

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Будівельне виробництво та геодезія»

В авторській редакції

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ

КРОКВЯНА ФЕРМА

Методичні рекомендації до розрахунково-графічної роботи

Електронний аналог
друкованого видання

Дніпро 2022

УДК 624.014

Укладач
докт. техн. наук, проф. *Д. О. Банніков*

Експерти:
канд. техн. наук, доц. *Н. А. Нікіфорова* (ННІ «ДІТ»)
канд. техн. наук, доц. *С. М. Косячевська* (ННІ «ДІТ»)

Рекомендовано до друку МКФ ПЦБ (протокол № 1 від 14.09.2022 р.).
Зареєстровано ННЦ ЗЯО УДУНТ (підстава № 575 від 02.12.2022 р.).

Металеві конструкції. Кроквяна ферма / уклад. *Д. О. Банніков*. Дніпро:
Укр. держ. ун-т науки і технологій. – 2022. – 49 с.

У методичних рекомендаціях викладено загальну послідовність та особливості виконання розрахунково-графічної роботи з розгляду одного з основних несучих елементів цивільних і промислових будівель – кроквяних ферм.

Методичні рекомендації призначені для практичних занять і самостійної роботи студентів освітнього ступеня «бакалавр» за ОП «Промислове і цивільне будівництво та ОП «Будівництво та експлуатація будинків і споруд спеціального та загальновійськового призначення» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» під час опрацювання дисципліни «Металеві конструкції», а також можуть бути корисними під час підготовки кваліфікаційних бакалаврських і магістерських робіт.

Також дані методичні рекомендації призначені для використання на практичних заняттях і під час самостійної роботи для дисциплін «Проектування металоконструкцій» і «Металеві конструкції в будівництві» за ОП «Будівництво та експлуатація будинків і споруд спеціального та загальновійськового призначення» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Іл. 18. Табл. 18. Бібліогр.: 9 назв.

© Банніков Д. О., укладання, 2022
© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ВИМОГИ ДО ПІДГОТОВКИ Й ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВО- ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ	6
ВИБІР ВИХІДНИХ ДАНИХ	7
1. РОЗРАХУНОК КРОКВЯНОЇ ФЕРМИ	8
1.1. Визначення розрахункових параметрів	8
1.1.1. Коефіцієнт відповідальності	8
1.1.2. Розрахунковий опір сталі	8
1.2. Компонування ферми	8
1.3. Збір навантажень	10
1.3.1. Постійні навантаження	10
1.3.2. Змінне навантаження	13
1.4. Визначення зусиль	15
1.5. Підбір перерізів	18
1.5.1. Приклад підбору перерізу розтягнутого елемента	30
1.5.2. Приклад підбору перерізу стиснутого елемента	31
1.6. Уніфікація елементів	32
2. КОНСТРУЮВАННЯ КРОКВЯНОЇ ФЕРМИ	33
2.1. Загальне конструювання листа	34
2.2. Особливості конструювання вузлів	37
2.2.1. Переріз з подвійних кутиків	37
2.2.2. Переріз з таврів	38
2.2.3. Переріз з труб і гнutoзварних профілів	39
2.2.4. Місця опирання плит і прогонів та кріплення в'язів	39
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	41
Додаток А. РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛІ	42
Додаток Б. ПОКРІВЛІ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ	44
Додаток В. ДОВІДКОВІ ДАНІ	46
Додаток Г. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВАРНИХ ШВІВ	48

ВСТУП

Сталеві ферми завжди були та продовжують залишатись надзвичайно розповсюдженим об'єктом різноманітних будівель та споруд. Вони використовуються як несучі елементи в доволі широкому спектрі конструктивних рішень, починаючи від покрівель будівель та закінчуючи висотними спорудами.

Одним з доволі поширених типів сталевих ферм є кроквяні ферми. Причому дуже часто вони використовуються не тільки для цивільних будівель, а й в значному ступені для виробничих будівель. Оскільки останні займають значну частку в сучасному проектуванні сталевих конструкцій, то в даній розрахунково-графічній роботі й розглядається подібний несучий елемент – сталева кроквяна ферма.

Також слід відзначити, що багато виробничих об'єктів були побудовані ще в минулому сторіччі та продовжують експлуатуватись в Україні і на тепер. Тому питання технічної експлуатації та обслуговування їх є доволі актуальною задачею. Для цього як раз і потрібні знання та розуміння в роботі кроквяних ферм.

Розрахунково-графічна робота передбачає практичне ознайомлення з основними положеннями і особливостями розрахунку та конструювання сталевих кроквяних ферм, які використовуються в каркасах одноповерхових виробничих будівель. При цьому основна увага приділяється процесу розрахунку елементів ферми та коректному добору поперечних перерізів її несучих елементів. Це сприятиме досягненню наступних очікуваних результатів навчання відповідно до робочих програм:

8) Виконати конструювання основних несучих елементів зі сталі та алюмінієвих сплавів, а також їх з'єднань між собою. Розробити відповідну проектну документацію;

10) Виконати проектування конструктивних елементів одноповерхових та багатоповерхових виробничих будівель із застосуванням за необхідності сучасних інформаційних технологій;

11) Прогнозувати роботу та вплив на неї конструктивних змін основних несучих елементів зі сталі та алюмінієвих сплавів і їх вузлів;

12) Порівнювати конструктивні варіанти несучих елементів зі сталі та алюмінієвих сплавів і їх вузлів та обирати найбільш ефективні.

Останнім роком в Україні прискореними темпами йде оновлення національної нормативної бази в галузі будівництва. Не оминуло це й сферу металевих будівельних конструкцій. Так нещодавно введені в дію нові норми ДБН [1] містять низку відмінностей в проектуванні сталевих конструкцій порівняно із попередніми відмінними нормами. Тому виконання задач орієнтовано на використання саме нових норм і включає ряд нововведень, в тому числі в частині графічного оформлення проектної документації металевих конструкцій за ДСТУ [2].

З метою зручності користування в додатках до методичного забезпечення наведено всі необхідні нормативні та довідкові дані, які використовуються при вирішенні задач. Кожна задача присвячена окремому конструктивному елементу або виду з'єднань та містить детальні рекомендації й вказівки щодо її розв'язання.

Слід відмітити також, що незважаючи на нещодавно введені Зміни [3] до ДБН [1], вони виявились не зовсім коректними та постало питання щодо доцільності їх використання. Тому в даних методичних рекомендаціях вони враховані лише частково, в тому контексті, який не суперечить пропозиціям фахівців.

Методологічною метою розрахунково-графічної роботи є набуття студентами та закріплення в них навичок самостійного розрахунку і конструювання основних несучих конструктивних елементів сталевій кроквяної ферми одноповерхової виробничої будівлі.

ВИМОГИ ДО ПІДГОТОВКИ Й ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

Розрахунково-графічна робота виконується кожним студентом самостійно відповідно до методичних вказівок. Вихідні дані обираються відповідно до затвердженого викладачем бланка завдання за індивідуальним літерним шифром. Правила складання літерного шифру визначає викладач.

Якщо виникають будь-які непорозуміння або невідповідності з вибором вихідних даних, слід звернутися до викладача для узгодження цього питання. **У випадку, якщо вихідні дані обрані студентом неправильно або з помилками, робота вважається недійсною та потребує переробки за правильними даними.**

Працюючи з текстом кожного розділу розрахунково-графічної роботи, необхідно спочатку уважно розібратись із наведеним прикладом виконання розрахунків, звертаючи увагу на незрозумілі місця, стосовно яких можна отримати роз'яснення у викладача. Далі за власними вихідними даними виконати аналогічні обчислення, чітко дотримуючись вказаної в методичних рекомендаціях послідовності. Під час використання нормативно-довідкової літератури слід звертатися до теоретичних відомостей, розглянутих на лекційних та практичних заняттях.

У випадку виникнення певних утруднень та невизначеностей слід припинити роботу й також звернутися до викладача для отримання відповідної консультації. У цьому разі не рекомендується продовжувати подальші обчислення, оскільки вони можуть виявитися неправильними та потребуватимуть у майбутньому коректування або спростовування.

Структурно розрахунково-графічна роботи складається з пояснювальної записки та графічної частини.

Пояснювальна записка оформлюється на стандартних аркушах білого паперу формату А4 з дотриманням вимог чинних державних стандартів щодо оформлення проектної документації в будівництві і має містити всі необхідні обчислення та ескізи, що ілюструють процес виконання роботи.

Розрахунки слід записувати у вигляді повної формули, в яку підставлено відповідні числові значення з отриманим результатом і одиницями виміру:

$$q_0 = \rho \cdot t = 1,8 \cdot 0,02 = 0,036 \text{ т/м}^2.$$

Записка обов'язково повинна бути жорстко скріплена, мати титульний аркуш прийнятого в університеті зразка, рамочки на кожному листі, сторінки мають бути пронумеровані. Не слід переписувати наведений у цих методичних рекомендаціях загальний текстовий матеріал.

Додаткова графічна частина проекту виконується на окремому листі формату А2 (стадії КМД) з дотриманням вимог чинних державних стандартів щодо оформлення проектної документації в будівництві.

Неправильно або неохайно оформлена робота повертається студенту для доопрацювання.

ВИБІР ВИХІДНИХ ДАНИХ

Виконання розрахунково-графічної необхідно розпочинати з вибору вихідних даних відповідно до бланка завдання. Вихідні дані складаються з шести позицій та обираються за індивідуальним літерним шифром, визначеним викладачем. Кожна позиція вихідних даних має власний номер, на який є посилання у певних місцях методичних рекомендацій. Тому слід дуже уважно та ретельно виписати ці дані.

Для проектування кроквяної ферми потрібні наступні позиції вихідних даних за бланком завдання.

1. Сталь конструкцій.

В практиці проектування сталь обирається інженером-конструктором в залежності від рекомендацій ДБН [1] та наявного ринку металопрокату.

Як приклад приймемо – С375.

2. Проліт будівлі.

В практиці проектування проліт будівлі визначається інженером-технологом за габаритами технологічного обладнання та планувальним рішенням функціонального процесу, для якого передбачається будівля.

Як приклад приймемо $L = 42,0$ м.

3. Крок ферм, крок колон.

В практиці проектування ці обидва параметри визначаються інженером-архітектором за об'ємно-планувальним рішенням функціонального процесу, для якого передбачається будівля.

Як приклад приймемо $B = 6$ м; $C = 6$ м $\times$ 14.

4. Тип покрівлі.

В практиці проектування тип покрівлі визначається інженером-архітектором в залежності від технологічних особливостей функціонального процесу, для якого передбачається будівля.

Як приклад приймемо – безпрогонова тепла.

5. Переріз елементів ферми.

В практиці проектування тип перерізу визначається наявним ринком металопрокату в певному регіоні, його ринковою вартістю та традиціями конкретної школи проектування.

Як приклад розглянемо чотири можливі перерізи ферми (подвійні кутики, тавр, труба і гнutoзварний профіль).

6. Місце будівництва.

Як приклад приймемо – м. Одеса.

Після вибору та перевірки вихідних даних можна розпочинати процес проектування сталевий кроквяної ферми для каркасу одноповерхової виробничої будівлі.

1. РОЗРАХУНОК КРОКВЯНОЇ ФЕРМИ

1.1. Визначення розрахункових параметрів.

Перед початком розрахунку елементів кроквяної ферми необхідно визначити розрахункові параметри, які будуть використовуватись надалі. До таких параметрів відносять коефіцієнт надійності за відповідальністю (коефіцієнт відповідальності об'єкта) та розрахункові характеристики заданої сталі.

1.1.1. Коефіцієнт відповідальності.

Даний коефіцієнт визначається відповідно до табл. 5 ДБН [4] в залежності від класу наслідків об'єкту, що проектується, категорії його відповідальності і типу розрахункової ситуації.

В практиці клас наслідків та категорія відповідальності суттєво залежать від функціонального призначення розглядуваної виробничої будівлі і в кожному конкретному випадку мають спеціально обґрунтовуватись.

Оскільки в даному курсовому проекті не оговорюється конкретний функціональний процес, для якого передбачається будівля, то з навчальною метою приймемо клас наслідків – СС2, категорію відповідальності – А. Тоді для усталених розрахункових ситуацій коефіцієнт відповідальності для першої групи граничних станів дорівнюватиме $\gamma_n = 1,1$.

1.1.2. Розрахунковий опір сталі.

Розрахунковий опір сталі визначають за табл. Г.2 дод. Г ДБН [1], яка наведена в табл. А.1 дод. А до методичних вказівок, залежно від заданого за вихідними даними класу сталі С375 (позиція 1 вихідних даних). Оскільки елементи ферми виконуються з прокатних профілів, то обираємо фасонний прокат для випадку найбільшої товщини – $R_y = 325 \text{ МПа} = 32,5 \text{ кН/см}^2$.

1.2. Компонування ферми.

Розрахунок кроквяної ферми розпочинається з визначення її генеральних розмірів та складання розрахункової схеми. Розміри ферми приймаються по геометричних осях її елементів.

1. Проліт ферми L приймається таким, що дорівнює прольоту будівлі. Це обумовлено прийнятим в курсовому проекті **шарнірним з'єднанням ригеля** поперечної рами будівлі (кроквяної ферми) із колоною.

В нашому випадку $L = 42 \text{ м} = 42000 \text{ мм}$ (позиція 2 вихідних даних).

2. Висота ферми в прольоті H_{np} приймається в залежності від прольоту в межах $\left(\frac{1}{8} \div \frac{1}{10}\right) \cdot L$ і округляється з кратністю 100 мм. При цьому вона має не

перевищувати максимально допустимий вертикальний габарит вантажу для залізничної платформи 3,99 м для випадку транспортування залізничним транспортом (наприклад, універсальною платформою моделі 13-401). Для цього висота по осях ферми має не перевищувати 3,6 м.

В нашому випадку $H_{np} = \left(\frac{1}{8} \div \frac{1}{10}\right) \cdot L = \left(\frac{1}{8} \div \frac{1}{10}\right) \cdot 42 = 5,25 \div 4,20$ м. Оскільки ці значення перевищують транспортний габарит, то обмежимо висоту ферми в прольоті – $H_{np} = 3,6$ м = 3600 мм.

3. Ухил верхнього поясу ферми i приймається в залежності від потрібного ухилу покрівлі, який в свою чергу визначається за вимогами ДБН [5]. Відповідно до накопиченого досвіду в практиці проектування для покрівель виробничих будівель рекомендується приймати наступний ухил:

- $i = 1,5 - 5$ % для безпрогонових теплих та холодних покрівель (ферма з паралельними поясами);

- $i = 10 - 15$ % для прогонових теплих покрівель (трапецієвидна ферма);

- $i = 20 - 30$ % для прогонових холодних покрівель (трикутна ферма).

В нашому випадку для безпрогонової теплої покрівлі (позиція 4 вихідних даних) приймемо ухил $i = 1,5$ %. Таким чином обирається ферма з паралельними поясами.

4. Висота ферми на опорі H_{on} призначається в залежності від обраного типу ферми:

- для ферм з паралельними поясами висота ферми на опорі дорівнює висоті в прольоті $H_{on} = H_{np}$ (ухилом покрівлі нехтують);

- для трапецієвидних ферм висота на опорі обчислюється в залежності від ухилу верхнього поясу за виразом $H_{on} = H_{np} - \frac{L}{2} \cdot \frac{i}{100}$ і округляється з кратністю 100 мм;

- для трикутних ферм висота на опорі дорівнює нулю. Тому перевіряється ухил верхнього поясу ферми за виразом $i = \frac{2 \cdot H_{np}}{L} \cdot 100$ та коригується за необхідності так, щоб його значення було не менше за $i = 20$ %.

