

АНАЛІЗ ЗМІНЕННЯ ЗУСИЛЬ І ПРОГІНІВ ФЕРМИ З ПРОСТІЙ РЕШІТКОЮ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЇЇ ВИСОТИ

Ткаченко М.М., Арц М.В., ДМ-31-18, ХНАДУ

Керівник: к.т.н., проф. каф. МКБМ – Кіслов О.Г.

При вивченні дисципліни «Будівельна механіка» ми займалися розрахунками елементів транспортних споруд на автомобільних дорогах. Метою розрахунків є забезпечення достатньої надійності цих споруд та поєднання її з економічністю. Під дією зовнішнього навантаження в елементах споруд виникають внутрішні зусилля та переміщення. Аналіз цих факторів дає змогу раціонально використовувати розрахункові схеми та геометричні характеристики будівельних споруд.

Розглянемо розрахунок сталеві стержневої системи, яка складається з окремих прямолінійних стержнів, з'єднаних між собою у вузлах з допомогою зварки, заклепок або болтів, наприклад плоскої ферми.

Фермою називається стержнева система, яка залишається геометрично незмінною після умовної заміни її жорстких вузлів шарнірними. Ферми мають призначення, таке як і балки суцільних перерізів, але застосовуються для перекриття значних прольотів, коли проектування суцільних балок економічно не вигідно. В таких випадках суцільну балку замінюють фермою, елементи якої під дією зосереджених сил, прикладених у вузлах працюють головним чином на центральний стиск або розтяг.

В якості досліджуваної ферми приймаємо ферму з паралельними поясами і простій решіткою.

При проведенні досліджень змінювались параметри ферми: висота h , кут нахилу розкосів α , а довжина панелей d і навантажень F , що прикладені у кожному вузлі нижнього поясу не змінювались. Розрахункова схема ферми показана на рис. 1 а.

Ферма працює як звичайна балка, тому були побудовані епюри поперечних сил Q (рис. 1 б) і згинальних моментів M (рис. 1 в).

