

ДО ВИБОРУ СХЕМИ АВТОДОРОЖНЬОГО МОСТА

Дехтяр А.С.

Національний транспортний університет, Київ

В роботі [1] описано методику і програму вибору оптимальної схеми балкової статично визначуваної ферми з паралельними поясами. В [2,3] обговорюється проблема відшукування якнайкращої схеми балкового автодорожнього моста з прогоновими будовами у вигляді розрізних або нерозрізних балок, а також у вигляді ортотропної плити. Нижче зроблено спробу об'єднати обидві ці задачі – побудовано методику визначення місць розташування проміжних опор, довжин прольотів, висоти і числа панелей ферм прогонових будов з тим, щоб отримати проект якнайменшої приведеної вартості.

В [1] встановлено, що умова мінімуму теоретичної ваги ферми часто призводить до проектів з більшою висотою, ніж це прийнято в звичайній практиці проектування, і саме практичні міркування часто не дозволяють вибирати таку оптимальну висоту ферм.

Розглядаються прогонові будови у вигляді ферм з паралельними поясами і спадними розкосами (рис. 1)

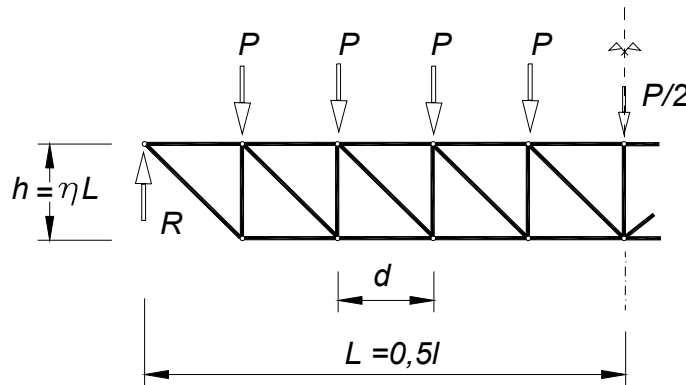


Рис. 1

Введемо позначення $l = 2L$ – довжина прольоту; $2n$ – кількість панелей ферми; $h = \eta L$ – висота ферми; $2Q$ – повне навантаження на ферму; $P = Q/n$ – вузлове навантаження. Тоді величина панелі ферми дорівнює L/n , а довжина розкосу $s = L(1+n^2\eta^2)^{1/2}/n$. Він утворює з вертикаллю кут α , так що $\operatorname{tg}\alpha = 1/(n\eta)$.

Щоб надати співвідношенням достатньо загального вигляду і виключити з розгляду розрахункові опори, що вважаються однаковими для всіх елементів ферми, будемо надалі площу перетину стержня ототожнювати із зусиллям в ньому, тоді з точністю до постійного множника теоретичну вагу стержня можна представити добутком зусилля в ньому на його довжину.

Визначаючи зусилля в елементах ферми звичайними методами перетинів і вирізування вузлів, отримаємо умовну вагу елементів верхнього пояса

$$S_1 = QL\eta^{-1}n^{-3}A; A = \sum_{i=1}^n [i(n-0,5) - \sum_{k=1}^i (i-k)].$$

Аналогічні вирази для нижнього пояса і для розкосів- мають вигляд

$$S_2 = QL\eta^{-1}n^{-3}B; B = \sum_{i=1}^n [(i-1)(n-0,5) - \sum_{k=2}^i (i-k)];$$

$$S_3 = QL\eta^{-1}n^{-3}C; C = (1+\eta^2n^2) \sum_{i=1}^n (n-i+0,5).$$

Нарешті, для стійок одержуємо

$$S_4 = QL\eta^{-1}n^{-3}D; D = \eta^2n^2 \sum_{i=1}^n (n-i+1,5).$$

В цій фермі стиснуто елементи верхнього пояса і стійки. Прийmemo, що всі стиснуті стержні мають найбільшу допустиму гнучкість. Чинні норми проектування передбачають різні граничні гнучкості для опорних стійок, розкосів і для решти стиснутих елементів ферми. Приймаючи тут для спрощення всюди однакову гнучкість, введемо відповідний їй коефіцієнт φ зниження розрахункового опору. Тоді цільову функцію – теоретичну вагу ферми представимо у вигляді суми

$$z = (A\varphi^{-1} + B + C + D\varphi^{-1})\eta^{-1}n^{-3}. \quad (1)$$

В оптимальному проектуванні ферм необхідно знайти такі висоту ферми η і число панелей n , щоби отримати мінімум z з урахуванням граничної гнучкості $\lambda = 120$ і $\lambda = 150$. Якщо матеріал ферми – Ст3, таким гнучкостям відповідають коефіцієнти $\varphi = 0,45$ і $\varphi = 0,32$.