В нашому випадку для ферми з паралельними поясами висота ферми на опорі дорівнює висоті в прольоті $H_{on} = H_{np} = 3,6$ м = 3600 мм.

5. Система решітки приймається трикутною з додатковими стійками, як найбільш раціональна. Стійки розміщуються з кроком 6 м симетрично відносно центральної осі симетрії, отримуючи довжину панелі нижнього поясу. Довжина панелі верхнього поясу становить при цьому $d = 3$ м.

За визначеними геометричними розмірами і прийнятою системою решітки в масштабі викреслюється геометрична схема кроквяної ферми (рис. 1).

1.3. Збір навантажень.

Тепер необхідно розрахувати всі навантаження, які діють на кроквяну ферму. До основних з них відносять власну вагу покрівлі, власну вагу самої ферми із прогонами і в'язями та снігове навантаження.

Вітрове навантаження враховується тільки при такому куті нахилу ферми, коли аеродинамічний коефіцієнт (C_{aer} за п. 9.8 ДБН [6]) стає додатним і довантажує кроквяну ферму. В практиці цьому відповідає кут нахилу скату покрівлі приблизно в 35° і більше (ухил 70 % і більше).

Навантаження від виробничого пилу може враховуватись для ферм з перерізами, схильними до накопичення пилу (кутики, двотаври), якщо його накопичення не виключене відповідними заходами.

Також додатково може враховуватись навантаження від підйомно-транспортного обладнання, якщо воно прикріплюється безпосередньо до кроквяної ферми (наприклад, кран-балка), або навантаження від ваги людини-прибиральника на покрівлі.

1.3.1. Постійні навантаження.

Відповідно до заданого типу покрівлі (позиція 4 вихідних даних) визначаємо її пошаровий склад. Для найбільш розповсюджених типів він наведений в табл. Б.1 дод. Б до методичних вказівок.

В практичних розрахунках склад покрівлі може коригуватись в залежності від умов проектування.

В нашому випадку для теплої безпрогонової покрівлі приймемо наступний склад покрівлі:

- руберойд з посипкою 1 шар – ізоляційний шар;
- руберойдовий килим 3 шари – гідроізоляційний шар;
- стяжка цементно-піщаним розчином 20 мм – вирівнювальний шар;
- мінераловатна плита 100 мм – теплоізоляційний шар;
- руберойд прокладний 1 шар – пароізоляційний шар;
- залізобетонна плита – несучий шар.

Значення навантаження від власної ваги покрівлі визначимо в табл. 1 за ДБН [6] з урахуванням рекомендацій методичних вказівок [6].

Характеристичні значення для кожного шару покрівлі приймемо за даними табл. Б.1 дод. Б до методичних вказівок або розрахуємо за виразом (1):

$$q_0 = \rho \cdot t. \quad (1)$$

де ρ – густина шару матеріалу покрівлі;

t – товщина шару матеріалу покрівлі.

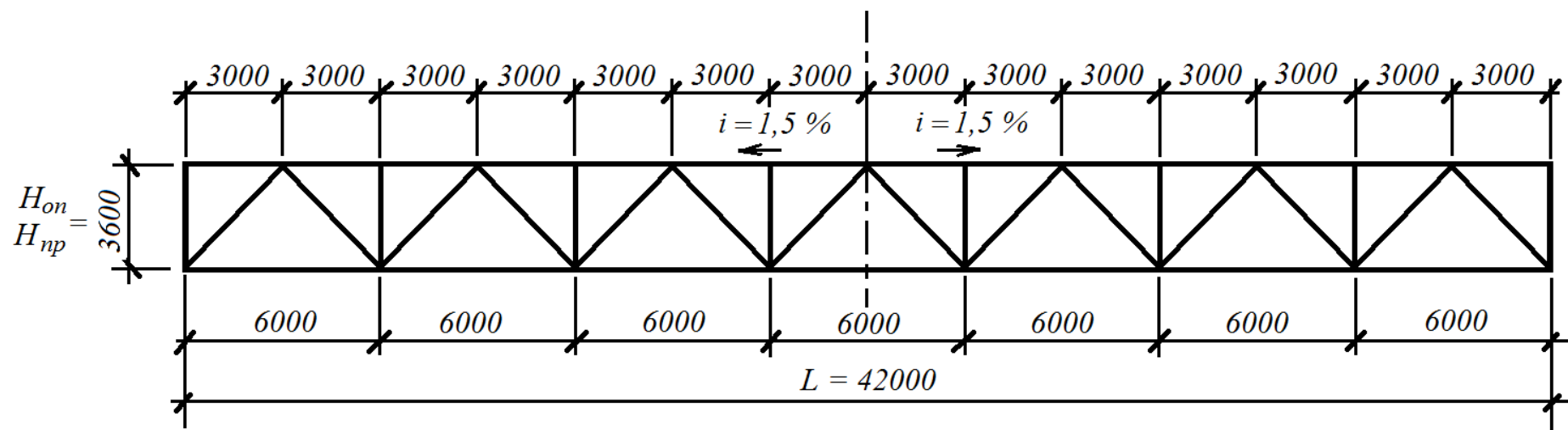


Рис. 1. Геометрична схема кроквяної ферми.

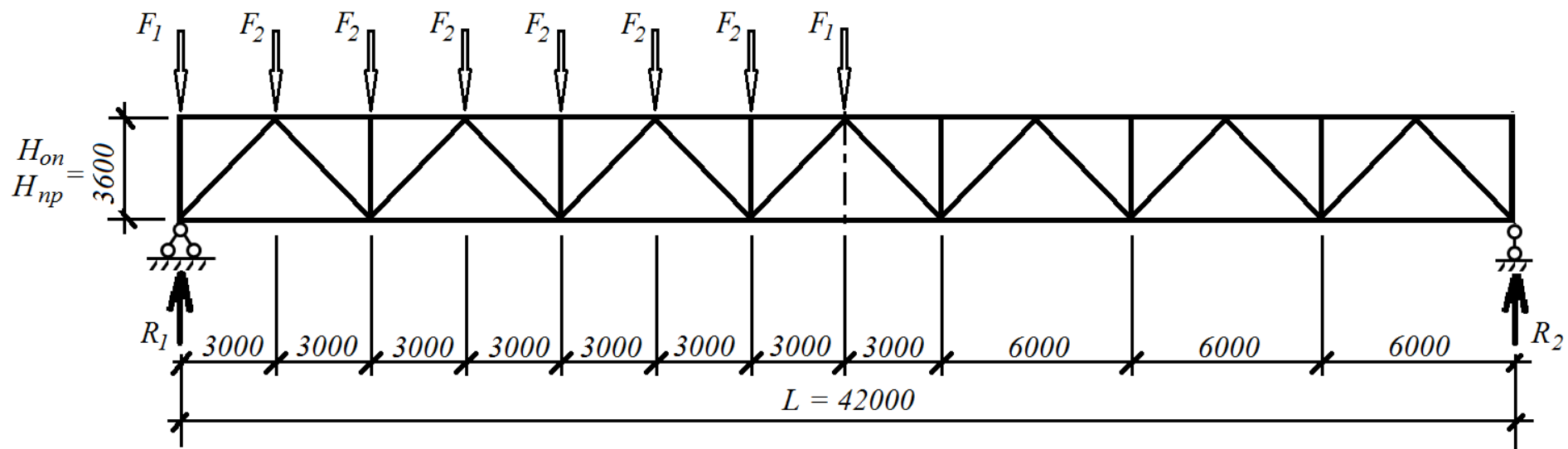


Рис. 2. Розрахункова схема кроквяної ферми.

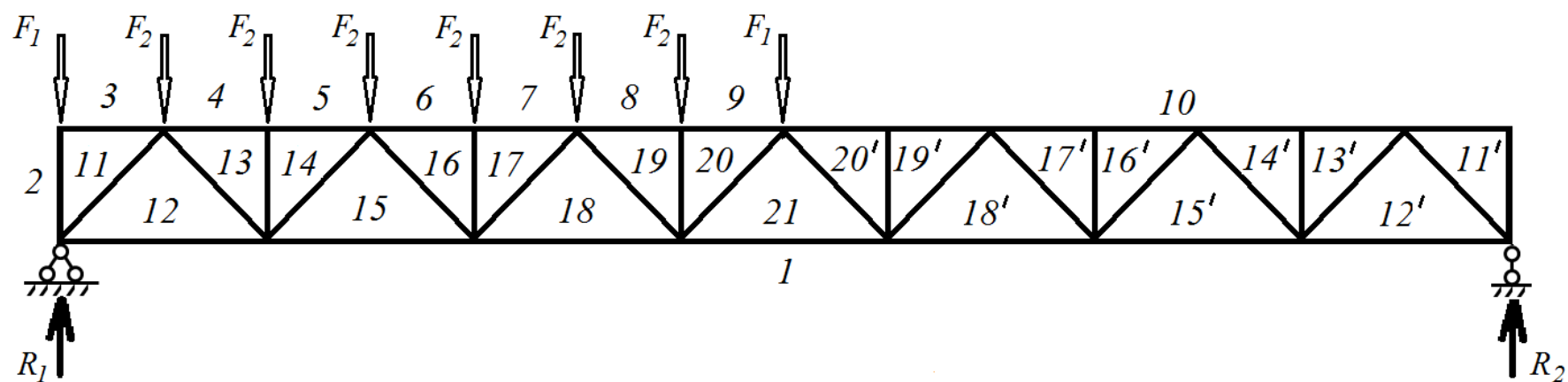


Рис. 3. Маркувальна схема кроквяної ферми.

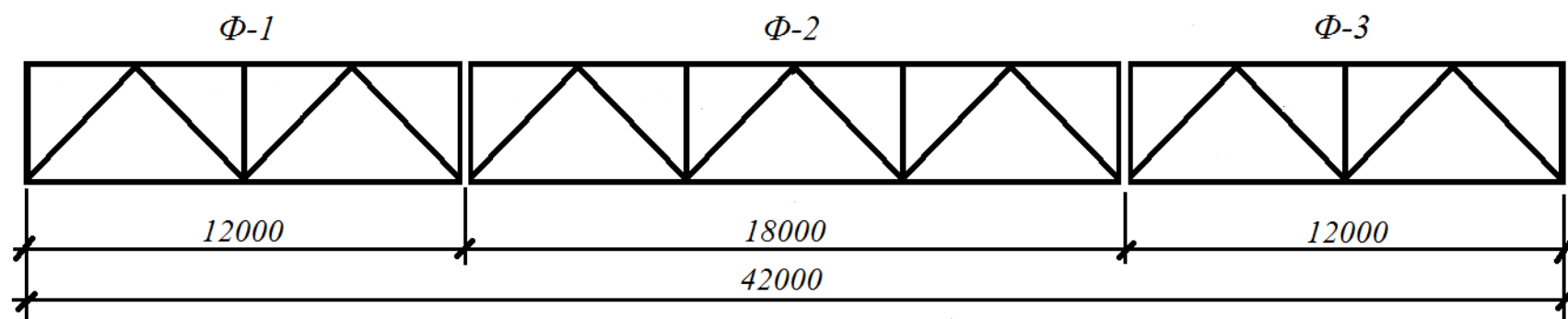


Рис. 4. Монтажна схема кроквяної ферми.

Також, додатково врахуємо власну вагу ферми та в'язів покрівлі (прогонів за необхідністю) за емпіричним виразом (2):

$$q_0^{\phi} = 0,015 \cdot L, \quad (2)$$

де проліт ферми L слід підставляти в метрах.

Таблиця 1

Постійні навантаження від власної ваги

№ пор.	Шар покрівлі	Характеристичне значення q_0 , кПа	Коефіцієнт надійності γ_{fm}	Граничне розрахункове значення q_{0m} , кПа
1	Руберойд з посипкою	0,03	1,20	0,04
2	Руберойдовий килим	$3 \times 0,02 = 0,06$	1,20	0,07
3	Стяжка цементно-піщаним розчином	0,36	1,30	0,47
4	Мінераловатна плита	0,35	1,20	0,42
5	Руберойд прокладний	0,01	1,20	0,01
6	Залізобетонна плита	1,30	1,10	1,43
7	Ферма, в'язі	$0,015 \times 42 = 0,63$	1,10	0,69
Сума		2,74		3,13

В нашому випадку:

- стяжка цементно-піщаним розчином $q_0 = \rho \cdot t = 1,8 \cdot 0,02 = 0,036 \text{ т/м}^2 = 0,36 \text{ кПа}$;
- мінераловатна плита $q_0 = \rho \cdot t = 0,35 \cdot 0,10 = 0,035 \text{ т/м}^2 = 0,35 \text{ кПа}$.

Таким чином, характеристичне значення навантаження від власної ваги покрівлі та ферми із в'язями дорівнює $q_0 = 2,74 \text{ кПа}$.

Розрахункове граничне значення цього навантаження з урахуванням коефіцієнту відповідальності дорівнюватиме

$$q_m = q_{0m} \cdot \gamma_n = 3,13 \cdot 1,1 = 3,44 \text{ кПа}.$$

1.3.2. Змінне навантаження.

Розрахункове граничне значення снігового навантаження S_m необхідно визначати за ДБН [5] відповідно до виразу (3):

$$S_m = \gamma_{fm} \cdot S_0 \cdot \mu \cdot C_e \cdot C_{alt}, \quad (3)$$

де γ_{fm} – коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаження, який визначається згідно з вказівками п. 8.11 ДБН;

S_0 – характеристичне значення снігового навантаження, яке визначається згідно з вказівками п. 8.5 ДБН;

μ – коефіцієнт, який враховує форму покрівлі і визначається за дод. Ж ДБН;

C_e – коефіцієнт, який враховує вплив особливостей режиму експлуатації на сніговий покрив і визначається за вказівками п. 8.9 ДБН;

C_{alt} – коефіцієнт, який враховує висоту місця будівництва над рівнем моря і визначається за вказівками п. 8.10 ДБН.

В нашому випадку:

- коефіцієнт $\gamma_{fm} = 1,04$, оскільки для виробничої будівлі передбачуваний строк експлуатації дорівнює $T = 60$ років, як для громадської будівлі;

- характеристичне значення $S_0 = 1000 \text{ Па} = 1,0 \text{ кПа}$, оскільки задане за вихідними даними м. Одеса (позиція 6 вихідних даних) розташоване в 2-му сніговому районі;

- коефіцієнт $C_e = 1$, оскільки розраховане вище характеристичне значення власної ваги покрівлі перевищує $2,0 \text{ кПа}$ ($q_0 = 2,74 \text{ кПа}$);

- коефіцієнт $C_{alt} = 1$, оскільки дані про висоту місцевості над рівнем моря відсутні.

Окремо визначимо коефіцієнт μ . За дод. Ж ДБН [6] обираємо схему 1,б, як для однопролітної двоскатної будівлі.

Кут нахилу скату дорівнює $\alpha = \arctg \frac{i}{100} = \arctg \frac{1,5}{100} \approx 1^\circ$. Тому з цієї схеми обираємо варіант 1 з рівномірним навантаженням по всьому прольоту з $\mu = 1$ (рис. 5).