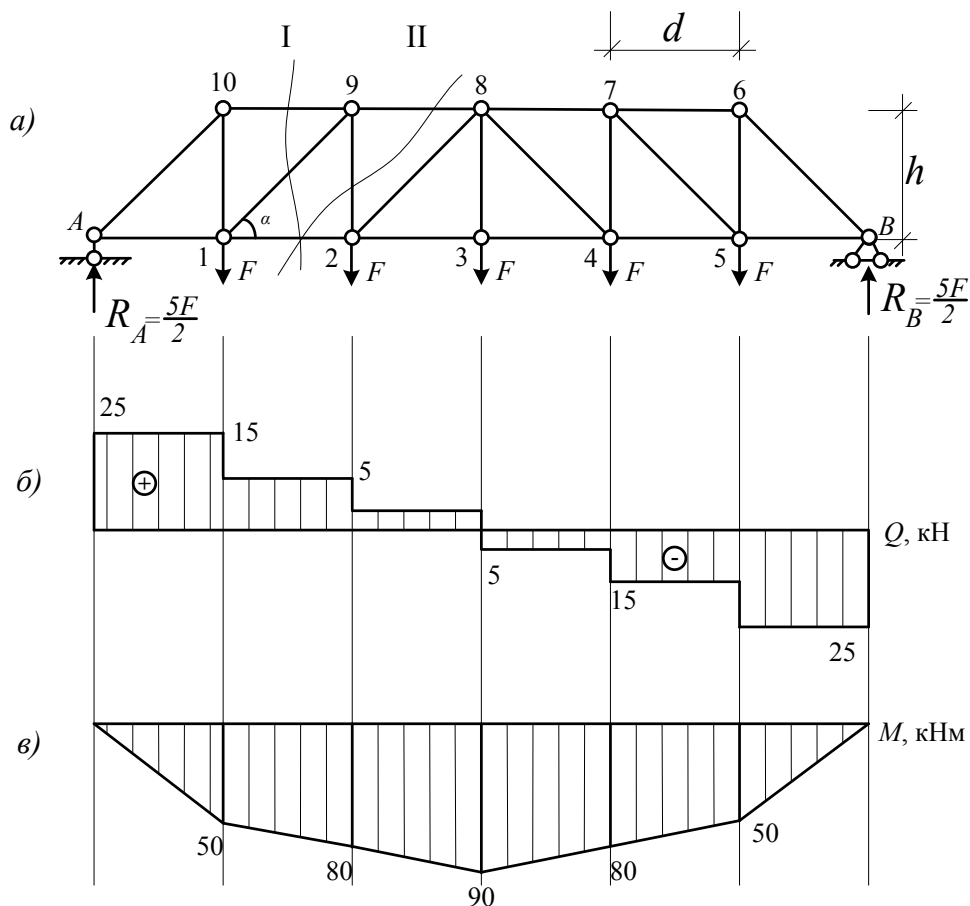


Рисунок 1 – Розрахункова схема, епюра поперечних сил Q , епюра згинальних моментів M .

При розрахунках було прийнято такі параметри: $d=2\text{м}$, $F=10\text{кН}$, $h=1\text{-}6\text{м}$.

Для визначення зусиль в стержнях ферми використовувався метод перерізів ($\Sigma M=0$, $\Sigma Y=0$).

Для стержнів поясів і розкосів застосовувались перерізи типу – I, для стояків – типу II (рис. 1а).

Зусилля в стержнях, що належать поясам ферми обчислювались з допомогою епюри згинальних моментів M . Позначимо зусилля в стержнях верхнього поясу $N_{\text{в.п.}}$, нижнього $N_{\text{н.п.}}$. тоді зусилля в обох поясах визначалися за формулами:

$$N_{\text{в.п.}} = \frac{M_i}{h}; \quad N_{\text{н.п.}} = \frac{M'_i}{h}$$

де M_i - значення згинального моменту в балці АВ під моментними точками (вузли 6÷10);

M'_i - значення згинальних моментів в балці АВ під моментними точками (вузли А÷В).

Зусилля в стержнях верхнього поясу мають від'ємні знаки, нижнього поясу – додатні.

Зусилля в розкосах обчислювались за допомогою епюри поперечних сил Q . Позначимо зусилля в розкосах N_p та визначимо їх за формулами:

- для лівої частини ферми $N_p = \frac{Q_i}{\sin \alpha_i}$;
- для правої частини ферми $N'_p = \frac{Q_i}{\sin \alpha_i}$;

де Q_i - значення поперечної сили в балці АВ;

α_i - кут нахилу розкосу до стояка.

Всі розкоси стиснуті, тобто $N_p < 0$.

Зусилля в стояках визначалися за допомогою епюри поперечних сил Q . Позначимо зусилля в стояках N_c , та визначимо їх за формулою $N_c = Q_i$.

Всі стояки розтягнуті, тобто $N_c > 0$.

За наведеними формулами були обчислені зусилля в стержнях верхнього та нижнього поясів, розкосах і стояках.

Результати розрахунків наведені в табл. 1. Оскільки ферма симетрична показані зусилля тільки в стержнях лівої частини ферми.

Таблиця 1 – Зусилля в стержнях ферми при змінній висоті ферми

Тип стержня	№ стержня	Зусилля в стержнях, кН					
		$h=1\text{м}$	$h=2\text{м}$	$h=3\text{м}$	$h=4\text{м}$	$h=5\text{м}$	$h=6\text{м}$
Верхній пояс	9-10	-50	-25	-16,67	-12,5	-10	-8,33
	8-9	-80	-40	-26,67	-20	-16	-13,33
Нижній пояс	A-1	50	25	16,67	12,5	10	8,33
	1-2	80	40	26,67	20	16	13,33
	2-3	90	45	30	22,5	18	15
Стояки	1-10	25	25	25	25	25	25
	2-9	15	15	15	15	15	15
	3-8	10	10	10	10	10	10
Розкоси	A-10	-56,02	-35,36	-30,04	-27,98	-26,93	-26,36
	1-9	-33,61	-21,21	-18,02	-16,76	-16,16	-15,82
	2-8	-12,5	-7,07	-6,81	-6,0	-5,45	-5,27

На рис. 2а показані залежності внутрішніх зусиль від висоти ферми, значення зусиль наведені за модулем. Зусилля в стояках не показані, оскільки їх величини не змінювались.

