

## ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ШЛЯХОПРОВОДУ

Балдук П.Г., к.т.н., доцент, Яременко О.О., к.т.н., Балдук Н.П.  
(Одеська державна академія будівництва та архітектури)

В будівельній практиці та містобудівництві широко використовуються невідільні рами шляхопровідного типу (рис.1). В таких рамах навантаження діє як в одному вузлі, так і в декількох або в усіх вузлах. Розглядається втрата стійкості першого роду стосовно подовжньому вигину стійок такої рами [1; 2]. У загальному випадку елементи рами мають довільні наведені жорсткості, постійні по довжині елементів. Прикладені сили зв'язуються між собою співвідношенням і змінюються пропорційно одного параметра.

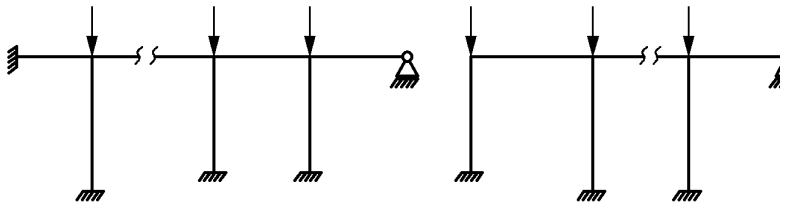


Рис. 1. Рами шляхопровідного типу

Система рівнянь методу переміщень в матричній формі має класичний вигляд. Визначення критичного навантаження полягає в пошуку коренів загального рівняння стійкості, яке виходить при умові не нульових переміщень. Рівняння стійкості є трансцендентним рівнянням, точне рішення якого при  $n > 2$  являє собою складну математичну задачу. Задіяти для вирішення поставленого завдання універсальні обчислювальні комплекси, такі як ANSYS, LIRA та інші, не завжди доцільно з багатьох причин.

Загальне рівняння стійкості представляється в матричному вигляді:

$$D(\nu) = \begin{bmatrix} r_{1,1}(\nu) & r_{1,2}(\nu) & \dots & r_{1,n}(\nu) \\ r_{2,1}(\nu) & r_{2,2}(\nu) & \dots & r_{2,n}(\nu) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n,1}(\nu) & r_{n,2}(\nu) & \dots & r_{n,n}(\nu) \end{bmatrix} = 0. \quad (1)$$

Всі нелінійні параметри функцій  $\nu_i$ , що входять в загальне рівняння стійкості (1) наводимо до одного аргументу  $\nu_0$ . Тоді усі

коєфіцієнти визначника будуть функціями тільки цього одного параметра і рівняння стійкості матиме такий вигляд:

$$D(v_o) = |\Phi_{i,k}(v_o)| = 0. \quad (2)$$

Визначені формули узагальнених коєфіцієнтів:

$$\begin{aligned} r_{i,i} &= \frac{4EI_{C_i}}{H_i} \varphi_2(v_i) + \frac{4EI_{P^{(i-1)}}}{L_{i-1}} + \frac{4EI_{P_i}}{L_i} = \\ &= a \cdot \frac{s_i}{h_i} \varphi_2(v_i) + b \cdot \frac{P_{i-1}}{k_{i-1}} + b \cdot \frac{P_i}{k_i}. \end{aligned} \quad (3)$$

$$r_{i,i-1} = \frac{2EI_{P_i}}{L_i} = \frac{2EI_{P_i} p_i}{L_i k_i} = \frac{b}{2} \cdot \frac{p_i}{k_i}. \quad (4)$$

