

**Тема 4.Складання розрахункової схеми системи.Шифр і ознака системи. Бібліотека кінцевих елементів програми «Ліра». Місцева система координат. Жорсткісні характеристики елементів. Зв'язки системи**

***4.1 Шифр і ознака системи***

Шифр задачі може складатися з довільних символів, окрім знаків припинення. Після шифру може слідувати інформація про задачу. Повний шифр задачі роздруковується один раз на початку, а надалі перед кожною таблицею роздруковуються тільки перші вісім символів.

У таблиці «Признак системи» [1] може бути вказана одна з наступних ознак системи:

**1** - система, кожний вузол якої містить два ступені свободи:

лінійне переміщення уздовж осі **X**;

лінійне переміщення уздовж осі **Z**.

Система розташовується обов'язково в площині "XOZ". По цій ознаці розв'язуються плоскі шарнірно-стержньові системи (ферми, башти, щогли і т.п.), балки-стілки (плоска задача теорії пружності) і т.п.

**2** - система, кожний вузол якої містить три ступені свободи:

лінійне переміщення уздовж осі **X**;

лінійне переміщення уздовж осі **Z**;

поворот навкруги осі **Y**.

Система розташовується обов'язково в площині "XOZ". По цій ознаці розв'язуються плоскі рамні системи, можуть розраховуватися і безрозкосні ферми.

**3** - система, кожний вузол якої містить три ступені свободи:

лінійне переміщення уздовж осі **Z**;

поворот навкруги осі **X**;

поворот навкруги осі **Y**.

Система розташовується обов'язково в площині "ХОУ". Ця ознака характерна для балочних ростверків, плит, що згинаються, плит на пружній підставі, композитних систем у вигляді плит, які підперті знизу ребрами і т.п.

**4** - система, кожний вузол якої містить три ступені свободи:

лінійне переміщення уздовж осі **X**;

лінійне переміщення уздовж осі **У**;

лінійне переміщення уздовж осі **Z**.

Система розташовується в просторі "ХУZ". По цій ознаці розраховуються просторові шарнірно-стержньові системи, масивні тіла (трьохвимірна задача теорії пружності) і т.п.

**5** - система загального вигляду, кожний вузол якої містить шість ступенів свободи:

лінійне переміщення уздовж осі **X**;

лінійне переміщення уздовж осі **У**;

лінійне переміщення уздовж осі **Z**;

поворот навкруги осі **X**;

поворот навкруги осі **У**;

поворот навкруги осі **Z**.

Система розташовується в просторі "ХУZ". По цій ознаці розраховуються системи загального вигляду - просторові конструкції будівель і споруд, оболонки, плити на пружній підставі сумісно з надземними будовами і т.п. По загальній ознаці **5** можуть бути розраховані і всі приватні системи, які розраховуються по ознаках **1-4**, проте при цьому подовжується час рахунку задачі.

#### ***4.2 Бібліотека кінцевих елементів програми «ЛІРА»***

Перелік кінцевих елементів програми «ЛІРА», що найчастіше вживаються, приведений в табл. 3.1. В цій таблиці даються відомості про найменування кінцевих елементів, напрямки місцевих осей координат для цих елементів, а також про те, в яких площинах системи координат можна їх

використовувати. Наводяться дані про кількість ступенів свободи, якими може володіти той або інший кінцевий елемент бібліотеки, а також можлива ознака системи. Тут же наводяться приклади використання кінцевих елементів в різних типах розрахункових схем систем.

### 4.3 Місцева система координат

Для фіксації місцеположення кінцевого елемента служить місцева система координат  $X_1, Y_1, Z_1$ ; яка може бути тільки правою декартовою. Місцева система координат також необхідна для орієнтації місцевого навантаження, головних осей інерції для стержнів, зусиль і напружень, що виникають в елементах, орієнтації арматури в перетинах залізобетонних елементів.

Для одновимірних кінцевих елементів (типи КЕ № 1-5, 10) місцева система координат має наступну орієнтацію: вісь  $X_1$  (рис. 3.1) направлена від початку стержня (перший вузол) до кінця (другий вузол). Вісь  $Z_1$  разом з віссю  $X_1$  утворюють праву позитивну четверть. Для орієнтації осі  $Y_1$  існує наступне правило: якщо дивитися з кінця осі  $Z_1$ , то вісь  $X_1$  переміщаючись на  $90^\circ$  до поєднання з віссю  $Y_1$  обертається проти ходу годинникової стрілки.

