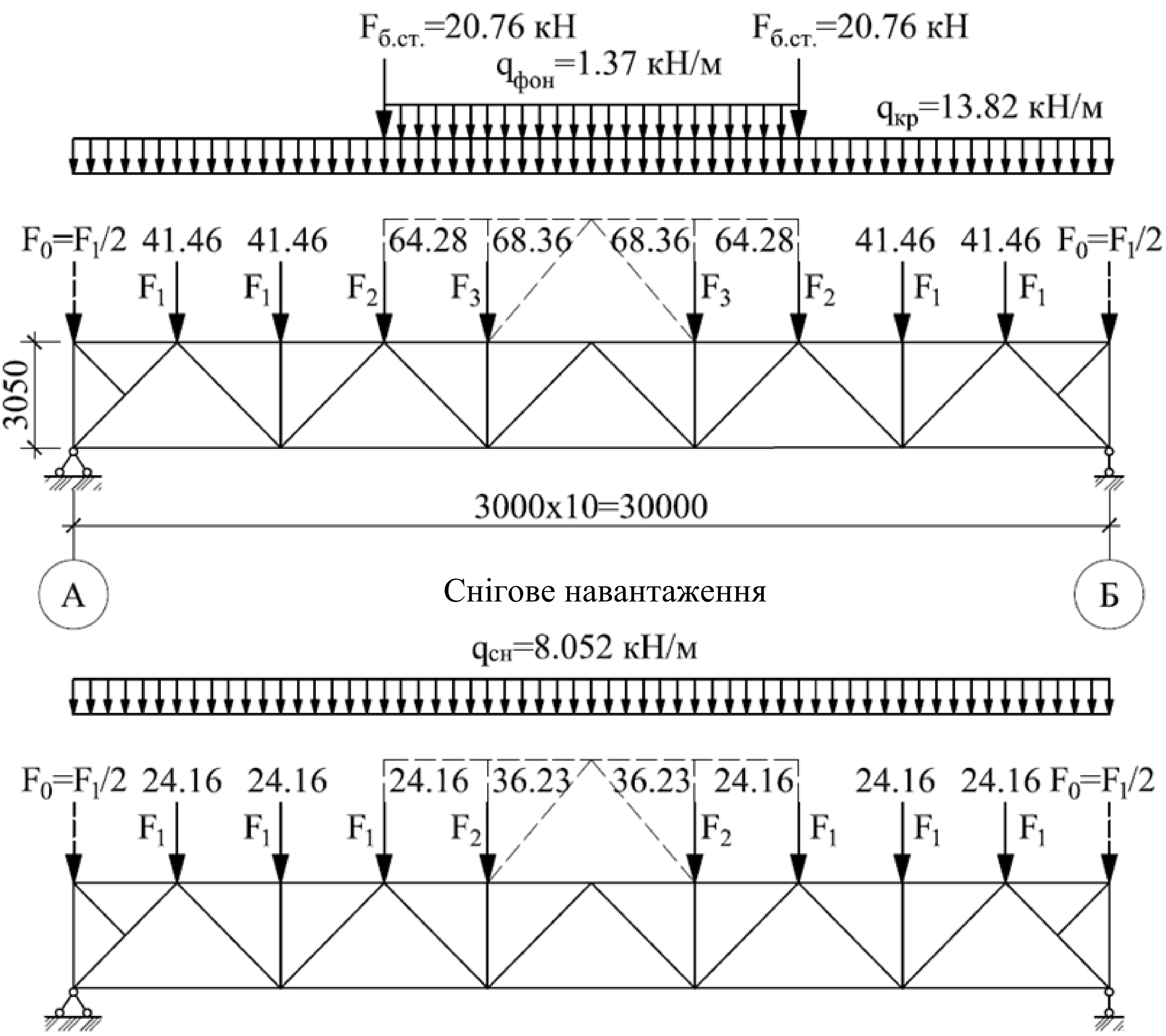


Рисунок 1.11. Розрахункова схема до визначення прогину

Розрахунок прогину проводимо в ПК «ЛІРА-САПР» – прогин від постійного навантаження - 36.9 мм; прогин від снігового навантаження - 18.1 мм

Згідно з ДСТУ Б В.1.2-3:2006 «Прогини і переміщення» вертикальний граничний прогин ферми покриття (п. 2а, табл. 1) при $l = 30$ *м* складає $f_u = l/275 = 30000/275 = 109.1$ *мм*. Обчислений прогин менше за граничний.

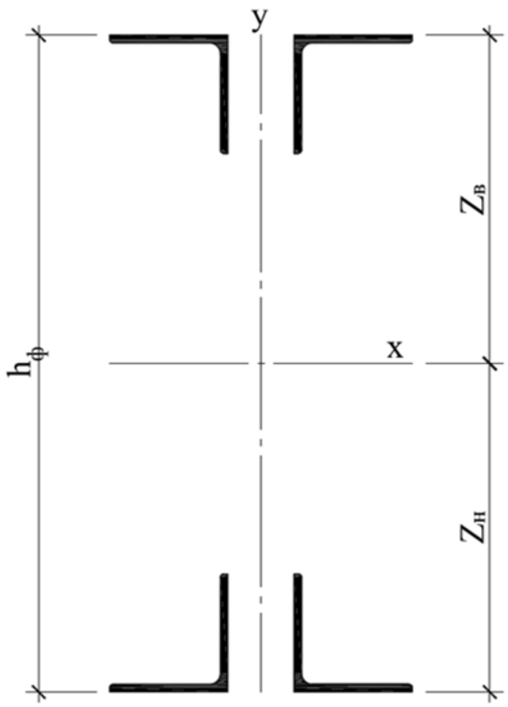
Відповідно до п. 17.3.6 ДБН [1] для забезпечення заданого ухилу покрівлі, призначаємо будівельний підйом ферми рівним (при ухилі 1.5%):

$$15000 \cdot 0.015 + 36.9 + 18.1 = 280\,мм$$

2.4 Визначення фактичного моменту інерції ригеля

Поперечна рама каркасу у інженерних методиках розраховується за спрощеною схемою із заміною ґратчастого ригеля суцільним, еквівалентним за жорсткістю.