Тоді остаточно розрахункове граничне значення снігового навантаження з урахуванням коефіцієнту відповідальності дорівнює

$$S_m = \gamma_{fm} \cdot S_0 \cdot \mu \cdot C_e \cdot C_{alt} \cdot \gamma_n = 1,04 \cdot 1,0 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 1,14 \text{ кПа}.$$

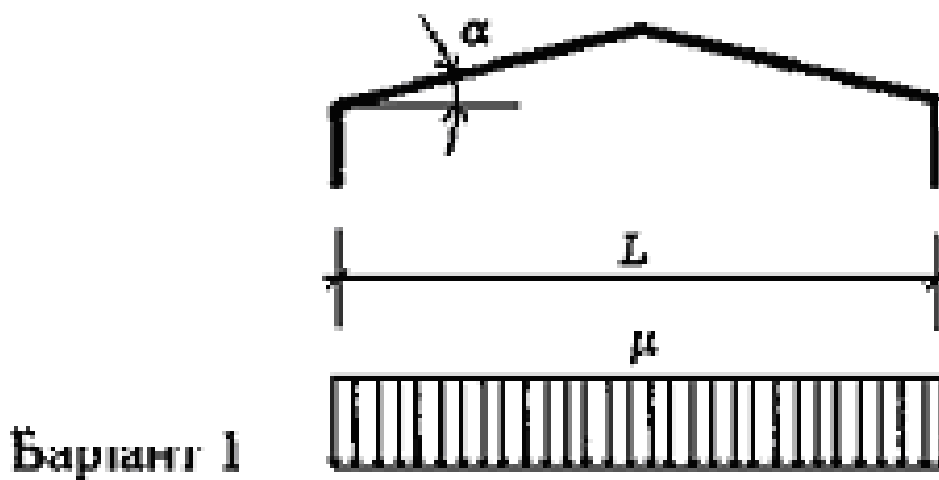


Рис. 5. Схема снігового навантаження для заданої будівлі.

1.4. Визначення зусиль.

У цьому підрозділі курсового проекту необхідно визначити зусилля в елементах кроквяної ферми. Для статичного навантаження досить ефективним при цьому є графічний метод побудови діаграми Максвелла-Кремони, точність якого лежить в межах інженерної точності в 5 %.

В практичних розрахунках діаграму рекомендується будувати від одиничного навантаження $Q = 1$ кПа. Для цього розраховують силу, прикладену до кожного вузла верхнього поясу ферми з власної прямокутної вантажної площі. Розміри її сторін дорівнюють заданому кроку ферм B (позиція 3 вихідних даних) і ширині примикаючої частини панелі верхнього поясу ферми d_i .

В нашому випадку:

- для крайніх вузлів $F_1 = Q \cdot B \cdot d_1 = 1 \cdot 6 \cdot 1,5 = 9$ кН;
- для проміжних вузлів $F_2 = Q \cdot B \cdot d_2 = 1 \cdot 6 \cdot 3 = 18$ кН.

В попередньому підрозділі було визначено один варіант навантаження кроквяної ферми рівномірно розподіленим сніговим навантаженням. Проте практикою проектування було встановлено, що іноді гіршим виявляється випадок, коли навантаження діє тільки на половині прольоту ферми. Досить часто таке реалізується, наприклад, при прибиранні снігу з покрівлі. В цьому випадку значення зусилля в середніх розкосах ферми може виявитись найбільшим або змінитись знак зусилля порівняно із рівномірним навантаженням. Тому в п. 8.7 норм ДБН [6] внесено спеціальне уточнення з цього приводу. У зв'язку з цим побудову діаграми Максвелла-Кремони необхідно виконувати для часткового завантаження, а розрахункова схема кроквяної ферми для нашого випадку зображена на рис. 2.

Побудова діаграми Максвелла-Кремони заснована на тому, що при статичній рівновазі вузла ферми геометрична сума зусиль в приєднаних елементах дорівнює нулю, тобто силовий багатокутник має бути замкнений. Діаграма будується в наступній послідовності.

1. Визначаємо опорні реакції.

Для цього складаємо суму моментів відносно лівої та правої опор, з яких і знаходимо відповідні реакції. Відстані при цьому зручніше підставляти в метрах.

$$\sum M_1 = F_2 \cdot 3 + F_2 \cdot 6 + F_2 \cdot 9 + F_2 \cdot 12 + F_2 \cdot 15 + F_2 \cdot 18 + F_1 \cdot 21 - R_2 \cdot 42 = 0.$$

$$\text{Звідси } R_2 = \frac{F_2 \cdot 63 + F_1 \cdot 21}{42} = \frac{18 \cdot 63 + 9 \cdot 21}{42} = 31,5 \text{ кН.}$$

$$\sum M_2 = F_1 \cdot 42 + F_2 \cdot 39 + F_2 \cdot 36 + F_2 \cdot 33 + F_2 \cdot 30 + F_2 \cdot 27 + F_2 \cdot 24 + F_1 \cdot 21 - R_1 \cdot 42 = 0.$$

$$\text{Звідси } R_1 = \frac{F_2 \cdot 189 + F_1 \cdot 63}{42} = \frac{18 \cdot 189 + 9 \cdot 63}{42} = 94,5 \text{ кН.}$$

Виконаємо перевірку, склавши суму проекцій всіх сил на вертикальну вісь - $R_1 + R_2 - F_1 \cdot 2 - F_2 \cdot 6 = 94,5 + 31,5 - 9 \cdot 2 - 18 \cdot 6 = 126 - 126 = 0$.

2. Викреслюється геометрична схема кроквяної ферми **на міліметрівці в масштабі** (наприклад, 1:100 або 1:200). На схему наносять нумерацію полів, під якими розуміють частину площини, обмежену будь-якими силовими факторами.

Спочатку нумерують зовнішні поля між зовнішніми силами, обходячи ферму по зовнішньому контуру за годинниковою стрілкою. Поле 1 розташовують між опорними реакціями, поле 2 – між лівою опорною реакцією та силою F_1 , поле 3 – між силою F_1 і силою F_2 і т.д. Останнє зовнішнє поле 10 розташовується між силою F_1 в кінчику ферми і правою опорною реакцією.

Далі продовжують нумерацію для внутрішніх полів між стержнями ферми, обходячи ферму зліва направо. Для лівої завантаженої половини ферми отримують поля 11 – 21, а для правої незавантаженої – поля 11' - 20' із дзеркальним розташуванням.

Остаточна схема маркування полів кроквяної ферми для нашого випадку зображена на рис. 3.

3. **В масштабі сил** (наприклад, 1 см – 10 кН або 5 кН) будують безпосередньо діаграму Максвелла-Кремони. Для цього спочатку в довільному місці ближче до низу листа ставлять точку 1, яка зображує поле 1 на схемі ферми.

Далі обходять зовнішні поля. Від точки 1 відкладають ліву опорну реакцію R_1 в напрямку її дії вгору. Отримують точку 2, яка зображує поле 2 на схемі ферми. Далі при переході по схемі від поля 2 до поля 3 діє сила F_1 . Її відкладають від точки 2 в напрямку дії вниз, отримуючи точку 3. Таким чином продовжують далі, отримуючи на вертикальній прямій всі точки 1 – 10, які зображують поля зовнішнього контуру. При цьому при переході від останнього поля 10 до поля 1 силовий багатокутник має замкнутися із додаванням правої опорної реакції R_2 .

Тепер переходять до внутрішніх полів. Точки на діаграмі, які їм відповідають, визначають проводячи на діаграмі лінії, паралельні сусіднім стержням, що обмежують ці поля. Так для отримання точки 11, яка зображує поле 11, необхідно провести з точки 2 діаграми вертикальну лінію і з точки 3 горизонтальну. В результаті в місці перетину цих ліній розташовується точка 11, яка співпадає з точкою 3. Для отримання точки 12, яка зображує поле 12, необхідно з точки 11 провести лінію, паралельну похилому розкосу, а з точки 1 горизонтальну лінію, паралельну нижньому поясу. В результаті в місці перетину цих ліній розташовується точка 12. Таким чином продовжують далі, отримуючи розташування на діаграмі всіх точок для внутрішніх полів.

Якщо діаграма побудована вірно, вона має замкнутись у багатокутник. Наприклад, в нашому випадку – точка 11' співпадає з точкою 10.

Остаточна побудована діаграма Максвелла-Кремони для нашого випадку зображена на рис. 6.

4. Величини зусиль в елементах ферми визначають за діаграмою Максвелла-Кремони, керуючись обраним масштабом побудови діаграми. При цьому елементи мають подвійну нумерацію, за номерами тих полів, між якими вони розташовуються на діаграмі. Наприклад, в нашому випадку за рис. 3 стійки ферми, починаючи з лівої, мають номери 2-11, 13-14, 16-17 і т.д.

Для визначення знака зусиль в елементах ферми розглядають окремі вузли ферми. Кожен з них уявно «обходить» за годинниковою стрілкою, переходячи з одного поля на інше. При цьому, якщо на діаграмі Максвелла-Кремони від першого до другого «зустрічних» полів слід рухатись від вузла, то знак зусилля – розтяг (+), якщо до вузла – стиск (–). Наприклад, для лівого опорного вузла при уявному «обході» його за годинниковою стрілкою «зустрічаємо» поле 2, а потім поле 11. На діаграмі від точки 2 до точки 11 слід рухатись в напрямку до вузла ферми, тому знак зусилля в цьому елементі буде – стиск (–).

На побудованій діаграмі (рис. 6) стиснуті елементи показані товстішими лініями, ніж розтягнуті.

5. Остаточні визначені за діаграмою зусилля від одиничного навантаження для елементів лівої частини кроквяної ферми разом із відповідними знаками заносяться в колонку 3 табл. 2.

В колонках 1 і 2 попередньо перелічуються всі елементи ферми відповідно до її маркувальної схеми (за рис. 3).

В колонку 4 заносяться зусилля для відповідного дзеркально розташованого елементу правої частини кроквяної ферми. Наприклад, для елемента 11-12 це буде елемент 12'-13', для елемента 4-13 – елемент 10-13'. Елемент 1-21 не має відповідного дзеркального елемента, тому в колонці 4 значення дорівнює значенню з колонки 3.

Колонка 5 заповнюється як арифметична сума значень зусиль в колонках 3 і 4 з урахуванням знаку зусилля.

Колонка 6 заповнюється множенням значень зусиль колонки 5 на величину розрахункового граничного значення від постійних навантажень q_m .

Колонки 7 – 9 заповнюються множенням значень зусиль колонок 3 – 5 відповідно на величину розрахункового граничного значення від снігового навантаження S_m .

Остання колонка 10 заповнюється як арифметична сума значень зусиль колонки 6 і більшого значення з колонок 7 – 9 (як правило це колонка 9). Якщо при цьому ці значення мають різний знак, то сума обчислюється для обох знаків за цим же правилом. Остаточні приймається з двох сум з одним знаком більше значення, а у випадку сум з різними знаками – обидва значення.

Точність визначення зусиль у всіх колонках таблиці – до цілих.

1.5. Підбір перерізів.

За визначеними зусиллями підбирають перерізи в елементах кроквяної ферми заданого за вихідними даними типу (позиція 5 вихідних даних). Розглянемо послідовно всі чотири можливі типи перерізів. Вони підбираються за однаковою схемою, проте кожен з них має свої власні особливості.

Підбір виконується в табличній формі – табл. 3 – 6. Послідовність їх заповнення наступна.

1. В колонки 1 і 2 заносяться всі елементи ферми відповідно до колонок 1 і 2 табл. 2, **крім опорної стійки**. Проектування опорної стійки (в нашому випадку – елемент 2-11) виконується окремо.

В колонку 3 заноситься розрахункове зусилля N з відповідним знаком з колонки 10 табл. 2.

2. Далі необхідно скласти монтажну схему кроквяної ферми. В ній ферма поділяється на відправні марки по довжині. Оскільки максимально допустимий горизонтальний габарит вантажу для залізничної платформи становить 18 м (наприклад, для універсальної платформи моделі 13-401), то й довжина відправних марок ферми має не перевищувати цю величину. **При цьому необхідно приймати мінімально можливу кількість відправних марок.**

В нашому випадку розділимо ферму на 3 окремі відправні марки (рис. 4), які будуть з'єднуватись по стійках 16-17 і 16'-17'. Для влаштування цього вузла вказані стійки незалежно від профілю поясів та решітки ферми мають виготовлятися тільки з двох кутиків, розташованих хрестоподібно.

Тепер в колонку 4 табл. 3 – 6 заносять умовні позначення перерізів елементів ферми, які мають підбиратись далі.

3. Наступним кроком в колонку 6 заноситься геометрична довжина елементів ферми l між найближчими вузлами за геометричною схемою (рис. 1).

4. В колонках 7 і 10 розрахункова довжина елементів ферми у площині та з площини визначається за табл. 13.1 ДБН [1] (наведена в табл. В.1 дод. В до методичних вказівок). При цьому для напрямку з площини ферми необхідно додатково визначити відстані l_1 . Для цього **в масштабі** складають плани розміщення в'язей по верхніх та нижніх поясах ферм. Максимальна довжина одного в'язевого блока становить 144 м відповідно до п. 17.5.4 ДБН [1].

В межах в'язевого блока функцію в'язей по верхніх поясах ферм виконують залізобетонні плити (для безпрогонової покрівлі) або прогони (для прогонової покрівлі), які прикріплюються до вузлів верхнього поясу. Тому відстань l_1 буде дорівнювати довжині панелі верхнього поясу.

В'язі по нижньому поясу утворюють хрестові підкоси, розташовані по довгих торцях в'язевого блока і поздовжні розпірки. Саме розпірки визнача-

ють відстань l_1 і за необхідності можуть її коригувати. **При цьому рекомендується слідкувати за тим, щоб місця прикріплення розпірок не співпадали з місцями поділу ферми на відправні марки.**

Для утворення жорсткого блоку по коротких торцях в'язевого блока влаштовують додаткову систему хрестових в'язей. Також посередині блоку розміщують додаткову лінію з підкосів. Після цього розміщують вертикальні в'язі – вздовж коротких торців в'язевого блока, а також посередині блоку.

Розроблені плани в'язей для нашого випадку зображені на рис. 7 і 8.

5. В колонку 13 заносяться граничні значення гнучкості λ_u для елементів кроквяної ферми. Вони приймаються за нормами ДБН [1] за табл. 13.9 для стиснутих елементів і табл. 13.10 для розтягнутих елементів.

В нашому випадку для всіх розтягнутих елементів ферми $\lambda_u = 400$. Для стиснутих елементів ферми оскільки коефіцієнт α поки невідомий, то приймаємо найменші граничні значення – для поясу, опорного розкосу та опорної стійки $\lambda_u = 120$, а для інших стиснутих елементів решітки $\lambda_u = 150$.

6. В колонку 16 заносяться значення коефіцієнту умов роботи γ_c . Вони приймаються за табл. 5.1 норм ДБН [1]. Відповідно до п. 4 цієї таблиці для стиснутих розкосів і стійок (крім опорних) з тавровим перерізом з подвійних кутиків $\gamma_c = 0,8$. Для всіх інших елементів й інших типів перерізів $\gamma_c = 1,0$.

7. Всі інші колонки (4, 5, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 17) заповнюються за даним підбраного перерізу для кожного елемента ферми окремо.

Підбір перерізів виконується за наступними сортаментами, які наведені в Довідниках [7, 8].

