

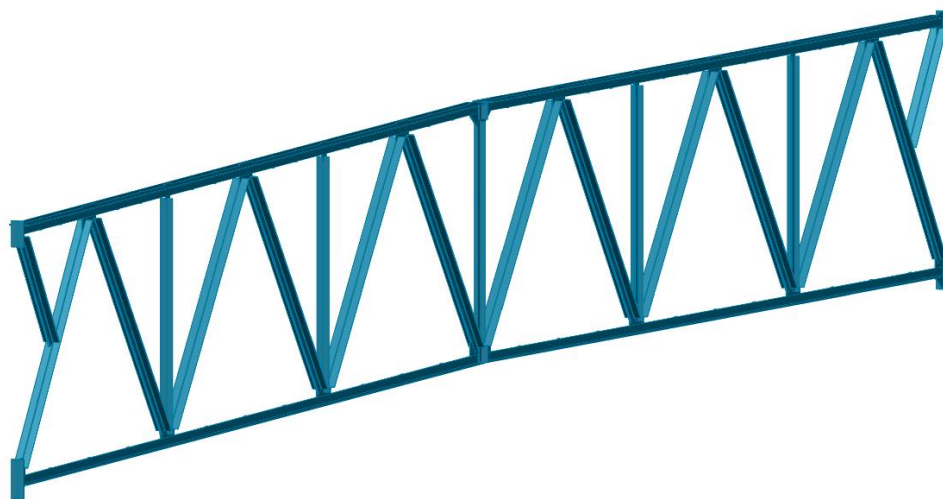
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

«Проектування конструкцій покриття виробничих будівель»
до практичних занять
із навчальної дисципліни

«ПРОЄКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної форми навчання зі спеціальності
192 – Будівництво та цивільна інженерія,
освітня програма «Промислове та цивільне будівництво»)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації «Проектування конструкцій покриття виробничих будівель» до практичних занять із навчальної дисципліни «Проектування металевих конструкцій» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Промислове та цивільне будівництво») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : С. М. Яровий, В. В. Рюмін, Ю. Ю. Солодовник. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 33 с.

Укладачі: д-р техн. наук, проф. С. М. Яровий,
канд. техн. наук, доц. В. В. Рюмін,
асист. Ю. Ю. Солодовник

Рецензент

Д. Л. Череднік, кандидат технічних наук, професор кафедри будівельного проектування Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою будівельного проектування, протокол № 1 від 10.01.2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ПРОЄКТУВАННЯ ГРАТЧАСТОГО РИГЕЛЯ РАМИ.....	5
1.1 Загальне компонування та основні рішення.....	5
1.2 Навантаження на кроквяну ферму.....	7
1.3 Розрахункові довжини стиснутих елементів ферми.....	8
1.4 Граничні гнучкості стиснутих елементів ферми.....	9
1.5 Підбір перерізів елементів ферми.....	10
1.6 Призначення товщини вузлових фасонки ферми.....	13
1.7 Конструювання вузлів.....	13
2 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ.....	14
2.1 Вихідні дані.....	14
2.2 Система в'язей по покрівлі.....	14
2.3 Визначення навантажень, що діють на крокв'яну ферму.....	16
2.3.1 Постійні навантаження від ваги конструкцій покриття.....	16
2.3.2 Навантаження на покриття від снігу.....	18
2.4 Розрахунок кроквяної ферми із застосуванням модуля КРИСТАЛ	19
2.4.1 Початок роботи з модулем.....	19
2.4.2 Робота в режимі Ферми	20
2.4.3 Робота на сторінці «Загальні дані».....	21
2.4.4 Робота на сторінці «Перерізи».....	21
2.4.5 Робота на сторінці «Параметри».....	23
2.4.6 Робота на сторінці «Навантаження».....	24
2.4.7 Розрахунок та подання результатів розрахунку.....	25
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	27
ДОДАТКИ.....	28

ВСТУП

Методичні рекомендації «Проектування конструкцій покриття виробничих будівель» до графічної роботи з дисципліни «Проектування металевих конструкцій» ґрунтуються на сучасних методах розрахунку та проектуванні будівельних конструкцій, будівель та інженерних споруд.

Метою цієї роботи є оволодіння практичними навичками статичних, міцнісних і жорсткісних (на стійкість і деформативність) розрахунків, а також проектування на їхній основі будівельної конструкції в цілому, її окремих фрагментів, вузлів з'єднань.

Тема і зміст методичних рекомендацій належать до суміжних розділів будівельної механіки та металевих конструкцій (статичний розрахунок плоских стрижневих систем, розрахунок і конструювання стиснутих стрижневих елементів, розрахунок і конструювання зварних і болтових з'єднань, складання робочих креслень, специфікацій матеріалів, відомостей відправних марок). Як об'єкт, що розраховується і проектується, використана конструкція у вигляді сталеві ферми покриття будівлі або споруди.

Проектування сталевих ферм покриттів охоплює найбільш типові та характерні особливості розроблення будівельних металоконструкцій різних будівель та інженерних споруд, яке, як правило, складається з двох етапів. На першому етапі металеві конструкції проектуються у складі конкретного об'єкта і оформляються у вигляді робочих креслень КМ. Підсумком другого етапу є робочі креслення КМД, у яких проектна документація першого етапу перероблена з урахуванням технологічних можливостей того чи іншого заводу-виробника.

1 ПРОЄКТУВАННЯ ГРАТЧАСТОГО РИГЕЛЯ РАМИ

1.1 Загальне компонування та основні рішення

Сталеві ферми залежно від прогону і величини навантаження, що діє на них, розподіляються на легкі та важкі. Легкі ферми призначені для покриттів промислових і цивільних будівель з відносно невеликими прогонами ($l \leq 48 \dots 54$ м). Вони сприймають здебільшого статичні навантаження і містять стрижневі елементи з перерізами із простих прокатних або гнутих профілів за зусиль у стрижнях $N < 3\,000 \dots 5\,000$ кН. Важкі (мостові) ферми здатні перекривати прогони до $l = 100 \dots 120$ м і витримувати динамічні навантаження від транспорту. Їхні стрижневі елементи мають складений переріз при зусиллях у стрижнях $N > 3\,000 \dots 5\,000$ кН. Надалі будуть розглядатися тільки легкі сталеві ферми. Прогони уніфікованих ферм кратні модулю 6 м і становлять 18 м; 24 м; 30 м; 36 м; 42 м. Рідше застосовують сталеві ферми покриттів для прогонів 15 м; 21 м; 27 м; 33 м; 39 м.

Висоту ферм приймають рівною:

– у випадку підвіски підйимально-транспортного та іншого технологічного обладнання за вузли в середині прогону

$$h = (1/10 \dots 1/9)l;$$

– у всіх інших випадках

$$h = (1/12 \dots 1/11)l,$$

де h и l – відповідно, висота та прогон ферми.

У разі прогонів ферм понад 36 м варто передбачати будівельний підйом (рис. 1.2), що дорівнює прогину від постійного і тривалого навантажень. У плоских покрівлях будівельний підйом потрібно передбачати незалежно від величини прогону, приймаючи його рівним прогину від сумарного нормативного навантаження плюс $1/200$ прогону. Ухил $0,015 \dots 0,035$ створюють за рахунок перелому в середніх вузлах поясів. При дії зовнішніх навантажень будівельний підйом погашається і ферма приймає проєктне положення.

Під час проєктування ферм враховують габарити вантажів, які можуть перевозитися залізницею: 3,85 м – висота, 3,2 м – ширина, 13 м – довжина під час транспортування на одній платформі. У зв'язку з цим ферми виконуються розчленованими на окремі елементи, які називаються відправними марками і збираються на місці під час монтажу (рис. 1.1).