Верхній пояс



Нижній пояс

Рисунок 1.12. Схема перерізу ферми

Відстані від нейтральної осі ригеля до центральних осей поясів:

1. Верхнього поясу:

$$z_в = \frac{A_{н.п.}\left(h_ф - \left(z_0^в + z_0^н\right)\right)}{A_{в.п.} + A_{н.п.}} =$$

$$= \frac{54.66 \times \left(315 - \left(4.89 + 3.82\right)\right)}{84.38 + 54.66} = 120.41\,см$$

2. Нижнього поясу:

$$z_н = h_ф - z_в = 315 - 120.41 = 194.59 см$$

Фактичний момент інерції за формулою проф. О.М. Генієва [11, стор. 73]:

$$I_p = \left(A_{в.п.} z_в^2 + A_{н.п.} z_н^2\right) k =$$
$$= \left(84.38 \times 120.41^2 + 54.66 \cdot 194.59^2\right) \cdot 0.9 = 2963794.26 см^4$$

Де $k = 0.9$ – для ферм з паралельними поясами; $A_{в.п.}$, $A_{н.п.}$ – площа перерізу відповідно верхнього і нижнього поясу в центрі прольоту ферми.

В додатку Б наведено перевірочний розрахунок підібраних перерізів засобами програмного комплексу ПК «ЛІРА-САПР» та результати автоматизованого підбору перерізів для елементів ферми. Інтерпретацію та порівняння отриманих результатів пропонується виконати самостійно.

2.5 Вимоги та рекомендації щодо оформлення креслень

Вимоги до креслень марки КМ викладені в ДСТУ [4], у додатках до якого наведені також приклади, що ілюструють стиль креслень, ступінь їх деталізації, перелік необхідних позначень і розмірів. При виконанні креслень КМД слід керуватися ДСТУ [5].

Рекомендації по оформленню деталювальних креслень сталевих конструкцій та приклади робочих креслень наведені у довідковій літературі [12, 13]. Окремий приклад виконання робочого деталювального креслення розрахованої ферми наведено у додатку А даних вказівок.

Графічна частина складається з креслень кроквяної ферми марки КМД (конструкції металеві деталізовані), виконані на аркушах формату А2 або А1 які в загальному випадку містять наступні елементи:

- схему ферми із зазначенням її генеральних розмірів, довжин стержнів та зусиль у стержнях;
- загальний вид відправної марки ферми, її види зверху, знизу, зліва і справа;
- додаткові перерізи та деталі, необхідні для розуміння конструкції ферми;
- розрахований укрупнювальний монтажний вузол верхнього чи нижнього поясу ферми у масштабі М1:4, 1:5, 1:10, 1:15;
- креслення окремих деталей складної форми;
- специфікацію деталей за формою 6 [5] (заповнюється відповідно до вказівок п. 4.4.4 [5]) і таблицю відправних елементів за формою 7 [5] (п. 4.4.10 [5]) в яку заносять необхідну для зведення будівлі кількість відправних марок. Масу однієї відправної марки беруть зі специфікації

деталей для цієї марки, а масу всіх марок визначають множенням на їх необхідну кількість;

- технічні вимоги;

Масштаби креслень слід обирати таким чином, щоб креслення компактно розміщувалися на аркуші, а на схемах і вузлах конструкцій можна було чітко зобразити усі необхідні деталі та розміри. Складні чи дуже дрібні перерізи та деталі можна накреслити окремо у більш крупному масштабі.

При виконанні креслень марок КМ і КМД використовують умовні зображення болтів та зварних швів, які наведені в таблицях 1 та 2 ДСТУ [4].

Маркування конструкцій та окремих елементів на схемах конструкцій каркаса (аркуш 1) слід виконувати згідно з ДСТУ [6]. Наприклад ФК1 – ферми кроквяні; К1 – колони каркаса

Відомість елементів на кресленнях марки КМ виконується за зразком форми 1 додатка В ДСТУ [4] і зазвичай розміщується над кутовим штампом аркуша.

Аркуші креслень оформлюють кутовим штампом основного надпису відповідно до форми 3 наведеної у додатку Д [7].

Технічні вимоги звичайно розміщують над кутовим штампом у вигляді пронумерованих пунктів без заголовка. У технічних вимогах на кресленнях марки КМ наводять (п. 5.3.3 [4]):

- значення зусиль для розрахунку прикріплення елементів, які не обумовлені на схемах конструкцій, вузлах та відомостях елементів;
- відомості та технічні вимоги щодо виготовлення та монтажу конструкцій, не позначені на кресленнях: класи міцності використаних сталей, вид зварювання, зварювальні матеріали та катети зварних швів, діаметри отворів, клас точності, клас міцності та діаметри болтів;
- номери аркушів зі схемами конструкцій та з кресленнями елементів і вузлів.

Технічні вимоги на кресленнях марки КМД містять не вказані на кресленнях відомості щодо особливостей конструкції та виготовлення окремих елементів та деталей, а також загальні відомості та технічні вимоги щодо виготовлення конструкцій:

- матеріал конструкцій (клас сталі та додаткові вимоги до сталі);
- вид зварювання, зварювальні матеріали та катети зварних швів;
- діаметри отворів, розміри вирізів у ребрах жорсткості.

