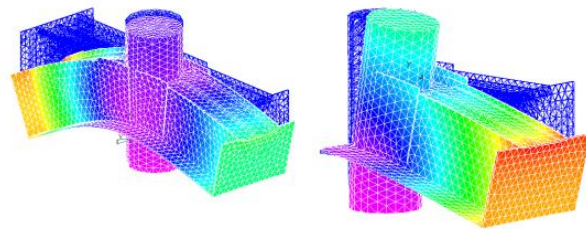


**Міністерство освіти і науки України  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва**

## **БУДІВЕЛЬНА МЕХАНІКА**

**Методичні рекомендації до виконання  
розрахунково-проектувального завдання  
"Розрахунок плоскої статично визначеної ферми"  
(РПЗ №2) для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавр  
спеціальності 192 – "Будівництво та цивільна інженерія"  
для всіх форм навчання**



Затверджено  
на засіданні кафедри  
будівельних, дорожніх машин і будівництва  
Протокол № 8 від 23 січня 2025 р.

**Кропивницький 2025**

Будівельна механіка. Методичні вказівки до виконання розрахунково-проектувального завдання "Розрахунок плоскої статично визначеної ферми" (РПЗ №2) для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавр спеціальності 192 – "Будівництво та цивільна інженерія" для всіх форм навчання / [Уклад. : Г.Д. Портнов, В.В. Пукалов, А.А. Тихий, В.В. Дарієнко]. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. 30 с.

Методичні вказівки укладено з метою полегшення самостійної роботи здобувачів освіти під час виконання розрахунково-графічного завдання на тему: «Розрахунок плоскої статично визначеної ферми».

Укладачі:

Г.Д. Портнов – к.т.н., доцент кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва,  
В.В. Пукалов – к.т.н., доцент кафедри деталей машин та прикладної механіки,  
А.А. Тихий – к.т.н., доцент кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва,  
В.В. Дарієнко – к.т.н., доцент кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва.

Рецензент:

І.О. Скриннік – к.т.н., доцент кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва.

## Вступ

Методичні вказівки складені з метою полегшення самостійної роботи студентів при виконанні розрахунково-графічного завдання на тему: «Розрахунок плоскої статично визначеної ферми» з будівельної механіки.

Перед виконанням роботи студент має теоретичні питання:

- кінематичний аналіз ферми;
- визначення опорних реакцій аналітичним способом;
- нульові стрижні та їх виявлення у схемі ферми;
- аналітичні методи визначення внутрішніх зусиль;
- визначення зусиль з ліній впливу.

### 1. Вимоги до виконання завдання

1. Вихідні дані до виконання завдання приймаються, виходячи з найменування групи (Таблиця 1) та порядкового номера (див. рис. 1 ... 3) за вказівкою викладача.

2. \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ):

2.1 \_\_\_\_\_ 1: \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ 41

одному боці листа (інша залиша \_\_\_\_\_ )  
чи зошити; на обкладинці мають бути зазначені: прізвище, ім'я та по батькові студента (повністю), назва факультету, шифр групи. Завдання слід виконувати чорнилом (не червоним) чітким почерком з полями: зліва – 20 мм, праворуч – 10 мм. Малюнки виконуються олівцем або чорнилом.

2.2 \_\_\_\_\_ 2: \_\_\_\_\_ Word

графіки ПК на паперовому носії.

3. ,  
числовими даними, розрахункову схему в масштабі з числовим зазначенням величин, необхідні розрахунку.

4. , ,  
поясненнями та кресленнями, на яких всі величини, що входять до розрахунку мають бути показані у числах.

5. 4  
них параметрів у системі С ,  
із зазначенням одиниць виміру знайдених величин.

6. .  
7. ,  
виконуватись відповідно до вимог : СКД ( конструкторської документації). На всіх епюрах та лініях впливу необхідно вказувати масштаб, знаки та числові значення характерних ординат. Штрихування епюр та ліній впливу викону осям стрижнів.

8. 4  
виправити у ньому всі зазначені помилки.

## 2. Технічне завдання

Для заданої статично визначеної найпростішої плоскої ферми, схеми навантаження якої наведено на рис. 1 .... 3, а вихідні дані представлені в таблиці потрібно:

1. ; .  
2.  
аналітично.

3. 4  
панелей.

4. 4  
заданих стрижнях та зіставити їх зі значеннями на відповідних

епюрах.

5.

4

або SCAD. Результати розрахунку подати у вигляді звіту (опція програми).

Таблиця 1

ВИХ  
до розрахунково-проектувального завдання  
«Розрахунок статично визначеної ферми»

Номер	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$a$	$h$	$\alpha$
1	20	20	20	20	30	2	-	-
2	20	20	20	40	-	2	-	45
3	10	20	20	20	-	2	6	-
4	10	30	50	-	-	2	-	-
5	20	20	20	20	-	2	-	30
6	10	20	10	10	20	2	-	30
7	20	10	20	-	-	2	-	30
8	10	20	30	-	-	2	6	-
9	10	20	30	-	-	2	-	-
1	20	10	10	20	-	2	-	45
1	10	20	40	-	-	2	-	45
1	10	20	30	30	-	2	6	-
1	10	10	10	20	-	2	-	45
1	10	10	10	10	-	2	-	-
1	10	20	10	-	-	2	1	-
1	10	20	20	30	-	2	-	-
1	10	20	20	-	-	2	5	-
1	10	40	20	20	-	2	2	-
1	10	10	40	20	-	2	4	-
2	10	40	20	-	-	2	-	-
2	10	20	10	40	-	2	4	-
2	10	10	20	30	-	2	-	-
2	5	10	10	40	20	2	-	-
2	10	20	20	20	-	2	2	-
2	10	20	20	-	-	2	4	-
2	10	20	20	-	-	2	4	-
2	10	20	10	-	-	2	4	-
2	20	20	10	-	-	2	-	-
2	10	20	20	40	-	2	4	-
3	10	10	20	30	30	2	-	-