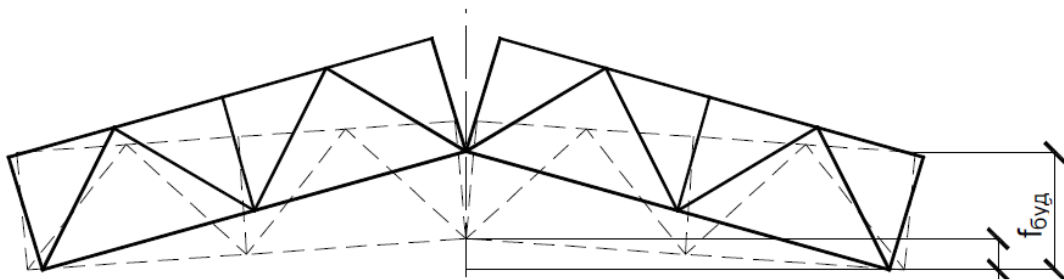


Рисунок 1.1 – Улаштування будівельного підйому

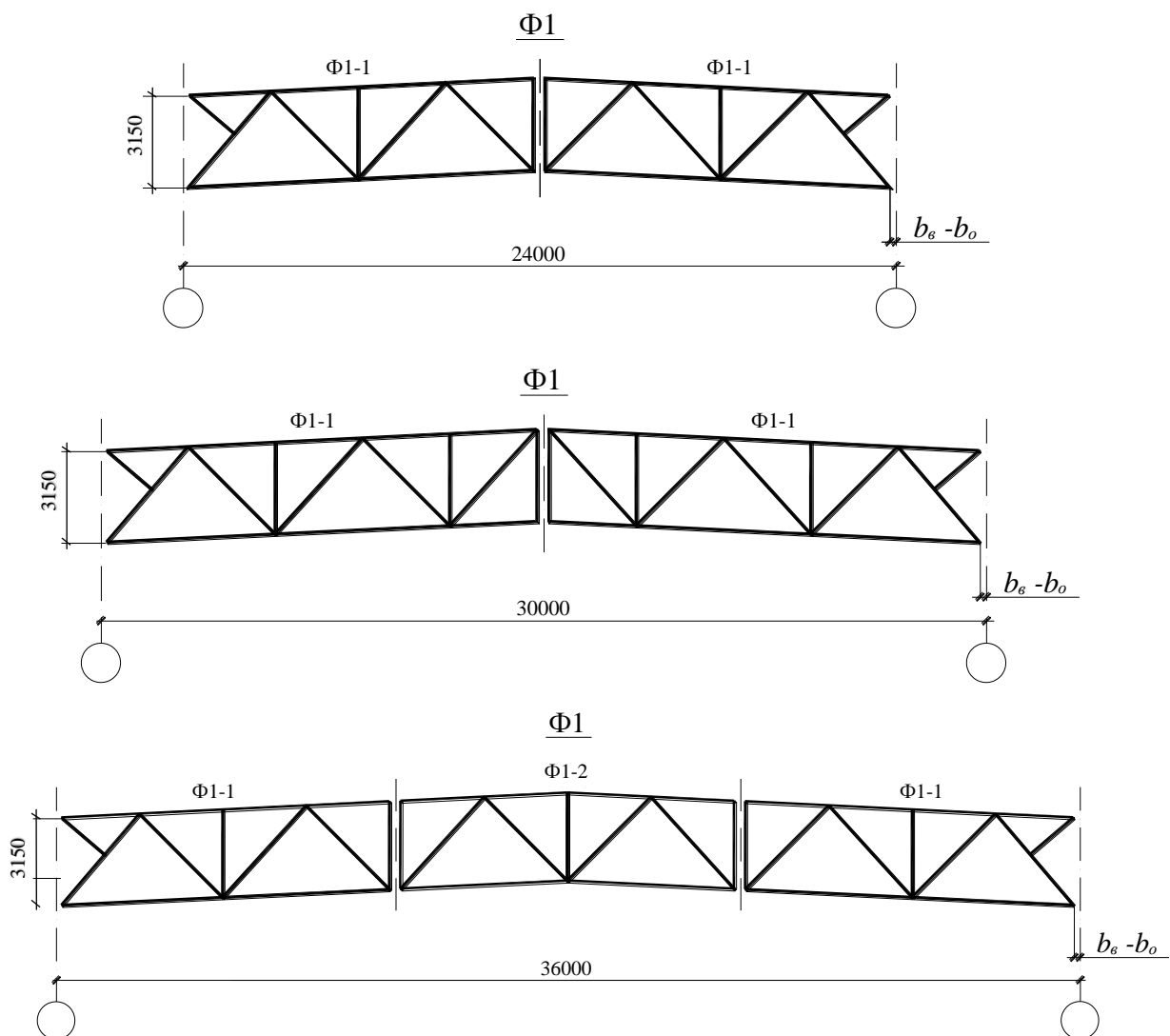


Рисунок 1.2 – Приклади розбивки ферми Ф1 на відправні марки

1.2 Навантаження на кроквяну ферму

Основними навантаженнями на кроквяну ферму є постійне навантаження від покриття і навантаження від снігу. Вітрове навантаження, що створює пасивний (від ферми вгору) тиск, не враховується. Ці навантаження збираються із відповідної навантажувальної площі (рис. 1.3) у вигляді рівномірно розподіленого навантаження.

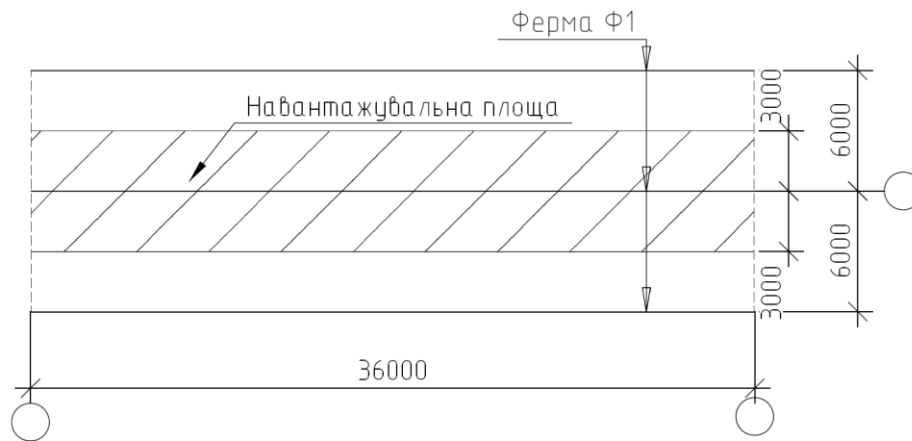


Рисунок 1.3 – Визначення навантажувальної площі від поверхневого навантаження на покриття і приведення його до рівномірно розподіленого

Зазначене вище рівномірно розподілене навантаження (рис. 1.4) збирається у вузлах верхнього поясу ферми у вигляді вертикальних зосереджених сил: на середні вузли діє навантаження із силою F ; на крайні вузли – із силою $F/2$, оскільки на крайні вузли навантажувальні площі удвічі менші, ніж на середні (рис. 1.5).

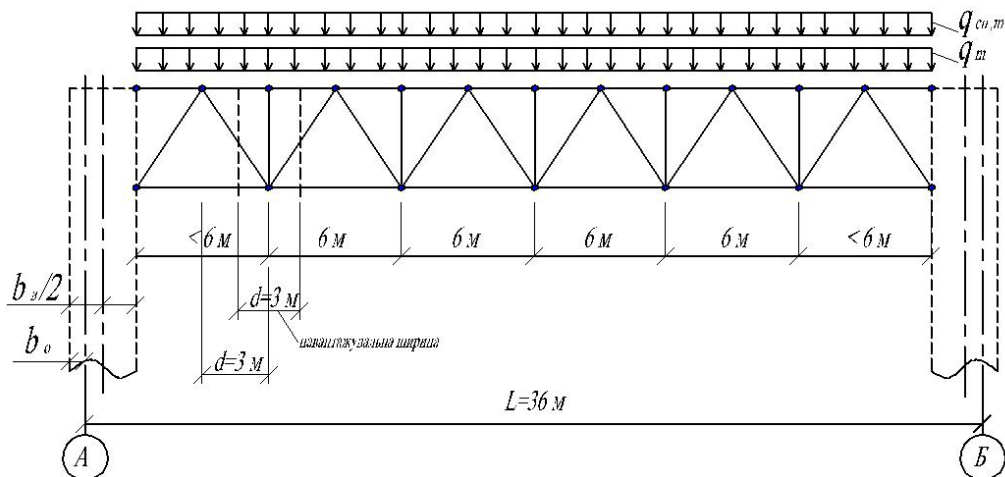


Рисунок 1.4 – Збір і приведення навантаження до вузлів верхнього поясу

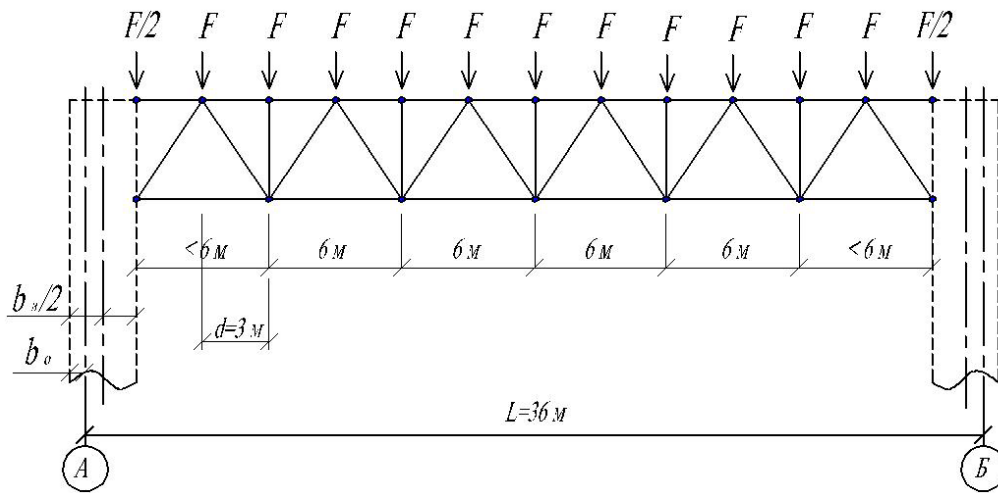


Рисунок 1.5 – Розрахункова схема ферми з прогоном 36 м
у складі поперечної рами

Зосереджені сили прикладаються до ферми в тих вузлах, у яких опираються несучі елементи покрівлі (прогони чи ребра залізобетонних плит покриття) або елементи кріплення підвісної стелі.

Статичний розрахунок ферм виконується відомими методами будівельної механіки (графічними, аналітичними, чисельними).

1.3 Розрахункові довжини стиснутих елементів ферми

Розрахункові довжини стиснутих елементів ферми приймаємо за п. 3.1.3, таблицею 13.1 ДБН В.2.6-198:2014 [1]:

а) у площині ферми (рис. 1.6):

$$\left\{ \begin{array}{l} l_{ef,x} = \ell, \text{ де } \ell - \text{геометрична довжина елемента для верхнього поясу,} \\ \text{опорного розкосу і опорної стійки, } \mu_x = 1; \\ l_{ef,x} = 0,8\ell - \text{для стиснутих розкосів і стійок, } \mu_x = 0,8 \text{ (часткове} \\ \text{защемлення кінців решітки в поясах ферми за умови} \\ \text{наявності вузлових фасонки);} \end{array} \right.$$

б) із площини:

$l_{ef,y} = \ell_1$ – для верхнього поясу, де ℓ_1 – відстань між сусідніми вузлами верхнього поясу, розкріпленими зв'язками від бокового переміщення;

$l_{ef,y} = \ell$ – для всіх інших елементів, $\mu_y = \mu_x = 1$.

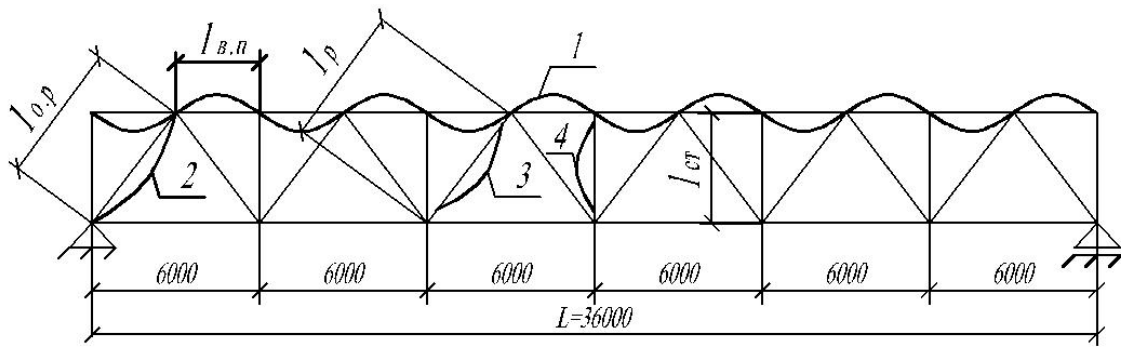


Рисунок 1.6 – Геометричні довжини стиснутих елементів ферми в її площині й відповідні форми втрати стійкості: 1 – верхнього поясу ($l_{в.п}$); 2 – опорного розкосу ($l_{o.p}$); 3 – стиснутого проміжного розкосу (l_p); 4 – стиснутої стійки ($l_{ст}$)

1.4 Граничні гнучкості стиснутих елементів ферми

Граничні гнучкості стиснутих елементів ферми визначаємо за ДБН В.2.6-198:2014 [1], таблиця 13.9, п. 1:

$\lambda_{гран} = 180 - 60 \cdot \alpha$ – для верхнього поясу й опорних розкосів;

$\lambda_{гран} = 210 - 60 \cdot \alpha$ – для стиснутих елементів решітки.