Загальні відомості виконуються у вигляді фраз типу: «Усі отвори, крім обумовлених на кресленнях, проколюються діаметром 23 мм», «Не позначені зварні шви варяться напівавтоматичним зварюванням зварювальним дротом СВ-

08ГА катетом 4 мм». У цьому випадку доцільно охарактеризувати в технічних вимогах ті матеріали, зварні шви та отвори, які найчастіше зустрічаються на кресленнях аркуша. Елементи, відмінні від вказівок технічних вимог, індивідуально позначають на відповідних кресленнях.

2.6 Контрольні питання

1. Класифікація ферм за конструктивною схемою
2. З чого починають проектування ферм?
3. Коли застосовують ферми трикутного контуру?
4. Які переваги мають ферми трапецеїдального контуру перед трикутними?
5. Де застосовують полігональні ферми?
6. Які конструктивні переваги мають ферми з паралельними поясами?
7. Як визначається розрахунковий проліт ферм?
8. Як визначається висота трикутних ферм?
9. Коли вага поясів і решітки трапецеїдальних ферм і ферм з паралельними поясами буде мінімальною?
10. На що працює решітка ферм?
11. Особливості трикутної системи решітки
12. Які переваги і недоліки у розкісної системи решітки ферми?
13. Спеціальні системи решіток
14. Як визначають розміри панелей ферм?
15. Завдяки чому забезпечується стійкість ферм?
16. З чого складається просторовий стійкий блок покрівлі?
17. Чи можна забезпечити стійкість ферм покрівлі з площині завдяки тільки прогонам по верхніх поясах ферм?
18. Які основні показники уніфікації ферм з рулонною покрівлею?
19. Навіщо в кроквяних фермах утворюють будівельний підйом?
20. Як прикладається навантаження до ферми?
21. Які спрощення допускаються при визначенні зусиль у стрижнях ферм?
22. Як визначаються навантаження на ферму?
23. Як визначаються зусилля в стрижнях ферми?
24. Чим відрізняються геометричні і розрахункові довжини стрижнів ферми?
25. Як підібрати переріз стиснутого стрижня ферми?
26. Як підібрати переріз розтягнутого стрижня ферми?
27. Як запроектувати проміжні вузли зварних ферм?
28. Навіщо в стрижнях ферми, виконаних з парних кутиків, між ними ставлять листові прокладки?

ДОДАТОК А. КРЕСЛЕННЯ КРОКВЯНОЇ ФЕРМИ

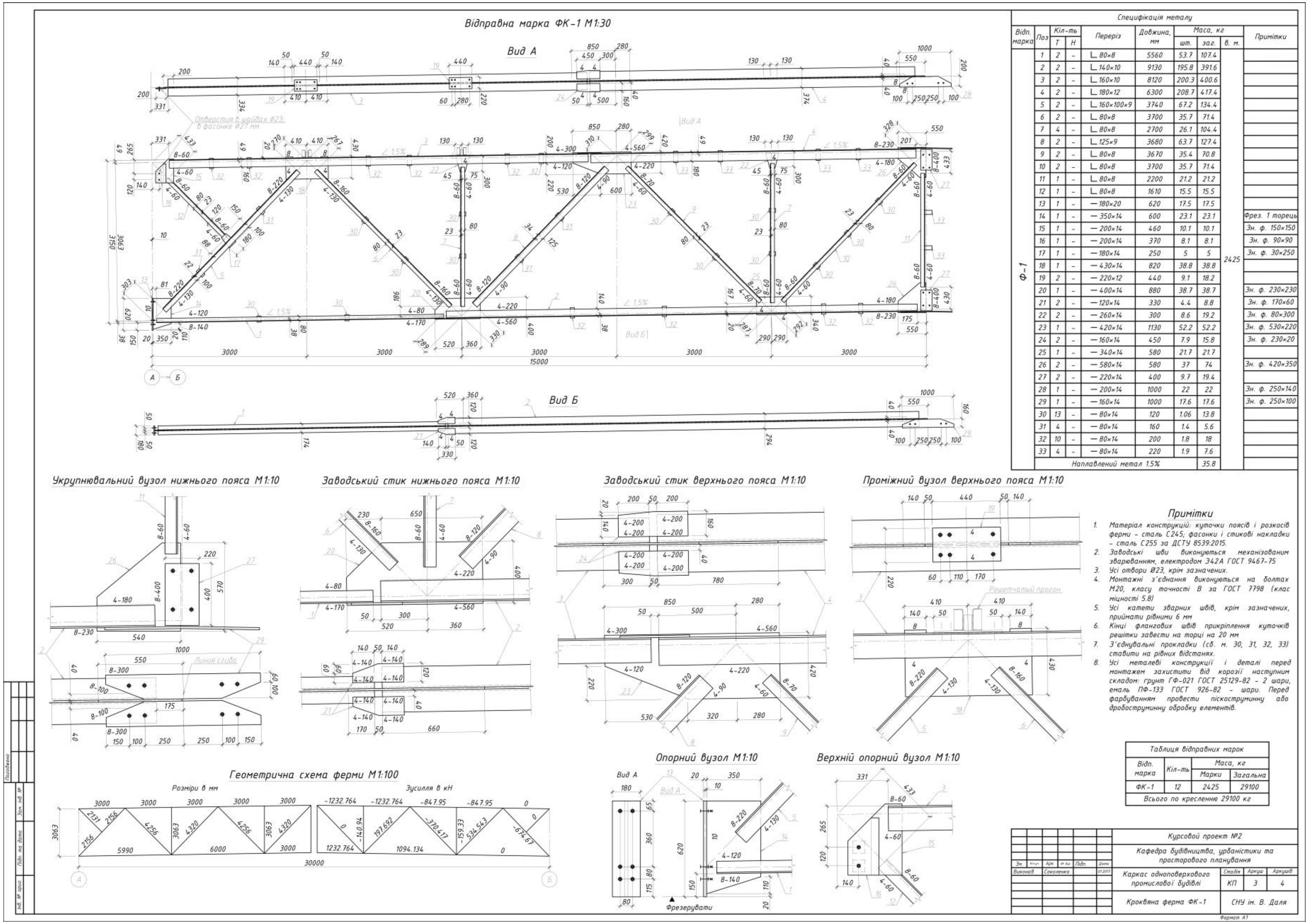


Рисунок А.1. Приклад виконання креслення кроквяної ферми

ДОДАТОК Б. РЕЗУЛЬТАТ РОЗРАХУНКУ СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАСОБАМИ ПК «ЛІРА-САПР»