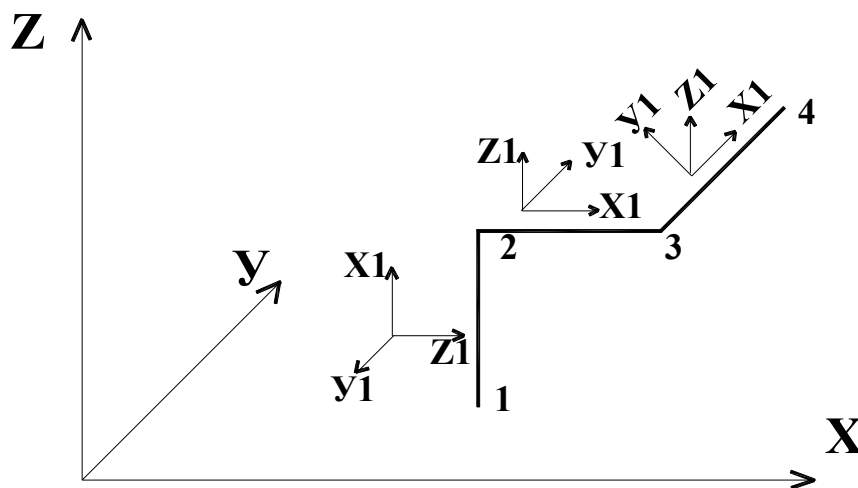


Рисунок 3.1 - Орієнтація осей місцевої системи координат для стержньових елементів.

Для всіх пластинчастих елементів (типи КЕ № 11, 12, 21-24, 41,42) вісь  $X_1$  направлена від першого вузла до другого (рис. 3.2). Для прямокутних елементів плити і оболонки (типи КЕ № 11 і 41) вісь  $Y_1$  направлена від першого вузла до третього (див. рис. 3.2). Для плоско напружених елементів (типи КЕ № 21, 23) від першого вузла до третього направлена вісь  $Z_1$  (див. рис. 4.2). Для трикутних елементів плити і оболонки (типи КЕ № 12 і 42) вісь  $Y_1$  ортогональна до осі  $X_1$  і розташована в площині елемента (див. рис. 4.2). Для плоско напружених трикутних елементів (типи КЕ № 22,24) вісь  $Z_1$  ортогональна осі  $X_1$  і розташована в площині елемента (див. рис. 3.2).

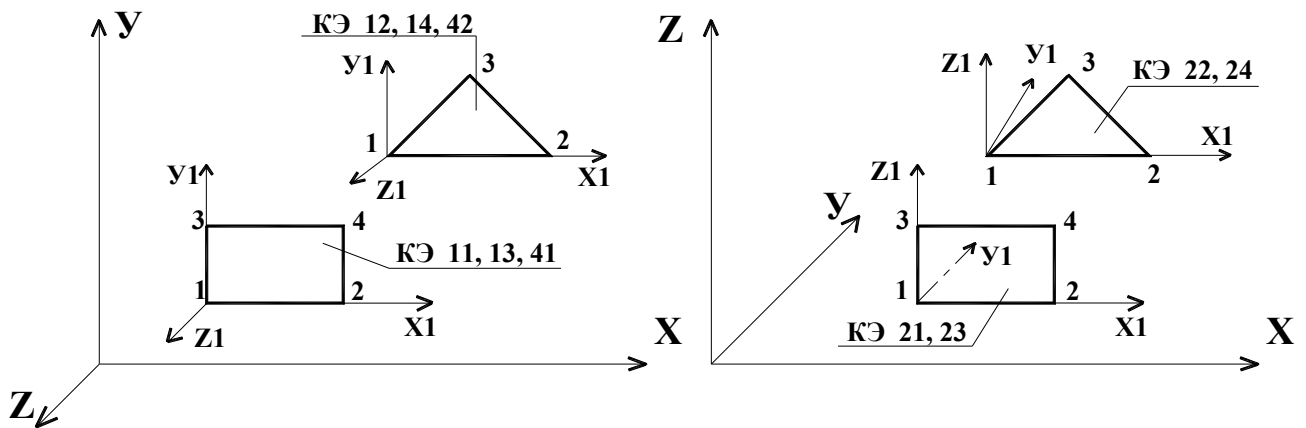


Рисунок 4.2 - Орієнтація осей місцевої системи координат для пластинчастих елементів.

Для об'ємних кінцевих елементів (тип КЕ № 31) вісь  $X_1$  направлена від першого вузла, до другого, вісь  $Y_1$  розташовується в площині нижньої грані і ортогональна осі  $X_1$ . Осі  $X_1$ ,  $Y_1$ ,  $Z_1$  утворюють праву трійку (рис. 3.3).