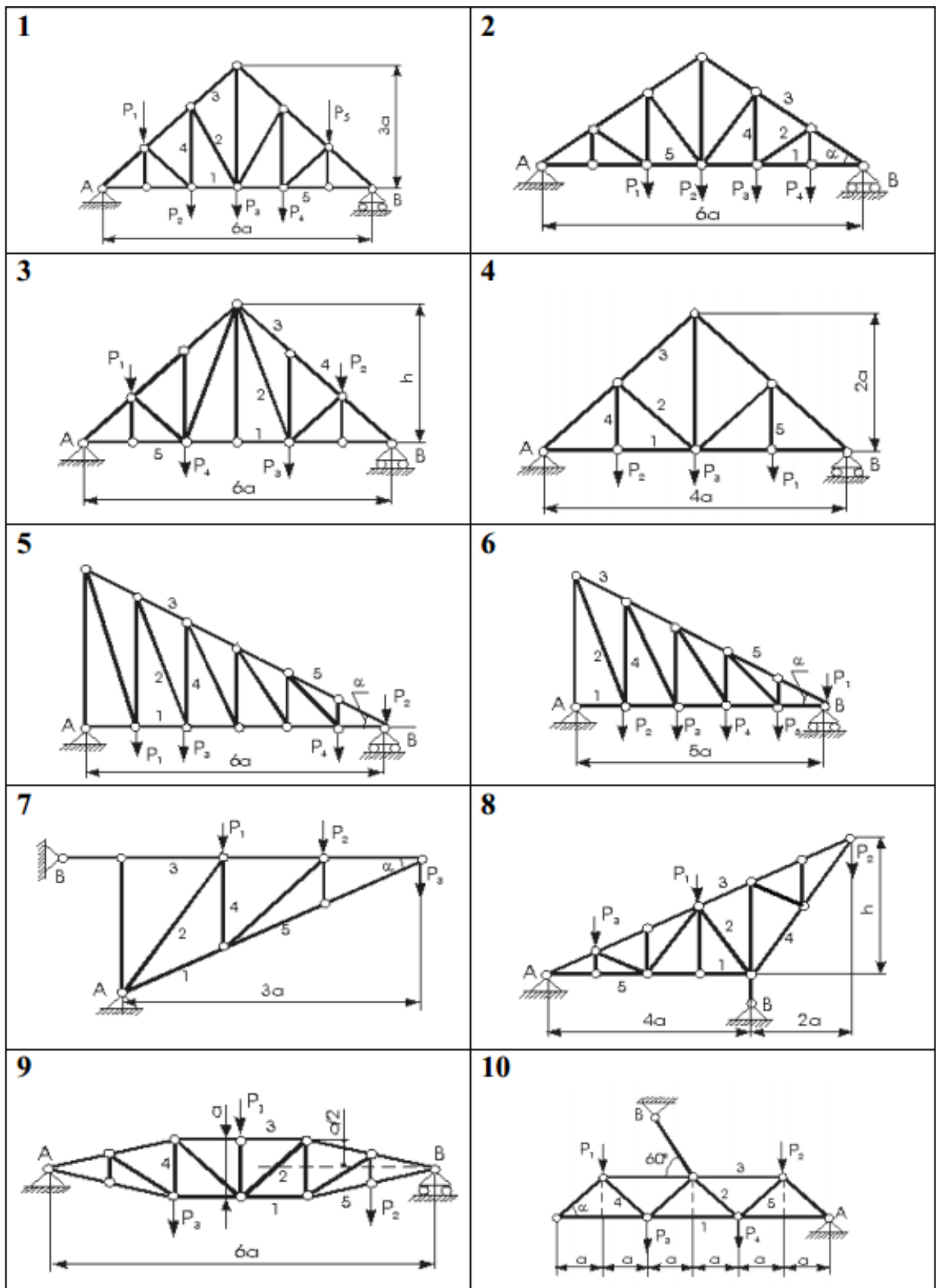


Рисунок 1

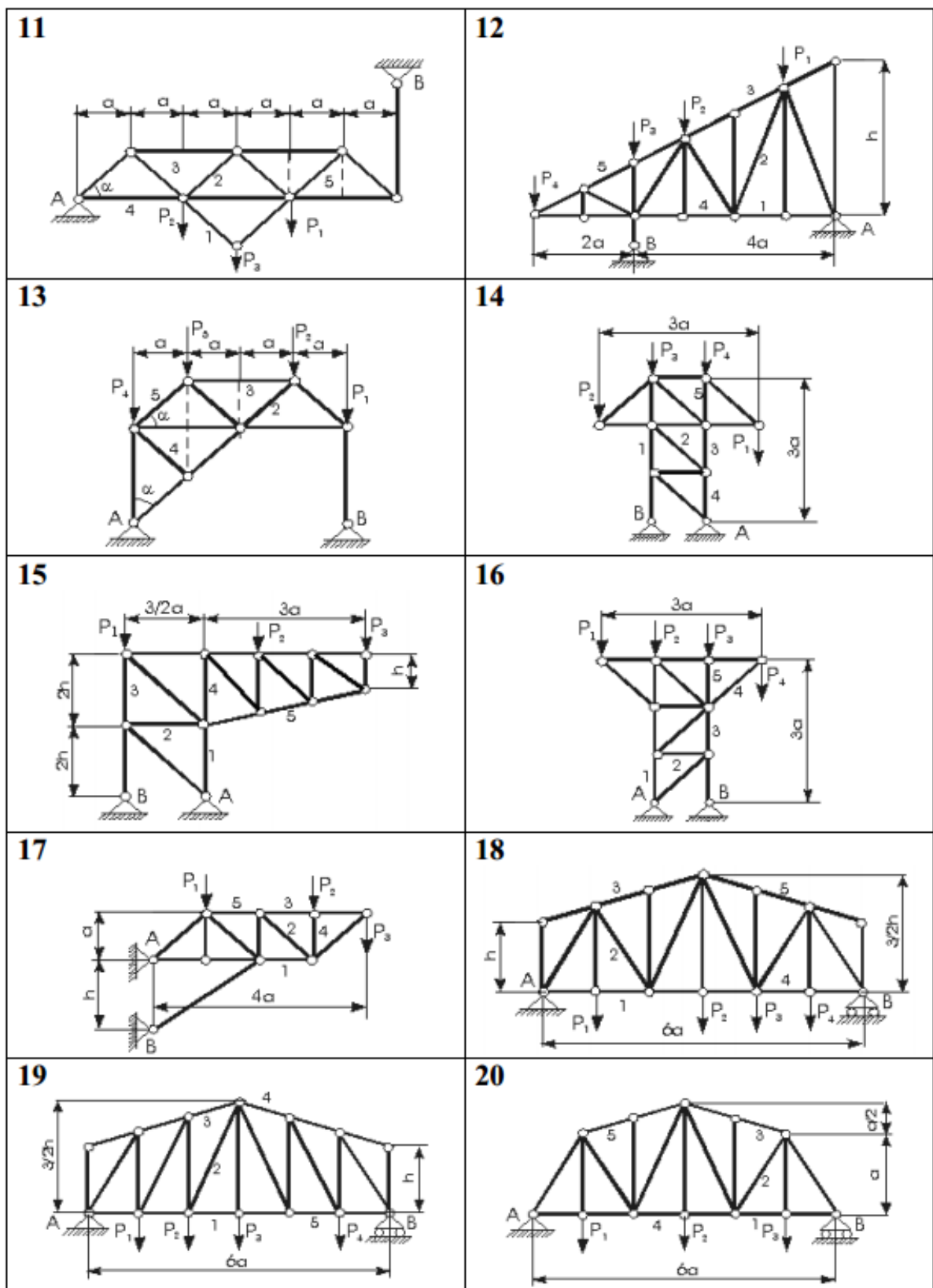


Рисунок 2

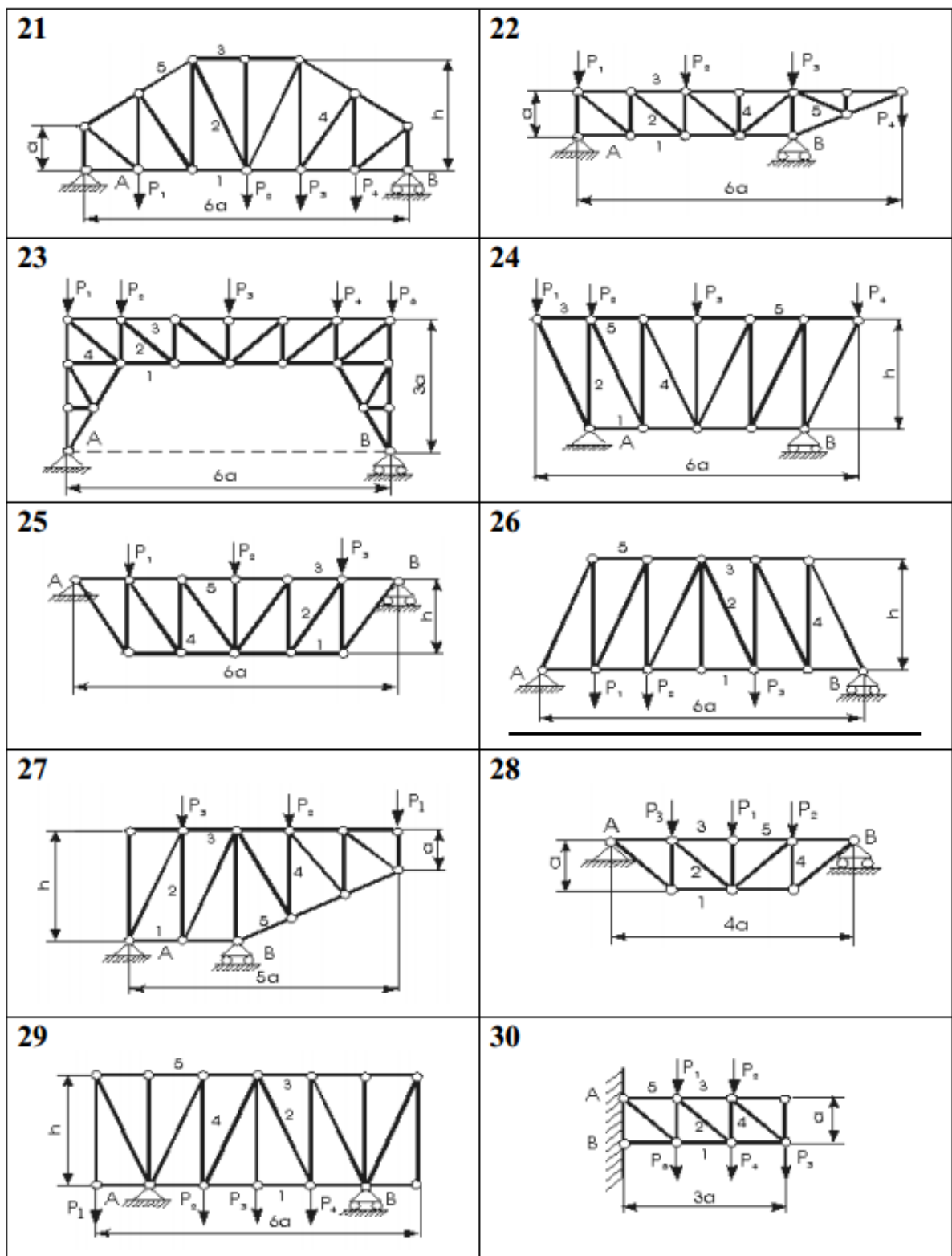


Рисунок 3

### 3. Теоретична частина

Ферма - наскрізна геометрично незмінна конструкція, складена із стрижнів, що з'єднані гладкими шарнірами, осі стрижнів проходять через геометричні центри шарнірів. При цьому прикладене навантаження збирається в вузлах, яких у перерізах елементів ферм не виникають поперечні сили та згинальні моменти, і стрижень працює, тобто розтягування чи стиск. На рисунку 4 показані основні елементи ферм.

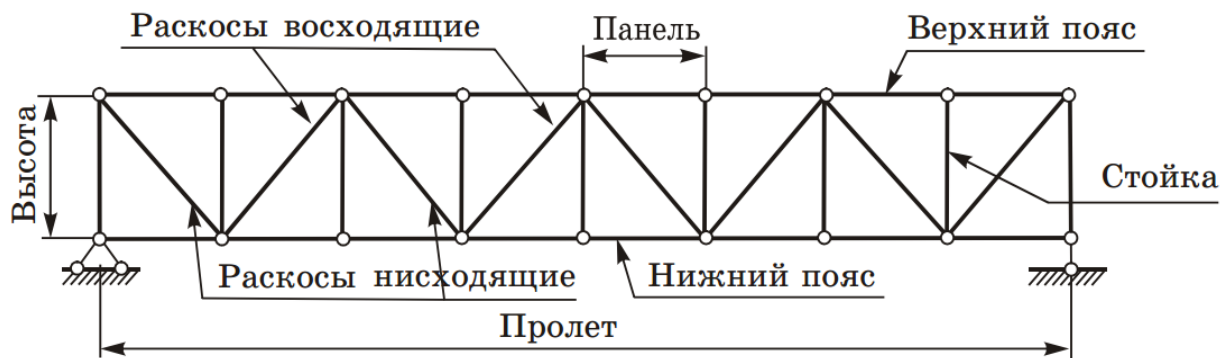


Рисунок 4

#### 3.1 Кінематичний аналіз

Ферма, що застосовується, повинна бути геометрично незмінною і нерухомо прикріпленою до землі.

При цьому основними поняттями кінематичного аналізу є:  $W$  - число ступенів свободи,  $n$  - число незалежних геометричних параметрів, що визначають положення диска або споруди на площині.

Кінематичний аналіз складається з наступних етапів:

- а) визначення числа ступенів свободи  $W$  системи та перевірка необхідної аналітичної умови незмінності;
- б) структурний аналіз споруди та перевірка достатньої умови незмінності.

### 3.1.1 Диски та способи їх з'

нього вузли за допомогою двох стрижнів, осі яких не лежать на одній прямій, можна утворити нову складнішу геометрично незмінну систему (рис. 5, а).

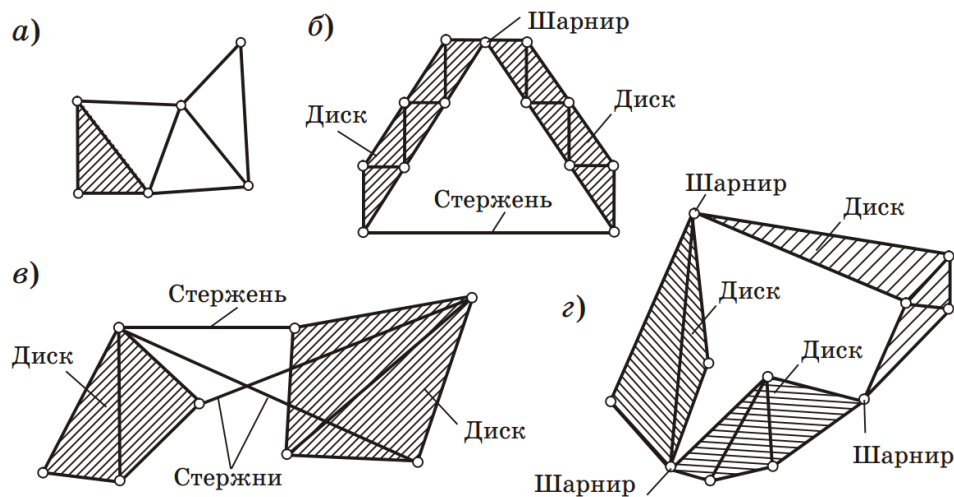


Рисунок 5

Ферми, утворені таким чином, називаються найпростішими.

найпростіших з урахуванням правил незмінного з'

Два диски на площині утворюють геометрично незмінну систему за допомогою:

а) шарніра та стрижня, вісь якого не проходить через шарнір (рис. 5, б);

б) трьох не паралельних і не перетинаючихся в одній точці стрижнів (рис. 5, в).