В додатку наведені результати розрахунку в конструюючій системі СТК-САПР ПК «ЛІРА-САПР». Для всіх розрахованих перерізів елементів виводяться результати перевірок по міцності та стійкості (по першому граничному стану), гнучкості й прогину (по другому граничному стану). Результати виводяться у вигляді відсотків використання перерізу в порівнянні з граничною несучою здатністю по тій або іншій перевірці. Тобто, результат завжди дорівнює:

$$\textit{Відсоток використання із перевірки } \%\textit{вик} = \frac{100\% \cdot \textit{максимальне значення}}{\textit{гранична несуча здатність}}$$

При формуванні результатів використано також поняття відсотка використання по 1-му граничному стану та по 2-му граничному стану. Відсоток використання перерізу по 1-му граничному стану (1ГС) — найбільший з відсотків по перевіркам міцності та стійкості, взятий по всіх РСЗ.

$$\%\textit{вик}1\textit{ГС} = \max\left\{\%\textit{вик}\left(i\right)\right\} - \textit{по міцності, стійкості}$$

Відсоток використання перерізу по 2-му граничному стану (2ГС) — найбільший з відсотків по перевіркам граничної гнучкості або прогину, взятий по всіх РСЗ.

$$\%\textit{вик}2\textit{ГС} = \max\left\{\%\textit{вик}\left(i\right)\right\} - \textit{по гнучкості, прогину}$$

Відсоток використання перерізу по місцевій стійкості (МС) — найбільший з відсотків по стійкості стінки та полиці, взятий по всіх РСЗ.

$$\%\textit{викМС} = \max\left\{\%\textit{вик}\left(i\right)\right\} - \textit{по місцевій стійкості}$$

де i - кількість розрахункових сполучень зусиль (РСЗ).

Результати розрахунку представляються у вигляді відсотків використання у табличній формі (табл. Б.1), або у вигляді мозаїки (рис. Б.2) чи безпосередньо у вікні локального розрахунку. Більш детальні відомості наведені у довідковій системі програмного комплексу. Використання промислових програмних комплексів дозволяє значно спростити та пришвидшити виконання підбору необхідних перерізів конструктивних елементів. В якості прикладу в таблиці Б.2 наведені результати підбору виконані програмним комплексом, а на рисунку Б.3 наведена відповідна мозаїка результатів розрахунку за 1-м граничним станом для підібраних перерізів.

Слід зазначити, що підібрані перерізи у програмному комплексі потребують проведення уніфікації з метою зменшення кількості типорозмірів.

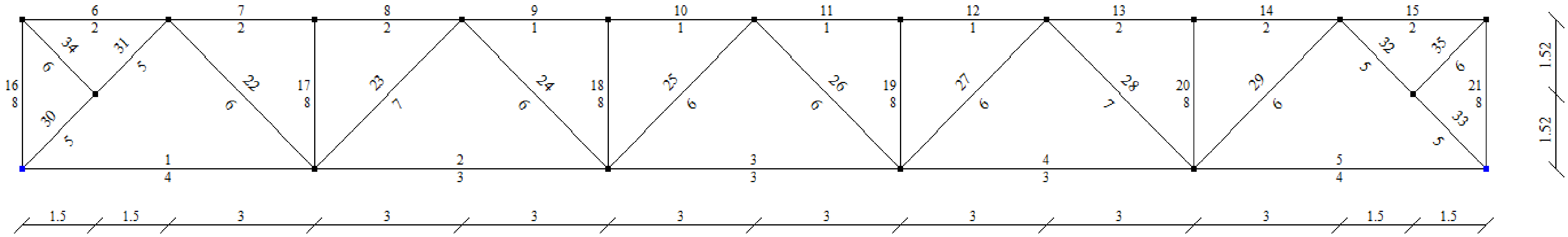


Рисунок Б.1. Розрахункова ферми в ПК «ЛІРА-САПР» (на схемі зверху стрижня – номер елемента, знизу – номер типу жорсткості)

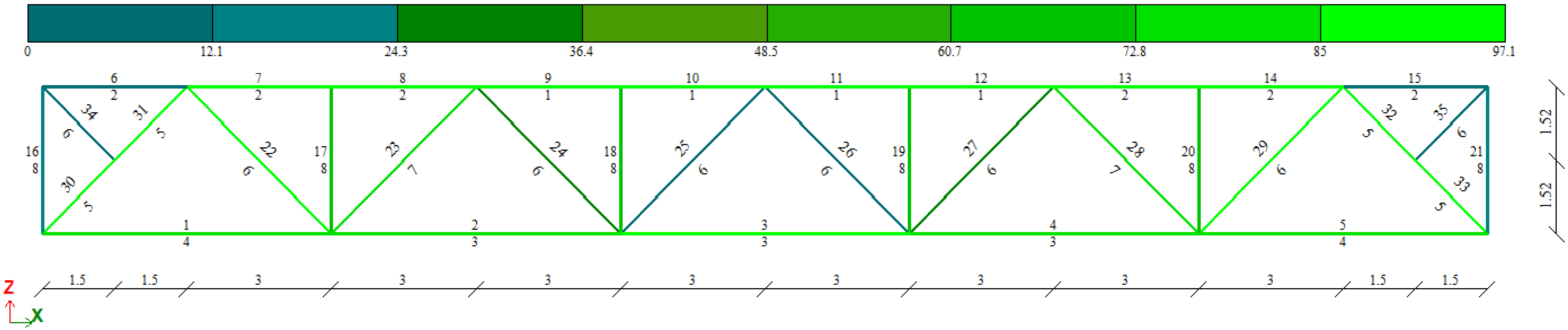


Рисунок Б.2. Мозаїка результатів розрахунку заданих перерізів за 1-м граничним станом