Підбір перерізів для розтягнутих і для стиснутих елементів дещо відрізняється і має свої особливості.

7.1. Розтягнуті елементи підбираються в такій послідовності:

а) спочатку з умови міцності визначають потрібну площу перерізу елемента за виразом (4)

$$A_{cal} = \frac{N}{R_y \cdot \gamma_c}. \quad (4)$$

б) потім за відповідним сортаментом обирають переріз з **найближчою більшою площею A та з можливо меншою товщиною**. За умовами розрахунку ферм гранична висота перерізів не має перевищувати 1/10 геометричної довжини елементів.

в) далі для підбраного перерізу з сортаменту виписуються значення радіусів інерції відносно горизонтальної і вертикальної осей та розраховуються гнучкості у вертикальній і горизонтальній площинах¹ за виразами (5) і (6)

$$\lambda_{ef} = \frac{l_{ef}}{i_{ef}}, \quad (5)$$

$$\lambda_{ef,1} = \frac{l_{ef,1}}{i_{ef,1}}. \quad (6)$$

Відмітимо, що для перерізів з подвійних кутиків значення подвоєної площі та радіусів інерції перерізу зручно приймати за даними таблиць пп. 3.2 – 3.4 Довідника [7].

З двох значень гнучкостей обирають найбільше $\lambda_{\max}$ та порівнюють його з граничним значенням за умовою (7)

$$\lambda_{\max} \leq \lambda_u. \quad (7)$$

Якщо ця умова не виконується, то підбирають наступний за сортаментом переріз з більшим радіусом інерції.

г) якщо попередня умова (7) виконується, то обчислюють коефіцієнт ефективності перерізу за виразом (8), який має знаходитись в діапазоні 0,95–1,02

$$\alpha = \frac{N}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c}. \quad (8)$$

д) остаточно прийнятий переріз заносять в колонку 4 таблиці (табл. 3 – 6). Всі інші розраховані параметри для цього перерізу заносять у відповідні колонки 5, 8, 9, 11, 12 і 17. В колонках 14 і 15 ставлять прочерки.

7.2. Стиснуті елементи підбираються в такій послідовності:

а) спочатку з умови загальної стійкості визначають потрібну площу перерізу елемента за виразом (9)

$$A_{cal} = \frac{N}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \quad (9)$$

¹ Хоча примітка 1 до табл. 13.10 норм ДБН [1] дозволяє не перевіряти гнучкість розтягнутих елементів у горизонтальній площині у випадку дії статичних навантажень, проте в практиці проектування таку перевірку рекомендується виконувати, адже динамічні навантаження від мостових кранів передаються і на кровляні ферми.

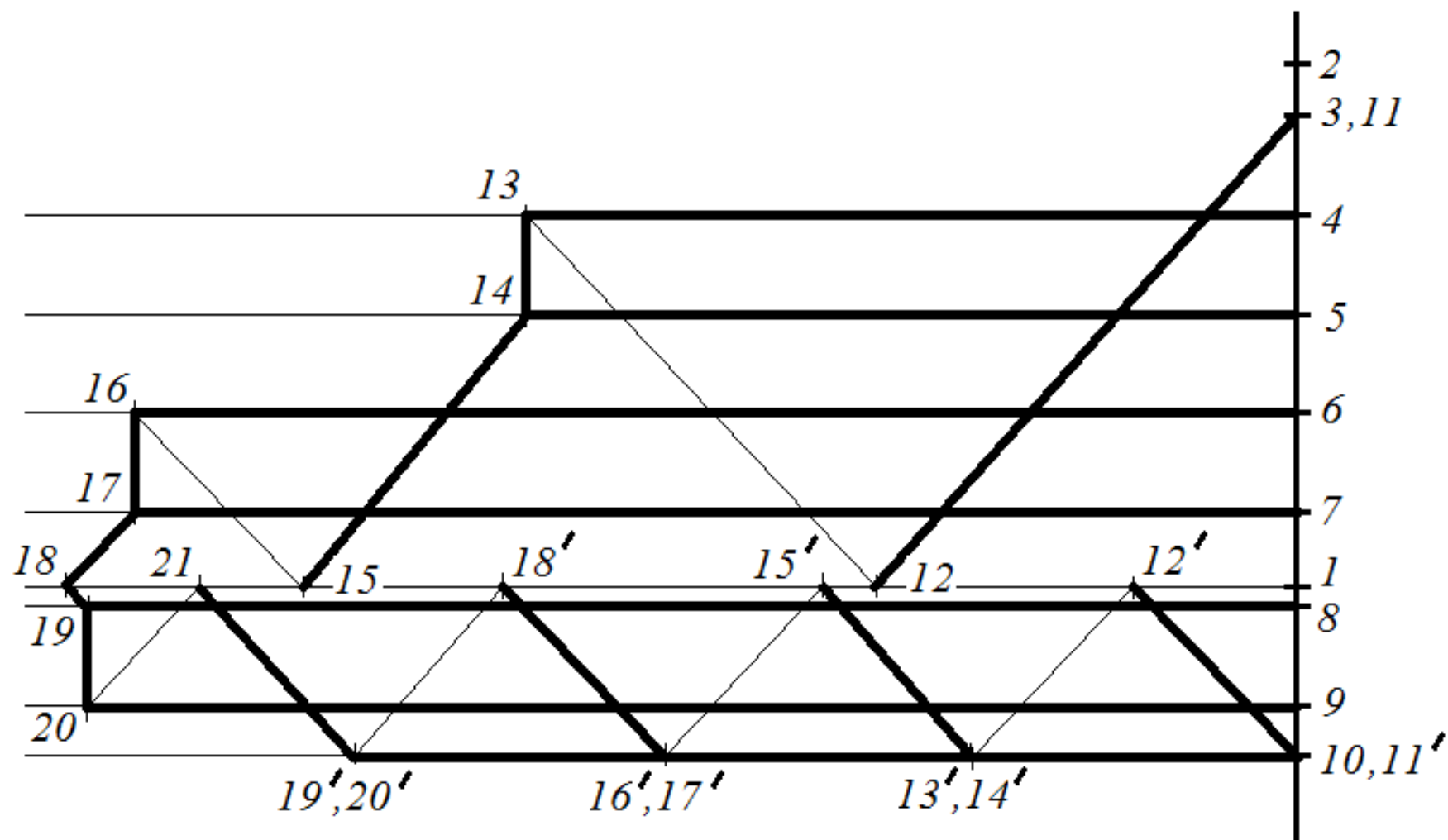


Рис. 6. Діаграма Максвелла-Кремони для кроквяної ферми.

Таблиця 2

Зусилля в елементах кроквяної ферми

Елемент ферми		Зусилля від одиничного навантаження $Q = 1,0$ кПа для завантаженої ферми, кН			Зусилля від розрахункового граничного значення навантажень, кН				Розрахункове зусилля N , кН
					постійного $q_m = 3,44$ кПа	змінного снігового $S_m = 1,14$ кПа для завантаженої ферми			
		ліворуч	праворуч	повністю		ліворуч	праворуч	повністю	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Верхній пояс	3-11	0	0	0	0	0	0	0	0
	4-13	-129	-52	-181	-623	-147	-59	-206	-829
	5-14	-129	-52	-181	-623	-147	-59	-206	-829
	6-16	-197	-104	-301	-1035	-225	-119	-343	-1378
	7-17	-197	-104	-301	-1035	-225	-119	-343	-1378
	8-19	-204	-156	-360	-1238	-233	-178	-410	-1648
	9-20	-204	-156	-360	-1238	-233	-178	-410	-1648
Нижній пояс	1-12	+71	+26	+97	+339	+81	+30	+111	+450
	1-15	+170	+78	+248	+853	+194	+89	+283	+1136
	1-18	+208	+130	+338	+1163	+237	+148	+385	+1548
	1-21	+188	+188	+376	+1293	+214	+214	+429	+1722
Розкоси	11-12	-111	-41	-152	-523	-127	-47	-173	-696
	12-13	+89	+41	+130	+447	+101	+47	+148	+595
	14-15	-64	-41	-105	-361	-73	-47	-120	-481
	15-16	+42	+41	+83	+286	+48	+47	+95	+381
	17-18	-19	-41	-60	-206	-22	-47	-68	-274
	18-19	-5	+41	+36	+124	-6	+47	+41	+171
	20-21	+29	-41	-12	-41	+33	-47	-14	-88
Стійки	2-11	-9	0	-9	-31	-10	0	-10	-41
	13-14	-18	0	-18	-62	-21	0	-21	-83
	16-17	-18	0	-18	-62	-21	0	-21	-83
	19-20	-18	0	-18	-62	-21	0	-21	-83

Таблиця 3

Підбір перерізів елементів кроквяної ферми з подвійних кутиків

Елемент ферми		Розрахункове зусилля N , кН	Переріз	A , см ²	l , см	У площині ферми			З площини ферми			λ_u	$\bar{\lambda}$	φ_{min}	γ_c	Коефіцієнт ефективності α
						l_{ef} , см	i_{ef} , см	λ_{ef}	$l_{ef,1}$, см	$i_{ef,1}$, см	$\lambda_{ef,1}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Верхній пояс	3-11	0	 –	–	300	300	–	–	300	–	–	120	–	–	1,0	–
	4-13	–829	 125×125×10	48,66	300	300	3,85	78	300	5,37	56	120	3,10	0,544	1,0	0,96
	5-14	–829	 125×125×10	48,66	300	300	3,85	78	300	5,37	56	120	3,10	0,544	1,0	0,96
	6-16	–1378	 160×160×10	62,86	300	300	4,96	60	300	6,76	44	120	2,38	0,676	1,0	1,00
	7-17	–1378	 160×160×10	62,86	300	300	4,96	60	300	6,76	44	120	2,38	0,676	1,0	1,00
	8-19	–1648	 160×160×12	74,78	300	300	4,94	61	300	6,81	44	120	2,42	0,668	1,0	1,02
	9-20	–1648	 160×160×12	74,78	300	300	4,94	61	300	6,81	44	120	2,42	0,668	1,0	1,02
Нижній пояс	1-12	+450	 63×63×6	14,56	600	600	1,93	311	600	2,84	211	400	–	–	1,0	0,95
	1-15	+1136	 100×100×10	38,48	600	600	3,05	197	1200	4,37	275	400	–	–	1,0	0,91
	1-18	+1548	 125×125×10	48,66	600	600	3,85	156	1200	5,37	223	400	–	–	1,0	0,98
	1-21	+1722	 125×125×12	57,78	600	600	3,82	157	600	5,41	111	400	–	–	1,0	0,92
Розкоси	11-12	–696	 140×140×12	64,98	469	469	4,31	109	469	6,02	78	120	4,33	0,359	1,0	0,92
	12-13	+595	 70×70×7	18,84	469	375	2,14	175	469	3,13	150	400	–	–	1,0	0,97
	14-15	–481	 125×125×9	44,00	469	375	3,86	97	469	5,35	88	150	3,85	0,423	0,8	0,99
	15-16	+381	 63×63×5	12,26	469	375	1,94	193	469	2,82	166	400	–	–	1,0	0,96
	17-18	–274	 100×100×10	38,48	469	375	3,05	123	469	4,37	107	150	4,89	0,299	0,8	0,92
	18-19	+171	 35×35×4	5,34	469	375	1,06	354	469	1,69	278	400	–	–	1,0	0,99
	20-21	–88	 90×90×6	21,22	469	375	2,78	135	469	3,90	120	150	5,36	0,258	0,8	0,62
Стіжки	13-14	–83	 63×63×6	14,56	360	288	1,93	149	360	2,84	127	150	5,92	0,217	0,8	1,01
	16-17	–83	 56×56×5	10,82	360	288	2,16	133	360	–	–	150	5,28	0,273	1,0	0,86
	19-20	–83	 63×63×6	14,56	360	288	1,93	149	360	2,84	127	150	5,92	0,217	0,8	1,01

Таблиця 4

Підбір перерізів елементів кроквяної ферми з таврів (пояси) і подвійних кутиків (решітка)

Елемент ферми		Розрахункове зусилля N , кН	Переріз	A , см ²	l , см	У площині ферми			З площини ферми			λ_u	$\bar{\lambda}$	φ_{min}	γ_c	Коефіцієнт ефективності α
						l_{ef} , см	i_{ef} , см	λ_{ef}	$l_{ef,1}$, см	$i_{ef,1}$, см	$\lambda_{ef,1}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Верхній пояс	3-11	0	T –	–	300	300	–	–	300	–	–	120	–	–	1,0	–
	4-13	–829	T 17,5ШТ1	47,50	300	300	4,52	66	300	5,86	51	120	2,62	0,631	1,0	0,85
	5-14	–829	T 17,5ШТ1	47,50	300	300	4,52	66	300	5,86	51	120	2,62	0,631	1,0	0,85
	6-16	–1378	T 20ШТ2	70,37	300	300	5,15	58	300	7,16	42	120	2,30	0,691	1,0	0,87
	7-17	–1378	T 20ШТ2	70,37	300	300	5,15	58	300	7,16	42	120	2,30	0,691	1,0	0,87
	8-19	–1648	T 20ШТ3	78,14	300	300	5,15	58	300	7,20	42	120	2,30	0,691	1,0	0,94
	9-20	–1648	T 20ШТ3	78,14	300	300	5,15	58	300	7,20	42	120	2,30	0,691	1,0	0,94
Нижній пояс	1-12	+450	⊥ 13ШТ1	26,94	600	600	3,27	183	600	4,25	141	400	–	–	1,0	0,51
	1-15	+1136	⊥ 15ШТ2	38,53	600	600	3,84	156	1200	4,75	253	400	–	–	1,0	0,91
	1-18	+1548	⊥ 17,5ШТ2	52,02	600	600	4,49	134	1200	5,92	203	400	–	–	1,0	0,92
	1-21	+1722	⊥ 17,5ШТ3	57,78	600	600	4,45	134	600	6,01	100	400	–	–	1,0	0,92
Розкоси	11-12	–696	⌋ 140×140×12	64,98	469	469	4,31	109	469	6,02	78	120	4,33	0,359	1,0	0,92
	12-13	+595	⌋ 70×70×7	18,84	469	375	2,14	175	469	3,13	150	400	–	–	1,0	0,97
	14-15	–481	⌋ 125×125×9	44,00	469	375	3,86	97	469	5,35	88	150	3,85	0,423	0,8	0,99
	15-16	+381	⌋ 63×63×5	12,26	469	375	1,94	193	469	2,82	166	400	–	–	1,0	0,96
	17-18	–274	⌋ 100×100×10	38,48	469	375	3,05	123	469	4,37	107	150	4,89	0,299	0,8	0,92
	18-19	+171	⌋ 35×35×4	5,34	469	375	1,06	354	469	1,69	278	400	–	–	1,0	0,99
	20-21	–88	⌋ 90×90×6	21,22	469	375	2,78	135	469	3,90	120	150	5,36	0,258	0,8	0,62
Стіжки	13-14	–83	⌋ 63×63×6	14,56	360	288	1,93	149	360	2,84	127	150	5,92	0,217	0,8	1,01
	16-17	–83	⌋ 56×56×5	10,82	360	288	2,16	133	360	–	–	150	5,28	0,273	1,0	0,86
	19-20	–83	⌋ 63×63×6	14,56	360	288	1,93	149	360	2,84	127	150	5,92	0,217	0,8	1,01

