

РОЗРАХУНОК ГРАТЧАСНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА НЕРУХОМЕ ТА РУХОМЕ НАВАНТАЖЕННЯ

*Дроботенко О.Д., Рибалка Я.О. ДМ-26т1-20
Науковий керівник: к.т.н., проф. Кіслов О.Г.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Для створення будівельних конструкцій різноманітних транспортних споруд, а також інших ми вивчали дисципліни Опір матеріалів і Будівельна механіка. У першій з цих дисциплін вивчали інженерні методи розрахунку на міцність, жорсткість та стійкість окремих елементів конструкцій, переважно одномірних (стержень). У дисципліні Будівельна механіка вивчали методом розрахунку конструкцій як сукупностей або систем конструктивних елементів.

Однією з систем стержнів, що ми вивчали в будівельній механіці це ферма, тобто геометрично незмінна система, яка складена зі стержнів, з'єднаних у вузлах шарнірами (у розрахунковій схемі шарніри вважалися ідеальними). Ці конструкції використовуються у будівництві та машинобудуванні як несучі конструкції. Вони мають велике поширення в мостових і козлових кранах, що відносяться до ґратчастих конструкцій.

Метою розрахунків є забезпечення достатньої надійності цих споруд, тобто визначення зусиль у стержнях ферм, а також перевірка стиснутих стержнів на стійкість.

Ферма мостового крана – це просторова конструкція, що складається з двох плоских ферм, з'єднаних між собою горизонтальними зв'язками. Навантаження розподіляються на дві ферми рівномірно, тому будемо розглядати плоску ферму. У вузлах ферми стержні з'єднуються за допомогою електрозварювання, а в розрахунках вважається, що у вузлах шарнірне закріплення. На ферму діють постійне і рухоме навантаження. Постійне навантаження – це власна вага ферми та конструкцій, що закріплені на фермі.

Рухоме навантаження – це крановий візок з навантаженням, що рухається по верхньому поясу.

Розглянемо ферму мостового крана (рис. 1). В якості дослідження визначимо максимальні зусилля в стержнях, що з'єднуються у вузлі 4, підберемо переріз стержнів з двох рівнобічних кутиків та спроектуємо зварний вузол із розрахунком зварних швів. Допустимі напруження для сталі приймаємо $[\sigma]=160$ МПа, для зварних швів $\tau=100$ МПа.

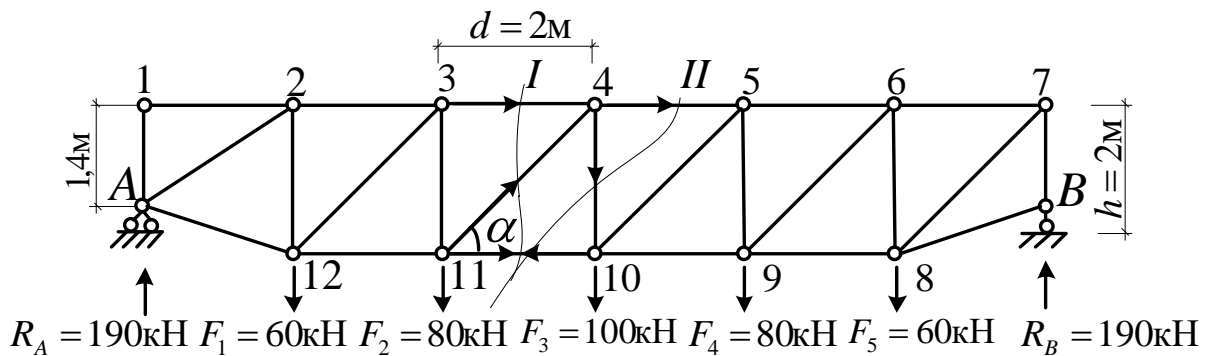


Рисунок 1 - Розрахункова схема ферми

Оскільки ферма має симетричне навантаження то

$$R_A = R_B = \frac{\sum F_i}{2} = \frac{380}{2} = 190\text{кН}.$$

Визначення зусиль у стержнях, що з'єднуються у вузлі 4 від статичного навантаження способом наскрізних перерізів.

N_{3-4} , проведемо переріз I, рівняння рівноваги $\sum M_{11}=0$.