Таблиця Д.1. Результати перевірочного розрахунку елементів ферми в ПК «ЛІРА-САПР»

ГР	ЕЛЕМЕНТ	НП	нор %	СУ1 %	СZ1 %	ГУ1 %	ГZ1 %	СС %	СП %	1ГС %	2ГС %	М.С %	Довжина
1 - Переріз: 1.1.1.1 Два кутики 180 x 180 x 12/ стиковка 1.4 см Профіль: 180 x 180 x 12/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)													
1	9	1	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
1	9	2	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
1	10	1	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
1	10	2	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3

ГР	ЕЛЕМЕНТ	НП	нор %	CY1 %	CZ1 %	ГY1 %	ГZ1 %	СС %	СП %	1ГС %	2ГС %	М.С %	Довжина
1	11	1	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
1	11	2	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
1	12	1	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
1	12	2	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
2 - Переріз: 2.1.1.1 Два кутики 160 x 160 x 10/ стиковка 1.4 см Профіль: 160 x 160 x 10/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)													
2	6	1	0	0	0	20	28	0	0	0	28	0	3
2	6	2	0	0	0	20	28	0	0	0	28	0	3
2	7	1	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	7	2	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	8	1	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	8	2	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	13	1	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	13	2	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	14	1	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	14	2	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	15	1	0	0	0	20	28	0	0	0	28	0	3
2	15	2	0	0	0	20	28	0	0	0	28	0	3
3 - Переріз: 3.2.2.2 Два кутики 140 x 140 x 10/ стиковка 1.4 см Профіль: 140 x 140 x 10/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)													
3	2	1	83	0	0	35	24	0	0	83	35	0	6
3	2	2	83	0	0	35	24	0	0	83	35	0	6
3	3	1	94	0	0	35	24	0	0	94	35	0	6
3	3	2	94	0	0	35	24	0	0	94	35	0	6
3	4	1	83	0	0	35	24	0	0	83	35	0	6
3	4	2	83	0	0	35	24	0	0	83	35	0	6
4 - Переріз: 4.2.2.2 Два кутики 80 x 80 x 8/ стиковка 1.4 см Профіль: 80 x 80 x 8/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)													
4	1	1	80	0	0	61	39	0	0	80	61	0	6
4	1	2	80	0	0	61	39	0	0	80	61	0	6
4	5	1	80	0	0	61	39	0	0	80	61	0	6
4	5	2	80	0	0	61	39	0	0	80	61	0	6

ГР	ЕЛЕМЕНТ	НП	нор %	CY1 %	CZ1 %	ГY1 %	ГZ1 %	СС %	СП %	1ГС %	2ГС %	М.С %	Довжина
5 - Переріз: 5.3.3.3 Два кутики 160 x 100 x 9/ стиковка 1.4 см Профіль: 160 x 100 x 9/ ДСТУ 8769:2018 Сталь: С245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані нерівнополичні (ДСТУ 8769:2018)													
5	30	1	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	30	2	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	31	1	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	31	2	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	32	1	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	32	2	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	33	1	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	33	2	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
6 - Переріз: 6.4.4.4 Два кутики 80 x 80 x 8/ стиковка 1.4 см Профіль: 80 x 80 x 8/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)													
6	22	1	91	0	0	35	28	0	0	91	35	0	4,28
6	22	2	91	0	0	35	28	0	0	91	35	0	4,28
6	24	1	33	0	0	35	28	0	0	33	35	0	4,28
6	24	2	33	0	0	35	28	0	0	33	35	0	4,28
6	27	1	33	0	0	35	28	0	0	33	35	0	4,28
6	27	2	33	0	0	35	28	0	0	33	35	0	4,28
6	29	1	91	0	0	35	28	0	0	91	35	0	4,28
6	29	2	91	0	0	35	28	0	0	91	35	0	4,28
7 - Переріз: 6.5.5.5 Два кутики 80 x 80 x 8/ стиковка 1.4 см Профіль: 80 x 80 x 8/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)													
7	25	1	0	0	0	47	37	0	0	0	47	0	4,28
7	25	2	0	0	0	47	37	0	0	0	47	0	4,28
7	26	1	0	0	0	47	37	0	0	0	47	0	4,28
7	26	2	0	0	0	47	37	0	0	0	47	0	4,28
8 - Переріз: 6.7.7.7 Два кутики 80 x 80 x 8/ стиковка 1.4 см Профіль: 80 x 80 x 8/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)													
8	34	1	0	0	0	23	19	0	0	0	23	0	2,14
8	34	2	0	0	0	23	19	0	0	0	23	0	2,14
8	35	1	0	0	0	23	19	0	0	0	23	0	2,14
8	35	2	0	0	0	23	19	0	0	0	23	0	2,14