Коефіцієнт α визначаємо за формулою 1.1:

$$\alpha = \frac{N}{\varphi_{min} \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \quad (1.1)$$

$$0,5 \leq \alpha \leq 1,$$

де φ_{min} визначаємо за ДБН В.2.6-198:2014 (відповідно до табл. 8.1) [1], таблицею Ж.1 додатка Ж для типу кривої стійкості «с» залежно від значення умовної гнучкості $\bar{\lambda} = \lambda_{max} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}$.

На етапі підбору перерізу попередньо приймаємо: $\alpha = 1$, що забезпечує (у запас) мінімальне значення граничної гнучкості:

– для верхнього поясу й опорних розкосів $\lambda_{гран} = 120$;

– для решітки $\lambda_{гран} = 150$.

При перевірці підбраного перерізу елемента ферми обчислюємо параметр α ($0,5 \leq \alpha \leq 1$) і граничну гнучкість $\lambda_{гран}$.

Коефіцієнти умов роботи γ_c встановлюємо за ДБН В.2.6-198:2014 [1], таблицею 5.1:

$\gamma_c = 1$ – для всіх елементів ферми;

крім $\gamma_c = 0,8$ – для стійок, стиснутих розкосів (крім опорних) при $\lambda_{max} (\lambda_x \text{ або } \lambda_y) \geq 60$ (табл. 5.1, п.3 ДБН В.2.6-198:2014 [1]).

1.5 Підбір перерізів елементів ферми

У розрахунково-графічній роботі приймаємо ферму з елементами у вигляді складених таврових перерізів з парних рівнобічних кутиків (рис. 1.7). Для всіх елементів ферми, крім нижнього поясу, кутики розташовують, як це показано на рисунку 1.7, а, для елементів нижнього поясу – як показано на рисунку 1.7, б.

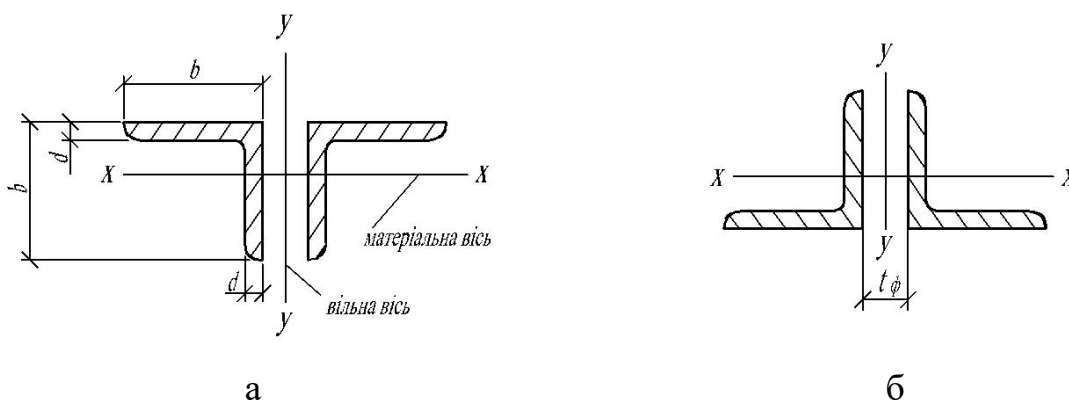


Рисунок 1.7 – Поперечні перерізи елементів ферми: а – для всіх елементів ферми, крім нижнього поясу; б – для елементів нижнього поясу

Підбір перерізу стиснутих стрижнів ферм здійснюють за допомогою методу послідовних наближень у такій послідовності:

1. Задаємо гнучкість $\lambda = 60 \dots 80$ і визначаємо умовну гнучкість за формулою 1.2:

$$\bar{\lambda} = \lambda_{max} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} \quad (1.2)$$

2. Коефіцієнт стійкості при центральному стиску φ_{\min} визначаємо за ДБН В.2.6-198:2014 [1], таблицею Ж.1 додатка Ж для типу кривої стійкості «с».

3. Визначаємо потрібну площу поперечного перерізу і радіуси інерції відносно головних осей за формулою 1.3:

$$A^{\text{потр}} = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c} \quad (1.3)$$

$$i_x = \frac{l_x}{\lambda_x} \quad (1.4)$$

$$i_y = \frac{l_y}{\lambda_y} \quad (1.5)$$

4. За двома параметрами обираємо номер кутика, який утворює переріз стрижня, за сортаментом виписуємо його характеристики, визначаємо λ_x (λ_y), $\bar{\lambda}_{\max}$ та виконуємо перевірку несучої здатності перерізу за першою групою граничних станів відповідно до п. 8.1.3 ДБН В.2.6.-198:2014 [1] за умовою 1.6:

$$\frac{N \cdot \gamma_n}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1 \quad (1.6)$$

та контролюємо гнучкість $\lambda_{\max} \leq [\lambda]$.

Підбір кутиків розтягнутих стрижнів здійснюємо за потрібною площею їх поперечного перерізу за формулою 1.7:

$$A^{\text{потр}} = \frac{N}{R_y \gamma_c} \quad (1.7)$$

та контролюємо гнучкість $\lambda_{\max} \leq [\lambda]$.

При виборі номерів профілів потрібно керуватися такими рекомендаціями [2, 3]:

– з метою забезпечення найбільшої технологічності конструкції необхідно уніфікувати перерізи, утримуючи кількість типорозмірів у межах 5–6 для ферм із прогоном до 30 м та 7–8 із прогоном 36 м;

– не варто використовувати в одній фермі профілі одного типорозміру, що відрізняються тільки товщиною чи матеріалом. Це може призвести до їх випадковій взаємозаміни в процесі виготовлення, а отже, і до непередбачуваних ситуацій під час експлуатації;

– при виборі профілів потрібно намагатися використовувати більш тонкі профілі, у яких площа перерізу менша, а радіус інерції більший.

За умови забезпечення необхідної жорсткості стержня при транспортуванні та монтажі висота (діаметр) стержня не має бути меншою, ніж 50 мм. Для зручності накладання зварних швів та запобігання перепалення елементів мінімальна товщина прокатних профілів дорівнює 5 мм.

Для забезпечення сумісної роботи двох кутиків, що складають тавровий переріз, їх з'єднують між собою об'єднувальними листовими планками – прокладками (рис. 1.8). Прокладки розміщують по довжині стержня на відстанях, що не повинні перевищувати $40i_1$ – для стиснутих і $80i_1$ – для розтягнутих елементів. За характеристику i_1 приймають радіус інерції одного кутика відносно власної осі, що паралельна площині прокладок. Незалежно від довжини стержня в стиснутих елементах передбачають не менше двох, а в розтягнутих – не менше однієї прокладки.

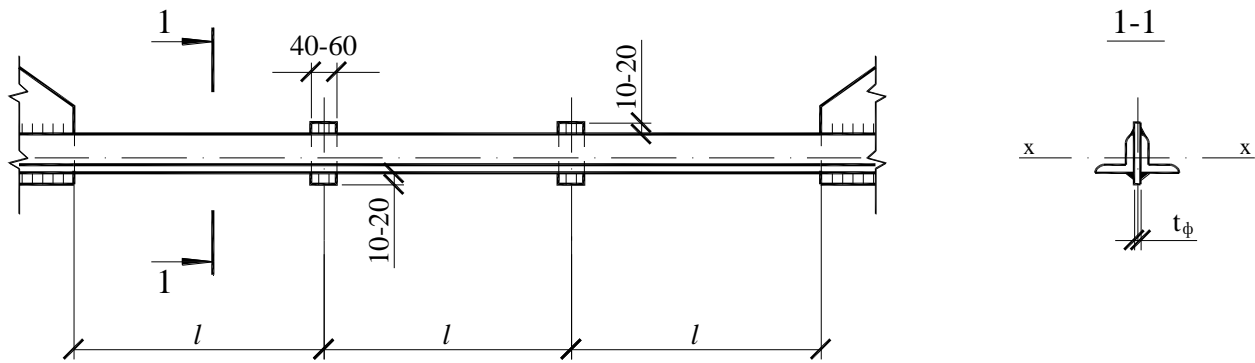


Рисунок 1.8 – Розміщення прокладок

1.6 Призначення товщини вузлових фасонки ферми

Товщину вузлових фасонки ферми t_{ϕ} встановлюють за таблицею 1.1 залежно від **величини зусилля в опорному розкосі**.

Таблиця 1.1 – Рекомендовані значення товщин вузлових фасонки

Зусилля в опорному розкосі, кН	До 150	160–250	260–400	410–600	610–1 000	1010–1 400	1410–1 800	Більше 1 800
Товщина фасонки, t_{ϕ} , мм	6	8	10	12	14	16	18	20

1.7 Конструювання вузлів

Центрування стрижнів у зварних фермах потрібно проводити за центрами ваги перерізів (з округленням до 5 мм). Під час конструювання вузлів мають бути виконані такі вимоги:

- відстані між краями елементів решітки та поясу у вузлах зварних ферм із фасонками потрібно приймати $6t - 20 \leq a < 80$ мм, де t – товщина фасонки, мм;
- між торцями елементів, що стикаються, поясів ферм, які перекриваються накладками, необхідно залишати зазор не менше 50 мм;
- флангові зварні шви, що прикріплюють елементи решітки ферм до фасонки, потрібно виводити на торець елемента на довжину не менше 20 мм.

2 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

2.1 Вихідні дані

Вихідні дані для проектування кожний студент отримує окремо. У цих методичних рекомендаціях прийняті такі вихідні дані: $L = 36$ м – прогон поперечної рами (прогон ферми); $B = 6$ м – крок ферм; район будівництва – м. Полтава. Покриття тепле (рис. 2.1). Покрівля плоска. Нахил – 0,015.