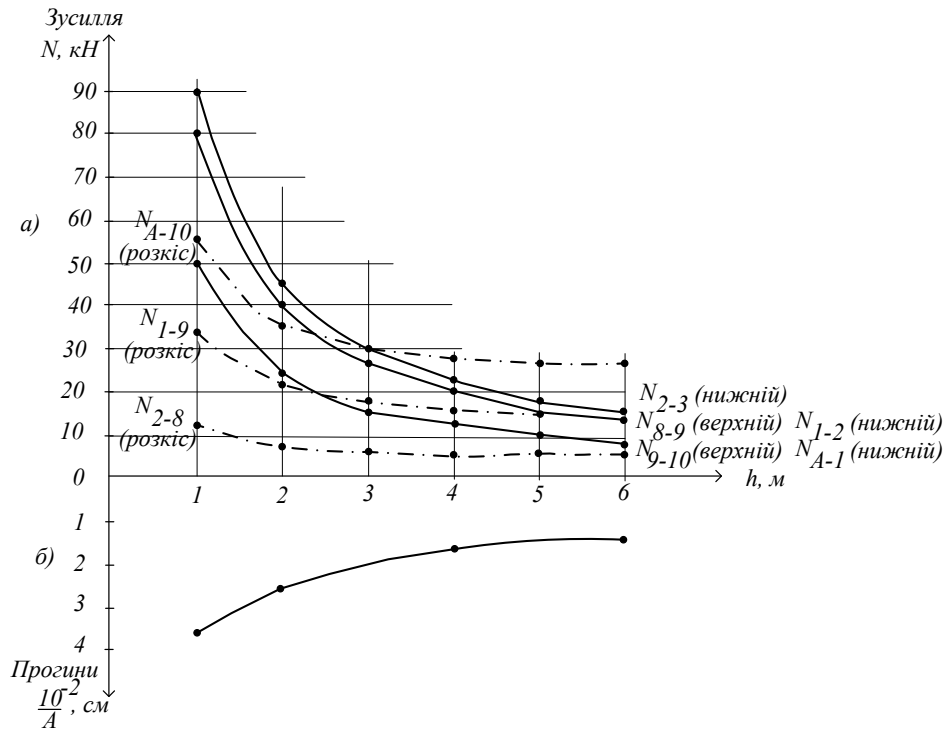


Рисунок 2 – Залежність внутрішніх зусиль і прогинів від висоти ферми

- а) ——— внутрішні зусилля в стержнях поясів;
 - - - - - внутрішні зусилля в розкосах.
- б) прогини середини ферми.

При дослідженні роботи ферми при змінненні її висоти також було проведено аналіз змінення прогинів середини ферми (вузол 3).

Для визначення переміщень вузлів ферми, було використано метод фіктивних вантажів.

Формула пружного вантажу має такий вираз

$$W_n = \sum \frac{N_F \bar{N}_i \ell}{EA}$$

де N_F - зусилля в стержнях ферми від дії зовнішнього навантаження;

\bar{N}_i - зусилля в стержнях ферми від одиничних пар, що прикладуються до двох стержнів, які сходяться у вузлі n ;

EA - жорсткість при розтягу-стиску, яку приймаємо $EA - const$.

Для побудови епюри прогинів нижнього поясу ферми було обчислено пружні вантажі у вузлах 1, 2, 3, 4. Для цього послідовно було прикладено одиничні пари до кожних суміжних стержнів нижнього поясу, якщо $1/d=1/2$. Визначимо поздовжні зусилля в усіх стержнях ферми, що викликаються цими парами сил.

Було розглянуто три таких випадки (рис. 3 а, б, в).

Зусилля в стержнях ферми від дії зовнішнього навантаження та одиничних пар наведені в табл. 3, де також показані довжини стержнів при $h=2\text{м}$ і обчислені величини пружного вантажу W_1 .