Розглянемо ліву частину ферми $N_{3-4} \cdot 2 + R_A \cdot 4 - F_1 \cdot 2 = 0$,

$$N_{3-4} = \frac{1}{2}(-190 \cdot 4 + 60 \cdot 2) = -320\text{кН}.$$

Стержень працює на стиск.

N_{4-11} , переріз I, $\Sigma Y=0$, розглянемо ліву частину ферми

$$R_A - F_1 - F_2 + N_{4-11} \sin \alpha = 0, N_{4-11} = \frac{1}{\sin 45^\circ} (-190 + 60 + 8) = -71 \text{кН}.$$

Стержень працює на стиск.

N_{4-10} , переріз II, $\Sigma Y=0$, розглянемо ліву частину ферми

$$R_A - F_1 - F_2 - N_{4-10} = 0, N_{4-10} = 190 - 60 - 80 = 50 \text{кН}.$$

Стержень працює на розтяг.

N_{4-5} , переріз II, $\Sigma M_{10}=0$, розглянемо ліву частину ферми

$$R_A \cdot 6 - F_1 \cdot 4 - F_2 \cdot 2 + N_{4-5} \cdot 2 = 0, N_{4-5} = \frac{1}{2} (-190 \cdot 6 + 60 \cdot 4 + 80 \cdot 2) = 370 \text{кН}.$$

Стержень працює на стиск.

Аналогічно визначені зусилля в інших стержнях (табл.1).

Таблиця 1 – Зусилля в стержнях ферми від дії статичного навантаження

Тип стержня	Номер стержня	Зусилля, кН	Тип стержня	Номер стержня	Зусилля, кН
Верхній пояс	1-2	0	Стояки	1-2	0
	2-3	-190		2-12	190
	3-4	-320		3-11	130
	4-5	-370		4-10	50
	5-6	-320		5-9	-50
	6-7	-190		6-8	-130
Нижній пояс	A-12	211	Розкоси	A-2	-241
	11-12	320		3-12	-184
	10-11	370		4-11	-71
	9-10	320		5-10	71
	8-9	190		6-9	184
	B-8	0		7-8	278

Визначення максимальних зусиль в стержнях, що з'єднуються у вузлі 4 на рухоме навантаження (при русі вантажного візка по верхньому поясі ферми).

Попередньо побудуємо лінії впливу зусиль в стержнях N_{3-4} , N_{4-11} ,

N_{4-10} , N_{4-5} від одиничного вантажу $F=1$.

Л.впл. N_{3-4} , переріз I, $\Sigma M_{11}=0$.

1. $F=1$ зліва від розсіченої панелі 3-4, розглянемо праву частину

$$-R_B \cdot 8 - N_{3-4} \cdot 2 = 0, \text{ л.впл. } N_{3-4} = \left(-\frac{8}{2}\right) \text{ л.впл. } R_B$$

2. $F=1$ справа від розсіченої панелі 3-4, розглянемо ліву частину

$$R_A \cdot 4 + N_{3-4} \cdot 2 = 0, \text{ л.впл. } N_{3-4} = \left(-\frac{4}{2}\right) \text{ л.впл. } R_A$$

Л.впл. N_{4-11} , переріз I, $\Sigma Y=0$.

1. $F=1$ зліва від розсіченої панелі 3-4, розглянемо праву частину

$$R_B - N_{4-11} \cdot \sin 45^\circ = 0, \text{ л.впл. } N_{4-11} = \frac{1}{0,707} \text{ л.впл. } R_B$$

2. $F=1$ справа від розсіченої панелі 3-4, розглянемо ліву частину

$$R_A + N_{4-11} \cdot \sin 45^\circ = 0, \text{ л.впл. } N_{4-11} = \left(-\frac{1}{0,707}\right) \text{ л.впл. } R_A$$

Л.впл. N_{4-10} , переріз II, $\Sigma Y=0$.

1. $F=1$ зліва від розсіченої панелі 4-5, розглянемо праву частину

$$R_B + N_{4-10} = 0, \text{ л.впл. } N_{4-10} = (-1) \text{ л.впл. } R_B$$

2. $F=1$ справа від розсіченої панелі 4-5, розглянемо ліву частину

$$R_A + N_{4-10} = 0, \text{ л.впл. } N_{4-10} = \text{ л.впл. } R_A$$

Л.впл. N_{4-5} , переріз II, $\Sigma M_{10}=0$.