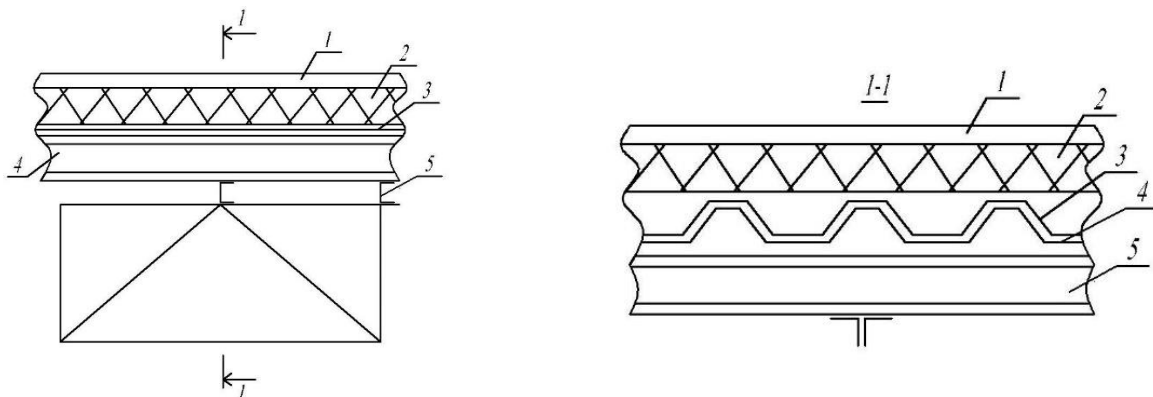


Рисунок 2.1 – Конструкція покриття: 1 – гідроізоляційний килим (руберойд); 2 – утеплювач (напівжорсткі плити з пінопласту); 3 – пароізоляція (поліетиленова плівка); 4 – сталевий профнастил; 5 – прогон

2.2 Система зв'язей по покрівлі

Горизонтальні зв'язки по верхніх поясах кроквяних ферм містять поперечні зв'язкові ферми, горизонтальні зв'язкові ферми і розпірки (рис. 2.2). Роль розпірок по верхніх поясах можуть виконувати прогони. Поперечні зв'язкові ферми встановлюють у зв'язкових блоках, розпірки розкріплюють верхні пояси ферм від зсувів із площини по всій довжині будівлі і кріплять до зв'язкових блоків. Розпірки встановлюють усередині прогону і по його торцях, відстань між ними призначають так, щоб гнучкість поясу кожної ферми з площини рами на час монтажу не перевищувала 220.

Горизонтальні зв'язки по нижніх поясах складаються з поперечних зв'язкових ферм, поздовжніх зв'язкових ферм і розпірок (розтяжок) (рис. 2.3).

Розпірки по нижніх поясах встановлюють для зменшення гнучкості нижнього поясу з площини ферми.

Вертикальні зв'язки між фермами слугують для усунення зсувних деформацій у блоці покриття вздовж будівлі. Вертикальні зв'язкові ферми встановлюють у зв'язкових блоках. У будівлях із підвісними кранами, особливо за великої їхньої вантажопідйомності, вертикальні зв'язки доцільно розташовувати в площині підвішування кранів.

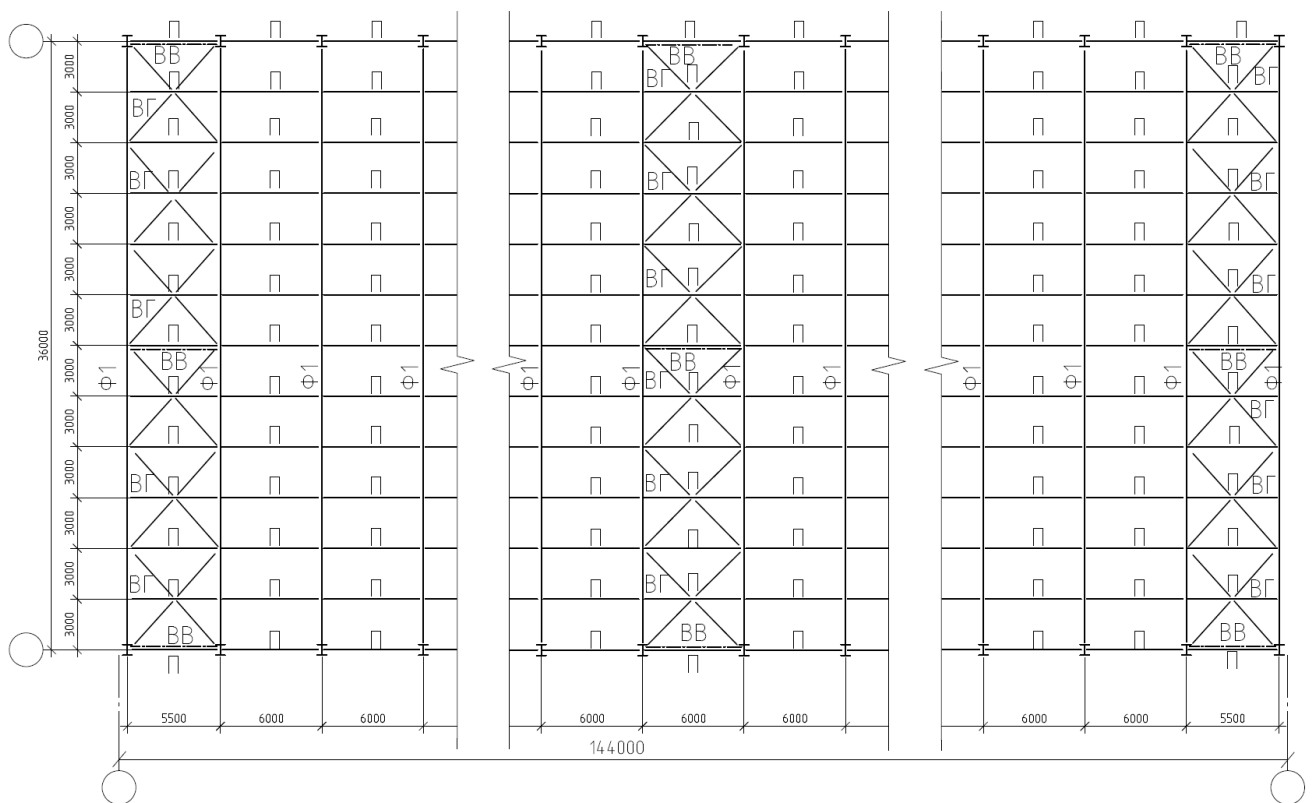


Рисунок 2.2 – Схема горизонтальних та вертикальних в'язів по верхніх поясах кроквяних ферм

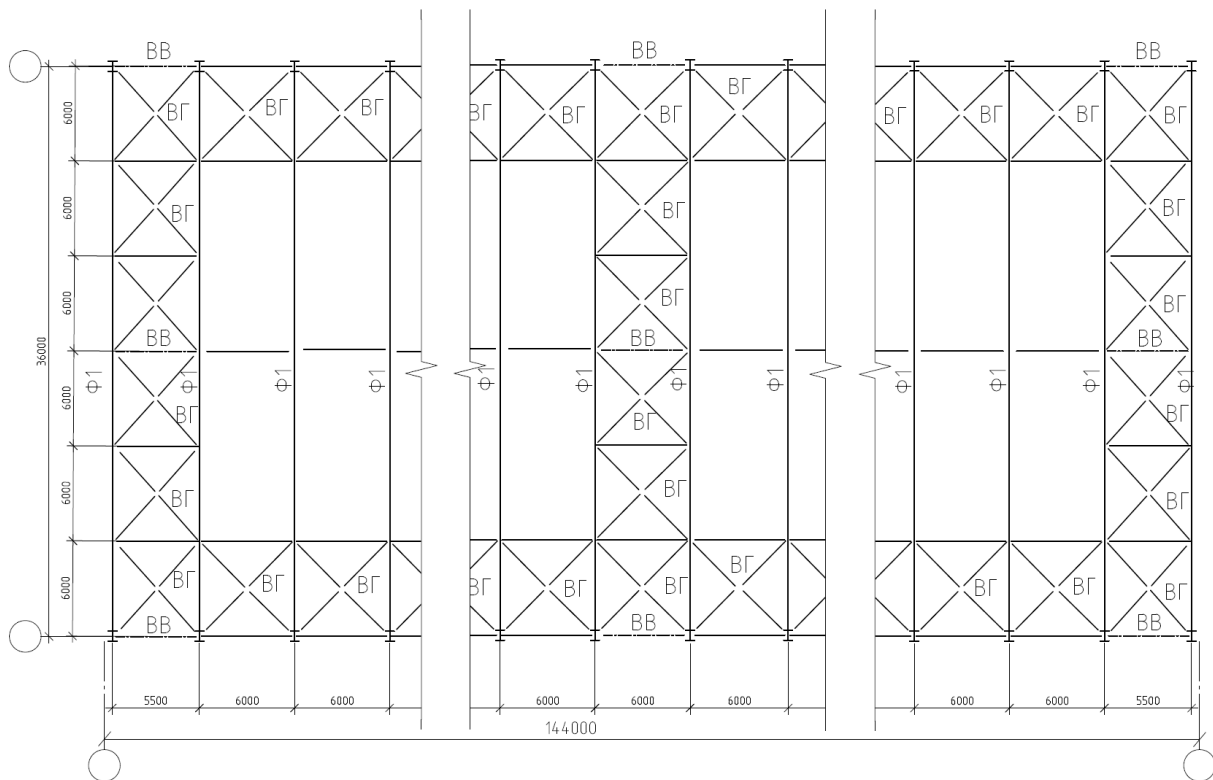


Рисунок 2.3 – Схема горизонтальних та вертикальних в’язей по нижніх поясах кроквяних ферм

2.3 Визначення навантажень, що діють на кроквяну ферму

2.3.1 Постійні навантаження від ваги конструкцій покриття

Конструкція покриття із використанням профнастилу зображена на рисунку 2.1. Підрахунок навантажень на покриття виконується у табличній формі (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Підрахунок навантажень на покриття

№ з/п	Підрахунок навантажень	Характеристичне значення навантаження $g_n, \text{кПа}$ (кН/м^2)	Експлуатаційне розрахункове навантаження (II граничний стан)		Граничне розрахункове навантаження (I граничний стан)	
			γ_{fe} , п. 5.2 [4]	g_e , кН/м^2	γ_{ft} , п. 5.1 [4]	g_t , кН/м^2
1	2	3	4	5	6	7
1	Гідроізоляційний килим – руберойд	0,15	1,0	0,15	1,2	0,18

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7
2	Утеплювач підлоги: жорсткі пінопластові плити: $\gamma = 0,5 \text{ кН/м}^3$, $g_n = \gamma \cdot t = 0,5 \cdot 0,1$	0,05	1,0	0,05	1,2	0,06
3	Пароізоляція: поліетиленова плівка	0,01	1,0	0,01	1,2	0,012
4	Сталевий профнастил	0,11	1,0	0,11	1,05	0,116
5	Власна вага металоконструкцій покриття: – кроквяних ферм: (0,2-0,4) кН/м^2 , – в'язей: (0,04-0,1) кН/м^2	0,4	1,0	0,4	1,05	0,42
		0,1	1,0	0,1	1,05	0,105
Разом, постійне навантаження:		$g_e = \sum g_e = 0,82$			$g_m = \sum g_m = 0,89$	