Задачу можна спростити, якщо звернутися до досліджень А.Р.Ржаніцина, опублікованих в 1949 році. В роботі [4] показано, що, розглянувши довільну явно неоптимальну ферму, можна для ферми такого типу обчислити коефіцієнт c , що показує, як слід збільшити або зменшити її висоту, щоби відразу отримати оптимальний проект

$$c = \sum_{i=1}^k V_i \cos^2 \beta_i / \sum_{i=1}^n V_i \sin^2 \beta_i, \quad (2)$$

де V_i – об'єм матеріалу в i -ому стержні ($i = 1, 2, \dots, k$, k – кількість всіх стержнів) β_i – кут, утворюваний i -им стержнем з горизонталлю.

Наприклад, розглянемо неоптимальну ферму $n = 2$; $\eta = 0,4$ і обчислимо зусилля в її елементах від навантаження у вигляді зосереджених сил P , прикладених у вузлах верхнього пояса. Ці зусилля дорівнюють

- в елементах верхнього пояса $O_1 = 1,875 P$, $O_2 = 1,25 P$;
- в елементах нижнього пояса $U_1 = 0$, $U_2 = 1,875 P$;
- в розкосах $D_1 = 2,24 P$, $D_2 = 0,747 P$;
- в стійках $V_1 = 2P$; $V_2 = 1,5P$; $V_3 = 0,5P$.

Довжини елементів становлять $d = 0,5 L$, $h = 0,4 L$, $s = 0,673 L$. Зауважимо, що при обчисленні (2) до чисельника цього виразу увійдуть лише пояси і розкоси, оскільки стійки утворюють з горизонталлю кут $\beta = \pi/2$ і тому $\cos \beta = 0$. Так само при підрахунку знаменника враховуються тільки стійки і розкоси, оскільки для поясів $\beta = 0$ і $\sin \beta = 0$.

Замінюючи об'єми матеріалу в стержнях добутками зусиль в них на їх довжини і підставляючи ці добутки в співвідношення (2), знаходимо $c = 1,425$, отже, для перетворення початкової

ферми в оптимальну необхідно збільшити її висоту в 1,425 разу. В такий спосіб можна зменшити число незалежних змінних в оптимізаційній задачі.

Тепер перейдемо до оптимального проектування схеми моста в цілому. Замінивши в [2] балки статично визначуваними балковими фермами, сформулюємо задачу вибору оптимальної схеми автодорожнього моста. Початковими даними для проектування є

- ширина і поперечний профіль річки, що задається аналітично або чисельно; відомі також нормативні довжини більшого і меншого судноплавного прольотів, підмостовий габарит, горизонт високих вод, розрахунковий судноплавний горизонт, допустимий коефіцієнт загального розмиву;
- ширина проїзної частини;
- міцності матеріалів прогонових будов і опор, їх відносні вартості;
- інтенсивність рівномірно розподіленого поперечного навантаження.

Подібно до [2] тут також прийнято, що одна з руслових опор розташовується поблизу точки профілю з найбільшою глибиною, при цьому допускається її невеликий зсув в кожну із сторін. По обидва боки від цієї опори розміщуються два судноплавні прольоти, можливо неоднакові. Для лівої і правої частин моста, що залишилися, передбачається регулярне розбиття на прольоти, так що в загальному випадку одержуємо чотири розміри ферм прогонових будов.

Пошук оптимальної схеми моста з якнайменшою приведеною вартістю дозволяє визначити числа n_1 і n_2 прольотів в лівій і правій заплavnій частинах моста, величину t можливого зсуву початкової руслової опори щодо точки з найбільшою глибиною, відносні висоти ферм прогонових будов і число n панелей в них.

Розглянемо декілька прикладів. В них ширина річки – 600 м, ширина проїзної частини – 24 м, інтенсивність рівномірного поперечного навантаження – 20 кН/кв.м, розрахунковий опір матеріалу ферм – 240 МПа, матеріалу опор – 30 МПа, число панелей ферми – 8.

Перший приклад можна вважати контрольним. В ньому прийнятий симетричний поперечний профіль річки, він представлений напівсинусоїдою з відносною амплітудою 0,2. Прийняті також однакові довжини двох судноплавних прольотів по 90 м. Перевірка полягає в тому, що при таких початкових даних оптимальною повинна бути симетрична схема моста. Отриману схему показано на рис. 2, і можна помітити, що вона дійсно є симетричною.