1. $F=1$ зліва від розсіченої панелі 4-5, розглянемо праву частину

$$-R_B \cdot 6 - N_{4-5} \cdot 2 = 0, \text{ л.впл. } N_{4-5} = \left(-\frac{6}{2}\right) \text{ л.впл. } R_B$$

2. $F=1$ справа від розсіченої панелі 4-5, розглянемо ліву частину

$$R_A \cdot 6 + N_{4-5} \cdot 2 = 0, \text{ л.впл. } N_{4-5} = \left(-\frac{6}{2}\right) \text{ л.впл. } R_A$$

Лінії впливу показані на рис 2.

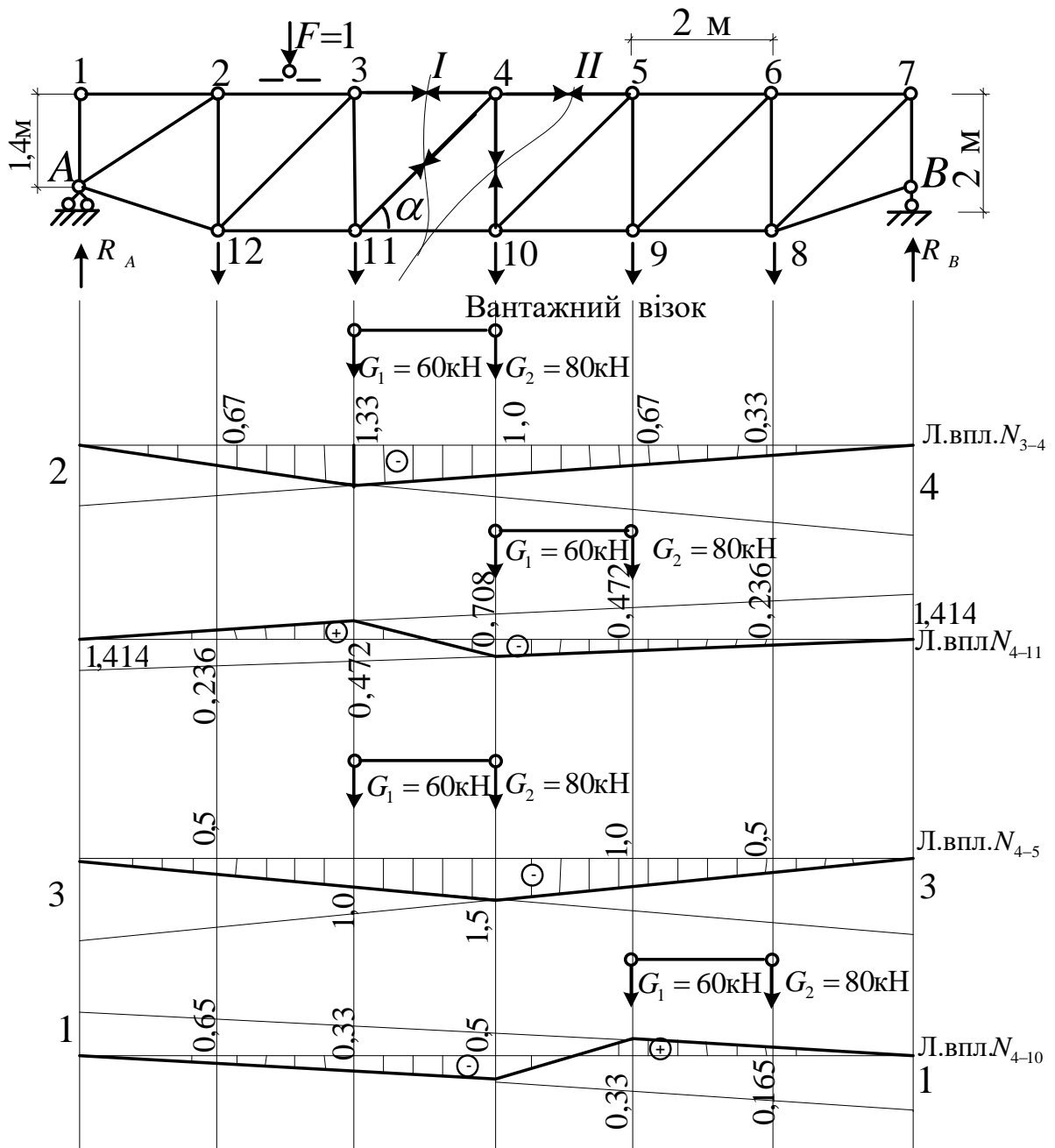


Рисунок 2 - Лінії впливу зусиль у стержнях від одиничного вантажу $F=1$

Визначення за лініями впливу зусилля у стержнях вузла 4 від власної ваги $q_{\text{вв}}=10$ кН/м і при русі вантажного візка