Три диски на площині утворюють геометрично незмінну систему за допомогою:

- а) трьох простих шарнірів, що не лежать на одній прямій (рис. 5, г);
- б) шести стрижнів (трьох пар), причому точки перетину пар не повинні лежати на одній прямій;
- в) відповідної кількості шарнірів та стрижнів (один шарнір та чотири стрижні; два шарніри та два стрижні).

### 3.1.2 Число ступенів свободи

Число ступенів свободи ферм  $W$  зручно обчислювати за наступною формулою:

$$W = 2U - C, \quad (1)$$

де  $U$  – число вузлів ферми;

$C$  - кількість всіх стрижнів ферми, включаючи опорні.

Якщо кількість ступенів свободи  $W > 0$ , то ферма нема для геометричної незмінності кількості зв'язків і геометрично зміню ( ).

Аналітична умова незмінності

$$W \leq 0.$$

При  $W = 0$  ферма ма незмінності кількість зв'язків і при правильному їх розміщенні

При  $W < 0$  ферма ма ' ' розстановці невизначеною.

Якщо ферма розрахову ' ( стрижнів), то умова геометричної незмінності буде наступною:

$$C = 2U - 3, \quad (2)$$

де  $C$  – число стрижнів ферми.

Рівність нулю числа ступенів свободи будь-якої стрижневої системи, незмінності, тому наступний етап проведення кінематичного аналізу –

### 3.1.3 Структурний аналіз

Структурний аналіз можна проводити кількома способами.

При першому в досліджуваній фермі послідовно відкидають вузли з двома стрижнями, і якщо в результаті залишиться трикутник, то система геометрично незмінна.

При другому способі з ферми виділяють жорсткі диски та розглядають їх за правилами, то система геометрично незмінна.

Наприклад, ферма, зображена на рис. 6 а, статично визначна і, можливо, геометрично незмінна.

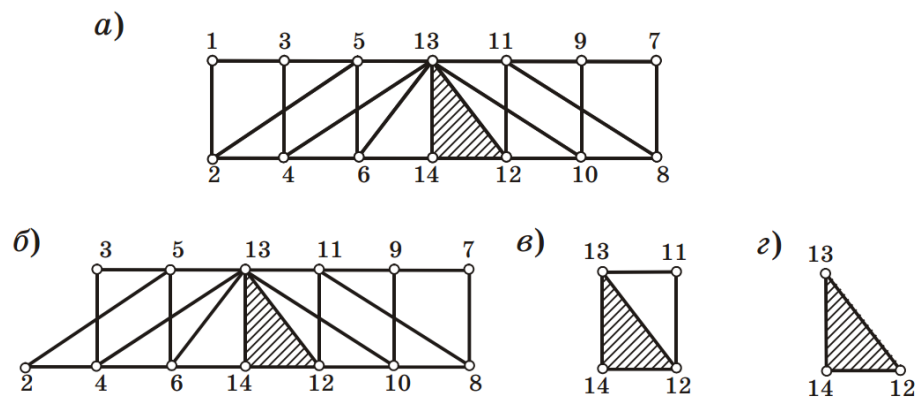


Рисунок 6

Число її вузлів  $Y = 14$ , число стрижнів  $C = 25$ .