Таблиця 5

Підбір перерізів елементів кроквяної ферми з труб

Елемент ферми		Розрахункове зусилля N , кН	Переріз	A , см ²	l , см	У площині ферми			З площини ферми			λ_u	$\bar{\lambda}$	φ_{min}	γ_c	Коефіцієнт ефективності α
						l_{ef} , см	i_{ef} , см	λ_{ef}	$l_{ef,1}$, см	$i_{ef,1}$, см	$\lambda_{ef,1}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Верхній пояс	3-11	0	О –	–	300	300	–	–	300	–	–	120	–	–	1,0	–
	4-13	–829	О 219×4	27,02	300	300	7,60	39	300	7,60	39	120	1,55	0,925	1,0	1,02
	5-14	–829	О 219×4	27,02	300	300	7,60	39	300	7,60	39	120	1,55	0,925	1,0	1,02
	6-16	–1378	О 219×7	46,62	300	300	7,50	40	300	7,50	40	120	1,59	0,921	1,0	0,99
	7-17	–1378	О 219×7	46,62	300	300	7,50	40	300	7,50	40	120	1,59	0,921	1,0	0,99
	8-19	–1648	О 219×9	59,38	300	300	7,43	40	300	7,43	40	120	1,59	0,921	1,0	0,93
	9-20	–1648	О 219×9	59,38	300	300	7,43	40	300	7,43	40	120	1,59	0,921	1,0	0,93
Нижній пояс	1-12	+450	О 95×5	14,14	600	600	3,19	188	600	3,19	188	400	–	–	1,0	0,98
	1-15	+1136	О 168×7	35,41	600	600	5,70	105	1200	5,70	211	400	–	–	1,0	0,99
	1-18	+1548	О 219×8	53,03	600	600	7,47	80	1200	7,47	161	400	–	–	1,0	0,90
	1-21	+1722	О 219×8	53,03	600	600	7,47	80	600	7,47	80	400	–	–	1,0	1,00
Розкоси	11-12	–696	О 193,7×5	29,64	469	469	6,67	70	469	6,67	70	120	2,78	0,751	1,0	0,96
	12-13	+595	О 114×5,5	18,75	469	422	3,84	110	422	3,84	110	400	–	–	1,0	0,98
	14-15	–481	О 152×5	23,09	469	422	5,20	81	422	5,20	81	150	3,22	0,656	1,0	0,98
	15-16	+381	О 76×5,5	12,18	469	422	2,50	169	422	2,50	169	400	–	–	1,0	0,96
	17-18	–274	О 127×4,5	17,32	469	422	4,33	97	422	4,33	97	150	3,85	0,516	1,0	0,94
	18-19	+171	О 53×3,5	5,44	469	422	1,75	241	422	1,75	241	400	–	–	1,0	0,97
	20-21	–88	О 89×4,5	11,95	469	422	2,99	141	422	2,99	141	150	5,60	0,242	1,0	0,94
Стілки	13-14	–83	О 76×3,8	8,62	360	324	2,56	127	324	2,56	127	150	5,04	0,299	1,0	0,99
	16-17	–83	└┐ 63×63×4	9,92	360	324	2,45	132	324	–	–	150	5,24	0,277	1,0	0,93
	19-20	–83	О 76×3,8	8,62	360	324	2,56	127	324	2,56	127	150	5,04	0,299	1,0	0,99

Таблиця 6

Підбір перерізів елементів кроквяної ферми з гнutoзварних профілів

Елемент ферми		Розрахункове зусилля N , кН	Переріз	A , см ²	l , см	У площині ферми			З площини ферми			λ_u	$\bar{\lambda}$	φ_{min}	γ_c	Коефіцієнт ефективності α
						l_{ef} , см	i_{ef} , см	λ_{ef}	$l_{ef,1}$, см	$i_{ef,1}$, см	$\lambda_{ef,1}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Верхній пояс	3-11	0	□ –	–	300	300	–	–	300	–	–	120	–	–	1,0	–
	4-13	–829	□ 160×160×5	30,36	300	300	6,29	48	300	6,29	48	120	1,91	0,887	1,0	0,95
	5-14	–829	□ 160×160×5	30,36	300	300	6,29	48	300	6,29	48	120	1,91	0,887	1,0	0,95
	6-16	–1378	□ 180×180×7	46,76	300	300	6,99	43	300	6,99	43	120	1,71	0,909	1,0	1,00
	7-17	–1378	□ 180×180×7	46,76	300	300	6,99	43	300	6,99	43	120	1,71	0,909	1,0	1,00
	8-19	–1648	□ 180×180×9	55,83	300	300	6,91	43	300	6,91	43	120	1,71	0,909	1,0	1,00
	9-20	–1648	□ 180×180×9	55,83	300	300	6,91	43	300	6,91	43	120	1,71	0,909	1,0	1,00
Нижній пояс	1-12	+450	□ 80×80×5	14,36	600	600	3,02	199	600	3,02	199	400	–	–	1,0	0,96
	1-15	+1136	□ 140×140×7	35,56	600	600	5,36	112	1200	5,36	224	400	–	–	1,0	0,98
	1-18	+1548	□ 180×180×7,5	49,82	600	600	6,97	86	1200	6,97	172	400	–	–	1,0	0,96
	1-21	+1722	□ 180×180×9	55,83	600	600	6,91	87	600	6,91	87	400	–	–	1,0	0,95
Розкоси	11-12	–696	□ 140×140×7	35,56	469	469	5,36	88	469	5,36	88	120	3,50	0,594	1,0	1,01
	12-13	+595	□ 80×80×7	18,76	469	422	2,90	146	422	2,90	146	400	–	–	1,0	0,98
	14-15	–481	□ 120×120×6	26,43	469	422	4,61	92	422	4,61	92	150	3,65	0,562	1,0	1,00
	15-16	+381	□ 70×70×5	12,36	469	422	2,62	161	422	2,62	161	400	–	–	1,0	0,95
	17-18	–274	□ 100×100×6	21,63	469	422	3,79	111	422	3,79	111	150	4,41	0,391	1,0	1,00
	18-19	+171	□ 40×40×4	5,35	469	422	1,44	293	422	1,44	293	400	–	–	1,0	0,98
	20-21	–88	□ 80×80×3,5	10,39	469	422	3,10	136	422	3,10	136	150	5,40	0,261	1,0	1,00
Стіжки	13-14	–83	□ 70×70×3	7,81	360	324	2,71	120	324	2,71	120	150	4,77	0,334	1,0	0,98
	16-17	–83	└┐ 63×63×4	9,92	360	324	2,45	132	324	–	–	150	5,24	0,277	1,0	0,93
	19-20	–83	□ 70×70×3	7,81	360	324	2,71	120	324	2,71	120	150	4,77	0,334	1,0	0,98

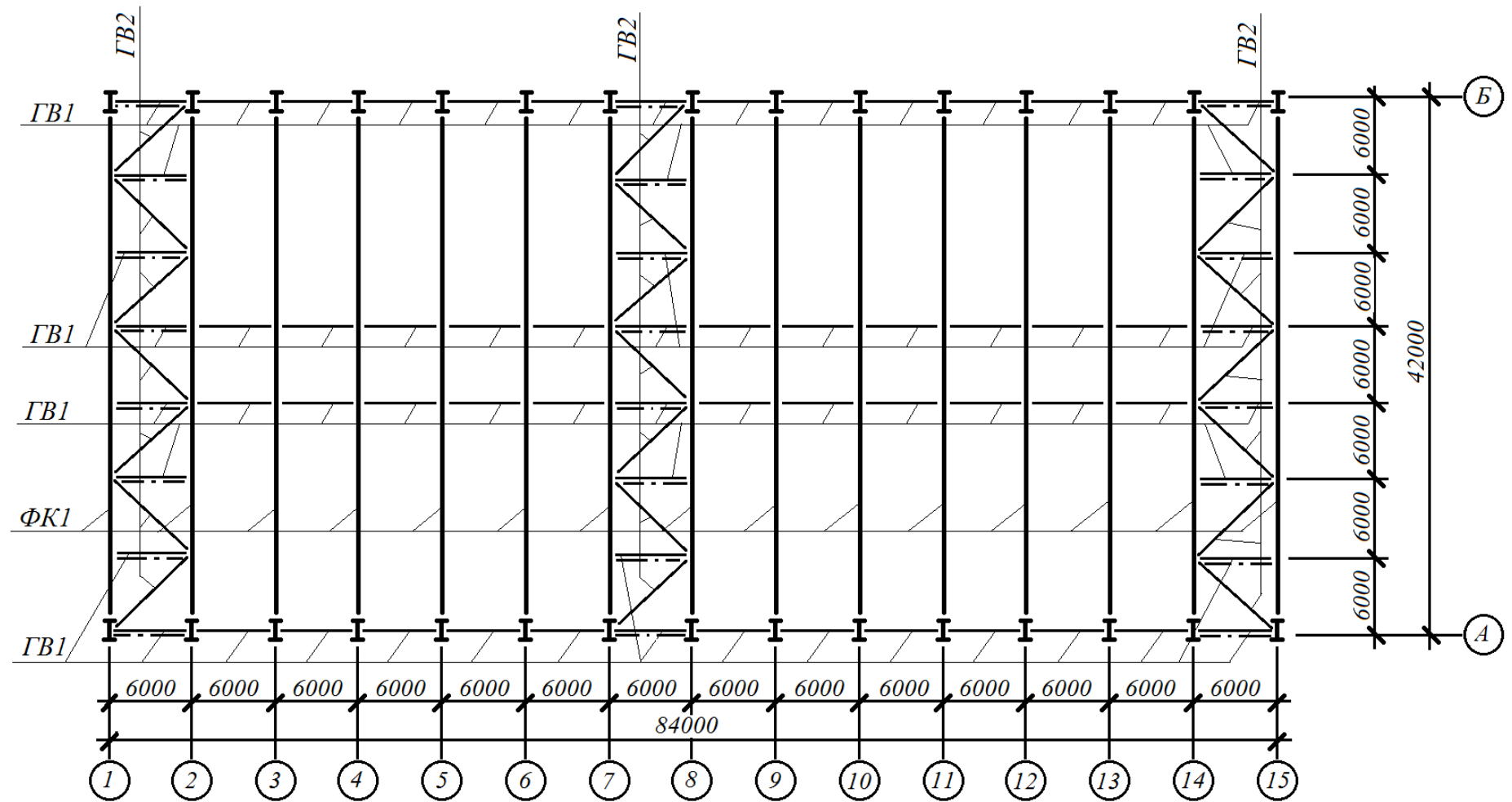


Рис. 7. План в'язей по верхніх поясах кроквяних ферм.

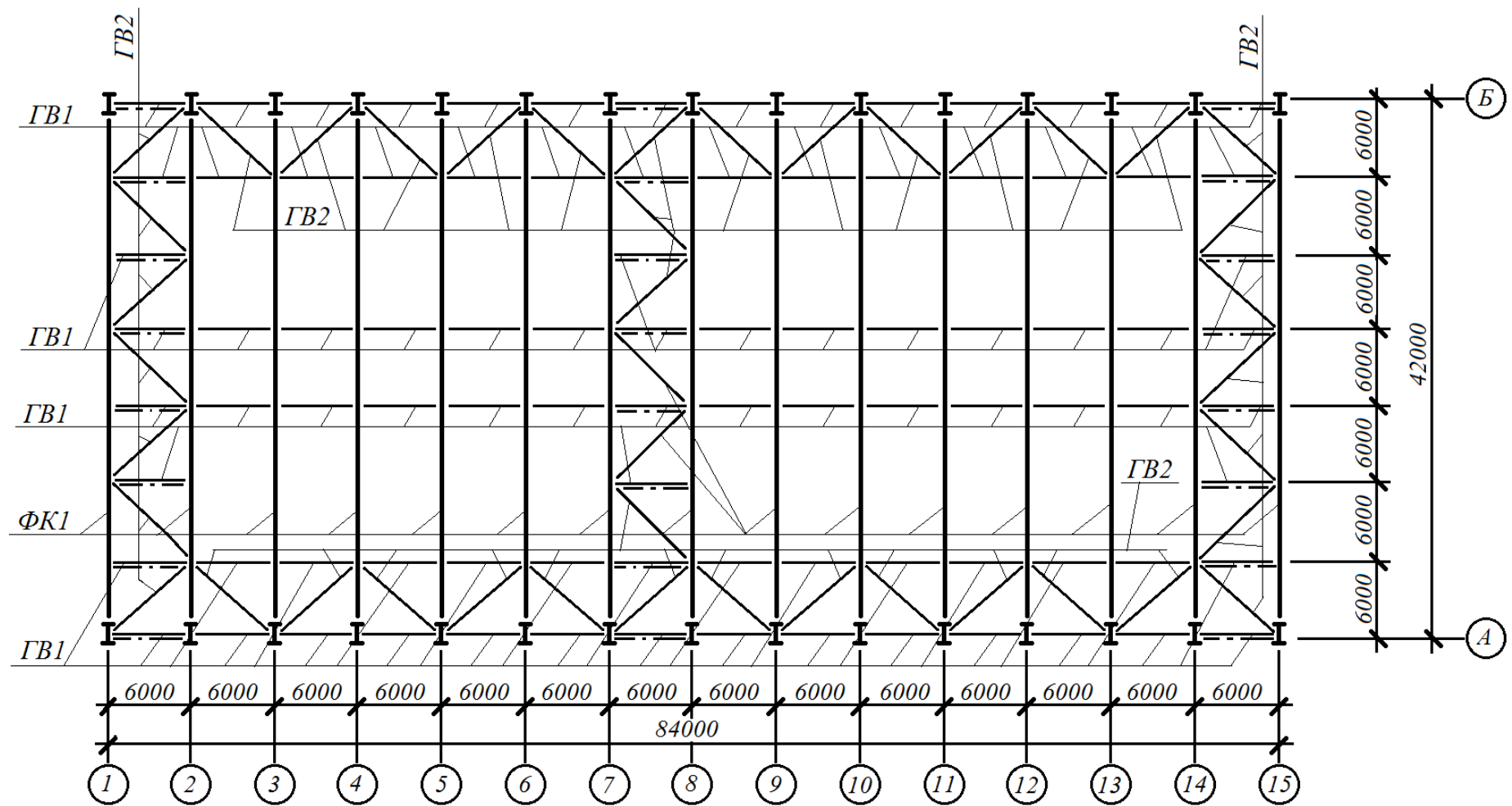


Рис. 8. План в'язей по нижніх поясах кроквяних ферм.

де коефіцієнт стійкості приймається в першому наближенні $\varphi = 0,7$.

б) потім за відповідним сортаментом обирають переріз з **найближчою більшою площею A та з можливо меншою товщиною**. За умовами розрахунку ферм гранична висота перерізів не має перевищувати $1/10$ геометричної довжини елементів.

в) далі для підбраного перерізу з сортаменту виписуються значення радіусів інерції відносно горизонтальної і вертикальної осей та розраховуються гнучкості у вертикальній і горизонтальній площинах за виразами (5) і (6)

$$\lambda_{ef} = \frac{l_{ef}}{i_{ef}}, \quad (5)$$

$$\lambda_{ef,1} = \frac{l_{ef,1}}{i_{ef,1}}. \quad (6)$$

Відмітимо, що для перерізів з подвійних кутиків значення подвоєної площі та радіусів інерції перерізу зручно приймати за даними таблиць пп. 3.2 – 3.4 Довідника [7].