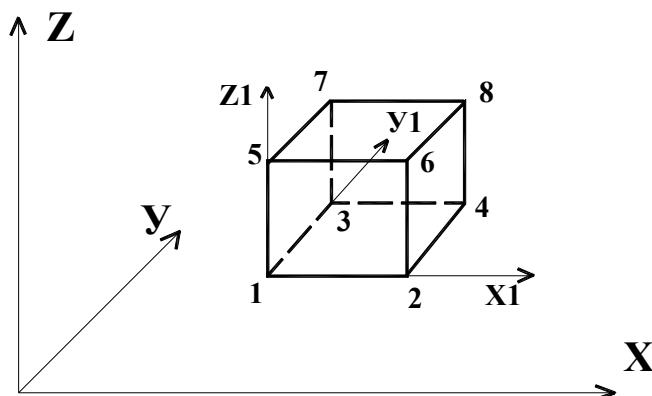


Рисунок 4.3 - Орієнтація осей місцевої системи координат для об'ємних елементів.

#### 4.4 Жорсткісні характеристики елементів

Функція «Жорсткість» призначена для опису жорсткісних характеристик елементів системи, яка розраховується.

Для стержньових елементів можуть указуватися:

- модуль пружності в тоннах і метрах і розміри перетину в сантиметрах після ідентифікатора, що позначає форму перетину;
- вид прокату і номер профілю для перетинів сталевих конструкцій;
- жорсткісні характеристики в порядку і складі, обумовленому типом кінцевого елемента;
- жорсткі вставки в вигляді двох чисел: довжини жорстких вставок на початку і в кінці стержня в метрах;
- ядра перетинів в метрах після ідентифікаторів Y і Z (по два числа після кожного).

Набір жорсткісних характеристик і їх порядок в рядку залежно від типів кінцевих елементів зведено в табл. 4.2.

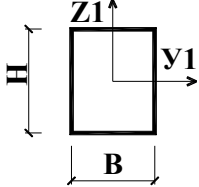
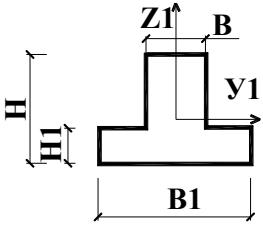
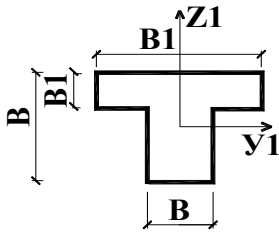
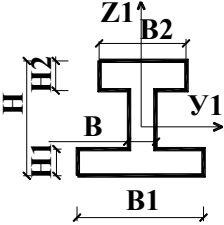
Таблиця 4.2 - Склад і порядок жорсткісних характеристик

Тип кінцевого елемента	Характеристики (одиниці вимірювання)	Примітка
1	2	3
1, 4	EA (т)	EA – подовжня жорсткість; E – модуль пружності (т·м <sup>2</sup> ); A – площа перетину (м <sup>2</sup> )

2	$EA$ (Т); $EI_y$ (Т·м <sup>2</sup> )	$EA$ – подовжня жорсткість; $EI_y$ – згинальна жорсткість щодо осі У1; $I_y$ – момент інерції поперечного перетину щодо осі У1 (м <sup>4</sup> )
1	2	3
3	$EI_y$ (Т·м <sup>2</sup> ); $GI_{кр}$ (Т·м <sup>2</sup> )	$EI_y$ – згинальна жорсткість щодо осі У1; $GI_{кр}$ – крутильна жорсткість; $G$ – модуль зсуву (Т·м <sup>2</sup> ); $I_{кр}$ – момент інерції кручення поперечного перетину (м <sup>4</sup> )
5; 10	$EA$ (Т); $EI_y$ (Т·м <sup>2</sup> ); $EI_z$ (Т·м <sup>2</sup> ); $GI_{кр}$ (Т·м <sup>2</sup> )	$EA$ – подовжня жорсткість; $EI_y$ – згинальна жорсткість щодо осі У1; $EI_z$ – згинальна жорсткість щодо осі Z1; $GI_{кр}$ – крутильна жорсткість; $I_z$ - момент інерції поперечного перетину щодо осі Z1 (м <sup>4</sup> )
11; 12; 21; 22; 23; 24; 41; 42	$E$ (Т/м <sup>2</sup> ); $\mu$ ; $\delta$ (м)	$E$ – модуль пружності (Т·м <sup>2</sup> ); $\mu$ - коефіцієнт Пуассона; $\delta$ – товщина елемента (м)
31	$E$ (Т/м <sup>2</sup> ); $\mu$	$E$ – модуль пружності (Т/м <sup>2</sup> ); $\mu$ - коефіцієнт Пуассона
51	$N$ ; $ER_N$ (Т/м)	$N = 1...6$ – код ступеня свободи, по напрямку якої введений зв'язок; $ER_N$ – жорсткість введеного зв'язку