Згідно (2)  $2Y - 3 = 2 \cdot 14 - 3 = 25$ ,

$$C = 2Y - 3$$

Досліджу

вузли 1, 2, ..., 11 (рис. 6, б, в) з двома стрижнями і перекону, зрештою, залиша 12-13-14 (рис. 6, д).

Висновок: система геометрично незмінна.

### 3.2 Нульові стрижні ферми та їх виявлення

Ферма, яка під дією навантаження, складається з елементів, деякі з яких не навантажені, у яких зусилля дорівнюють нулю. Такі стрижні називаються нульовими, але це не означає, що вони не працюють. У схемах завантаження вони можуть включатися до роботи.

Нульові стрижні можуть бути виявлені на етапі попереднього аналізу, що полегшує подальше розрахунок.

Ознаки визначення нульових стрижнів:

1. Якщо в вузлі зустрічаються три стрижні, причому один з них є прямою і навантаження у вузлі відсутні, то в третьому стрижні, розташованому під кутом до цієї прямої, зусилля дорівнює нулю (рис. 7, а);
2. Якщо в вузлі зустрічаються три стрижні, причому один з них є прямою і навантаження у вузлі відсутні, то в третьому стрижні, розташованому під кутом до цієї прямої, зусилля дорівнює нулю (рис. 7, б);
3. Якщо в вузлі зустрічаються три стрижні, причому один з них є прямою і навантаження у вузлі відсутні, то в третьому стрижні, розташованому під кутом до цієї прямої, зусилля дорівнює нулю (рис. 7, в);
4. Якщо в вузлі зустрічаються три стрижні, причому один з них є прямою і навантаження у вузлі відсутні, то в третьому стрижні, розташованому під кутом до цієї прямої, зусилля дорівнює нулю (рис. 7, г).

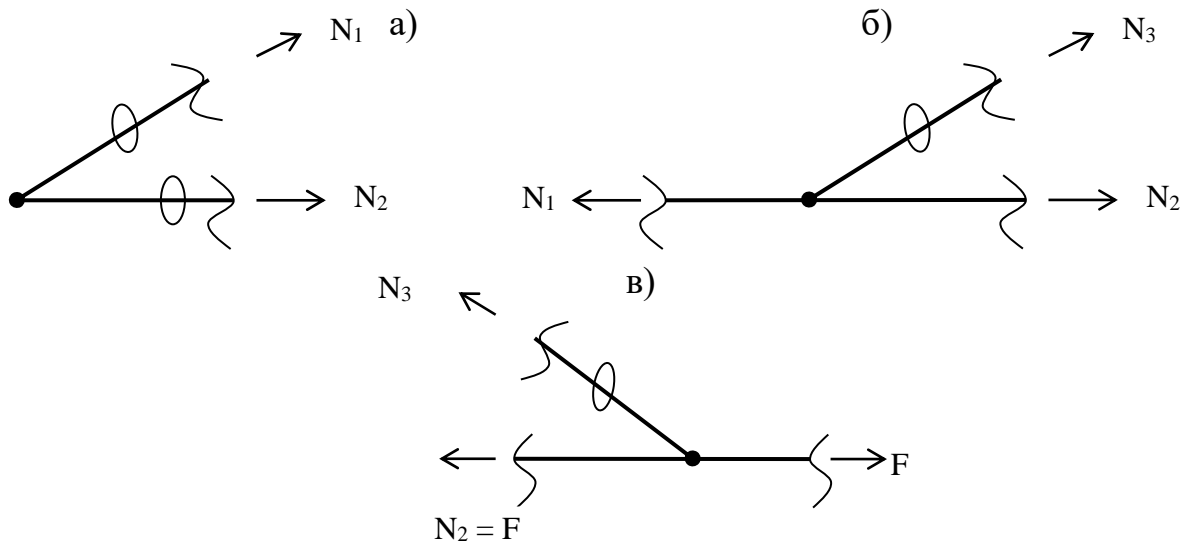


Рисунок 7.

### 3.3 Аналітичне визначення поздовжніх зусиль у стрижнях ферми

Аналітичний розрахунок починається з визначення реакцій опори, перед розрахунком для зручності похилі сили можна розкласти на вертикальні та горизонтальні складові, а розподілені навантаження на вузлові.

Задано:

1. Сили  $P_1, P_2, P_3$ ;

2. Кут  $\alpha$ ;

3. Довжина  $l$ .

#### 3.3.1 Спосіб вирізування вузлів

Навколо вузла подумки виконується вирізування стрижні замінюються внутрішніми зусиллями, після чого складаються рівняння рівноваги вузла.

Так як вузол знаходиться в рівновазі під дією сил, то для нього можна скласти тільки два рівняння рівноваги:

$$\sum x=0; \sum y=0.$$

Оскільки для кожного вузла можна скласти два рівняння, потрібно виявити таку послідовність вирізування вузлів, коли на кожному етапі визначаються не більше двох невідомих зусиль. Тому починати розрахунок слід із вузла, в якому сходиться не більше двох стрижнів. Зусилля, знайдені з розрахунку попереднього вузла, передаються на наступний вузол.

Правило знаків: якщо зусилля спрямоване від вузла, воно позитивно (зі знаком «+»), якщо – до вузлу, то негативно (зі знаком «-»).

Позитивні зусилля викликають розтяг стрижнів, негативні – стиск.

### 3.3.2 Спосіб моментних точок

Спосіб моментних точок - способів визначення зусиль в окремих стрижнях ферм, оскільки він дає можливість визначити їх незалежно від зусиль в інших стрижнях. У найбільш простому вигляді цей спосіб застосовується, коли можна провести розріз тільки через три стрижні.

Для визначення зусиль у стрижнях ферма розрізається на дві частини, для однієї з яких вибираються дві точки, що лежить на перетині осей двох стрижнів, через які проведено переріз. Точка перетину осей двох стрижнів, щодо якої складається рівняння моментів, вибирається в одній з частин.

Наприклад, для ферми, показаної на рис.8, проведемо переріз 1-1 для визначення зусиль у стрижнях 2-4, 3-4 та 3-5. Для визначення зусилля  $N_{35}$  знаходимо моментну точку - точку перетину осей стрижнів 2-4 та 3-4. Такою точкою вибирається точка 4.

Складається рівняння моментів, відсічену частину ферми щодо вузла 4 ( $\sum M_4=0$ ). Реакції  $R_{1x}$  та  $R_{1y}$  виводяться з рівняння моментів. Плечем зусилля  $N_{35}$  стержня 3-5.

Для визначення зусилля  $N_{34}$  вибирається точка перетину осей стрижнів 2-4 і 3-5. Такою точкою вибирається точка B (рис.9).

Складається рівняння моментів, відтіяту частину ферми щодо точки B ( $\sum M_B=0$ ). Реакції  $R_{1x}$  та  $R_{1y}$  виводяться з рівняння моментів. Плечем зусилля  $N_{34}$  стержня 3-4.