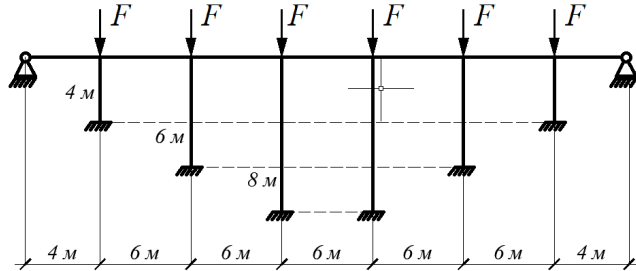
У формулах (3) ÷ (4) введені коєфіцієнти варіації характеристик моделі: по довжині висоти стійок, за величиною згинальної жорсткості стійок, по довжині ригелів, за величиною згинальної жорсткості ригелів, за величиною сил, відповідно –  $h_i$ ,  $s_i$ ,  $k_i$ ,  $p_i$ ,  $f_i$ ; а також константи –  $a$ ,  $b$ . В залежності від наявності та умов закріплення першого та останнього прольотів такої рами, корегуються діагональні коєфіцієнти  $r_{1,1}$  та  $r_{n,n}$ . Слід зазначити, що рівняння (1) та вирази (3) ÷ (4) є окремим випадком рівняння стійкості та виразів узагальнених коєфіцієнтів, отриманих авторами для вільної одноповерхової багато прольотної рами.

Отримана компактна запис узагальнених коєфіцієнтів матриці рівняння стійкості дозволяє істотно полегшити створення алгоритмів і написання комп'ютерних програм, призначених для вирішення подібних завдань. Формули узагальнених коєфіцієнтів були використані при написанні програми в таблицях *Excel*.

Для верифікації авторської програми був виконаний ряд розрахунків рам [2÷4]. Зроблено порівняння з розрахунком рам на стійкість в програмному комплексі ANSYS. Від авторського розрахунку отримані результати відрізняються не більш ніж на 1%.

Складеної програмою було виконано розрахунки на стійкість рами шляхопроводу [3]. Модель розглянутої рами має зміну висоту стійок при двох розмірах прольотів (рис. 2), для неї число невідомих методу переміщень дорівнює шести. Параметри моделі:  $l_1=l_7=4$  м;  $l_2=l_6=6$  м;  $h_1=h_6=4$  м;  $h_2=h_5=6$  м;  $h_3=h_4=8$  м;  $EI_P=1600$  Нм<sup>2</sup>;  $EI_C=1200$  Нм<sup>2</sup>;  $EI_{P1}=EI_{P7}=EI_P$ ;  $EI_{P2} \div EI_{P6}=2,25EI_P$ ;  $EI_{C1}=EI_{C6}=EI_C$ ;  $EI_{C2}=EI_{C5}=1,75EI_C$ ;  $EI_{C3}=EI_{C4}=2,6EI_C$ ;  $F_1 \div F_6=F$ .

У статті [3] розрахунок усієї рами умовно замінювався послідовним розрахунком трьох  $T$ -образних рам. Для кожної рами знаходилась критична сила  $F_{cr}$ , критичне навантаження усього шляхопроводу визначалося як  $F_{cr} = \min(F_{cr1}, F_{cr2}, F_{cr3}) = 1630 \text{ кН}$ .



Порівняння розрахунків зведено у таблицю 1.

Таблиця 1.

# №		Значення критичної сили $F_{cr}$ (у кН)	
		Авторській розрахунок	В статті [4]
1	Сила $F$ прикладена тільки в вузлі 1	2420	2400
2	Сила $F$ прикладена тільки в вузлі 2	1910	1860
3	Сила $F$ прикладена тільки в вузлі 3	1610	1630
4	Сили $F$ прикладені в усіх вузлах	1520	-

#### Література

- Смирнов А. Ф., Александров А.В., Лашеников Б. Я., Шапошников Н. Н. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. М.: Стройиздат, 1984. С. 416.
- Снитко Н. К. Устойчивость стержневых систем//Москва. 1952. С. 156–165.
- Раевский А. Н. Основы расчета сооружений на устойчивость. Устойчивость стержневых систем. М.: Высшая школа, 1963. С. 160.
- Рогацкий С. А. Устойчивость стержневых систем с подвижными узлами. Труды УПИ, сборник 44. Госстройиздат– 1953.