Таблиця 3 - Величини пружного вантажу W_1

№ стержня	Довжина стержня, м	Зусилля N_F , кН	Зусилля \bar{N}_i	$\frac{N_F \bar{N}}{EA} \ell$
A-10	2,828	-35,36	0,7071	$-70,71 / EA$
A-1	2	25	-0,5	$-25 / EA$
1-10	2	25	-0,5	$-25 / EA$
1-9	2,828	-21,21	-0,7071	$42,41 / EA$
9-10	2	-25	0,5	$-25 / EA$
2-9	2	15	0,5	$15 / EA$

$$W_1 = \sum -88,3 / EA$$

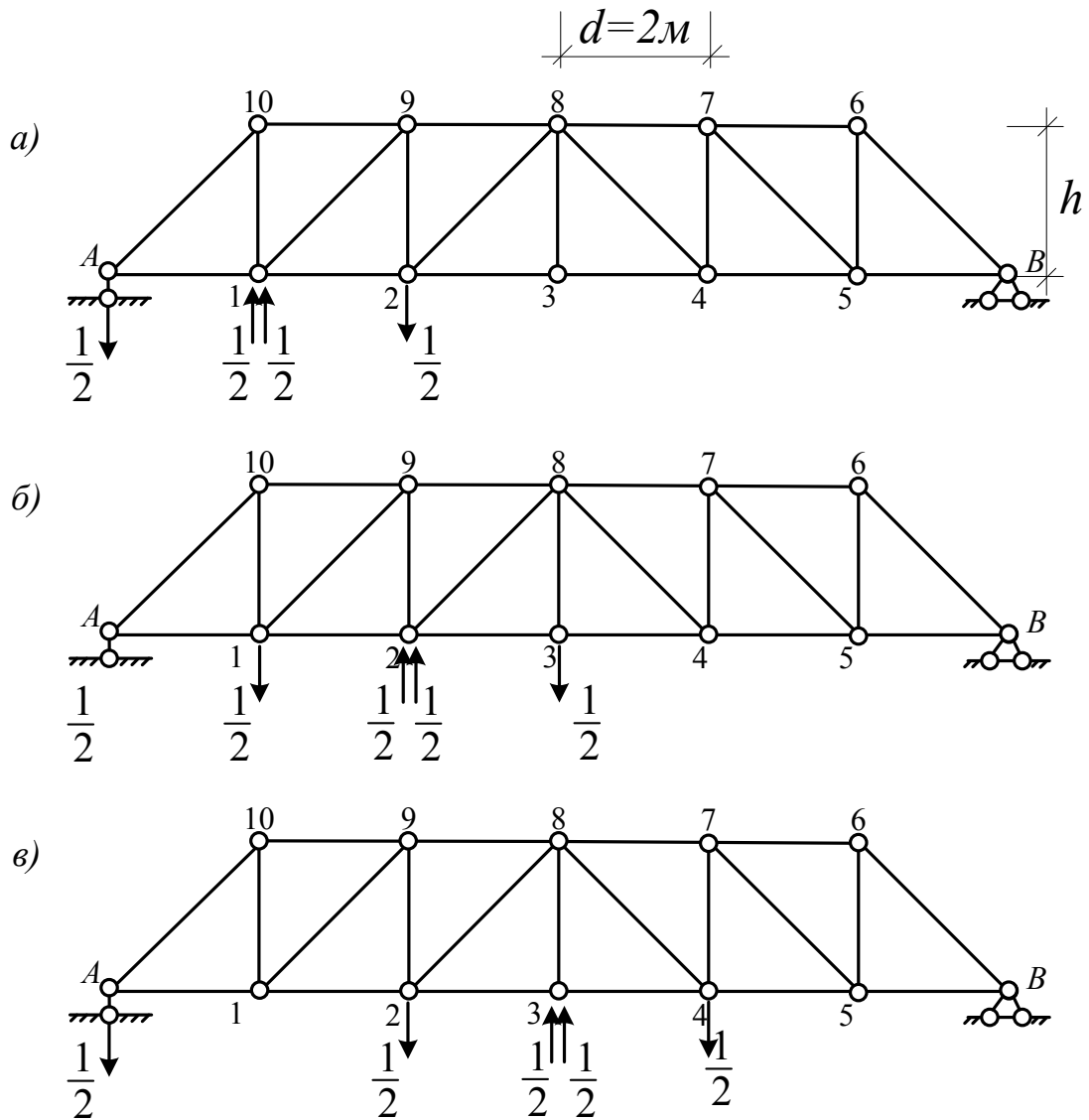


Рисунок 3 – Розрахункова схема для визначення пружних вантажів W_i

- а) одиничні пари у вузлах А, 1, 2;
- б) одиничні пари у вузлах 1, 2, 3;
- в) одиничні пари у вузлах 2, 3, 4.