Граничне поверхневе навантаження g_m приводимо до розрахункової схеми рами у вигляді прогонного, рівномірно розподіленого навантаження q_m , яке в плані має вигляд прямої лінії. Визначаємо прогонне граничне розрахункове навантаження уздовж горизонтальної осі ригеля рами за формулою 2.1:

$$q_m = \frac{g_m \cdot B \cdot \gamma_n}{\cos \alpha}, \quad (2.1)$$

де γ_n – коефіцієнт надійності будівлі за призначенням: $\gamma_n = 1,1$ – для звичайних будинків – ДБН В.1.2-14:2018 [5], клас відповідальності СС2; при нахилі покрівлі $i = 1,5\%$: $tg \alpha = 0.015$; $\alpha = 0,859^\circ$; $\cos \alpha = 0,999 \approx 1$.

$$q_m = \frac{0,89 \cdot 6 \cdot 1,1}{0,999} = 5,88 \text{ кН/м.}$$

2.3.2 Навантаження на покриття від снігу

Згідно з ДБН В.1.2-2:2006 [4], п. 8.2, **граничне розрахункове значення** поверхневого снігового навантаження, що діє на горизонтальну проєкцію покриття (конструкції), обчислюється за формулою 2.2:

$$g_{сн,т} = \gamma_{fm} \cdot S_o \cdot C, \quad (2.2)$$

де γ_{fm} – **коефіцієнт надійності за граничним значенням** снігового навантаження, що приймається за п. 8.11 [4] (табл. 8.1): $T = 50 \text{ років} \Rightarrow \gamma_{fm} = 1$, де T – період повторюваності, що дорівнює установленому терміну експлуатації конструкції (ураховує ймовірність того, через скільки років снігу випаде більше норми або снігове навантаження буде перевищено в середньому раз на 50 років); S_o – **характеристичне значення** снігового навантаження (у Па) залежно від снігового району. Для м. Полтави маємо:

$$S_o = 1450 \text{ Па} = 1,45 \text{ кПа (кН/м}^2\text{)};$$

C – коефіцієнт, що визначається за вказівками п. 8.6 [4] та за формулою 2.3:

$$C = \mu \cdot C_e \cdot C_{alt}, \quad (2.3)$$

де μ – коефіцієнт переходу від ваги снігового покриву на поверхні ґрунту до снігового навантаження на покрівлю, що визначається за п. 8.7, 8.8 (дод. Ж, с. 42 [4]), варіант 1;

$$\mu = 1 \text{ при } \alpha \leq 25^\circ \text{ (} \alpha \text{ – нахил покрівлі)}.$$

C_e – коефіцієнт, що враховує режим експлуатації покрівлі й визначається за п. 8.9, $C_e = 1$;

C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти, що визначається за п. 8.10, $C_{alt} = 1$;
тоді $C = 1$.

Остаточного маємо:

$$g_{сн,т} = \gamma_{fm} \cdot S_o \cdot C = 1 \cdot 1,45 \cdot 1 = 1,45 \text{ кН/м}^2.$$

Приведення поверхневого граничного розрахункового снігового навантаження до прогонного граничного розрахункового снігового навантаження, прикладеного до ригеля рами, виконуємо аналогічно, як і для постійного навантаження від покриття:

$$q_{сн,т} = g_{сн,т} \cdot B \cdot \gamma_n = 1,45 \cdot 6 \cdot 1,1 = 9,6 \text{ кН/м.}$$

Приведення рівномірно розподіленого навантаження до вузлового при ширині панелі верхнього поясу $d = 3$ м.

Від власної ваги покрівлі:

$$\text{Крайні вузли } F = q_m \cdot \frac{d}{2} = 5,88 \cdot 1,5 = 8,82 \text{ кН.}$$

$$\text{Проміжні вузли } F = q_m \cdot d = 5,88 \cdot 3 = 17,64 \text{ кН.}$$

Від снігового навантаження:

$$\text{Крайні вузли } F = q_{сн,т} \cdot \frac{d}{2} = 9,6 \cdot 1,5 = 14,4 \text{ кН.}$$

$$\text{Проміжні вузли } F = q_{сн,т} \cdot d = 9,6 \cdot 3,0 = 28,8 \text{ кН.}$$

2.4 Розрахунок кроквяної ферми із застосуванням модуля *КРИСТАЛ*

У цих методичних рекомендаціях розглядається робота із модулем *КРИСТАЛ*, що входить до пакета програм *SCAD OFFICE*, для здійснення всіх необхідних операцій для підбору та перевірки елементів ферми відповідно до вимог ДБН В.2.6-198:2014 [1].

2.4.1 Початок роботи з модулем

Роботу з модулем необхідно починати з установлення параметрів, де необхідно задати інформацію про матеріал конструкцій, одиниці виміру, коефіцієнти умов роботи й надійності, норми проектування, за якими буде здійснюватися розрахунок (рис. 2.4).

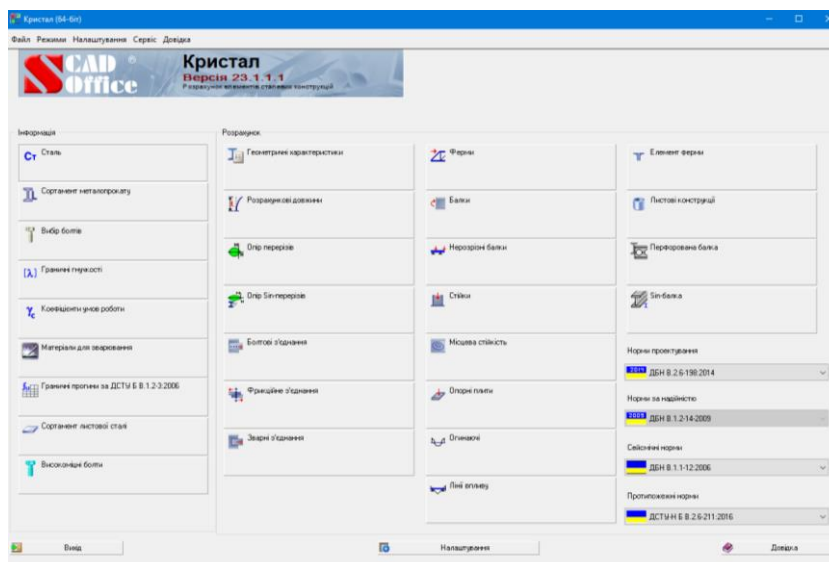


Рисунок 2.4 – Основний екран модуля **КРИСТАЛ**

2.4.2 Робота в режимі **Ферми**

У головному меню модуля **КРИСТАЛ** натиснемо кнопку **Ферми**. Після цього відкриється діалогове вікно режиму **Ферми**. За замовчуванням діалогове вікно відкривається на сторінці **Загальні дані** (рис. 2.5).

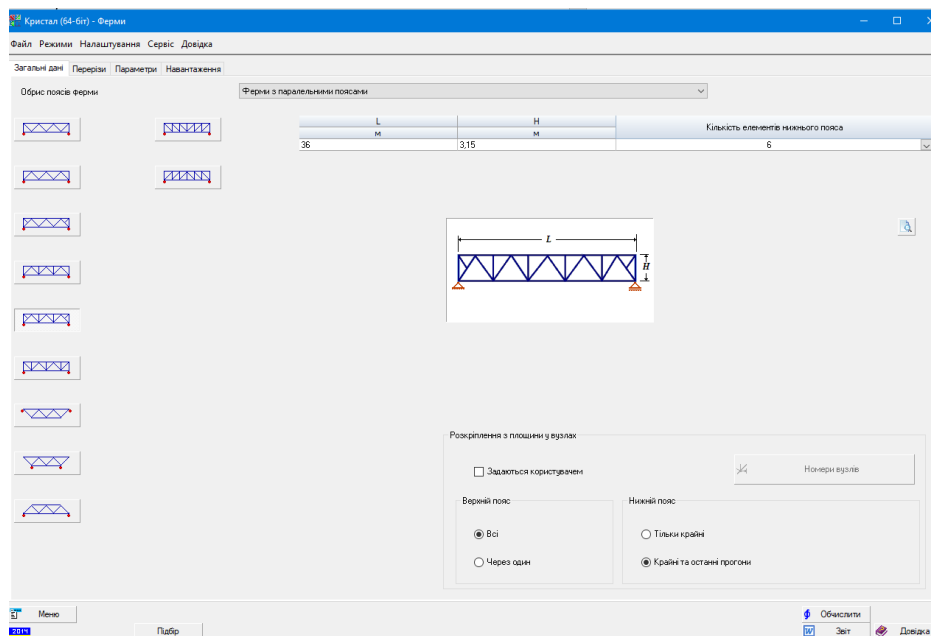


Рисунок 2.5 – Діалогове вікно режиму **Ферми**

2.4.3 Робота на сторінці «Загальні дані»

У лівій частині вікна розташоване меню ферм, у якому показані прототипи геометричних схем ферм. Із меню ферм обираємо схему ферми з паралельними поясами, трикутною системою решітки та додатковими стояками.

Меню *Розкріплення із площини у вузлах* підменю *Верхній пояс*. Розкріплення вузлів стиснутого верхнього поясу ферми здійснюється за допомогою системи в'язей (рис. 2.2, 2.3). Обираємо опцію *Осі*.

Підменю *Нижній пояс*. Виходячи із прийнятої системи в'язів по нижніх поясах ферм за допомогою відповідної кнопки обираємо опцію *Крайні та останні прогони*.

Геометричні параметри ферми задаються в табличній формі так:

- *L* задаємо прогон ферми, який дорівнює 36 м;
- *H* задаємо висоту ферми на опорі 3,15 м;
- *Кількість елементів нижнього поясу* – для ферми, що має прогон 36 м, кількість панелей верхнього поясу дорівнює 6; із списку, що випадає, обираємо 6.

Завершивши введення даних на сторінці *Загальні дані*, активізуємо закладку *Перерізи*.

2.4.4 Робота на сторінці «Перерізи»

На цій сторінці необхідно задати інформацію про перерізи елементів ферми.

Послідовність роботи на сторінці «Перерізи»

На цій сторінці (рис. 2.6) насамперед обирається тип перерізу елемента ферми. Обрання здійснюється шляхом натискання кнопки з відповідним зображенням обраного перерізу (у вигляді тавра із двох рівнобічних кутиків).

У меню *Переріз* обирається елемент ферми, для якого обирається переріз. Наприклад, обравши рядок *Верхнього поясу* на фрагменті геометричної схеми ферми обраний елемент зафарбовується в червоний колір.

Із вікна з переліком сортamentів обираємо каталог профілів та тип профілю.