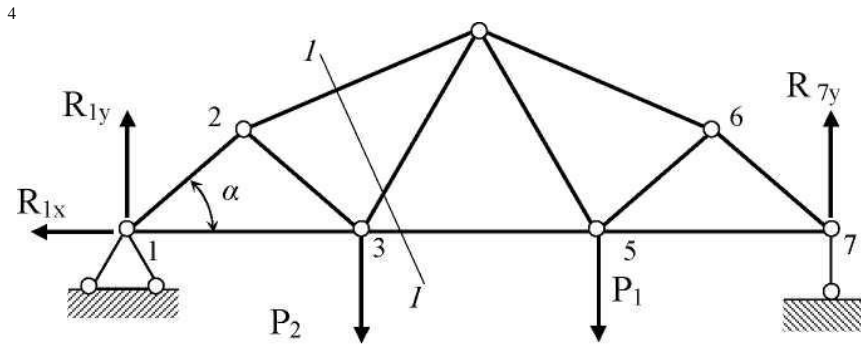


Рисунок 8

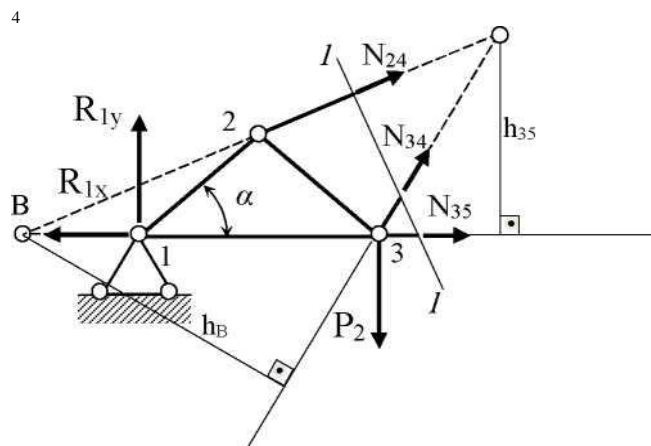


Рисунок 9

Для визначення зусилля  $N_{24}$

2

3.

### 3.3.3 Метод проекцій.

У тих випадках, коли моментна точка знаходиться на нескінченності, рівноваги складаються з умови рівності нулю проекцій усіх сил, що діють на лівий або правий диски, на вісь, перпендикулярну до цих двох стрижнів. З рівняння знаходиться зусилля у третьому стрижні.

При розрахунку плоских ферм усі ці способи застосовуються комбіновано, тому що у кожного з них свої переваги.

### 3.4 Розрахунок за лініями впливу

Для побудови лінії впливу зусилля у будь-якому стрижні ферми необхідно скласти аналітичний вираз зусилля як функції положення вертикальної сили  $P=1$ . б 2 вираз зусилля показу ( ,

Для визначення зусиль у стрижнях ферм використовуються способи розрізів і вирізання вузлів. При використанні способу перерізів ферма після лівий (стосовно розрізаної панелі) і правий. Тому прямолінійні ділянки в межах лівого та правого диска відповідно називаються лівою та правою гілкою лінії впливу. Третя прямолінійна ділянка лінії впливу (у межах розрізаної панелі) буду 2 припущення, що одиничний вантаж у цьому випадку переміщ допоміжній (передавальній) балці (вузлова передача навантаження), спира , .

Ця ділянка назива .

Якщо для визначення зусилля використову , то розрізаними виявляються одна-дві панелі одного пояса. Тому слід виділити три характерні ділянки лінії впливу – поза вирізаним вузлом та поза розрізаними панелями; ординату лінії впливу, що відповіда положенню одиничного вантажу у вузлі; зрізання у межах розрізаних панелей.

При побудові лінії впливу зусиль слід розглядати дві можливості застосування одиничного навантаження до ферми – до нижнього поясу (їзда вниз) та до верхнього поясу (їзда по верху). Рівняння лівої та правої гілки не залежать від того, яким поясом переміща 2 . Лінії впливу одного зусилля при їзді по верху і вниз можуть мати різний обрис у межах розрізаних панелей. Аналогічна відмінність , використанням способу вирізування вузлів.

Примітка. Перед побудовою лінії впливу зусиль у стрижнях балкових та консольно-балкових ферм будуються лінії впливу реакцій у опорах, які повністю збігаються з лініями впливу опорних реакцій у відповідних шарнірно-консольних балках.

Зусилля по лініях впливу визначаються за такою формулою:

$$S_i = \sum_{j=0}^n P_j Y_j,$$

де  $P_j$  – . . . ;  
 $Y_j$  – . . . ;  
 $n$  – . . .

#### 4. Практична частина

**Завдання.** ; . 10, :

- 1) виконати кінематичний аналіз конструкції;
- 2) визначити (аналітично) зусилля у стрижнях третьої панелі;
- 3) побудувати лінії впливу зусиль у тих самих стрижнях;
- 4) по лініях впливу підрахувати значення зусиль від заданого навантаження та порівняти їх із значеннями, отриманими аналітично.

#### 4.1 Кінематичний аналіз

##### 4.1.1 Розрахунок числа ступенів свободи

Число вузлів  $U = 12$ , число стрижнів, включаючи три опорні,  $C = 24$ .

Згідно (1),  $W = 2U - C = 2 \cdot 12 - 24 = 0$ ,

Висновок: наявні стрижні та вузли можуть утворити статично визначну конструкцію ферми.

Досліджу ( 2 ).

Відкида 1, 2, 3, 4 .

перекону , , - , - 5- 6- 7

Висновок: система геометрично незмінна.

## 4.2 Визначення зусиль у стрижнях ферми

Розрахунок починається з визначення реакцій опори. Реакції опори навантаження симетричні,  $R_A = R_B = 5 \cdot F / 2 = 5 \cdot 6 / 2 = 15 \text{ кН}$ .

Для визначення зусиль у стрижнях ферми застосовується метод розрізу. Бажано так вести обчислення, щоб зусилля у кожному стрижні визначалося незалежно від зусиль за іншими стрижнями. Це позбавляє від необхідності похибки розрахунку та збільшує точність; слід дотримуватися наступного порядку:

а) провести розріз ферми, який має бути перпендикулярний до стрижня, через три стрижні, у тому числі через стрижень, зусилля в якому потрібно визначити;

б) відкинути ліву чи праву частину ферми (зручніше відкидати найбільш навантажену частину ферми);

в) замінити дію відкинутої частини ферми невідомими зусиллями у розрізаних стрижнях; при цьому зусилля завжди слід спрямовувати від розрізу, припускаючи їх розтягуючими (позитивними);

г) скласти таке рівняння статичної рівноваги, щоб, по можливості, тільки шукане зусилля входило до нього як невідоме;

д) вирішити рівняння та знайти це зусилля; якщо результат буде зі

$$N_{4-6} (\text{напрямок}). \quad n - n$$

частину ферми (рис. 10 б). Для того, щоб до рівняння для  $N_{4-6}$  зусилля  $N_{5-6}$  та  $N_{5-7}$ , доданих до частини ферми, що залишилася, щодо вузла 5, в якому перетинаються лінії дії цих зусиль. Така точка називається моментною. Ця точка завжди знаходиться на перетині ліній дії зусиль у двох інших стрижнях, що потрапили у розріз:

$$\sum M_5 = 0; \quad N_{4-6} \cdot r_{4-6} - R_A \cdot 2d + F \cdot d = 0.$$

Звідси  $N_{4-6} = (R_A \cdot 2 - F \cdot 1)d / r_{4-6} = (15 \cdot 2 - 6 \cdot 1) \cdot 4 / 3,33 = 28,80 \text{ кН}$ .

$$N_{5-7} \text{ ( )} ; \quad N_{5-7}$$

а розрізом  $n - n$  (.10, )) 2

перетині ліній дії  $N_{5-6}$   $N_{4-6}$  6

$$\sum M_6 = 0; \quad -N_{5-7} \cdot r_{5-7} - R_A \cdot 3d + F \cdot 2d + F \cdot d = 0.$$

Звідки

$$N_{5-7} = d(-R_A \cdot 3 + F \cdot 2 + F) / r_{5-7} = 4 \cdot (-15 \cdot 3 + 6 \cdot 2 + 6) / 4,62 = -23,40 \text{ кН}.$$

$$N_{5-6} \text{ ( )} \quad N_{5-6}$$

розрізом  $n - n$  .10. .

дії зусиль  $N_{5-7}$   $N_{4-6}$  ( ). ( , (

на лінію действия искомого усилия (рис.10, з), получим плечо усилия

щодо вузла 1.

$$\sum M_1 = 0; \quad -N_{5-6} \cdot r_{5-6} - F \cdot d - F \cdot 2d = 0.$$

Тоді  $N_{5-6} = -3F \cdot d / r_{5-6} = -3 \cdot 6 \cdot 4 / 7,68 = -9,375 \text{ кН}$ .

$$N_{6-7} \text{ ( , )} \quad N_{6-7}$$

розрізом  $m - m$  (.10, ). 7.

$$\sum X = 0; \quad -N_{5-7} \cos \alpha + N_{7-9} \cos \alpha, \quad N_{7-9} = N_{5-7};$$

$$\sum Y = 0; \quad -N_{6-7} - F - 2 \cdot N_{5-7} \sin \alpha = 0.$$

Звідки  $N_{6-7} = -2 \cdot \sin \alpha \cdot N_{5-7} - F = -2 \cdot 0,385 \cdot (-23,40) - 6 = +12,00 \text{ кН}$ .