Аналогічно було обчислено W_1 при $h=4$ і $6m$, W_2 і W_3 при $h=2m, 4m$ і $6m$.

Пружні вантажі $W_1 = W_5$, $W_2 = W_4$ у зв'язку з симетрією ферми.

Пружні вантажі W_1, W_2, W_3, W_4, W_5 мають від'ємне значення, тому спрямовані униз.

Розглянемо умовну балку АВ з діючими на неї пружними вантажами (рис. 4 а) при $h=2\text{м}$.

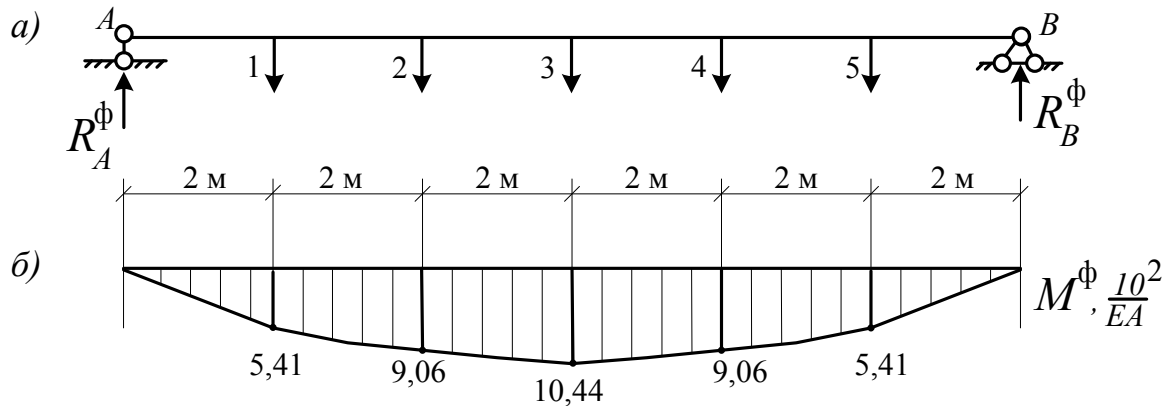


Рисунок 4 – Умовна балка АВ

- а) розрахункова схема;
- б) епюра фіктивних моментів.

Визначимо фіктивні моменти M_i^ϕ :

$$M_1^\phi = y_1 = M_5 = Y_5 = 541,44 / EA;$$

$$M_2^\phi = y_2 = M_4 = Y_4 = 906,28 / EA;$$

$$M_3^\phi = y_3 = -1044,56 / EA.$$

За добутими даними побудована епюра фіктивних моментів при $h=2\text{м}$ (рис. 4 б).

Аналогічно були побудовані епюри фіктивних моментів при $h=4\text{м}$ і $h=6\text{м}$.

Залежність прогинів середини ферми від висоти ферми наведена на рис. 2 б.

Аналіз отриманих результатів дозволили зробити деякі висновки:

1. Із збільшенням висоти ферми зусилля в її поясах знижуються, а довжина поясів залишається незмінною, отже, їх вага зменшується.

2. Зусилля в стояках ферми, що досліджується не залежить від її висоти, отже збільшення висоти ферми веде до збільшення ваги стояків.

3. Зусилля в розкосах із збільшенням висоти ферми зменшуються, а їх довжина збільшується та найбільш навантаженими є опорні розкоси, отже можна знайти таку висоту ферми щоб був мінімум ваги розкосів.

4. Збільшення висоти ферми відносно прогину ферми веде до зниження величин переміщень вузлів вантажного поясу.

Література:

1. Строительная механика: учебник для вузов / под ред. Даркова А.И.- М.: Высш. школа, 1976.- 600 с.
2. Рабинович И.М. Курс строительной механики стержневых систем Ч.1: учебник для строительных вузов / И.М. Рабинович.- М.: Гос. изд-во строительной литературы, 1950.- 387 с.
3. Голеско В.О. Статично визначені системи інженерних споруд на автомобільних дорогах: Навчальний посібник / В.О. Голеско, О.Г. Кіслов.- Х., 2001.- 133 с.