Оскільки між кутиками встановлюють прокладки для забезпечення їх роботи як єдиного стрижня, то при підрахунку геометричних характеристик перерізу необхідно враховувати рознесення кутиків у перерізі на товщину прокладки.

Оскільки програма здійснює підбір перерізів елементів ферми шляхом повного перебору всіх доступних перерізів обраного каталогу профілів, то калібр кутика можна задати довільний. Варто лише слідкувати за тим, щоб були правильно вказані відповідний каталог профілів та тип профілю з цього каталогу.

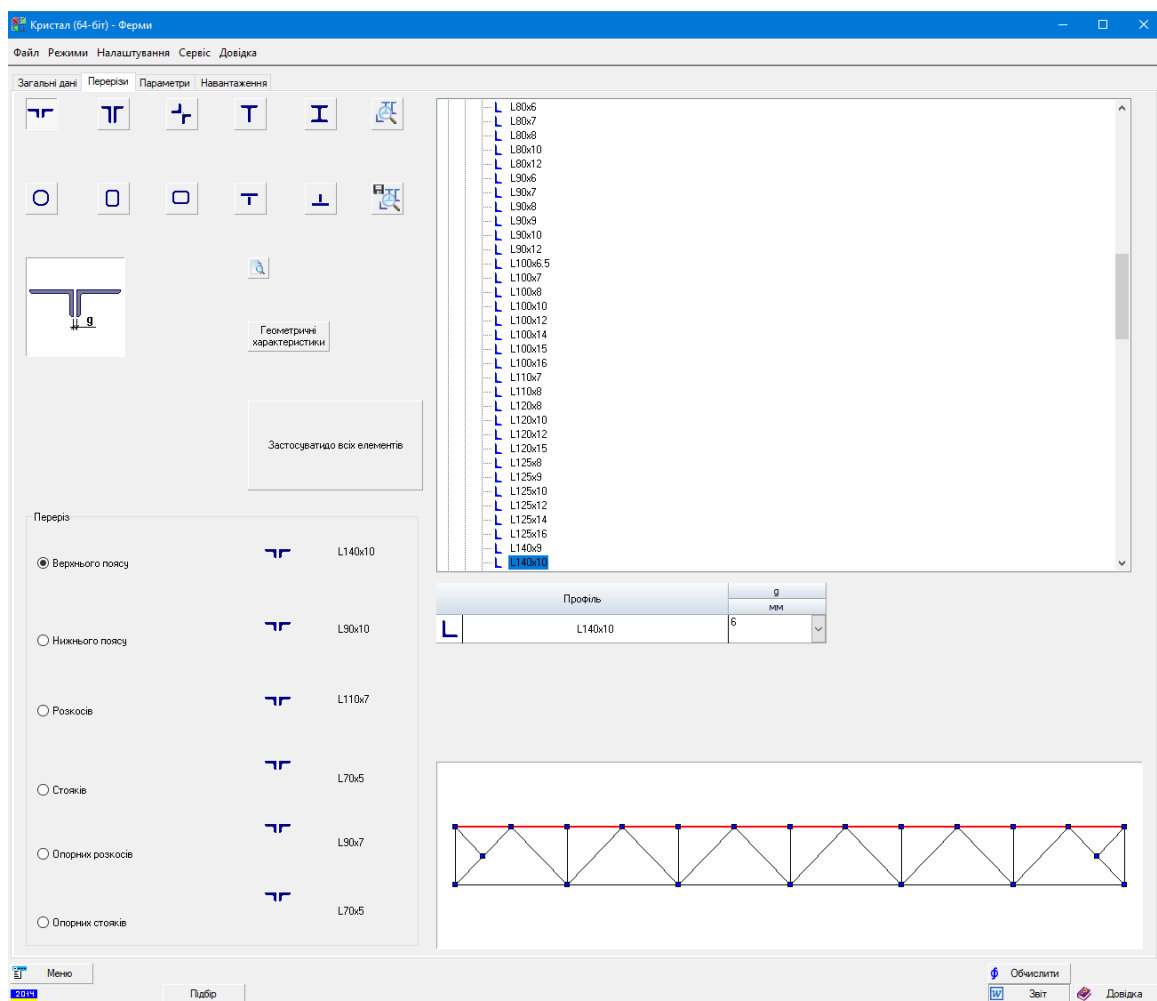


Рисунок 2.6 – Сторінка *Перерізи*

2.4.5 Робота на сторінці «Параметри»

На сторінці параметри на вкладці *Загальні параметри*, активізувавши кнопку **Ст** задаємо у вікнах, що випадають, інформацію про матеріал елементів ферми виходячи із класу відповідальності за ДБН В.1.2-14 [5], можливих наслідків від досягнення граничного стану, категорії граничного стану, наявності або відсутності розтягу за розрахункового навантаження та зварювання в місцях розтягу. Обравши сталь для елементів ферми у вікні *Листовий фасонний прокат* роботу завершують шляхом натисканням кнопки *Застосувати* (рис. 2.7).

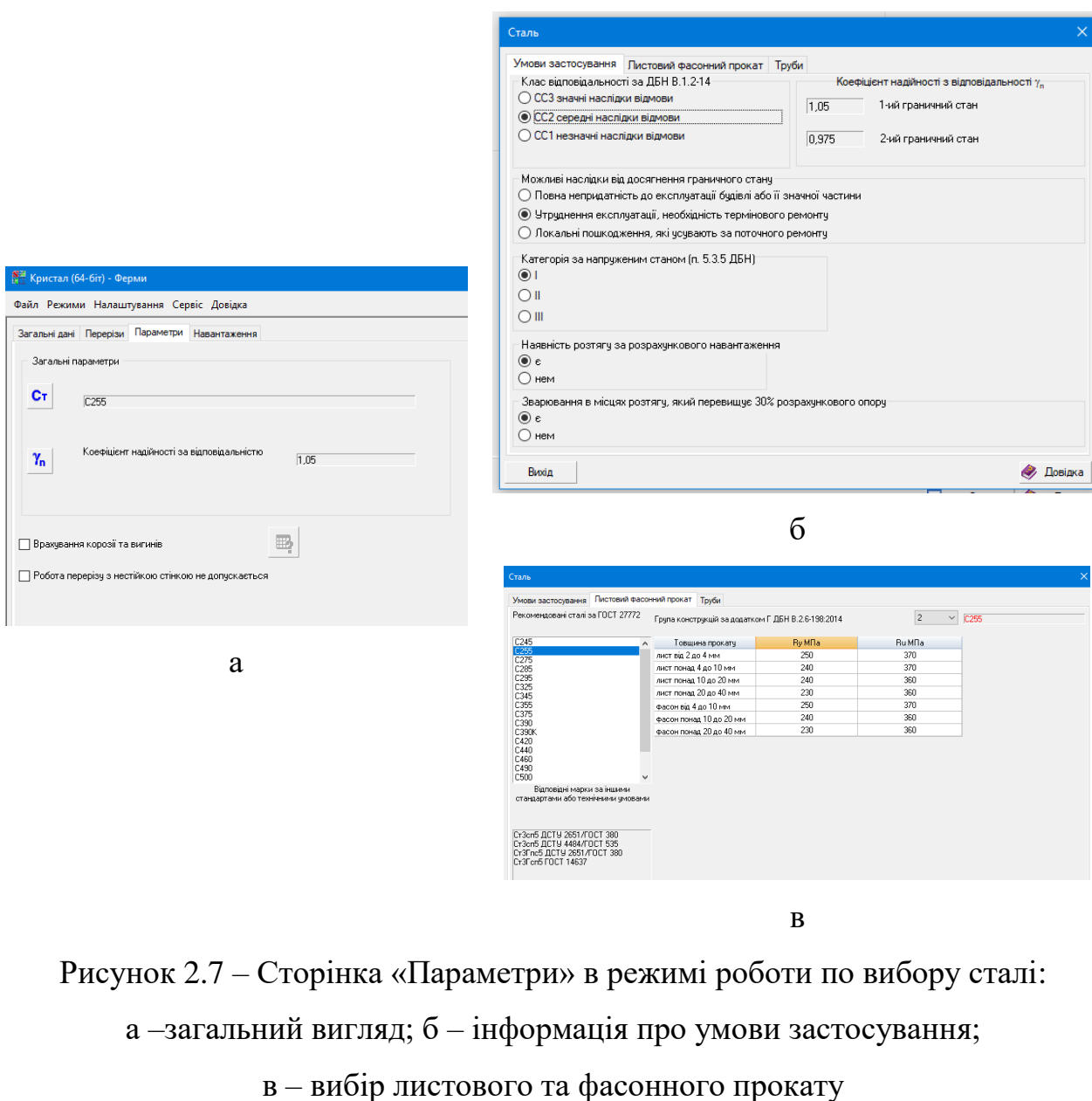


Рисунок 2.7 – Сторінка «Параметри» в режимі роботи по вибору сталі:

а – загальний вигляд; б – інформація про умови застосування;

в – вибір листового та фасонного прокату


2.4.6 Робота на сторінці «Навантаження»

Натискаємо кнопку **Навантаження** і задаємо всю необхідну інформацію про вид та інтенсивність навантажень, які діють на кроквяну ферму (рис. 2.8).

Формування завантаження № 1 – **Постійне**.

Натискаємо кнопку **Створити**, після чого система переходить в активний режим введення даних і автоматично встановлює номер активного завантаження **1**.

Із переліку навантажень вибираємо курсором тип навантаження – **Постійне**.

Обираємо вид навантаження у вигляді зосередженої сили, натиснувши кнопку із відповідним символом . У меню, що з'явилося, за допомогою списку обираються вузли, у яких прикладаються зосереджені сили. За замовчуванням система приймає активним вузол № 1.