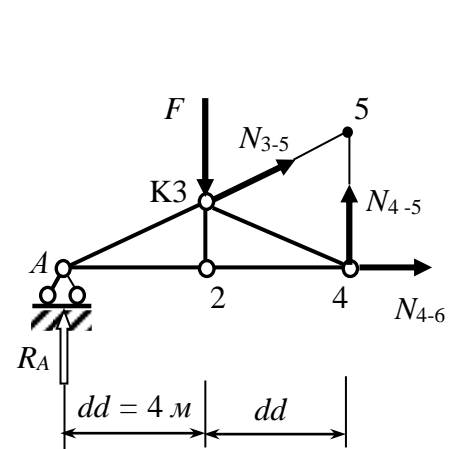
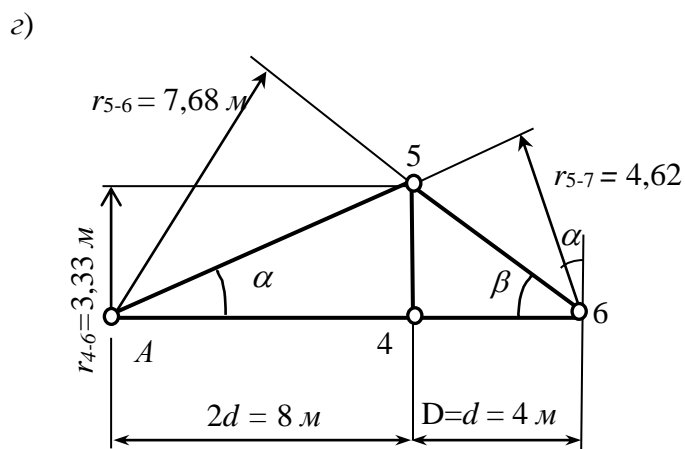
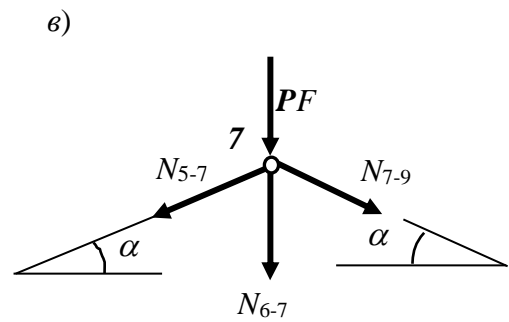
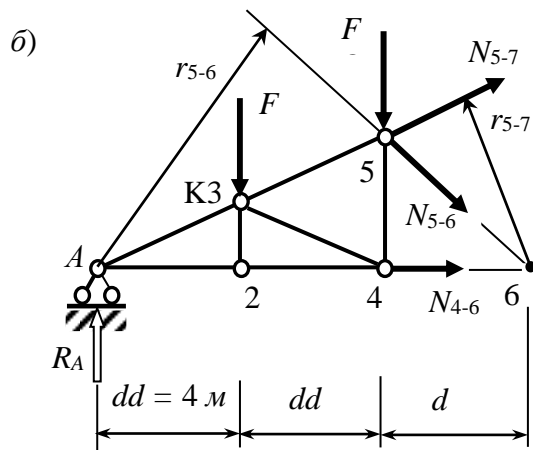
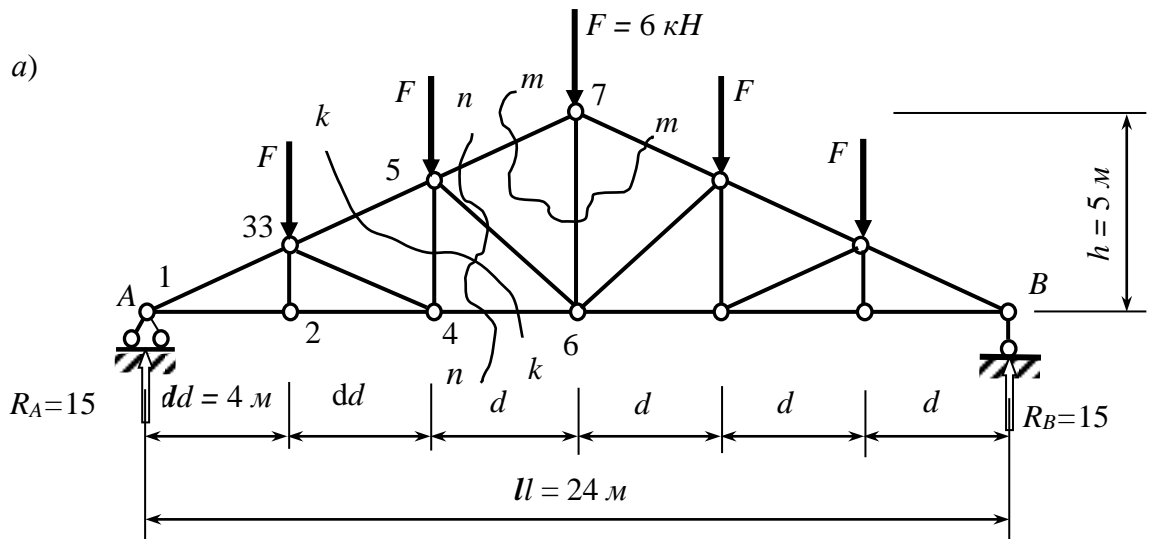


Рисунок 10. 0

1

:

$a -$  ;  $b -$   $n-n$ ;  $в -$   $m-m$ ;  $г -$   
 визначення плечей зусиль;  $d -$   $k-k$

$$N_{4-5} \text{ (рис. 10, б).}$$

розрізом k - k (рис. 10, б).

ліній дії зусиль  $N_{3-5}$ ,

$N_{4-5}$  А равно  $2d$ .

$$\sum M_1 = 0; N_{4-5} \cdot 2d - F \cdot d = 0, \text{ откуда } N_{4-5} = 0,5 \cdot F = 0,5 \cdot 6 = 3,0 \text{ кН.}$$

Примітка: при даному завантаженні стрижень 3-2 і розташований симетрично

### 4.3 Побудова ліній впливу

#### 4.3.1

Лінії впливу опорних реакцій у балочній фермі (рис.11, а) визначаються так само, як для однопрогонової балки. Тому лінії впливу цих реакцій не відрізняються від ліній впливу опорних реакцій балок (рис.12, б, в).

#### 4.3.2 Лінія впливу зусилля $N_{4-6}$

Скористаємося формулою (рис. 11, а).

одиночного вантажу: праворуч та ліворуч від розрізаної панелі. При положенні вантажу  $\bar{F} = 1$

частини ферми (рис.11, в) та склада

моментної точки - вузла 5:

$$\sum M_5^{лев} = 0; N_{4-6} \cdot r_{46} - R_A \cdot 2d = 0.$$

$$\text{Звідки } N_{4-6} = (2d/r_{46}) \cdot R_A = (2 \cdot 4/3,33)R_A = 2,4 \cdot R_A,$$

тобто праву ділянку л.в.  $N_{4-6}$  дорівнює  $1 \cdot R_A$  А ,

множником 2,4.