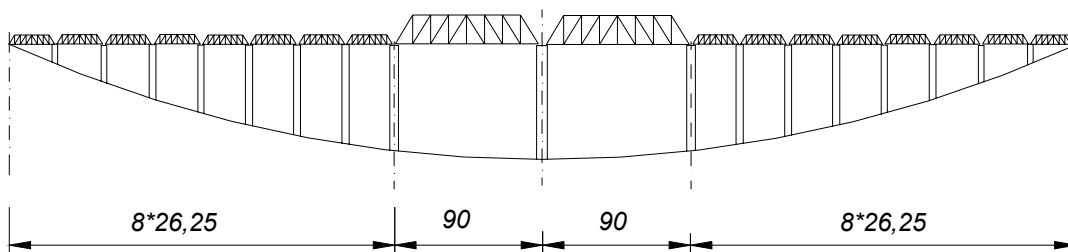


Рис. 2.

Наступний оптимальний проект отримано при тих же початкових даних, що і перший, але довжини судноплавних прольотів становлять 120 і 90 м, а поперечний профіль річки визначається величинами амплітуд перших трьох синусоїд 0,2; -0,04 і -0,03. Схему моста з металевими прольотними будовами показано на рис. 3.

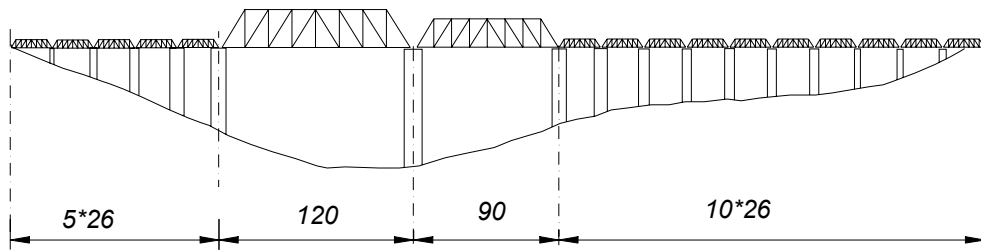


Рис. 3.

Приведена вартість цього проекту становить 3,59. Щоб оцінити результат заміни залізобетонних балок [2] фермами, виконаємо такий же розрахунок за допомогою методики і програми [2]. В результаті одержуємо ту ж схему, що і на рис.3, але приведена вартість проекту становить 5,34, тобто у півтора рази більше.

Ще одну оптимальну схему моста отримано при таких же початкових даних, що і в другому прикладі з тою лише відмінністю, що поперечний профіль річки визначається величинами $\eta_1 = 0,2; \eta_2 = 0,04; \eta_3 = 0$. Схему показано на рис.4, приведена вартість проекту дорівнює 3,67.

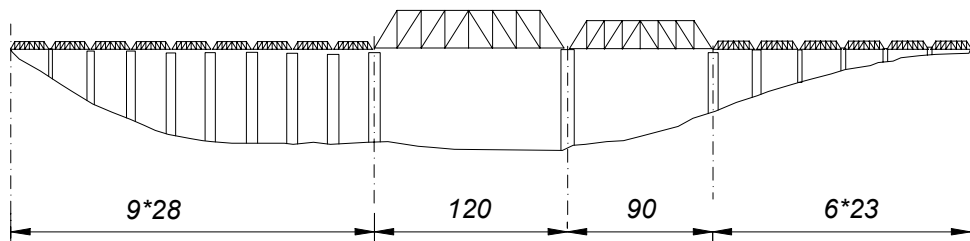


Рис. 4.

Висновки

Аналіз цих і інших подібних численних розрахунків дозволяє зробити деякі висновки.

1. Всі оптимальні проекти отримано в точках простору проектування, що лежать всередині заданої області.
2. Оптимальні схеми мостів з прольотними будовами у вигляді металевих балкових ферм і у вигляді таврових бездіафрагмових залізобетонних балок виявляються однаковими, тому вартості опор в них також однакові, а відмінності в приведеній вартості визначаються різними вартостями тільки прогонових будов.
3. Отримані оптимальні схеми мостів найбільш активно реагують на зміни профілю річки, її ширини і довжин судноплавних прольотів.

Описана тут методика вибору схеми моста може бути використана на початковій стадії проектування з тим, щоб для подальшої детальної розробки відразу вибрати оптимальне рішення.

Література

1. Дехтяр А.С. Оптимальні ферми прольотних будов мостів // Дороги і мости. – ДерждорНДІ. – К.: – 2003. – Вип. 1. – С. 56-63.
2. Дехтяр А.С. Оптимальные схемы стоечно-балочных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 2007. – № 1. – С. 18-23.
3. Дехтяр А.С. Оптимальные схемы балочных мостов на судоходных реках // Строительная механика и расчет сооружений. – 2008. – №1. – С.58-61.
4. Ржаницын А.Р. К вопросу о теоретическом весе стержневых конструкций // Исследования по теории сооружений. – Вып. 4. – М.: Госстройиздат. – 1949.