

ВПЛИВ УМОВ ОПИРАННЯ КОМБІНОВАНИХ СТЕРЖНЕВИХ СИСТЕМ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

© Іваник І.Г., Вибранець Ю.Ю., Іваник Ю.І., 2013

Подано результати дослідження зміни напружено-деформованого стану елементів комбінованих стержневих систем за зміни умов опирання конструкції.

Ключові слова: комбіновані системи, змішаний метод, рівняння зусиль і переміщень, нормальні напруження, жорсткісні параметри.

In this article scientifically proved results of experimental research changes in the stress-strained state of the combined rod systems with variable conditions support design.

Key words: combined system, mixed method, equation of stress and deformation, normal stresses, stiffness parameters.

Постановка проблеми

Вдосконалення конструкцій потребує забезпечення економії матеріалів та передбачення в проектах широкого застосування прогресивних конструкцій, скорочуючи витрати на одиницю продукції. Задачі можуть бути розв'язані створенням ефективних конструктивних розрахункових схем, вдосконаленням методів розрахунку і норм проектування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Найважливішим завданням проектування споруд є розроблення методів розрахунку і проектування оптимальних конструкцій [1]. Кінцевою метою будь-якого розрахунку є визначення тих або інших параметрів, що відповідають вимогам оптимальності. Проте класичні методи будівельної механіки дають можливість здійснити лише перевірковий розрахунок за відомих розмірів перерізів та інших геометричних і пружних характеристик системи.

Мета та задачі досліджень

Метою роботи є теоретичні дослідження з використанням ЕОМ і вивчення характеру роботи елементів стержневих комбінованих систем у різних умовах опирання.

Методика розрахунку

Розроблена методика і алгоритм розрахунку зусиль і вертикальних переміщень перерізів комбінованих статично-невизначених стержневих систем [2] на основі оптимального проектування дає можливість визначити напружено-деформований стан у елементах конструкції.

Розглянемо металеву статично невизначену комбіновану конструкцію, показану на рис. 1.

Вихідні дані для проектування: сталь С235 (розрахунковий опір 230 МПа); верхній пояс (поз. 1) – балка двотаврова № 18; крайні підкоси (поз. 4, 6) – спарені рівнополічкові кутники 40×40×5; проміжні підкоси (поз. 7, 8) – спарені рівнополічкові кутники 40×40×5; затяжка (поз. 5) – спарені рівнополічкові кутники 56×56×5.

Маса балки жорсткості в складі комбінованої конструкції становить 66,3 % від загальної маси.

Розроблена математична модель комбінованої конструкції [2] задовольняє три групи умов: умови рівноваги; умови сумісності деформацій, що пов'язують деформації та переміщення; фізичні умови, які пов'язують зусилля і деформації.

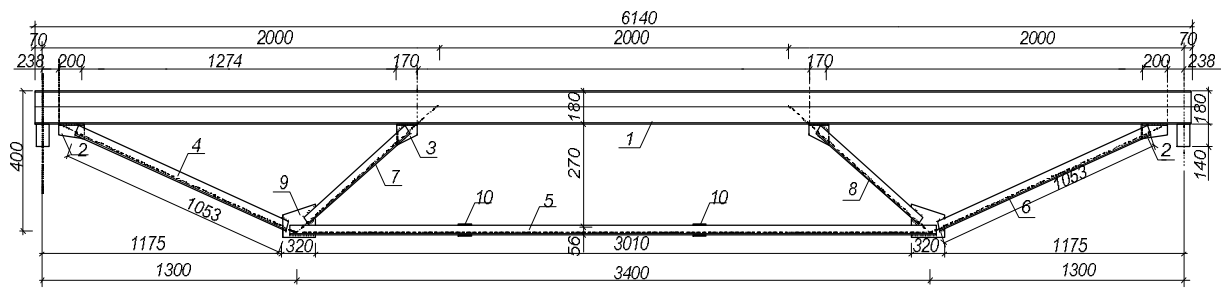


Рис. 1. Металева комбінована статично невизначена конструкція

На початковому етапі проведемо теоретичні дослідження на прикладі статично невизначеної комбінованої конструкції, показаної на рис. 2, при дії на неї повного зовнішнього навантаження $q = 12 \text{ кН/м}^2$ з умовою її опирання на плоско-рухому і лінійно-рухому шарові опори.