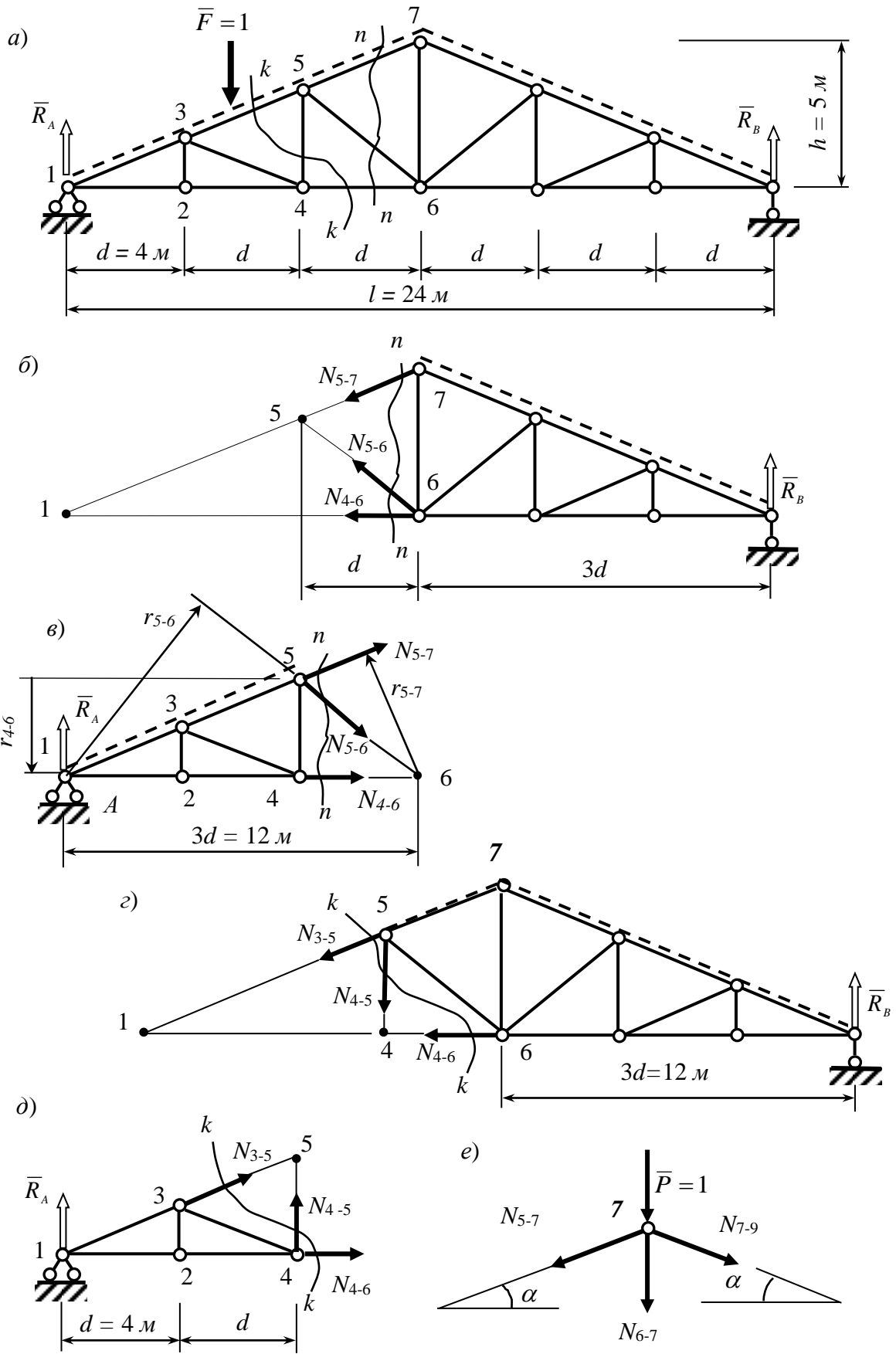


Рисунок 11. До побудови ліній впливу зусиль у стрижнях ферми

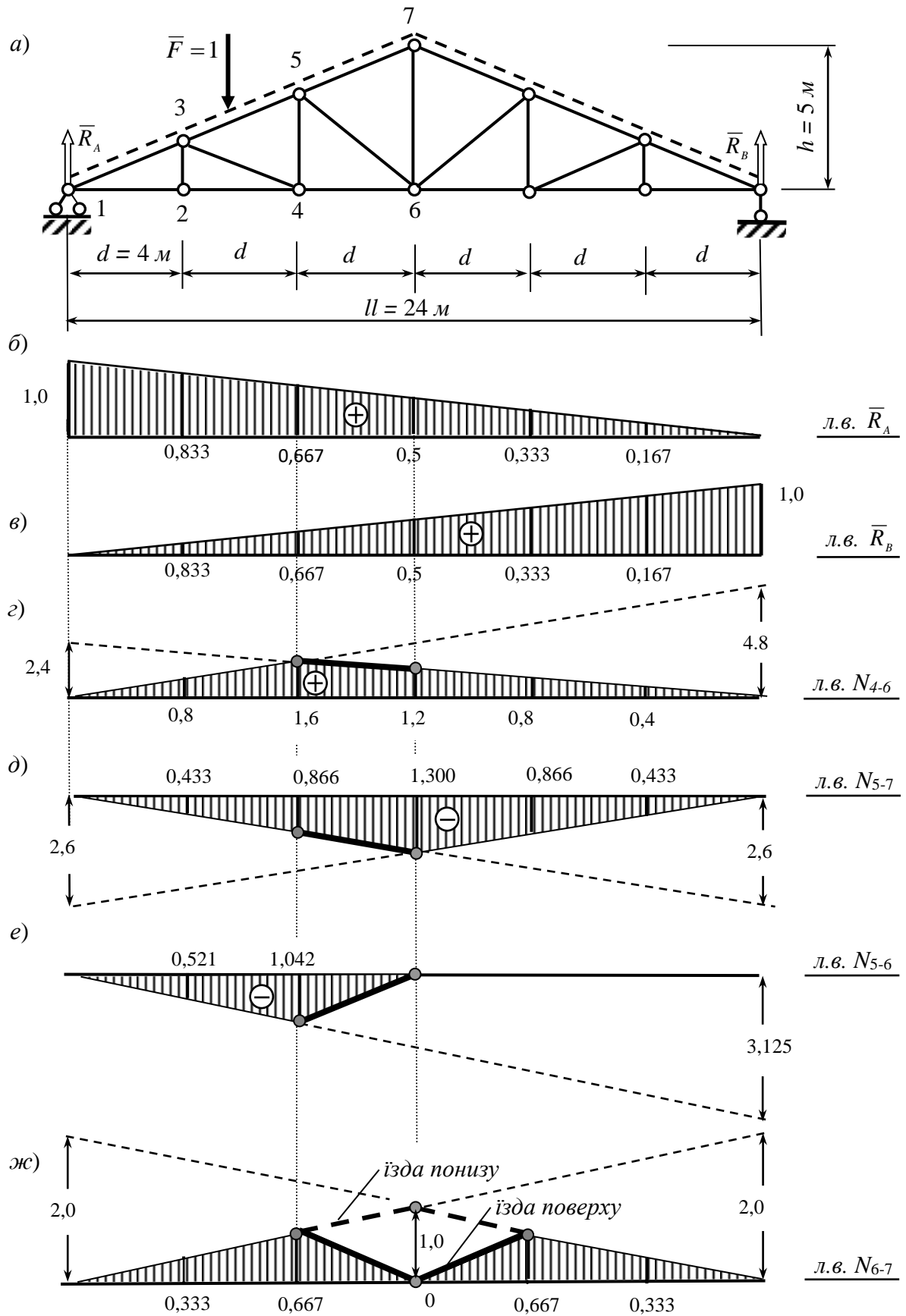


Рисунок 12. Побудова ліній впливу зусиль у простій фермі

Буду  $N_{4-6}$ , ,  
 опорної вертикалі ординату 2.4 та з'  $1$ ,  
 опорної вертикалі (рис.12 г). Отриману праву пряму використову  
 ділянці руху вантажу праворуч від розрізаної панелі.

При положенні вантажу зліва від перерізу  $n-n$   
 рівноваги правої відсіченої частини ферми (рис.11, б):

$$\sum M_5^{прав} = 0; \quad -N_{4-6} \cdot r_{4-6} + R_B \cdot 4d = 0.$$

$$\text{Звідки } N_{4-6} = (4d/r_{4-6})R_B = (4 \cdot 4/3,33)R_B = 4,8R_B,$$

$$\text{тобто ліву ділянку } \dots N_{4-6} \dots, \dots, \dots \dots R \dots$$

ординати  $\dots R \dots 4,8, \dots \dots N_{4-6}$   
 (рис.12, з).

При положенні вантажу  $\bar{F} = 1$   
 впливу буде передавальна пряма, що з'  $\dots$ ,  
 (Передавальні прямі на рис.12 показані жирними лініями).