ГР	ЕЛЕМЕНТ	НП	нор %	CY1 %	CZ1 %	ГY1 %	ГZ1 %	СС %	СП %	1ГС %	2ГС %	М.С %	Довжина
9 - Переріз: 7.5.5.5 Два кутики 125 x 125 x 9/ стиковка 1.4 см Профіль: 125 x 125 x 9/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)													
9	23	1	44	79	69	54	47	0	63	79	54	63	4,28
9	23	2	44	79	69	54	47	0	63	79	54	63	4,28
9	28	1	44	79	69	54	47	0	63	79	54	63	4,28
9	28	2	44	79	69	54	47	0	63	79	54	63	4,28
10 - Переріз: 8.6.6.6 Два кутики 80 x 80 x 8/ стиковка 1.4 см Профіль: 80 x 80 x 8/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)													
10	16	1	11	23	18	56	44	0	42	23	56	42	3,05
10	16	2	11	23	18	56	44	0	42	23	56	42	3,05
10	17	1	34	69	55	59	47	0	42	69	59	42	3,05
10	17	2	34	69	55	59	47	0	42	69	59	42	3,05
10	18	1	30	61	48	58	46	0	42	61	58	42	3,05
10	18	2	30	61	48	58	46	0	42	61	58	42	3,05
10	19	1	30	61	48	58	46	0	42	61	58	42	3,05
10	19	2	30	61	48	58	46	0	42	61	58	42	3,05
10	20	1	34	69	55	59	47	0	42	69	59	42	3,05
10	20	2	34	69	55	59	47	0	42	69	59	42	3,05
10	21	1	11	23	18	56	44	0	42	23	56	42	3,05
10	21	2	11	23	18	56	44	0	42	23	56	42	3,05

Примітки. Значення стовпців таблиць наступне: ЕЛЕМЕНТ – Номер скінченого елементу; НП – Номер перерізу по довжині скінченого елементу. Далі йдуть відсотки вичерпання несучої здатності по перевіркам ДБН: нор – нормальні напруження; тау – дотичні напруження; с1 – приведені напруження; CY1 – стійкість відносно осі Y1; CZ1 – стійкість відносно осі Z1; ГY1 – гранична гнучкість відносно осі Y1; ГZ1 – гранична гнучкість відносно осі Z1; СС – місцева стійкість стінки; СП – місцева стійкість стиснутого поясу; 1ГС – Зведений відсоток використання перерізу по 1-му граничному стану; 2ГС – Зведений відсоток використання перерізу по 2-му граничному стану; М.С – Зведений відсоток використання перерізу по місцевій стійкості; ДОВЖИНА ЕЛЕМЕНТА – Геометрична довжина конструктивного елементу.

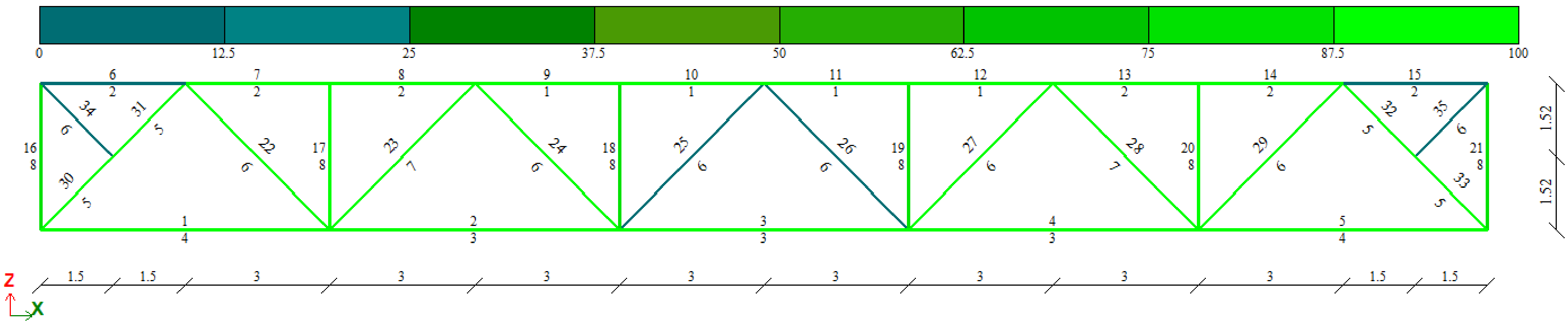


Рисунок Б.3. Мозаїка результатів розрахунку підібраних перерізів за 1-м граничним станом

Таблиця Д.2. Результати підбору перерізів елементів ферми в ПК «ЛІРА-САПР»

ГР	ЕЛЕМЕНТ	НП	П.ПЕР	нор %	СУ1 %	СZ1 %	ГУ1 %	ГZ1 %	СС %	СП %	1ГС %	2ГС %	М.С %	Довжина
1 - Переріз: 1.1.1.1 Два кутики 180 x 180 x 12/ стиковка 1.4 см Профіль: 180 x 180 x 12/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)														
1	9		1 - Підібрано: 1.1.1.1 Два кутики 180 x 180 x 12/ стиковка 1.4 см Профіль: 180 x 180 x 12/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245											
1	9	1	1	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
1	9	2	1	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
1	10	1	1	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
1	10	2	1	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
1	11	1	1	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
1	11	2	1	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
1	12	1	1	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
1	12	2	1	61	79	96	44	62	0	74	96	62	74	3
2 - Переріз: 2.1.1.1 Два кутики 160 x 160 x 10/ стиковка 1.4 см Профіль: 160 x 160 x 10/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)														
2	6		2 - Підібрано: 2.1.1.1 Два кутики 35 x 35 x 4/ стиковка 1.4 см Профіль: 35 x 35 x 4/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245											
2	6	1	2	0	0	0	85	96	0	0	0	96	0	3