З двох значень гнучкостей обирають найбільше $\lambda_{\max}$ та порівнюють його з граничним значенням за умовою (7)

$$\lambda_{\max} \leq \lambda_u. \quad (7)$$

Якщо ця умова не виконується, то підбирають наступний за сортаментом переріз з більшим радіусом інерції.

г) якщо попередня умова (7) виконується, то обчислюють умовну гнучкість за виразом (10)

$$\bar{\lambda} = \lambda_{\max} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}. \quad (10)$$

д) за величиною умовної гнучкості за табл. Ж.1 дод. Ж ДБН [1] (наведена в табл. В.3 дод. В до методичних вказівок) визначають коефіцієнт стійкості $\varphi_{\min}$. При цьому тип кривої стійкості обирають в залежності від типу перерізу елемента за табл. 8.1 ДБН [1], витяг з якої наведений в табл. В.2 дод. В до методичних вказівок.

е) обчислюють коефіцієнт ефективності перерізу за виразом (11)

$$\alpha = \frac{N}{\varphi_{\min} \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c}. \quad (11)$$

ж) якщо цей коефіцієнт не знаходиться в межах 0,95 – 1,02, то повторюють підбір перерізу за сортаментом з більшою або меншою площею та переходять до виконання пункту в).

з) якщо умова (11) виконується в допустимих межах, то остаточно прийнятий переріз заносять в колонку 4 таблиці (табл. 3 – 6). Всі інші розраховані параметри для цього перерізу заносять у відповідні колонки 5, 8, 9, 11, 12, 14, 15 і 17.

1.5.1. Приклад підбору перерізу розтягнутого елемента.

Розглянемо приклад підбору перерізу розтягнутого елемента кроквяної ферми для нашому випадку з подвійних кутиків. Оберемо найбільш навантажений елемент 1-21.

а) потрібна площа перерізу елемента становить

$$A_{cal} = \frac{N}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1722}{32,5 \cdot 1,0} = 52,98 \text{ см}^2.$$

б) за таблицею п. 3.2 Довідника [7] обираємо переріз з подвійних кутиків 125×125×12 з сумарною площею $A = 57,78 \text{ см}^2$ (висота перерізу менша за $\frac{l}{10} = \frac{600}{10} = 60 \text{ см} = 600 \text{ мм}$).

в) значення радіусів інерції відносно горизонтальної і вертикальної осей для цього перерізу за таблицею п. 3.2 Довідника [7] дорівнюють $i_{ef} = 3,82 \text{ см}$ і $i_{ef,1} = 5,41 \text{ см}$ (для найменшої можливої товщини фасонки).

Гнучкості у вертикальній і горизонтальній площинах дорівнюють

$$\lambda_{ef} = \frac{l_{ef}}{i_{ef}} = \frac{600}{3,82} = 157,$$

$$\lambda_{ef,1} = \frac{l_{ef,1}}{i_{ef,1}} = \frac{600}{5,41} = 111.$$

Перевіряємо гнучкість

$$\lambda_{max} = \lambda_{ef} = 157 \leq \lambda_u = 400, \text{ таким чином умова виконується.}$$

г) коефіцієнт ефективності перерізу дорівнює

$$\alpha = \frac{N}{A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1722}{57,78 \cdot 32,5 \cdot 1,0} = 0,92.$$

Найближчий менший переріз з подвійних кутиків 125×125×10 з сумарною площею $A = 48,66 \text{ см}^2$ має коефіцієнт ефективності $\alpha = 1,09$, що є неприпустимим. Тому остаточно залишаємо переріз з подвійних кутиків 125×125×12.

д) підібраний таким чином переріз заносимо в колонку 4 табл. 3. Всі інші розраховані параметри для цього перерізу заносимо у відповідні колонки 5, 8, 9, 11, 12 і 17. В колонках 14 і 15 ставимо прочерки.

1.5.2. Приклад підбору перерізу стиснутого елемента.

Розглянемо приклад підбору перерізу стиснутого елемента кроквяної ферми для нашому випадку з подвійних кутиків. Оберемо найбільш навантажений елемент 9-20.

а) потрібна площа перерізу елемента становить

$$A_{cal} = \frac{N}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1648}{0,7 \cdot 32,5 \cdot 1,0} = 72,44 \text{ см}^2.$$

б) за таблицею п. 3.2 Довідника [7] обираємо переріз з подвійних кутиків $160 \times 160 \times 12$ з сумарною площею $A = 74,78 \text{ см}^2$ (висота перерізу менша за $\frac{l}{10} = \frac{300}{10} = 30 \text{ см} = 300 \text{ мм}$).

в) значення радіусів інерції відносно горизонтальної і вертикальної осей для цього перерізу за таблицею п. 3.2 Довідника [7] дорівнюють $i_{ef} = 4,94 \text{ см}$ і $i_{ef,1} = 6,81 \text{ см}$ (для найменшої можливої товщини фасонки).

Гнучкості у вертикальній і горизонтальній площинах дорівнюють

$$\lambda_{ef} = \frac{l_{ef}}{i_{ef}} = \frac{300}{4,94} = 61,$$

$$\lambda_{ef,1} = \frac{l_{ef,1}}{i_{ef,1}} = \frac{300}{6,81} = 44.$$

Перевіряємо гнучкість

$$\lambda_{max} = \lambda_{ef} = 61 \leq \lambda_u = 120, \text{ таким чином умова виконується.}$$

г) умовна гнучкість дорівнює

$$\bar{\lambda} = \lambda_{max} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 61 \cdot \sqrt{\frac{32,5}{20600}} = 2,42$$

д) за табл. Ж.1 дод. Ж ДБН [1] (наведена в табл. В.3 дод. В до методичних вказівок) визначаємо коефіцієнт стійкості $\varphi_{min} = 0,668$ для типу кривої стійкості с за табл. 8.1 ДБН [1] (наведена в табл. В.2 дод. В до методичних вказівок).

е) коефіцієнт ефективності перерізу дорівнює

$$\alpha = \frac{N}{\varphi_{min} \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1648}{0,668 \cdot 74,78 \cdot 32,5 \cdot 1,0} = 1,02.$$

ж) коефіцієнт ефективності знаходиться в допустимих межах, тому остаточно залишаємо переріз з подвійних кутиків $160 \times 160 \times 12$.

з) підібраний таким чином переріз заносимо в колонку 4 табл. 3. Всі інші розраховані параметри для цього перерізу заносимо у відповідні колонки 5, 8, 9, 11, 12, 14, 15 і 17.

Перерізи елементів кроквяної ферми інших типів підбираються абсолютно аналогічно і заносяться до табл. 4 – 6.

1.6. Уніфікація елементів.

З метою підвищення технологічності виготовлення кроквяної ферми після підбору перерізів її елементів виконують їх уніфікацію. При цьому користуються наступними положеннями, які називають правилами технологічності.

1. В одній фермі має бути до 6 типів перерізів елементів. Рекомендується для верхнього поясу приймати один тип профілю, для нижнього поясу також один тип профілю, всі стійки виконувати з одного типу профілю (крім стійки в місці з'єднання відправних марок), а розкоси виконувати з 2 ... 3 видів профілів. Це обмеження спрощує пошук необхідних профілів на ринку.

2. Для профілів одного розміру мінімальна різниця товщин має бути 3 мм. Це обмеження дозволяє уникнути плутанини зі схожими профілями при зборці ферми, оскільки така різниця товщин розрізняється «на око».

3. Мінімальна товщина стінки профілю має бути 3 мм. Це обмеження дозволяє уникнути пропалу стінки для зварних ферм.

4. Мініально допустимий профіль має бути:

- для кутика 50×50×3;
- для труби 51×3;
- для гнutoзварного профілю 60×60×3.

Це обмеження дозволяє забезпечити необхідну жорсткість елементу ферми при транспортуванні та монтажі.

5. Для ферм з труб діаметр елементів решітки має бути не менше 1/3 діаметра елементів поясів і не більше діаметра поясів. Це обмеження дозволяє забезпечити місцеву стійкість в місці з'єднання елементів.

6. Для ферм з гнutoзварних профілів ширина елементів решітки не повинна відрізнятись від ширини елементів поясів більш ніж на 40 мм і має бути не більше ширини поясів. Це обмеження дозволяє забезпечити місцеву стійкість в місці з'єднання елементів.

Всі підібрані перерізи елементів коригуються відповідно до наведених правил технологічності. Остаточні обрані перерізи наведені в табл. 7.

Таблиця 7

Остаточні підібрані перерізи елементів кроквяної ферми

Елемент ферми		Переріз елементів ферми з			
		подвійних кутиків	тавра (пояси) і кутиків (решітка)	труби	гнутозварного профілю
Верхній пояс		 160×160×12	T 20ШТЗ	O 219×9	□ 180×180×9
Нижній пояс		 125×125×12	⊥ 17,5ШТЗ	O 219×9	□ 180×180×9
Розкоси	11-12	 140×140×12	 140×140×12	O 193,7×5	□ 140×140×7
	14-15, 17-18	 125×125×9	 125×125×9	O 152×5	□ 140×140×7
	інші	 90×90×6	 90×90×6	O 114×5,5	□ 140×140×4
Стойки	16-17	 56×56×5	 56×56×5	 56×56×5	 56×56×5
	13-14, 19-20	 90×90×6	 90×90×6	O 76×3,8	□ 140×140×4

2. КОНСТРУЮВАННЯ КРОКВЯНОЇ ФЕРМИ

У цьому розділі курсового проекту необхідно законструювати розраховану в попередньому розділі кроквяну ферму та розробити її креслення.

2.1. Загальне компонування листа.

Креслення ферми може виконуватись на листі формату А2 (розміри 594×420 мм) в стадії КМД. Загальне компонування листа наведено на рис. 9.

1	2	6	
3			
4			
		7	8
		9	
5	10		

Рис. 9. Загальне компонування креслення кроквяної ферми.

На цьому листі у відповідних полях зображують наступні елементи:

- 1 – геометрична схема кроквяної ферми;
- 2 – монтажна схема кроквяної ферми;
- 3 – вид зверху на відправну марку;
- 4 – вид збоку на відправну марку;
- 5 – вид знизу на відправну марку;
- 6 – таблиця специфікації металопродукту;
- 7 – таблиця заводських зварних швів;
- 8 – таблиця відправних марок;
- 9 – примітки;
- 10 – штамп.

Положення полів на листі не може змінюватись.

Всі креслення на листі виконуються в масштабі, проте сам масштаб не вказується. Для креслень металоконструкцій використовують наступні масштаби – 1:2, 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25, 1:40, 1:50, 1:75, 1:100, 1:200, 1:400, 1:500.

Поля на листі заповнюють наступним чином.

1. Геометрична схема викреслюється за рис. 1 (рекомендований масштаб 1:100, 1:200).

2. Монтажна схема викреслюється за рис. 4 (рекомендований масштаб 1:100, 1:200).

3 – 5. Викреслюється одна відправна марка ферми. При цьому допускається використовувати викривлений масштаб – відстані між вузлами зображують в меншому масштабі (наприклад, 1:25 або 1:50), а перерізи елементів в більшому (наприклад, 1:10 або 1:20). Креслення виконують поетапно:

а) у вибраному масштабі зображують геометричні осі всіх елементів ферми, які мають перетинатись в одній точці. Допустиме розцентрування має не перевищувати величини 1/10 ширини пояса ферми;

б) у вибраному масштабі зображують остаточно визначені перерізи елементів за табл. 7. Ось має проходити через центр ваги перерізу;

в) конструюють вузли ферми, за правилами наведеними нижче в п. 2.2;

г) нумерують всі деталі відправної марки ферми для складання специфікації.

6. Специфікацію заповнюють за формою, наведеною на рис. 10.

7. Таблицю заводських зварних швів заповнюють за формою, наведеною на рис. 11.

8. Таблицю відправних марок заповнюють за формою, наведеною на рис. 12.

9. Примітки узагальнюють вказівки по виготовленню відправної марки. Рекомендується наводити типові примітки за табл. 8.

10. Штамп заповнюють за формою, прийнятого зразку (наприклад, наведеної на рис. 13).

Всі підписи на листі виконуються шрифтами трьох розмірів:

- розмір 3,5 для постановки всіх розмірів (поля 1 – 5), заповнення штампу (поле 10);
- розмір 5 для нумерації деталей відправної марки (поля 3 – 5), заповнення таблиць (поля 6 – 8), запису приміток (поле 9);
- розмір 7 для підпису назв схем (поля 1 і 2), підпису назв таблиць (поля 6 – 8).

Всі креслення виконуються з використанням ліній двох товщин:

- основна (0,5 – 1 мм) для зображення видимого контуру елементів і креслення таблиць;

- тонка (0,1 – 0,3 мм) для зображення всіх інших елементів та постановки розмірів.

Специфікація металопроката

Мар- ка	№ дет.	Кіль-ть		Переріз	Довжина, мм	Маса, кг			Примітки
		т	н			дет.	всіх	марки	
15	15	10	10	40	20	15	15	15	30
185									

Рис. 10. Форма для таблиці специфікації металопрокату.

Заводські зварні шви

Мар- ка	Кіль- ть	h шва	Довжина, м		Вага на марку	При- мітки
			марки	заг.		
15	15	15	15	15	15	15
105						

Рис. 11. Форма для таблиці заводських зварних швів.

Потрібно

Мар- ка	Кіль- ть	Маса, кг	
		марки	всіх
15	15	20	20
70			

Рис. 12. Форма для таблиці відправних марок.

Типові примітки до креслень металоконструкцій

№ пор.	Текст примітки
Основні	
1.	Матеріал конструкцій – сталь класу С... за ГОСТ
2.	Всі заводські з'єднання зварні. Зварювання виконувати електродами типу ...
3.	Катет неоговорених зварних швів ... мм.
4.	Всі отвори свердлити діаметром ... мм під болти діаметром ... мм крім оговорених.
5.	Торець опорної планки фрезерувати.
6.	Виготовлення і монтаж конструкцій виконувати відповідно до діючих технічних умов.
7.	Сталеві конструкції запроектовані відповідно до діючих норм ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування».
Додаткові	
8.	Креслення металоконструкції розроблені на основі ... (технічного завдання, архітектурно-будівельних креслень).
9.	Заходи щодо захисту сталевих конструкцій від корозії відповідно до діючих норм ДБН ...
10.	Після виготовлення сталеві конструкції відгрунтувати та пофарбувати масляною фарбою за 2 рази.

Technical drawing of a drawing sheet layout. The sheet is rectangular with dimensions 185 (width) and 55 (height). The layout is divided into several sections by a grid of lines. The top section contains a header with the text "Навчальний № студента, група" (Educational No. of student, group) and "Український державний університет науки і технологій" (Ukrainian State University of Science and Technology). Below this is a table with columns for "Змін." (Changes), "Кільк." (Quantity), "Арк." (Sheet), "№ док." (Doc. No.), "Підпис" (Signature), and "Дата" (Date). The middle section contains a table with columns for "Назва курсового проекту" (Course project name), "Стадія" (Stage), "Лист" (Sheet), and "Листів" (Total sheets). The bottom section contains a table with columns for "Керівник" (Manager), "Прізвище, викл." (Surname, lecturer), "Розробив" (Developed by), and "Прізвище, студ." (Surname, student). The right side of the sheet contains a vertical dimension line with the text "5 × 11 = 55". The bottom of the sheet contains a horizontal dimension line with the text "185".