### 4.3.3 Лінія впливу зусилля $N_{5-7}$

Знову скориста  $n - n$  ( .11 ).

положення одиничного вантажу: праворуч та ліворуч від розрізаної панелі. При  
 знаходження вантажу  $\bar{F} = 1$

розгляда  $\dots$  ( .11, )

склада  $\dots$  – б:

$$\sum M_6^{лев} = 0; \quad -N_{5-7} \cdot r_{57} - R_A \cdot 3d = 0.$$

Звідки  $N_{5-7} = -(3d/r_{57})R_A = -(3 \cdot 4/4,62)R_A = -2,6 \cdot R_A$ , тобто права  
 ділянк  $\dots N_{5-7} \dots 1 \dots R_A \dots A \dots, \dots 2.6$

знаком мінус. Всі ординати  $\dots R_A \dots 1 \dots 2,6 \dots 1$

осі в негативному напрямку, тобто вниз (рис.12, ). Побудовану таким  
 чином праву пряму використову  
 розрізаної панелі.

При положенні вантажу ліворуч від розрізаної панелі склада рівноваги правої відсіченої частини (рис.11, ):

$$\sum M_6^{прав} = 0, \text{ или } +N_{5-7} \cdot r_{57} + R_B \cdot 3d = 0.$$

$$\text{Звідки } N_{57} = -(3d/r_{57})R_B = -(3 \cdot 4/4,62)R_B = -2,6 \cdot R_B.$$

Тобто ліва ділянка . .  $N_{5-7}$  1 .  $R_A$  А ,  
множником 2,6 та знаком мінус. Всі ординати . .  $R_A$  1 2,6  
, ( .12, ).

Отриману ліву пряму використову  $\bar{F} = 1$   
ліворуч від розрізаної панелі. У межах розрізаної панелі з'  
крайні ординати прямою ліні .

Зазначимо, що у розглянутих лініях впливу права та ліва гілка лінії впливу перетнулися під моментними точками. Це не випадково і вплива .

надалі для перевірки правильності побудови ліній впливу.

#### 4.3.4 Лінія впливу зусилля $N_{5-6}$

$$\text{Скориста } n - n ( .11 ). \quad \bar{F} = 1$$

праворуч від розрізу розгляда

$$( .11, ) \quad - \quad 1:$$

$$\sum M_1^{лев} = 0; \quad -N_{5-6} \cdot r_{56} = 0.$$

$$\text{Звідки } N_{5-6} = 0, \quad \bar{F} = 1 ,$$

розрізу, зусилля  $N_{5-6}$  .

разі злива ( .12, ).

Для побудови лівої прямої лінії впливу розглянемо умову рівноваги правої відсіченої частини ферми (рис.11, ):

$$\sum M_1^{прав} = 0, \quad N_{56} \cdot r_{56} + R_B \cdot l = 0.$$

$$\text{Звідки } N_{5-6} = -(l/r_{5-6})R_B = -(24/4,62) \cdot R_B = -3,125 \cdot R_B.$$

Це означає,  $N_{5-6}$ ,  $R_B$ ,  
на  $(-3,125)$ .

Для побудови графіка цієї опорної вертикалі вниз відрізок  $3,125$  і з'ясуємо точку на лівій опорній вертикалі. У межах розрізаної панелі з'ясуємо.  
Побудована таким чином лінія впливу  $N_{5-6}$ .  
Відзначимо, що знову права та ліва гілки лінії впливу перетнулися під моментною точкою – вузлом 1.

#### 4.3.5 Лінія впливу зусилля $N_{6-7}$

Виріжемо вузол 7 (рис.11, е) і спроектуємо сили на горизонтальну вісь:

$$\sum F_x = 0; -N_{5-7} \cos \alpha + N_{7-9} \cos \alpha = 0,$$

отже,  $N_{7-9} = N_{5-7}$ .

Спроектуємо на вертикальну вісь:

$$\sum F_y = 0; -N_{6-7} - 2 \cdot N_{5-7} \sin \alpha = 0,$$

звідки  $N_{6-7} = -2 \cdot N_{5-7} \sin \alpha$ .

Таким чином, лінія впливу  $N_{6-7}$  буде лінійною функцією всіх ординат лінії впливу  $N_{5-7}$ .  
впливу  $N_{6-7}$  (рис.11, е)  $(-2 \times \sin \alpha)$   
(Підвузлом 7), що дорівнює  $s \approx 300 (i \times 0 \approx 38,48) = s \cdot 0,000$ .

Якщо ж вантаж  $\bar{F} = 1$  (рис.11, е) («  
поверху»), то  $\sum F_y = 0$

набуває вигляду

$$-P - N_{6-7} - 2 \cdot N_{5-7} \sin \alpha = 0,$$

звідки  $N_{6-7} = -2 \cdot N_{5-7} \sin \alpha - P = -2 \cdot N_{5-7} \sin \alpha - 1$ .

Отже, у цьому випадку ордината на лінії впливу  $N_{6-7}$  вузлом 7 менше на одиницю, ніж ордината на цій лінії впливу при їзді по нижньому поясу, і дорівнює ( 12, ).

#### 4.3.6 Обчислення лініями впливу зусилля від заданого постійного навантаження

При обчисленні зусиль у стрижнях від зосереджених сил  $P = 6$

$$N = \sum_1^n F_i y_i = P \sum y_i .$$

Тоді

$$N_{4-6} = 6(0,8 + 1,6 + 1,2 + 0,8 + 0,4) = 6 \cdot 4,8 = 28,80 \text{ кН};$$

$$N_{5-7} = 6(0,433 + 0,866 + 1,300 + 0,866 + 0,433) = 6 \cdot 3,898 = 23,39 \text{ кН};$$

$$N_{5-6} = 6(-0,521 - 1,042) = 6(-1,563) = -9,376 \text{ кН};$$

$$N_{6-7} = 6(0,333 + 0,667 + 0 + 0,667 + 0,333) = 6 \cdot 2 = 12,00 \text{ кН}.$$

Знайдені за допомогою ліній впливу зусилля у стрижнях ферми збігаються з отриманими аналітично значеннями.

#### 4.4 Виконання розрахунку на ПК

Розрахунок викону

/6/ /7/

## Бібліографічний список

1. Будівельна механіка. В. Яременко, А. Куценко, М. Бондар. Видавництво Центр навчальної літератури. С. 2019 - 704с.
2. Дорошук Г.П., Трач В.М. Основи будівельної механіки: Підручник.-Рівне. УДУВГП, 2003. -504 с.
3. Яременко О.Ф., Шебанін В.С., Орлова А.М. та ін. Будівельна механіка у прикладах: Посібник,-Одеса, 2003. -246 с.
4. Чихладзе Е.Д. Будівельна механіка: Підручник.-Харків: УкрДАЗТ, 2002.-305с.
5. Баженов В.А., Іванченко Г.М., Шишов О.В. Будівельна механіка. Розрахункові справи. Задачі. Комп'ютерне тестування. К.: Каравела, 2006.-343 с
6. “Метод скінчених елементів і автоматизовані системи розрахунків на міцність”. Методичні вказівки до вивчення теми "Розрахунок зусиль в елементах ферми в програмному комплексі "Лири" за вимогами кредитномодульної системи навчання для магістрів спеціальності 8.06010101 – “Промислове і цивільне будівництво”/ Укл.: Г.Д. Портнов, А.А. Тихий – Кіровоград: КНТУ, 2014. – 32 с.
7. “Метод скінчених елементів і автоматизовані системи розрахунків на міцність”. Методичні вказівки до вивчення теми ««Проектування металевій ферми в ПОК «SCAD» за вимогами кредитно-модульної системи навчання для магістрів спеціальності 8.06010101 –“Промислове і цивільне будівництво”/ Укл.: Г.Д. Портнов, А.А. Тихий – Кіровоград: КНТУ, 2015. –46 с.

## Зміст

Вступ	3
1.	3
2.	4
3.	9
3.1	9
3.2	13
3.3 Аналітичне визначення поздовжніх зусиль	14
3.4 Розрахунок по лініях впливу	17
4. Практична частина	18
4.1 Кінематичний аналіз	18
4.2 Визначення зусиль у стрижнях ферми	19
4.3 Побудова ліній впливу	22
4.4 Виконання розрахунку на ПК	28
Бібліографічний список	29