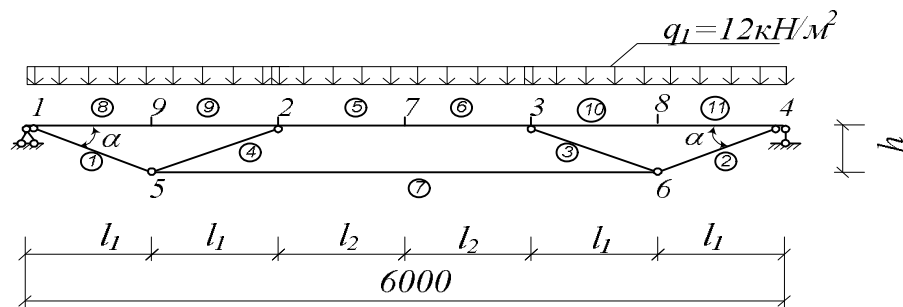


Рис. 2. Схема завантаження статично невизначеної комбінованої конструкції на плоско-рухомій і лінійно-рухомій шарових опорах

На другому етапі проведемо розрахунок аналогічної статично невизначеної комбінованої конструкції, показаної на рис. 3, з умовою її опирання на лінійно-рухомі шарові опори.

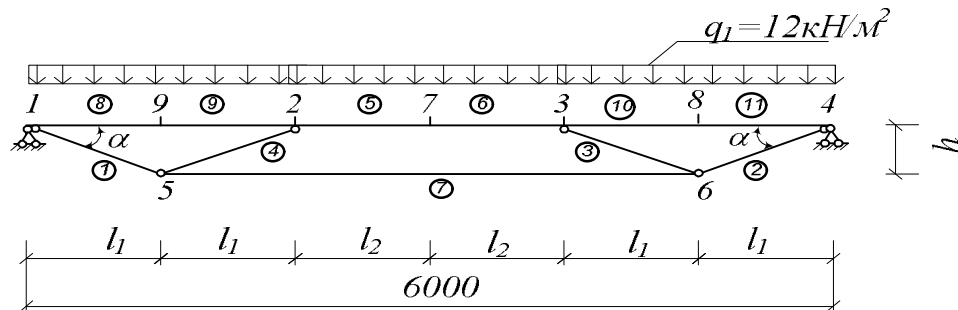


Рис. 3. Схема завантаження статично невизначеної комбінованої конструкції на лінійно-рухомих шарових опорах

Для подальшого розв'язку системи використаємо методику введення уявних шарнірів [2] для характерних у системі перерізів: у місцях можливих максимальних моментів у середніх частинах прольотів l_{01} і l_{02} . Розрахункова схема такої конструкції матиме вигляд, що відображений на рис. 4.

Розрахункова схема системи в разі введення в верхньому поясі уявних шарнірів змодельована як конструкція, в якій у верхньому поясі основними зусиллями є невідомі згинальні моменти, поперечні і поздовжні сили, в нижній частині ферми виникають лише поздовжні зусилля (рис. 4). Запропонована методика [2] ґрунтується на заміні фактичної пружної зігнутої осі балки на фіктивну з введенням уявних шарнірів з одночасним прикладанням згинальних моментів у характерних точках, яким у реальній балці відповідають точки прикладання зовнішніх сил або перерізи зміни жорсткісних характеристик. Передбачено, що одночасне введення уявних шарнірів і відповідних згинальних моментів не змінює положення фактичної пружної осі. Так, пружну зігнуту вісь зобразимо як вісь з $n = 0, \dots, i$ кількістю проміжних шарнірів, які внаслідок деформації змістились у вертикальному напрямку відповідно на величину u_{np} ($n = 0, \dots, i$).

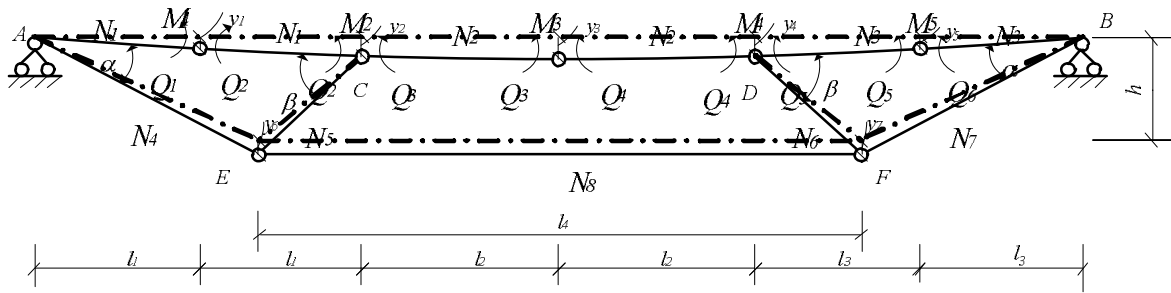


Рис. 4. Розрахункова схема комбінованої конструкції

Рівняння нерозривності деформацій – рівняння i -тих зусиль для балки жорсткості виглядатимуть:

$$\begin{aligned}
 d_{11}X_1 + d_{12}X_2 + d_{13}X_3 + d_{14}X_4 + d_{15}X_5 + d_{16}X_6 + d_{17}X_7 - \frac{2y_1}{l_1} + \frac{y_2}{l_2} &= 0 \\
 d_{21}X_1 + d_{22}X_2 + d_{23}X_3 + d_{24}X_4 + d_{25}X_5 + d_{26}X_6 + d_{27}X_7 + \frac{y_1}{l_1} - \frac{y_2(l_1 + l_2)}{l_1 * l_2} + \frac{y_3}{l_2} &= 0 \\
 d_{31}X_1 + d_{32}X_2 + d_{33}X_3 + d_{34}X_4 + d_{35}X_5 + d_{36}X_6 + d_{37}X_7 + \frac{y_2}{l_2} - \frac{2y_3}{l_2} + \frac{y_4}{l_2} &= 0 \\
 d_{41}X_1 + d_{42}X_2 + d_{43}X_3 + d_{44}X_4 + d_{45}X_5 + d_{46}X_6 + d_{47}X_7 + \frac{y_3}{l_2} - \frac{y_4(l_1 + l_2)}{l_1 * l_2} + \frac{y_5}{l_1} &= 0 \\
 d_{51}X_1 + d_{52}X_2 + d_{53}X_3 + d_{54}X_4 + d_{55}X_5 + d_{56}X_6 + d_{57}X_7 + \frac{y_4}{l_1} - \frac{2y_5}{l_1} &= 0 \\
 d_{61}X_1 + d_{62}X_2 + d_{63}X_3 + d_{64}X_4 + d_{65}X_5 + d_{66}X_6 + d_{67}X_7 + y_6 &= 0 \\
 d_{71}X_1 + d_{72}X_2 + d_{73}X_3 + d_{74}X_4 + d_{75}X_5 + d_{76}X_6 + d_{77}X_7 + y_7 &= 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

Коефіцієнти d_{ij} за невідомих рівнянь i -тих зусиль (1) записують перемноженням відповідних епюр згинальних моментів і поздовжніх сил у вигляді, наприклад:

$$\begin{aligned}
 d_{11} = \frac{2l_1}{3EI_1} - m^* \frac{2}{l_1 6A_1} + \frac{2\bar{N}_{11}^2 * l_1}{6EA_1} + \frac{2\bar{N}_{12}^2 * l_2}{6EA_2} + \frac{2\bar{N}_{13}^2 * l_1}{6EA_3} + \frac{\bar{N}_{14}^2 * h}{6 \sin a EA_4} + \frac{\bar{N}_{15}^2 * h}{6 \sin b EA_5} + \frac{\bar{N}_{16}^2 * h}{6 \sin b EA_6} + \\
 + \frac{\bar{N}_{17}^2 * h}{6 \sin a EA_7} + \frac{\bar{N}_{18}^2 * (l - 2h * ctg a)}{6EA_8},
 \end{aligned} \tag{2}$$

де \bar{N}_{ij} – величини поздовжніх сил від дії одиничних моментів у вузлах балки комбінованої конструкції.

Рівняння нерозривності деформацій (1) відображають взаємозалежність невідомих згинальних моментів по довжині балки жорсткості, відкинутих невідомих поздовжніх сил у підкосах шпренгельної системи та вертикальних переміщень усіх вузлів комбінованої конструкції. До рівнянь нерозривності деформацій (1), яких недостатньо для знаходження невідомих X_i і y_i , додамо рівняння статки, що знаходимо з рівноваги панелей і вузлів комбінованої конструкції [2].

Отримані рівняння нерозривності деформацій (1) і статки формують систему лінійних алгебраїчних рівнянь, достатню для знаходження невідомих згинальних моментів M_i ($i = 1 \dots 5$), прогинів y_i ($i = 1 \dots 7$) і поздовжніх сил N_i ($i = 1 \dots 8$).

На основі розробленої математичної методики розрахунку комбінованої конструкції складений алгоритм і програма розрахунку на ЕОМ.

Результати теоретичних розрахунків двох розрахункових схем показано на рис. 5.