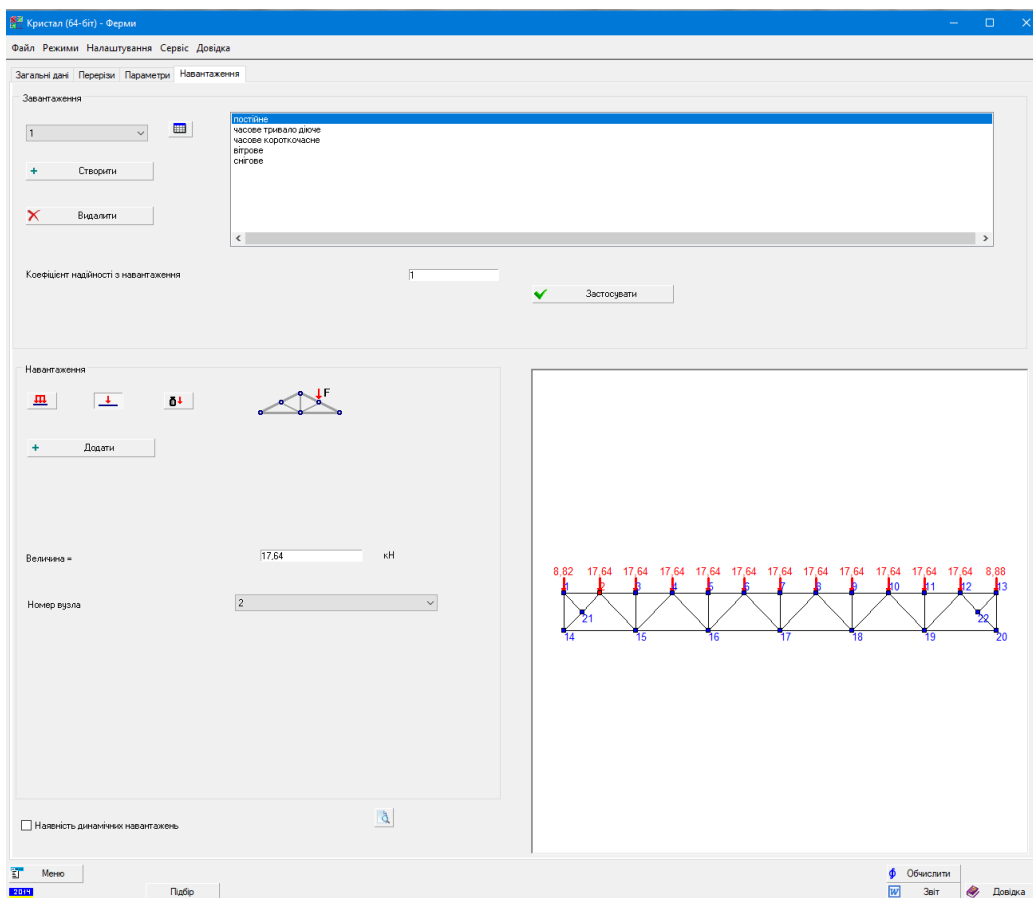


Рисунок 2.8 – Сторінка **Навантаження** (активний режим для вузла 2)

У полі **Величина** вводимо значення постійного навантаження для крайнього вузла ($F_1 = 8,82$ кН).

Натискаємо кнопку **Додати**. Після цього схема набуває вигляду, поданого на рисунку 2.8.

За допомогою списку, що випадає, навпроти рядка **Номер вузла** вибираємо вузол 2.

У полі **Величина** вводимо значення постійного навантаження для проміжних вузлів ($F_2 = 17,64$ кН).

Аналогічно формуємо завантаження № 2 – **Снігове**.

Оскільки вводилися розрахункові значення навантажень, то коефіцієнт надійності за навантаженням дорівнює 1.

Для того щоб закінчити введення вузлових навантажень, необхідно повторити дії для кожного вузла на геометричній схемі.

Примітка! Якщо помилково було введено неправильне значення вузлового навантаження, то для його видалення необхідно ввести в той самий вузол помилкове значення, але з протилежним знаком.

2.4.7 Розрахунок та подання результатів розрахунку

Після завершення введення інформації про навантаження система готова здійснити розрахунок ферми та сформувати звіт. Режим розрахунку здійснюється шляхом натискання на кнопку **Обчислити**. Після завершення розрахунку в нижній частині екрану буде виведена інформація про максимальну величину коефіцієнта використання обмежень (рис. 2.9). В загальному випадку повинна виконуватися умова про те, що значення коефіцієнта використання обмежень – $K < 1$. Кнопка **Підбір** дає змогу перейти в режим цілеспрямованого перебору поперечних перерізів елементів ферми із заміною номерів обраних користувачем профілів (тип поперечного перерізу й умови розкріплення не змінюються). Після завершення підбору на екрані з'являється вікно з рекомендаціями щодо вибору поперечних перерізів (рис. 2.10). Користувач може відкинути ці рекомендації (кнопка **Вийти**) або погодитися з ними. В останньому

випадку натискається кнопка *Застосувати*, і всі рекомендовані перерізи будуть передані для виконання перевірного розрахунку нової конструкції (рис. 2.11).

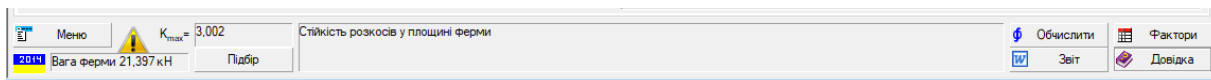


Рисунок 2.9 – Фрагмент вікна після натискання кнопки *Обчислити* (значення $K_{\max} = 3,002$)

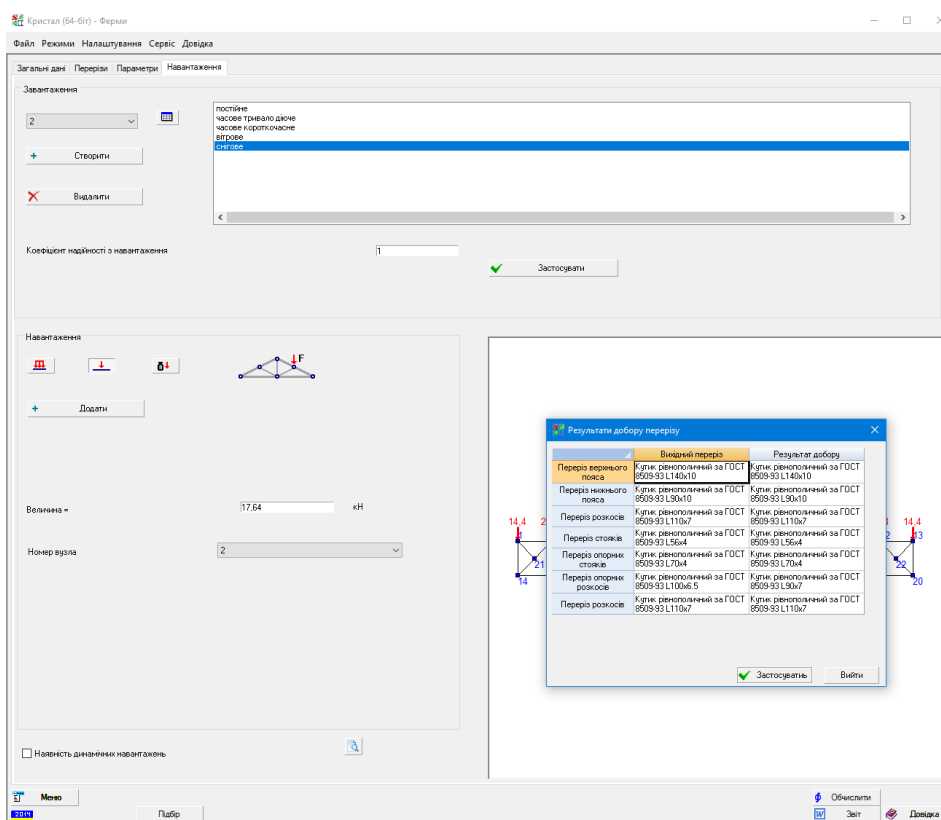


Рисунок 2.10 – Вікно програми після натискання кнопки *Підбір*

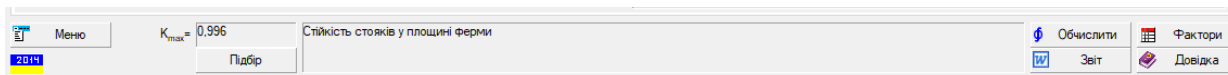


Рисунок 2.11 – Фрагмент вікна програми після натискання кнопки *Застосувати* (значення $K_{\max} = 0,996$)

Натискають кнопку *Звіт*, після чого система формує звіт у форматі *MS-Word* та виводить його на екран.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування. – Чинний від 2015–01–01. – Київ : Мінрегіонбуд України. 2014. – 199 с.
2. Металеві конструкції. Загальний курс : підручник для закладів вищої освіти / О. О. Нілов, В. О. Пермяков, О. В. Шимановський та ін. ; під заг. ред. О. О. Нілова та О. В. Шимановського. – Вид. 2-ге, перероб. і доп. – Київ : Сталь, 2010. – 869 с.
3. Будівельні конструкції : навч. посіб. / Є. В. Клименко, В. С. Дорофєєв, О. О. Довженко, А. І. Костюк та ін. ; за ред. Є. В. Клименка. – Київ : Центр навчальної літератури, 2012. – 426 с.
4. ДБН В.1.2 – 2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – Чинний від 2007–01–01. – Київ : Мінбуд України, 2006. – 75 с.
5. ДБН В.1.2-14:2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – Чинний від 2022–09–01. – Київ : Мінбуд України, 2018. – 36 с.
6. ДСТУ 2251:2018 Кутики сталеві гарячекатані рівнополічні. Сортамент. – Чинний від 2022–09–01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 13 с.

ДОДАТОК А

Приклад звіту, що формується в результаті роботи із модулем *КРИСТАЛ*

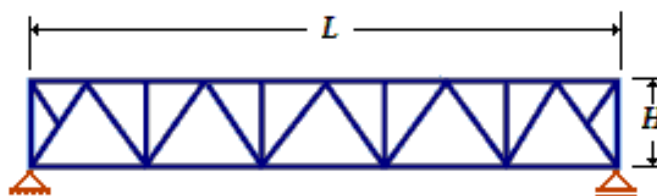
Ферми

Розрахунок виконано за ДБН В.2.6-198:2014

Сталь: С255

Група конструкцій за додатком Г ДБН В.2.6-198:2014 2

Обрис поясів ферми

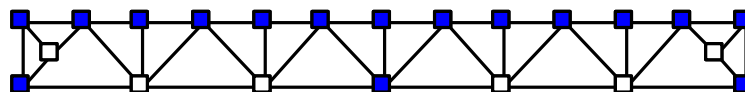


L	H	Кількість елементів нижнього поясу
м	м	
36	3,15	6

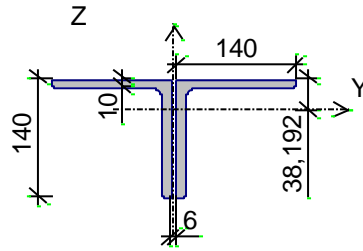
Розкріплення з площини

Вузли верхнього поясу: усі

Вузли нижнього поясу: крайні та посередині прогону

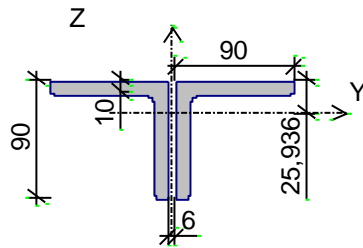


Переріз верхнього поясу



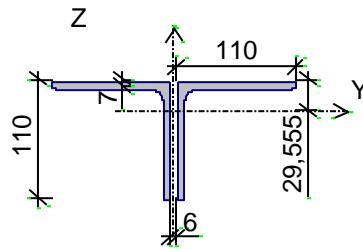
Профіль: кутик рівнополічний за ДСТУ 2251:2018 [6] L140 × 10