$$N_{3-4}^{\text{вв}} = 10 \left(-\frac{1}{2} 1,33 \cdot 12 \right) = 79,8 \text{ кН},$$

$$N_{4-11}^{\text{вв}} = 10 \left(\frac{1}{2} 0,472 \cdot 4 + \frac{1}{2} 0,472 \cdot 2 - \frac{1}{2} 0,708 \cdot 2 - \frac{1}{2} 0,708 \cdot 6 \right) = -14,16 \text{ кН},$$

$$N_{4-5}^{BB} = 10\left(-\frac{1}{2}1,5 \cdot 12\right) = -90\text{кН},$$

$$N_{4-10}^{BB} = 10\left(-\frac{1}{2}0,5 \cdot 6 - \frac{1}{2}0,5 \cdot 2 + \frac{1}{2}0,33 \cdot 2 + \frac{1}{2}0,33 \cdot 4\right) = -1\text{кН}.$$

Зусилля N_{3-4} досягатиме найбільшої величини, якщо вантажний візок стане у вузлах 3 і 4 $N_{3-4}^{PYX} = 60(-1,33) + 80(-1) = -159,8\text{кН}$.

Зусилля N_{4-11} буде найбільшим, якщо візок стане у вузлах 4 і 5

$$N_{4-11}^{PYX} = 60(-0,708) + 80(-0,472) = -80,24\text{кН}.$$

Зусилля N_{4-5} буде найбільшим, якщо візок стане у вузлах 3 і 4

$$N_{4-5}^{PYX} = 60(-1) + 80(-1,5) = -180\text{кН}.$$

Зусилля N_{4-10} буде найбільшим, якщо візок стане у вузлах 5 і 6

$$N_{4-10}^{PYX} = 60 \cdot 0,33 + 80 \cdot 0,165 = 33\text{кН}.$$

Визначення максимальних зусиль у стержнях, що з'єднуються у вузлі 4 при дії статичних нерухомих і рухомих навантажень за формулою:

$$N_{i(\max)} = N_{BB} + N_i + N_{i\text{рух}}, \text{ де } N_{BB} - \text{зусилля від власної ваги}$$

$$N_{3-4(\max)} = -79,8 - 320 - 159,8 = -560\text{кН},$$

$$N_{4-11(\max)} = -14,16 - 71 - 80,24 = -165\text{кН},$$

$$N_{4-5(\max)} = -90 - 370 - 180 = -640\text{кН},$$

$$N_{4-10(\max)} = -1 + 50 - 33 = 82\text{кН}.$$

Підбір поперечних перерізів стержнів у вигляді двох рівнобічних кутиків. Оскільки в розглядуваних стержнях виникають як від'ємні та і додатні значення, то для стержня, що розтягується потрібну площу визначаємо із умови міцності, а для стержнів, що стискаються із умови стійкості, методом послідовних наближень.

Результати підбору поперечних перерізів стержнів наведено у табл.2.

Розрахунок зварних швів для кріплення кутиків у вузлі 4.

Довжина зварного шва для приварювання одного кутика визначається за формулою $l_{ш} = \frac{N_i}{1,4\delta[\tau]}$, де δ – висота катета зварного шва, яка дорівнює товщині полки кутика.

Відомо, що шви розподіляються обернено пропорційно відстаням до центра ваги кутика (рис. 3).