ГР	ЕЛЕМЕНТ	НП	П.ПЕР	нор %	CY1 %	CZ1 %	ГY1 %	ГZ1 %	CC %	СП %	1ГС %	2ГС %	М.С %	Довжина
2	6	2	2	0	0	0	85	96	0	0	0	96	0	3
2	7		3 - Підібрано: 2.1.1.1 Два кутики 160 x 160 x 10/ стиковка 1.4 см Профіль: 160 x 160 x 10/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245											
2	7	1	3	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	7	2	3	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	8	1	3	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	8	2	3	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	13	1	3	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	13	2	3	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	14	1	3	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	14	2	3	56	77	97	50	70	0	76	97	70	76	3
2	15	1	2	0	0	0	85	96	0	0	0	96	0	3
2	15	2	2	0	0	0	85	96	0	0	0	96	0	3
3 - Переріз: 3.2.2.2 Два кутики 140 x 140 x 10/ стиковка 1.4 см Профіль: 140 x 140 x 10/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)														
3	2		4 - Підібрано: 3.2.2.2 Два кутики 100 x 100 x 12/ стиковка 1.4 см Профіль: 100 x 100 x 12/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245											
3	2	1	4	100	0	0	50	32	0	0	100	50	0	6
3	2	2	4	100	0	0	50	32	0	0	100	50	0	6
3	3		5 - Підібрано: 3.2.2.2 Два кутики 100 x 100 x 14/ стиковка 1.4 см Профіль: 100 x 100 x 14/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245											
3	3	1	5	98	0	0	50	32	0	0	98	50	0	6
3	3	2	5	98	0	0	50	32	0	0	98	50	0	6
3	4	1	4	100	0	0	50	32	0	0	100	50	0	6
3	4	2	4	100	0	0	50	32	0	0	100	50	0	6
4 - Переріз: 4.2.2.2 Два кутики 80 x 80 x 8/ стиковка 1.4 см Профіль: 80 x 80 x 8/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)														
4	1		6 - Підібрано: 4.2.2.2 Два кутики 75 x 75 x 7/ стиковка 1.4 см Профіль: 75 x 75 x 7/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245											
4	1	1	6	97	0	0	65	41	0	0	97	65	0	6
4	1	2	6	97	0	0	65	41	0	0	97	65	0	6
4	5	1	6	97	0	0	65	41	0	0	97	65	0	6

ГР	ЕЛЕМЕНТ	НП	П.ПЕР	нор %	CY1 %	CZ1 %	ГY1 %	ГZ1 %	СС %	СП %	1ГС %	2ГС %	М.С %	Довжина
4	5	2	6	97	0	0	65	41	0	0	97	65	0	6
5 - Переріз: 5.3.3.3 Два кутики 160 x 100 x 9/ стиковка 1.4 см Профіль: 160 x 100 x 9/ ДСТУ 8769:2018 Сталь: С245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані нерівнополичні (ДСТУ 8769:2018)														
5	30		7 - Підібрано: 5.3.3.3 Два кутики 160 x 100 x 9/ стиковка 1.4 см Профіль: 160 x 100 x 9/ ДСТУ 8769:2018 Сталь: С245											
5	30	1	7	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	30	2	7	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	31	1	7	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	31	2	7	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	32	1	7	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	32	2	7	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	33	1	7	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
5	33	2	7	61	96	80	61	45	0	47	96	61	47	2,14
6 - Переріз: 6.4.4.4 Два кутики 80 x 80 x 8/ стиковка 1.4 см Профіль: 80 x 80 x 8/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)														
6	22		8 - Підібрано: 6.4.4.4 Два кутики 75 x 75 x 8/ стиковка 1.4 см Профіль: 75 x 75 x 8/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245											
6	22	1	8	97	0	0	38	29	0	0	97	38	0	4,28
6	22	2	8	97	0	0	38	29	0	0	97	38	0	4,28
6	24		9 - Підібрано: 6.4.4.4 Два кутики 45 x 45 x 5/ стиковка 1.4 см Профіль: 45 x 45 x 5/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245											
6	24	1	9	96	0	0	63	44	0	0	96	63	0	4,28
6	24	2	9	96	0	0	63	44	0	0	96	63	0	4,28
6	27	1	9	96	0	0	63	44	0	0	96	63	0	4,28
6	27	2	9	96	0	0	63	44	0	0	96	63	0	4,28
6	29	1	8	97	0	0	38	29	0	0	97	38	0	4,28
6	29	2	8	97	0	0	38	29	0	0	97	38	0	4,28
7 - Переріз: 6.5.5.5 Два кутики 80 x 80 x 8/ стиковка 1.4 см Профіль: 80 x 80 x 8/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)														
7	25		10 - Підібрано: 6.5.5.5 Два кутики 35 x 35 x 4/ стиковка 1.4 см Профіль: 35 x 35 x 4/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: С245											
7	25	1	10	0	0	0	97	69	0	0	0	97	0	4,28

ГР	ЕЛЕМЕНТ	НП	П.ПЕР	нор %	CY1 %	CZ1 %	ГY1 %	ГZ1 %	CC %	CП %	1ГС %	2ГС %	М.С %	Довжина
7	25	2	10	0	0	0	97	69	0	0	0	97	0	4,28
7	26	1	10	0	0	0	97	69	0	0	0	97	0	4,28
7	26	2	10	0	0	0	97	69	0	0	0	97	0	4,28
8 - Переріз: 6.7.7.7 Два кутики 80 x 80 x 8/ стиковка 1.4 см Профіль: 80 x 80 x 8/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)														
8	34		11 - Підібрано: 6.7.7.7 Два кутики 20 x 20 x 3 / стиковка 1.4 см Профіль: 20 x 20 x 3 / ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245											
8	34	1	11	0	0	0	96	50	0	0	0	96	0	2,14
8	34	2	11	0	0	0	96	50	0	0	0	96	0	2,14
8	35	1	11	0	0	0	96	50	0	0	0	96	0	2,14
8	35	2	11	0	0	0	96	50	0	0	0	96	0	2,14
9 - Переріз: 7.5.5.5 Два кутики 125 x 125 x 9/ стиковка 1.4 см Профіль: 125 x 125 x 9/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)														
9	23		12 - Підібрано: 7.5.5.5 Два кутики 120 x 120 x 8/ стиковка 1.4 см Профіль: 120 x 120 x 8/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245											
9	23	1	12	51	96	83	60	52	0	69	96	60	69	4,28
9	23	2	12	51	96	83	60	52	0	69	96	60	69	4,28
9	28	1	12	51	96	83	60	52	0	69	96	60	69	4,28
9	28	2	12	51	96	83	60	52	0	69	96	60	69	4,28
10 - Переріз: 8.6.6.6 Два кутики 80 x 80 x 8/ стиковка 1.4 см Профіль: 80 x 80 x 8/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245/ Сортамент: Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні (ДСТУ 2251:2018)														
10	16		13 - Підібрано: 8.6.6.6 Два кутики 60 x 60 x 4/ стиковка 1.4 см Профіль: 60 x 60 x 4/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245											
10	16	1	13	29	85	61	83	65	0	61	85	83	61	3,05
10	16	2	13	29	85	61	83	65	0	61	85	83	61	3,05
10	17		14 - Підібрано: 8.6.6.6 Два кутики 80 x 80 x 5.5/ стиковка 1.4 см Профіль: 80 x 80 x 5.5/ ДСТУ 2251:2018 Сталь: C245											
10	17	1	14	48	97	79	65	53	0	64	97	65	64	3,05
10	17	2	14	48	97	79	65	53	0	64	97	65	64	3,05
10	18	1	14	43	86	70	62	51	0	64	86	62	64	3,05
10	18	2	14	43	86	70	62	51	0	64	86	62	64	3,05
10	19	1	14	43	86	70	62	51	0	64	86	62	64	3,05