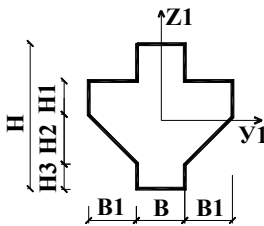
Розглянемо ідентифікацію найбільш розповсюджених форм перетину стержнів в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Ідентифікація перетинів стержнів

Ідентифікатор	Ескіз перетину з літеровим позначенням розмірів	Склад і порядок характеристик, що задаються
1	2	3
SØ		E (т/м <sup>2</sup> ); B (см); H (см)
S1		E (т/м <sup>2</sup> ); B (см); H (см); B1 (см); H1 (см)
S2		E (т/м <sup>2</sup> ); B (см); H (см); B1 (см); H1 (см)
S3		E (т/м <sup>2</sup> ); B (см); H (см); B1 (см); H1 (см); B2 (см); H2 (см)

S4		$E$ ( $\tau/\text{M}^2$ ); $B$ (cm); $H$ (cm); $B1$ (cm); $H1$ (cm)
1	2	3
S5		$E$ ( $\tau/\text{M}^2$ ); $B$ (cm); $H$ (cm); $B1$ (cm); $H1$ (cm);
S6		$E$ ( $\tau/\text{M}^2$ ); $D$ (cm); $d$ (cm); $d \neq 0$



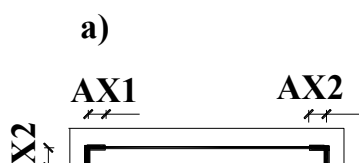
S7		E (т/м <sup>2</sup> ); B (см); H (см); B1 (см); H1 (см); H2 (см); H3 (см);

Розглянемо порядок завдання інших ідентифікаторів для стержньових елементів в табл. 4.4.

Порядок визначення параметрів ідентифікаторів для стержньових елементів, які представлені в табл. 3.4, приведений на рис. 3.4.

Таблиця 4.4 - Ідентифікатори для стержньових елементів

Ідентифікатор	Тип кінцевого елемента	Характеристики, що задаються (одиниці вимірювання)	Примітка
AX	2; 3; 5; 10	AX1 (м); AX2 (м);	AX1; AX2 – розміри абсолютно жорстких вставок на початку і в кінці стержнів;
Y	1-5; 7; 8	Y1 (м); Y2 (м);	Y1; Y2 – розміри ядра перетину уздовж місцевої осі Y1;
Z	1-5; 7; 8	Z1 (м); Z2 (м);	Z1; Z2; - розміри ядра перетину уздовж місцевої осі Z1;



б)

Рисунок 4.4 - До визначення параметрів ідентифікаторів: а – розмірів жорстких вставок; б – розмірів ядер перетину.

#### **4.5 Зв'язки системи**

Функція «Зв'язки» служить для опису місця розташування і характеру опорних закріплень системи, яка розраховується.

Для цього треба виділити вузли системи і вказати ступені свободи, на які можуть бути накладені зв'язки в цьому вузлі.

Можливі ступені свободи системи мають вигляд:

- відсутні лінійні переміщення уздовж осі **X**;
- відсутні лінійні переміщення уздовж осі **Y**;
- відсутні лінійні переміщення уздовж осі **Z**;
- відсутні повороти навкруги осі **X**;
- відсутні повороти навкруги осі **Y**;
- відсутні повороти навкруги осі **Z**.

Кількість ступенів свободи залежить від ознаки системи і має наступні варіанти:

**1** ознака - відсутні лінійні переміщення уздовж осі **X** і осі **Z**;

**2** ознака - відсутні лінійні переміщення уздовж осі **X** і осі **Z**; а також відсутні повороти навкруги осі **Y**;

**3** ознака - відсутні лінійні переміщення уздовж осі **Z**; а також відсутні повороти навкруги осі **X** і осі **Y**;

**4** ознака - відсутні лінійні переміщення уздовж осі **X**, осі **Y** і осі **Z**;

**5** ознака - відсутні лінійні переміщення уздовж осі **X**, осі **Y** і осі **Z**; а також відсутні повороти навкруги осі **X**, осі **Y** і осі **Z**.