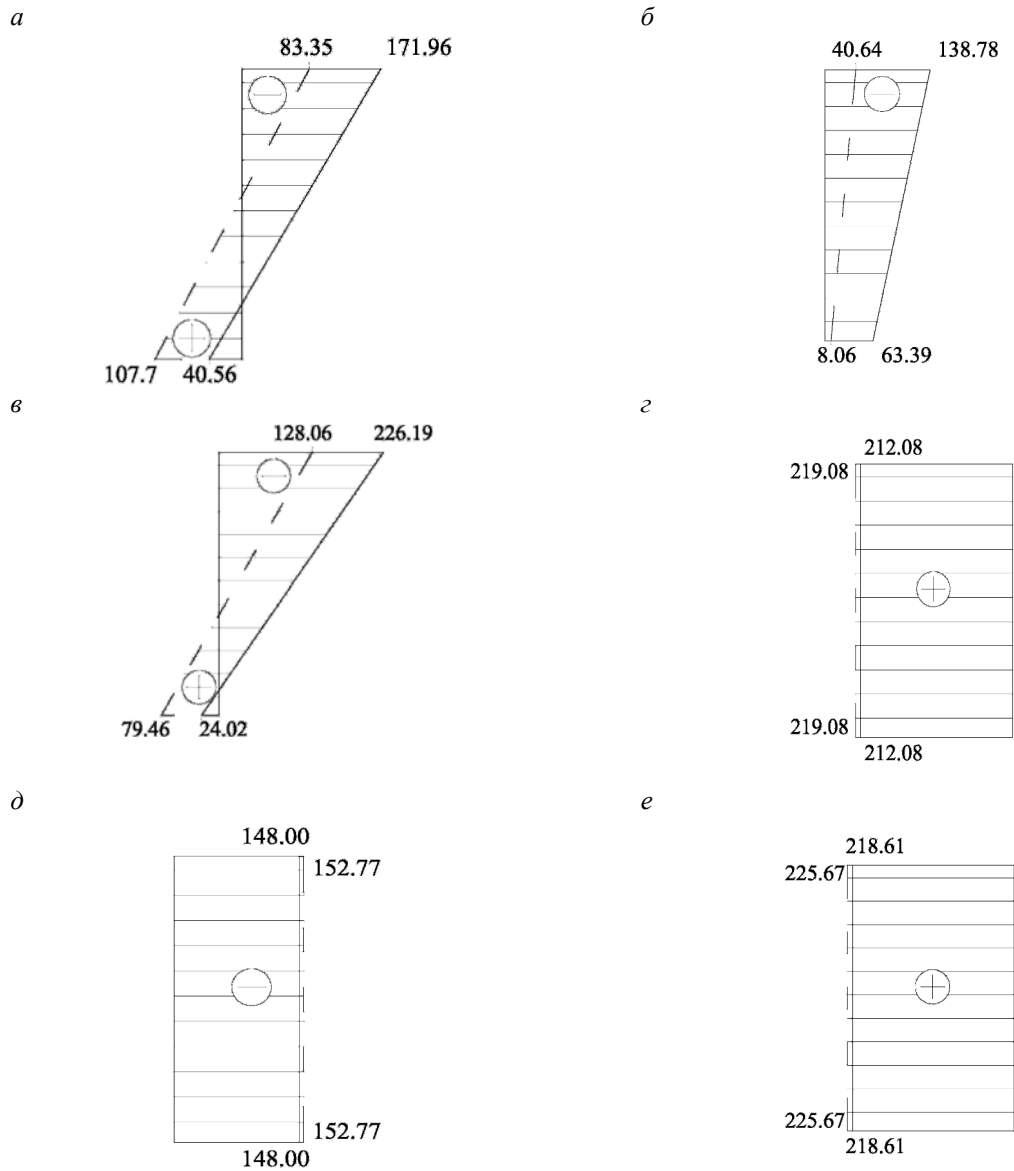


Рис. 5. Епюри напружень в перерізах конструкції:
 а – в точці 9; б – в точці 2; в – в точці 7;
 г – в елементі 1–5 (спарені рівнополічкові кутники 4040×5), д) в елементі 2–5
 (спарені рівнополічкові кутники 40×40×5); е – в елементі 5–6 – спарені рівнополічкові кутники 56×56×5)

Як показують результати перевірових розрахунків, максимальні нормальні напруження в балці жорсткості за першою розрахунковою схемою виникають у перерізі 7 ($\sigma_7 = 226.19$ МПа). У разі зміни умов опирання максимальні напруження виникають у цьому самому перерізі ($\sigma_7' = 128.06$ МПа). Так резерв несучої здатності балки жорсткості становить $\Delta\sigma_7 = 98.13$ МПа (43.4 %). Зміна ж напружень в елементах підвіски за абсолютною величиною є незначною: $\Delta\sigma_{1-5} = 7.00$ МПа (3.2%) – для елемента 1–5, $\Delta\sigma_{2-5} = 4.77$ МПа (3.12%) – для елемента 2–5, $\Delta\sigma_{5-6} = 7.06$ МПа (3.13%) – для елемента 5–6.