ГР	ЕЛЕМЕНТ	НП	П.ПЕР	нор %	СY1 %	СZ1 %	ГY1 %	ГZ1 %	СС %	СП %	1ГС %	2ГС %	М.С %	Довжина
10	19	2	14	43	86	70	62	51	0	64	86	62	64	3,05
10	20	1	14	48	97	79	65	53	0	64	97	65	64	3,05
10	20	2	14	48	97	79	65	53	0	64	97	65	64	3,05
10	21	1	13	29	85	61	83	65	0	61	85	83	61	3,05
10	21	2	13	29	85	61	83	65	0	61	85	83	61	3,05

Примітки. Позначення аналогічні наведеним до таблиці Б.1

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. К.: Мінрегіон України, 2014. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3200869840512354218?doc_type=2
2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі зміною №1 та №2. К.: Мінрегіонбуд України, 2020. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199621970136139233?doc_type=2
3. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К.: Мінрегіон України, 2018. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199634775304307868?doc_type=2
4. ДСТУ Б А.2.4-43:2009 «Система проектної документації для будівництва. Правила виконання проектної та робочої документації металевих конструкцій» (ГОСТ 21.502-2007, MOD) URL: https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/dstu-b-a-2-4-43-2009-pravila-vikonannya-proektno-ta-robocho-dokumentac-metalevih-konstrukc-j.pdf
5. ДСТУ-Н Б А.2.4-44:2013 «Настанова з розроблення проектної та робочої документації металевих конструкцій. Креслення конструкцій металевих деталювальні (КМД)» URL: https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/dstu-b-a-2-4-44-2013-nastanova-z-rozroblennya-proektno-robocho-dokumentac-metalevih-konstrukc-j-kmd.pdf
6. ДСТУ Б В.2.6-177:2011 Конструкції будівельні сталеві. Умовні позначення (марки) URL: https://uscc.ua/dstu-b-v26-1772011-konstrukcii-budivelni-stalevi-umovni-poznacenna-marki
7. ДСТУ Б А.2.4-4:2009 «Основні вимоги до проектної та робочої документації» URL: https://ep3.nuwm.edu.ua/2932/1/nd164%20zah.pdf
8. Металеві конструкції: Загальний курс: підручник для вищих навчальних закладів. – 2-е видання, перероблене і доповнене / Під загальною редакцією О.О. Нілова та О.В. Шимановського. – К.: Видавництво «Сталь», 2010 – 869 с.
9. Конспект лекцій з дисципліни «Металеві конструкції» для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (в 2-ч частинах) Частина 2. Основи розрахунку та конструювання балок,

центрально-стиснутих колон, ферм. (Електронне видання) / Уклад.: В. М. Соколенко, К. В. Соколенко – Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2023. – 129 с.

10. Нілов О.О., Нілова Т.О. Металеві конструкції. Балки. Колони: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. - Видання 3-е, перероблене і доповнене. К.: 2024. - Логос, 239 с.
11. Примак Н.С. Расчет рамных конструкций одноэтажных промышленных зданий. Киев : Будівельник, 1966. 504 с.
12. Сталеві конструкції. Оформлення креслень марки КМ-КМД студентських робіт [Електронний ресурс] : методичні вказівки / уклад.: Білик С.І. та ін. – Київ : КНУБА, 2024. – 48 с. URI: https://repositary.knuba.edu.ua/handle/123456789/13665
13. Абаринов А.А. Составление деталировочных чертежей металлических конструкций. М., Стройиздат, 1977. 60 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи з дисципліни «Металеві конструкції»
для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» Розрахунок та конструювання сталевих крокв'яних ферм покриття виконаних з парних кутиків.
(Електронне видання)

Укладачі:
Соколенко Костянтин Валерійович
Соколенко Валерій Михайлович

Техн. Редактор К. В. Соколенко
Оригінал - макет К. В. Соколенко

Підписано до друку____________
Формат $60\times84\ {}^1\!/_{16}$. Папір типограф. Гарнітура *Times*.
Друк офсетний. Умов. друк. арк.___. Обл.-вид.арк.___.
Тираж ___ прим. Вид. №_______. Замовл. №______. Ціна договірна.
Видавництво СНУ ім. Володимира Даля

Адреса видавництва: Україна, 01042, м. Київ, вул. Іоанна Павла II, 17
Телефон: +38 (050) 218 04 78
E-mail: izdat@snu.edu.ua