Навчальний № студента, група					
Український державний університет науки і технологій					
Змін.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата
Назва курсового проекту				Стадія	Лист
				Н	1
Перелік основних елементів креслення				Кафедра будівельного виробництва та геодезії	
Керівник	Прізвище, викл.				
Розробив	Прізвище, студ.				

Рис. 13. Форма для штампу.

2.2. Особливості конструювання вузлів.

Конструювання вузлів кроквяної ферми суттєво залежить від типу перерізів елементів. Проте відомі типові конструктивні рішення для всіх вузлів розглядуваної ферми (вузли 1 – 5 на рис. 14), апробовані на практиці і наведені в спеціалізованій літературі [наприклад, 9].

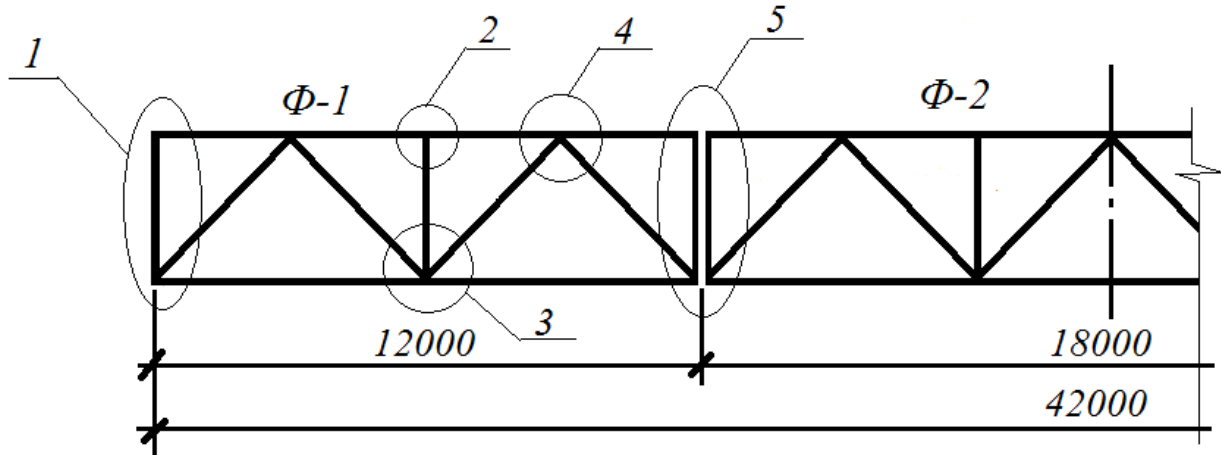


Рис. 14. Типові вузли кроквяної ферми.

Розглянемо основні особливості конструювання для різних типів перерізів елементів ферми.

2.2.1. Переріз з подвійних кутиків.

Елементи ферми з подвійних кутиків з'єднуються між собою за допомогою фасонки – рис. 15. При цьому відповідно до п. 17.3.3 ДБН [1] кутики обварюються по всьому периметру. Довжина швів d визначається спеціальним розрахунком, проте приймається не менше 60 мм. Катет шва також визначається спеціальним розрахунком, проте приймається не менше, ніж визначено в табл. 16.1 ДБН [1] (табл. Г.1 дод. Г до методичних вказівок).

Маса зварних швів наведена в табл. Г.2 дод. Г до методичних вказівок.

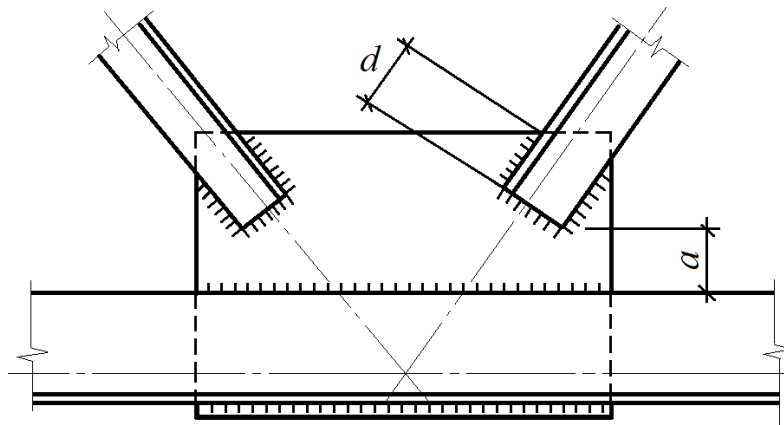


Рис. 15. Фасонка для з'єднання елементів з подвійних кутиків.

Товщину фасонки t приймають однаковою по всій фермі в залежності від максимального зусилля в елементі за табл. 9. Додатково вона перевіряється спеціальним розрахунком.

Рекомендована товщина вузлових фасонки

Максимальне зусилля N , кН	Товщина фасонки t , мм	Максимальне зусилля N , кН	Товщина фасонки t , мм
до 150	6	610 – 1000	14
160 – 250	8	1010 – 1400	16
260 – 400	10	1410 – 1800	18
410 – 600	12	понад 1800	20

Відстань між елементами відповідно до п. 17.3.3 ДБН [1] слід приймати в залежності від товщини фасонки t не меншою за $a = 6 \cdot t - 20$ мм, але не більшою за 80 мм.

Для забезпечення сумісної роботи окремих кутиків в елементі ферми їх поєднують спеціальними елементами – планками («сухариками»). Їх розміри приймають конструктивно, в залежності від ширини полиці кутика b (рис. 16). Товщину планки приймають рівною товщині фасонки. Максимальна відстань між планками встановлюється в залежності від радіуса інерції одного кутика i_1 :

- $c_{\max} = 80 \cdot i_1$ – для розтягнутих елементів ферми;
- $c_{\max} = 40 \cdot i_1$ – для стиснутих елементів ферми.

Проте незалежно від довжини елемента ферми обов'язково встановлюють в розтягнутих елементах не менше однієї планки, а в стиснутих – не менше двох планок.

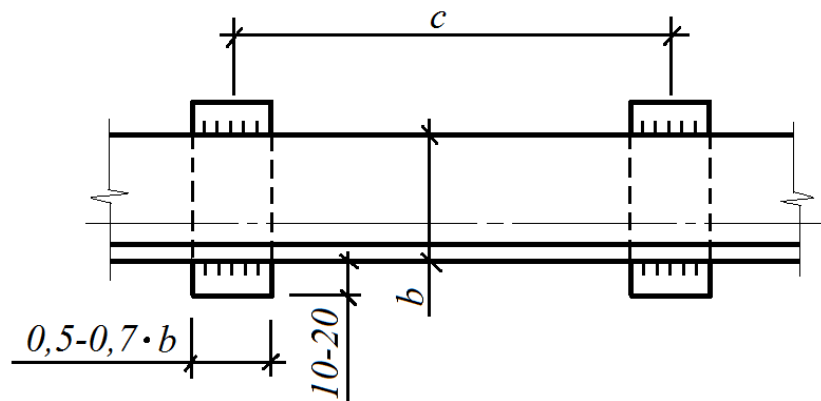


Рис. 16. Планки для елементів з подвійних кутиків.

2.2.2. Переріз з таврів.

Пояси таких ферм виконують з таврів, а решітку – з подвійних кутиків. При цьому всі конструктивні особливості аналогічні до ферм з подвійних кутиків (див. п. 2.2.1 методичних вказівок).

Виключення становить конструкція вузлових фасонки, які приварюють безпосередньо до торця стінки тавру – рис. 17.

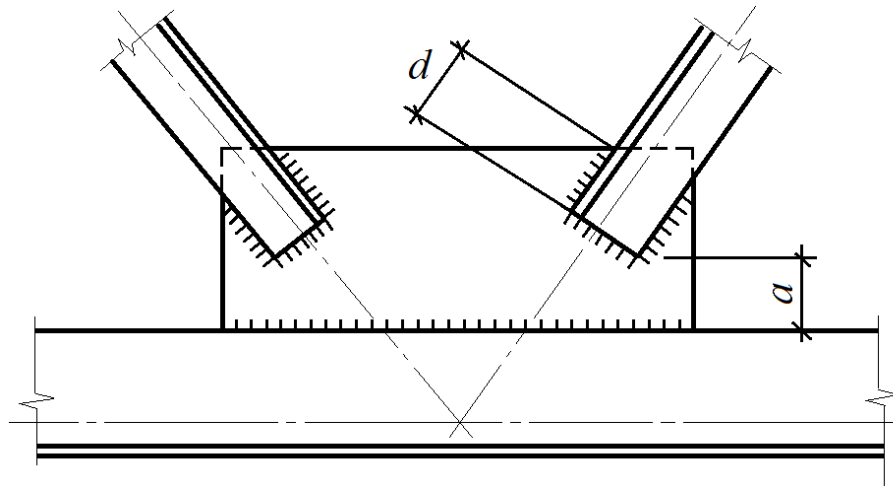


Рис. 17. Фасонка для з'єднання елементів з таврів і подвійних кутиків.

2.2.3. Переріз з труб і гнutoзварних профілів.

Основною умовою конструювання з'єднань із замкнених профілів є забезпечення герметичності. Для цього в стиках обов'язково передбачають заглушки, які часто виконують функцію фланцевого елемента.

З'єднання виконується без фасонки таким чином, щоб елементи не накладались один на інший. Це дозволяє якісно виконати зварний шов.

2.2.4. Місця опирання плит і прогонів та кріплення в'язів.

Для ферм з подвійних кутиків, таврів або гнutoзварних профілів в місцях опирання залізобетонних плит по верхньому поясу необхідно додатково передбачати прокладки товщиною 10 – 12 мм для забезпечення місцевої стійкості – рис. 18.

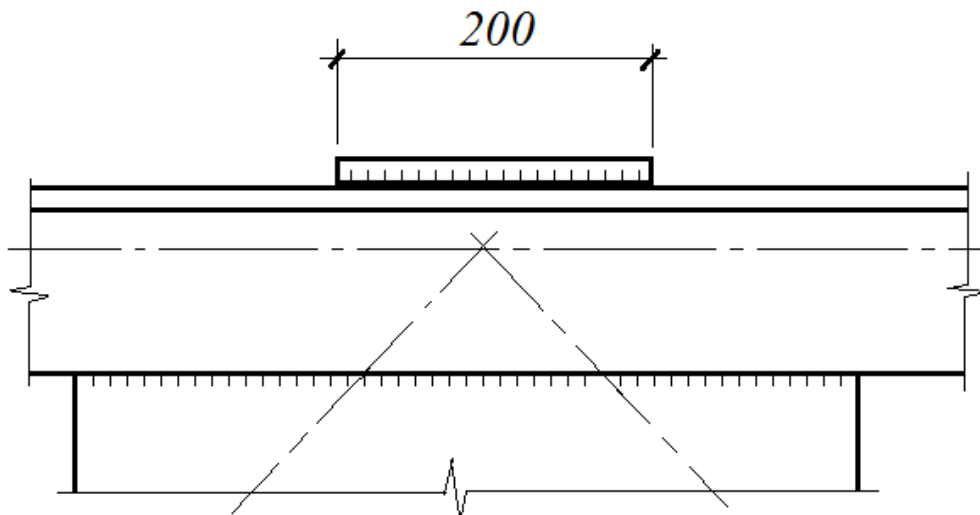


Рис. 18. Вузол опирання залізобетонної плити.

Для ферм з подвійних кутиків, таврів або гнutoзварних профілів в місцях опирання прогонів по верхньому поясу необхідно додатково передбачати кутики з перерізом від 50×50 до 100×100 для монтажних робіт – рис. 19.

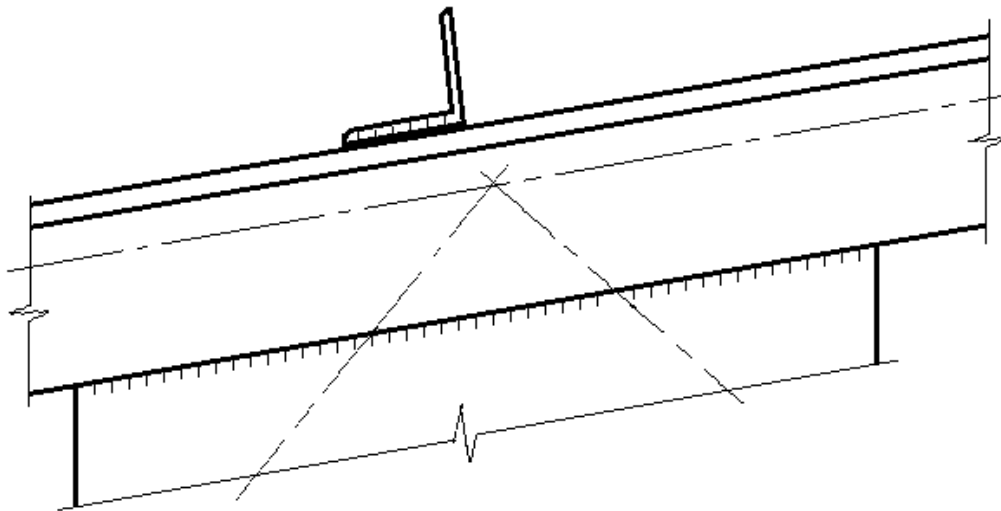


Рис. 19. Вузол опирання прогону.

Для ферм з труб в місцях опирання як залізобетонних плит, так і прогонів передбачаються спеціальні опорні «столики» – рис. 20.

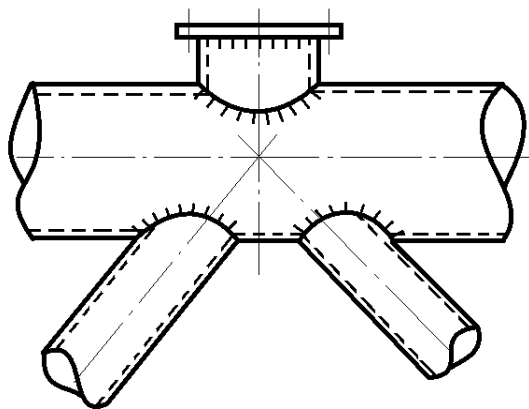


Рис. 20. Опорний «столік».

В місцях прикріплення горизонтальних в'язів по нижньому поясу ферми передбачаються спеціальні додаткові фасонки з отворами для болтового з'єднання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування [Текст]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2014. – 205 с.
2. ДСТУ Б А.2.4-43:2009 (ГОСТ 21.502-2007, MOD). Система проектної документації для будівництва. Правила виконання проектної та робочої документації металевих конструкцій. – Київ: Мінрегіонбуд, 2009. – 25 с.
3. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Зміна № 1. – Київ: Мінрозвитку громад та терит. України, 2022. – 17 с.
4. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – Київ : Мінрегіонбуд та ЖКГ, 2018. – 30 с.
5. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будівель і споруд. – Київ: Мінрегіонбуд та ЖКГ, 2017. – 46 с.
6. ДБН В.1.2-2:2006 (зі змінами). Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – Київ: Держбуд, 2007. – 62 с.
7. Банніков Д. О. Металеві конструкції: Довідкові дані «Сортамент металопродукту». Частина 1. Гарячекатані профілі. – Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2013. – 54 с.
8. Банніков, Д. О. Металеві конструкції: Довідкові дані «Сортамент металопродукту». Частина 2. Холодногнуті профілі. – Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2013. – 51 с.
9. Сахновский М. М., Тищенко А. В. Альбом узлов стальных конструкций для курсового и дипломного проектирования. – Дніпропетровськ: РИО ДИИТа, 1987. – 68 с.