Маса балки жорсткості в складі комбінованої конструкції становить 66.3 % від загальної маси. Подальші дослідження показали, що за другої розрахункової схеми є можливість зменшення перерізу балки жорсткості і збільшення перерізів елементів підвіски.

Проведені розрахунки з використання ітераційного процесу зміни жорсткісних параметрів елементів комбінованої конструкції показали, що економія витрат становить близько 23 % (табл. 1, табл. 2).

Специфікація витрат матеріалів СНКК під час роботи за першою розрахунковою схемою

Поз.	Позначення	Назва	Кіл. шт.	Маса одиниці, кг	Примітка	
СНКК-1	1	ГОСТ 8239-89	I №18 L = 6140 мм	1	112.98	112.98
	5	ГОСТ 8510-72	L 56×5 L = 3050 мм	2	12.96	25.92
	4	ГОСТ 8510-72	L 40×5 L = 1050 мм	2	3.13	6.26
	6	ГОСТ 8510-72	L 40×5 L = 1050 мм	2	3.13	6.26
	7	ГОСТ 8510-72	L 40×5 L = 635 мм	2	1.89	3.78
	8	ГОСТ 8510-72	L 40×5 L = 635 мм	2	1.89	3.78
	3	ГОСТ 82-70*	- 250 × 60 × 10 мм	2	1.18	2.36
	9	ГОСТ 82-70*	- 420 × 60 × 10 мм	2	1.98	3.96
	2	ГОСТ 82-70*	- 180 × 60 × 10 мм	2	0.85	1.70
	10	ГОСТ 82-70*	- 90 × 60 × 10 мм	2	0.42	0.84
Маса наплавленого металу 1,5 %					2.52	
Всього					170.36	

Таблиця 2

Специфікація витрат матеріалів СНКК під час роботи за другою розрахунковою схемою

Поз.	Позначення	Найменування	Кіл. шт.	Маса одиниці, кг	Примітка	
СНКК-2	1	ГОСТ 8239-89	I №12 L = 6140 мм	1	70.61	70.6
	5	ГОСТ 8510-72	L 60×5 L = 3050 мм	2	13.97	27.94
	4	ГОСТ 8510-72	L 45×5 L = 1050 мм	2	3.54	7.08
	6	ГОСТ 8510-72	L 45×5 L = 1050 мм	2	3.54	7.08
	7	ГОСТ 8510-72	L 40×5 L = 635 мм	2	1.89	3.78
	8	ГОСТ 8510-72	L 40×5 L = 635 мм	2	1.89	3.78
	3	ГОСТ 82-70*	- 250 × 60 × 10 мм	2	1.18	2.36
	9	ГОСТ 82-70*	- 420 × 60 × 10 мм	2	1.98	3.96
	2	ГОСТ 82-70*	- 180 × 60 × 10 мм	2	0.85	1.70
	10	ГОСТ 82-70*	- 90 × 60 × 10 мм	2	0.42	0.84
Маса наплавленого металу 1,5 %					1.94	
Всього					131.06	

Висновки

Запропонований принцип введення уявних шарнірів у прийнятій розрахунковій схемі статично невизначеної комбінованої конструкції можна зарахувати до універсальних. Його застосування дає можливість простішим способом на початковій стадії проектування за допомогою математичного апарату моделювати деформовано-напружений стан в елементах конструкції за різних схем їх закріплення, що дає можливість економніше запроектувати конструкцію загалом.

1. Абовский П.П., Енджиевский Л.В., Савченков В. И., Деруга А.П. и др. Регулирование, синтез, оптимизация. – Красноярск, 1985. – 384 с. 2. Іванік І.Г., Віхоть С.І. Розрахунок комбінованих конструкцій з використанням методу уявних шарнірів. – Львів, 2005. – С. 74–76. 3. СНиП II-23-81. Стальные конструкции. Нормы проектирования. – М., 1990. 4. Мельников Н.П. Справочник проектировщика. Металлические конструкции. – М., 1980. – 776 с.