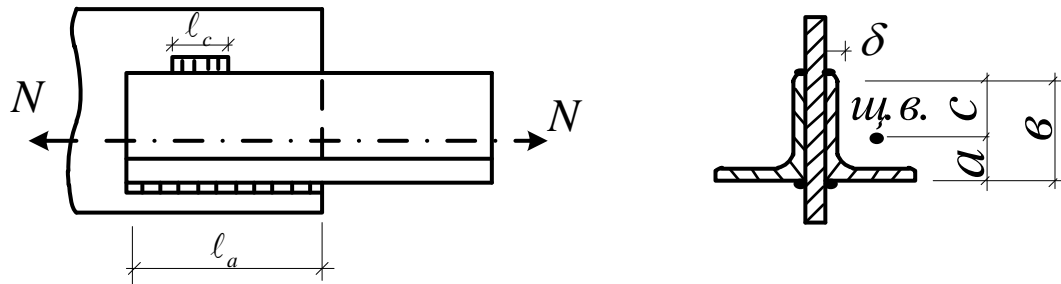


Рисунок 3 - Довжина швів в залежності від їх відстані від центра ваги кутика

$$l_a = \frac{c}{b} l_{ш}, \quad l_c = \frac{a}{b} l_{ш}$$

Розрахункову довжину шва потрібно збільшити на 1 см.

У табл. 2 наведені результати розрахунку зварних швів.

Таблиця 2 – Розміри кутиків та довжини зварних швів

Номери стержнів	Зусилля, кН	Розміри кутиків, мм	Відстані, см		Довжини швів, см	
			a	c	l_a	l_c
3-4	-560	125x125x9	3,40	9,10	26	10
4-11	-165	75x75x7	2,10	5,4	14	5
4-5	-640	140x140x9	3,78	10,22	35	13
4-10	82	45x45x3	1,21	3,29	16	6

Конструкцію вузла ферми за результатами розрахунків зображено на рис. 4.

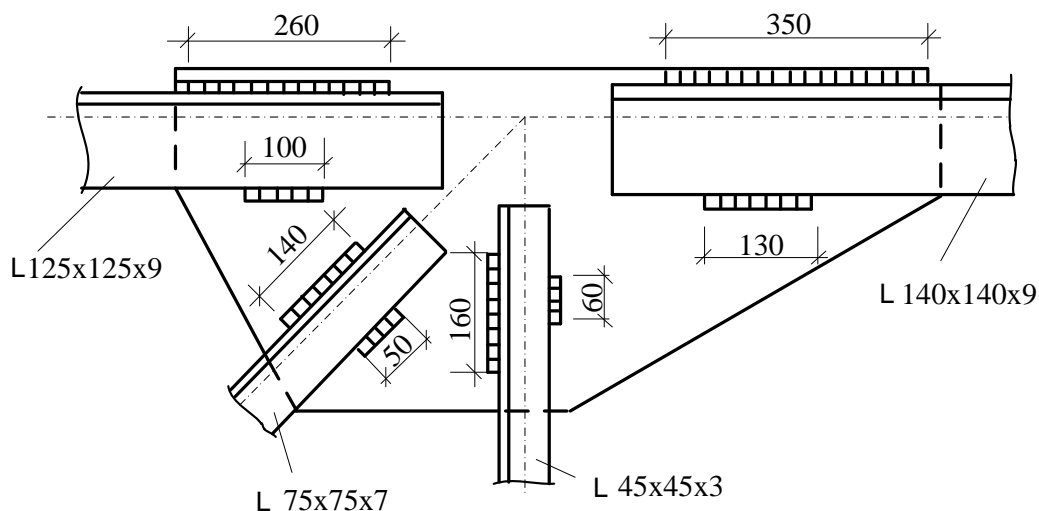


Рисунок 4 - Конструкція вузла 4 ферми

Висновки

1. Під час проектування металевих ферм необхідно визначати максимальні значення зусиль в усіх її стержнях.
2. Для ґратчастих ферм з метою уніфікації поперечних перерізів стержнів необхідно виконати розрахунки з урахуванням типу стержнів ферм (посяса, стояки, розкоси).

Література:

1. Голеско В.О., Кіслов О.Г., Статично визначені системи інженерних споруд на автомобільних дорогах: Навчальний посібник.- Харків: ХНАДУ, 2001.- 133 с.
2. Чихладзе Э.Д. Строительная механика: Учебник для студентов высших учебных заведений.- Харьков: УкрГАЖТ, 2004.- 305 с.
3. Металлические конструкции /под ред. Е.И. Беленя, М., 1985.- 332 с.