Додаток А

РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛІ

Таблиця А.1

**Характеристичні і розрахункові опори сталі при розтягу, стиску та згині
для листового, широкосмугового універсального і фасонного прокату
відповідно до класів міцності прокату сталі**

Клас міцності прокату сталі	Товщина прокату ¹⁾ , мм	Характеристичний опір ²⁾ , Н/мм ² , прокату				Розрахунковий опір ³⁾ , Н/мм ² , прокату			
		листового, широкосмугового, універсального		фасонного		листового, широкосмугового, універсального		фасонного	
		R_{yn}	R_{un}	R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u	R_y	R_u
C235	від 2 до 20	235	360	235	360	230	350	230	350
	понад 20 до 40	225	360	225	360	220	350	220	350
	понад 40 до 100	215	360	—	—	210	350	—	—
	понад 100	195	360	—	—	190	350	—	—
C245	від 2 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	понад 20 до 30	—	—	235	370	—	—	230	360
C255	від 2 до 3,9	255	380	—	—	250	370	—	—
	від 4 до 10	245	370	255	380	240	360	250	370
	понад 10 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	понад 20 до 40	235	370	235	370	230	360	230	360
C275	від 2 до 10	275	380	275	390	270	370	270	380
	понад 10 до 20	265	370	275	380	260	360	270	370
C285	від 2 до 3,9	285	390	—	—	280	380	—	—
	від 4 до 10	275	390	285	400	270	380	280	390
	понад 10 до 20	265	380	275	390	260	370	270	380
C295	до 100	295	430	295	430	285	420	285	420
C325	понад 10 до 20	325	470	325	470	315	460	315	460
	понад 20 до 40	305	460	305	460	300	450	300	450
	понад 40 до 60	285	450	—	—	280	440	—	—
	понад 60 до 80	275	440	—	—	270	430	—	—
	понад 80 до 100	265	430	—	—	260	420	—	—
C345	від 2 до 10	345	490	345	490	335	480	335	480
	понад 10 до 20	325	470	325	470	315	460	315	460
	понад 20 до 40	305	460	305	460	300	450	300	450
C345K	від 4 до 10	345	470	345	470	335	460	335	460
C355	від 8 до 50	355	450	—	—	350	440	—	—
C375	від 2 до 10	375	510	375	510	365	500	365	500
	понад 10 до 20	355	490	355	490	345	480	345	480
	понад 20 до 40	335	480	335	480	325	470	325	470
C390	від 4 до 50	390	540	—	—	380	530	—	—
C390K	від 4 до 30	390	540	—	—	380	530	—	—
C420	від 4 до 16	420	540	—	—	410	530	—	—
	від 16 до 40	400	530	—	—	390	515	—	—
	від 40 до 63	390	530	—	—	380	515	—	—
	від 63 до 80	370	520	—	—	360	505	—	—

Продовження таблиці А.1

C440	від 4 до 30	440	590	—	—	430	575	—	—
	понад 30 до 50	410	570	—	—	400	555	—	—
C460	від 4 до 16	460	570	—	—	445	555	—	—
	від 16 до 40	440	560	—	—	430	545	—	—
	від 40 до 63	430	560	—	—	420	545	—	—
	від 63 до 80	410	540	—	—	400	530	—	—
C490	від 8 до 50	490	590	—	—	475	575	—	—
C500	від 3 до 50	500	590-	—	—	485	575-	—	—
	від 50 до 100	480	770	—	—	465	750	—	—
C590	від 10 до 36	590	685	—	—	540	617	—	—
C590K	від 10 до 40	590	685	—	—	540	617	—	—
C620	від 3 до 50	620	700-	—	—	600	680-	—	—
	від 50 до 100	580	890	—	—	565	865	—	—

¹⁾ За товщину фасонного прокату приймається товщина полиці.

²⁾ За характеристичні опори прийняті гарантовані значення границі текучості і тимчасового опору.

³⁾ Значення розрахункових опорів одержані діленням характеристичних опорів на коефіцієнти надійності за матеріалом γ_m із заокругленням до 5 Н/мм². Для класів міцності прокату сталі C235-C500; C620 враховано $\gamma_m = 1,025$, а для класів C590; C590K враховано $\gamma_m = 1,1$.

Примітка 1. Розрахункові опори прокату конкретних марок сталей, які наведені у таблиці Г.5, слід приймати з урахуванням коефіцієнта надійності за матеріалом γ_m , який визначається згідно з таблицею 7.2.

Примітка 2. Розрахункові опори R_{yw} стінок гарячекатаних двотаврів і швелерів допускається збільшувати на 10% порівняно до R_y .

Додаток Б

ПОКРІВЛІ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ

Таблиця Б.1

Типи покрівель виробничих будівель

Безпрогонова	Прогонова
Тепла	Тепла
Руберойд з посипкою 1 шар Руберойдовий килим 3 шари Вирівнювальний шар 15-25 мм Утеплювач (товщина за теплотехнічним розрахунком) Пароізоляція 1 шар Залізобетонна плита	Євроруберойд Утеплювач (товщина за теплотехнічним розрахунком) Пароізоляція 1 шар Сталевий профільований настил Прогони Панель типу «сэндвіч» сталева (алюмінієва) Прогони
Холодна	Холодна
Руберойд з посипкою 1 шар Руберойдовий килим 3 шари Вирівнювальний шар 20-25 мм Залізобетонна плита	Сталевий профільований настил (азбестоцементний хвилястий лист або алюмінієвий хвилястий лист ¹) Прогони

Таблиця Б.2

Вагові характеристики покрівельних матеріалів

№ пор.	Шар покрівлі	Густина ρ , т/м ³	Характеристичне значення ваги q_0 , кПа
<i>Гідроізоляція, пароізоляція</i>			
1	Гідроізол, ізол		0,01
2	Гравійний захист (20 мм)		0,30
3	Євроруберойд		0,04
4	Обмазка бітумною емульсійною пастою (2 шари)		0,02
5	Обмазка бітумно-каучуковою мастикою		0,01
6	Обмазка бітумом горячим (2 шари)		0,05
7	Обмазка смолами синтетичними		0,03
8	Пергамін		0,01
9	Плівка поліетиленова		0,01
10	Руберойд з крупнозернистою посипкою		0,03
11	Руберойд наклеєний на бітум або мастику		0,02
12	Руберойд прокладний		0,01
13	Скло рідке з ущільнюючою домішкою (40 мм)		0,16
14	Склоруберойд гідроізоляційний		0,02
15	Склоруберойд з крупнозернистою посипкою		0,03
16	Толь		0,05

¹ Укладаються тільки на прогони, розташовані з кроком 1,5 м.

Продовження таблиці Б.2

№ пор.	Шар покрівлі	Густина ρ , т/м ³	Характеристичне значення ваги q_0 , кПа
<i>Вирівнювальний шар</i>			
17	Асфальт	2,3	
18	Бетон легкий	0,8 – 2,0	
19	Бетон ячеїстий конструкційний	0,6 – 1,2	
20	Бетон поризований конструкційний	0,8 – 1,4	
21	Розчин цементно-перлитовий	0,8	
22	Розчин цементно-пісчаний	1,8	
23	Розчин цементно-шлаковий	1,2	
24	Щит з дощок в 1 шар		0,20
<i>Теплоізоляція</i>			
25	Бетон ячеїстий теплоізоляційний	0,4 – 0,6	
26	Бетон поризований теплоізоляційний	0,4 – 0,5	
27	Вата мінеральна	0,3 – 0,35	
28	Газобетон	0,4 – 0,6	
29	Газоскло	0,3 – 0,35	
30	Гравій	1,3 – 1,5	
31	Керамзит	0,3 – 0,8	
32	Пемза	0,4 – 0,6	
33	Перліт спучений	0,25 – 0,3	
34	Пінобетон	0,4 – 0,6	
35	Пінопласт	0,02 – 0,05	
36	Пінополістерол	0,02 – 0,05	
37	Пінополіуретан	0,03 – 0,06	
38	Пісок сухий	1,6 – 1,8	
39	Туф	0,4 – 0,6	
40	Шлак доменний гранульований	0,5 – 0,9	
41	Шлак паливний	0,7 – 1,0	
42	Шлаковата	0,2 – 0,25	
<i>Несучий шар</i>			
43	Кладка з глиняної цегли (1 цегла)		3,75
44	Кладка з силікатної цегли (1 цегла)		4,75
45	Лист азбестоцементний плоский (10 мм)		0,30
46	Лист азбестоцементний хвилястий		0,15
47	Лист алюмінієвий хвилястий (1 мм)		0,05
48	Металочерепиця		0,40 – 0,50
49	Настил профільований сталевий (1 мм)		0,15
50	Панель алюмінієва типа «сендвіч»		0,10
51	Панель сталева типа «сендвіч»		0,25 – 0,40
52	Плита армоцементна		0,70
53	Плита залізобетонна (6 м)		1,20 – 1,30
54	Плита залізобетонна (12 м)		1,70 – 1,80

Додаток В

ДОВІДКОВІ ДАНІ

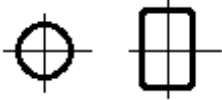
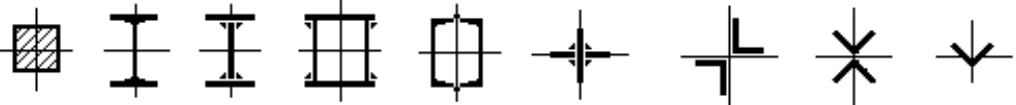
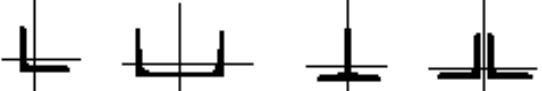
Таблиця В.1

Розрахункові довжини елементів плоских ферм і в'язей

Напрямок поздовжнього згину елемента ферми	Розрахункові довжини l_{ef} і $l_{ef,1}$		
	поясів	опорних розкосів і опорних стійок	решти елементів решіток
1. У площині ферми l_{ef} а) для ферм, окрім зазначених у поз. 1, б	l	l	$0,8 l$
б) для зварних ферм, елементи якої виконані з одиничних кутиків, і ферм з прикріпленням елементів ґратки до поясів впритул	l	l	$0,9 l$
2. У напрямку перпендикулярному до площини ферми (з площини ферми) $l_{ef,1}$: а) для ферм, окрім зазначених у поз. 2, б	l_1	l_1	l_1
б) для ферм з поясами з замкнутих профілів з прикріпленням елементів ґратки до поясів впритул	l_1	l_1	$0,9 l_1$
3. У будь-якому напрямку для зварних ферм, елементи яких виконані з одиничних кутиків, при однакових відстанях між точками закріплення елементів у площині та з площини ферми ($l_{ef} = l_{ef,1}$)	$0,85 l$	l	$0,85 l$
Примітка. l – геометрична довжина елемента (відстань між центрами найближчих вузлів) у площині ферми; l_1 – відстань між вузлами закріпленими від зміщення із площини ферми (поясами ферм, спеціальними зв'язками, жорсткими плитами покриттів, прикріпленими до пояса зварними швами або болтами тощо).			

Таблиця В.2

Типи кривої стійкості

Тип поперечного перерізу	Тип кривої стійкості
	a
	b
	c

Таблиця В.3

Коефіцієнти стійкості φ при центральному стиску

Умовна гнуч- кість $\bar{\lambda}$	Коефіцієнти φ для типів кривих стійкості			Умовна гнуч- кість $\bar{\lambda}$	Коефіцієнти φ для типів кривих стійкості		
	a	b	c		a	b	c
0,4	999	998	992	5,4	261	261	255
0,6	994	986	950	5,6	242	242	240
0,8	981	967	929	5,8	226	226	226
1,0	968	948	901	6,0	211		
1,2	954	927	878	6,2	198		
1,4	938	905	842	6,4	186		
1,6	920	881	811	6,6	174		
1,8	900	855	778	6,8	164		
2,0	877	826	744	7,0	155		
2,2	851	794	709	7,2	147		
2,4	820	760	672	7,4	139		
2,6	785	722	635	7,6	132		
2,8	747	683	598	7,8	125		
3,0	704	643	562	8,0	119		
3,2	660	602	526	8,5	105		
3,4	615	562	492	9,0	094		
3,6	572	524	460	9,5	084		
3,8	530	487	430	10,0	076		
4,0	475	453	401	10,5	069		
4,2	431	421	375	11,0	063		
4,4	393	392	351	11,5	057		
4,6	359	359	328	12,0	053		
4,8	330	330	308	12,5	049		
5,0	304	304	289	13,0	045		
5,2	281	281	271	14,0	039		
Примітка. Наведені у таблиці значення коефіцієнта φ збільшені в 1000 разів.							

Додаток Г

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВАРНИХ ШВІВ

Таблиця Г.1

Мінімальні катети зварних швів

Вид з'єднання	Вид зварювання	Характеристичний опір прокату сталі R_{yn} , Н/мм ²	Мінімальний катет шва $k_{f,min}$, мм, при товщині товстішого елемента у з'єднанні t_{max} , мм						
			4...5	6...10	11...16	17...22	23...32	33...40	41...80
Таврове з двосторонніми кутовими швами; напускне і кутове	Ручне та механізоване у суміші газів	$R_{yn} \leq 290$	4	5	6	7	8	9	10
		$290 \leq R_{yn} \leq 390$	4	5	6	7	8	9	10
		$390 \leq R_{yn} \leq 590$	5	6	7	8	9	10	12
	Механізоване у вуглекислому газі	$R_{yn} \leq 290$	3	4	4	5	5	6	6
		$290 \leq R_{yn} \leq 390$	3	4	5	6	7	8	9
		$390 \leq R_{yn} \leq 590$	4	5	6	7	8	9	10
Таврове з односторонніми кутовими швами	Ручне та механізоване у суміші газів	$R_{yn} \leq 390$	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматичне та механізоване у вуглекислому газі	$R_{yn} \leq 390$	4	5	6	7	8	9	10

Примітка 1: У конструкціях із сталі з границею текучості понад 590 Н/мм², а також з усіх сталей при товщині елементів у з'єднанні понад 80 мм мінімальний катет кутових швів слід приймати за спеціальними нормативними документами.

Примітка 2: У конструкціях 4-ї групи мінімальний катет односторонніх кутових швів слід зменшувати на 1 мм – при товщині товстішого елемента у з'єднанні до 40 мм і на 2 мм – при товщині товстішого елемента у з'єднанні понад 40 мм.

Таблиця Г.2

Маса кутових зварних швів

Катет шва, мм	3	4	5	6	7	8	9	10	12
Маса 1 м шва, кг	0,06	0,09	0,13	0,18	0,24	0,31	0,38	0,46	0,65

Навчально-методичне видання

Банніков Дмитро Олегович

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ

КРОКВЯНА ФЕРМА

Методичні рекомендації до розрахунково-графічної роботи

В авторській редакції
Комп'ютерна верстка *Д. О. Банніков*

Формат 60x84 _{1/16}. Обл.-вид.арк.2,88. Ум.друк.арк.2,84
Тираж 2 пр. Зам. №575

Український державний університет
науки і технологій
Свідоцтво суб'єкта видавничої поліграфії ДК 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010