Переріз нижнього поясу



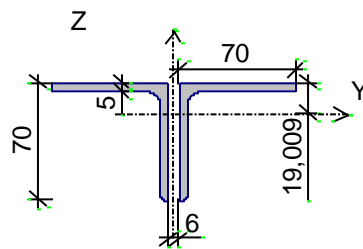
Профіль: Кутик рівнополічний за ДСТУ 2251:2018 [6] L90 × 10

Переріз розкосів



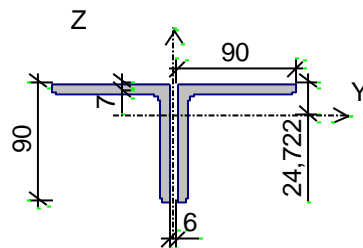
Профіль: кутик рівнополічний за ДСТУ 2251:2018 [6] L110 × 7

Переріз стояків

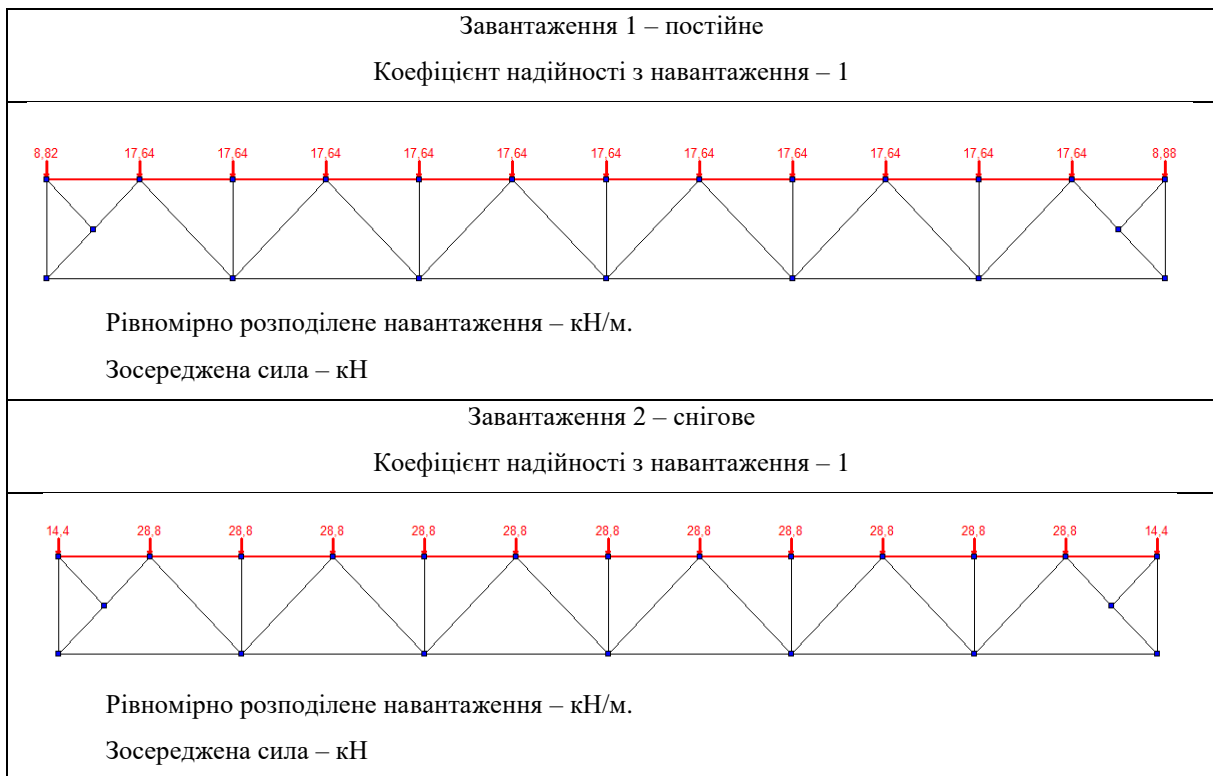


Профіль: кутик рівнополічний за ДСТУ 2251:2018 [6] L56 × 4

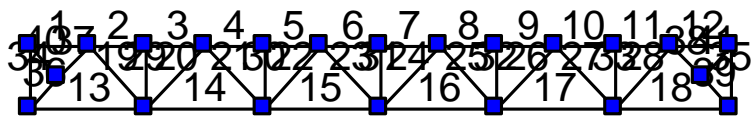
Переріз опорних розкосів



Профіль: кутик рівнополічний за ДСТУ 2251:2018 [6] L100 × 6,5



Зусилля в елементах



Номер ел.	Комбінації		Завантаження	
	N _{мін}	N _{макс}	1	2
	кН	кН	кН	кН
1	2	3	4	5
	Елементи верхнього поясу			
1	0	0	0	0
2	-464,4	-176,4	-168	-274,286
3	-464,4	-176,4	-168	-274,286
4	-743,04	-282,24	-268,8	-438,857
5	-743,04	-282,24	-268,8	-438,857
6	-835,92	-317,52	-302,4	-493,714
7	-835,92	-317,52	-302,4	-493,714
8	-743,04	-282,24	-268,8	-438,857
9	-743,04	-282,24	-268,8	-438,857
10	-464,4	-176,4	-168	-274,286
11	-464,4	-176,4	-168	-274,286
12	-1,528e-014	-1,528e-014	-1,455e-014	4,366e-014

Продовження

1	2	3	4	5
Елементи нижнього поясу				
13	97,02	255,42	92,4	150,857
14	238,14	626,94	226,8	370,286
15	308,7	812,7	294	480
16	308,7	812,7	294	480
17	238,14	626,94	226,8	370,286
18	97,02	255,42	92,4	150,857
Елементи стояків				
29	-48,762	-18,522	-17,64	-28,8
30	-48,762	-18,522	-17,64	-28,8
31	-48,762	-18,522	-17,64	-28,8
32	-48,762	-18,522	-17,64	-28,8
33	-48,762	-18,522	-17,64	-28,8
Елементи розкосів				
19	115,101	303,021	109,62	178,971
20	-235,683	-89,523	-85,26	-139,2
21	63,945	168,345	60,9	99,429
22	-101,007	-38,367	-36,54	-59,657
23	12,789	33,669	12,18	19,886
24	12,789	33,669	12,18	19,886
25	-101,007	-38,367	-36,54	-59,657
26	63,945	168,345	60,9	99,429
27	-235,683	-89,523	-85,26	-139,2
28	115,101	303,021	109,62	178,971
40	0	0	0	0
41	3,056e-014	3,056e-014	2,91e-014	0
Елементи опорних розкосів				
36	-370,359	-140,679	-133,98	-218,743
37	-370,359	-140,679	-133,98	-218,743
38	-370,359	-140,679	-133,98	-218,743
39	-370,359	-140,679	-133,98	-218,743
Елементи опорних стояків				
34	-24,381	-9,261	-8,82	-14,4
35	-24,444	-9,324	-8,88	-14,4

		Опорні реакції	
		Сила зліва (кН)	Сила справа (кН)
За критерієм N_{\max}		-111,132	-111,195
За критерієм N_{\min}		-292,572	-292,635
Результати розрахунку			
Перевірено за ДБН	Перевірка	Коефіцієнт використання	
п. 8.1.1	Міцність верхнього поясу	0,637	
п. 8.1.3	Стійкість верхнього поясу у площині ферми	0,939	
п. 8.1.3	Стійкість верхнього поясу із площини ферми	0,807	
пп. 13.1.1-13.1.4, 13.4.1	Гнучкість верхнього поясу	0,56	
пп. 8.3.7, 9.5.14, 10.4.6, 10.4.7	Гранична гнучкість звису полиці (поясного листа) верхнього поясу з умови місцевої стійкості	0,664	
п. 8.1.1	Міцність нижнього поясу	0,986	
пп. 13.1.1-13.1.4, 13.4.1	Гнучкість нижнього поясу	0,548	
п. 8.1.1	Міцність стояків	0,29	
п. 8.1.3	Стійкість стояків у площині ферми	0,996	
п. 8.1.3	Стійкість стояків із площини ферми	0,827	
пп. 13.1.1-13.1.4, 13.4.1	Гнучкість стояків	0,97	
пп. 8.3.7, 9.5.14, 10.4.6, 10.4.7	Гранична гнучкість звису полиці (поясного листа) стояків з умови місцевої стійкості	0,516	
п. 8.1.1	Міцність розкосів	0,417	
п. 8.1.3	Стійкість розкосів у площині ферми	0,848	
п. 8.1.3	Стійкість розкосів із площини ферми	0,769	
пп. 13.1.1-13.1.4, 13.4.1	Гнучкість розкосів	0,643	
пп. 8.3.7, 9.5.14, 10.4.6, 10.4.7	Гранична гнучкість звису полиці (поясного листа) розкосів з умови місцевої стійкості	0,626	
п. 8.1.1	Міцність опорних розкосів	0,602	
п. 8.1.3	Стійкість опорних розкосів у площині ферми	0,897	
п. 8.1.3	Стійкість опорних розкосів із площини ферми	0,766	
пп. 13.1.1-13.1.4, 13.4.1	Гнучкість опорних розкосів	0,559	
пп. 8.3.7, 9.5.14, 10.4.6, 10.4.7	Гранична гнучкість звису полиці (поясного листа) опорних розкосів з умови місцевої стійкості	0,712	
п. 8.1.1	Міцність опорних стояків	0,082	
п. 8.1.3	Стійкість опорних стояків у площині ферми	0,282	
п. 8.1.3	Стійкість опорних стояків із площини ферми	0,177	
пп. 13.1.1-13.1.4, 13.4.1	Гнучкість опорних стояків	0,971	
пп. 8.3.7, 9.5.14, 10.4.6, 10.4.7	Гранична гнучкість звису полиці (поясного листа) опорних стояків з умови місцевої стійкості	0,574	

Коефіцієнт використання 0,996 – стійкість стояків у площині ферми.

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації

«Проектування конструкцій покриття виробничих будівель»
до практичних занять
із навчальної дисципліни

«ПРОЄКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ»

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Промислове та цивільне будівництво»)

Укладачі: **ЯРОВИЙ** Сергій Миколайович,
РЮМІН Володимир Володимирович,
СОЛОДОВНИК Юлія Юріївна

Відповідальний за випуск *К. В. Спіранде*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2024, поз. 45М

Підп. до друку 15.08.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 2,0.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.