

Визначення точності геодезичних робіт при будівництві мостових переходів шляхом моделювання напружено-деформованого стану конструкції

Володимир Староверов, Олександр Адаменко

Кафедра інженерної геодезії, Київський національний Університет Будівництва і Архітектури, Україна м.Київ, пр.Воздухофлотський, 31

The article contains the information about basic principles of accuracy surveying in geodetic engineering in the course of bridge crossings building using model analysis of structural stress strain behavior.

Ключові слова – bridge, structural stress strain behavior, accuracy surveying in geodetic engineering.

У першому випадку, коли опора побудована під деяким кутом нахилу, велике зовнішнє навантаження від конструкцій прогонів моста згинає та нахиляє опору. Це призводить до зменшення несучої здатності опори, а при великих кута нахилу опори - до втрати стійкості і руйнування.

I. Вступ

Мости є унікальними і складними спорудами, які повинні виконувати свої функції на період не менше за сотню років. Тому дуже важливим питанням залишається надійність таких споруд. Головним чинником надійності конструкції є точність монтажу її елементів, на що в першу чергу впливає точність геодезичних робіт.

II. Викладення основного матеріалу

В цілому необхідно зазначити, що питання про призначення точності геодезичних робіт при забезпеченні будівництві таких складних і відповідальних споруд, як мости, вирішено не повністю і вимагає подальшої роботи. Задачу нормування геодезичних робіт при будівництві мостових переходів можливо вирішити за рахунок визначення характеристик їх напружено-деформованого стану [1].

Визначення характеристик напружено – деформованого стану мостового переходу виконується в два етапи методами будівельної механіки. Першим етапом є побудова фізичної моделі реальної конструкції. Фізична модель передбачає ідеалізацію геометричних характеристик елементів конструкцій, характеристик взаємодії даної конструкції з іншими конструкціями, різних зовнішніх впливів та поведінки конструкції під дією цих впливів.

На другому етапі по визначеній фізичній моделі будують математичну. Розкриття математичної моделі дозволяє визначити напружено-деформований стан в кожному елементі конструкції, та відхилення елементів конструкції під дією цих впливів.

Для визначення точності геодезичних робіт будемо визначати напружено – деформований стан конструкції мостового переходу, розглядаючи на кожному етапі окрему розрахункову модель.

Такими етапами при будівництві мостових переходів є будівництво мостових опор, монтаж балки жорсткості та арки мостового переходу.

При монтажі мостових опор найбільш важливі такі технологічні похибки: вертикальність монтажу опори та встановлення опори у плані.

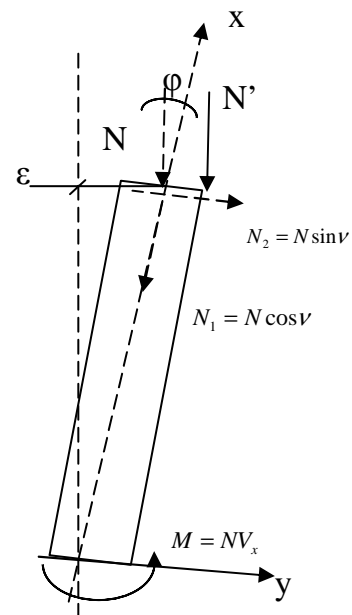


Рис.1 Основні похибки при будівництві мостових опор

У другому випадку вектор навантажень від конструкцій прогонів моста проходить не через вісь опори, що в свою чергу призводить до появи додаткових напружень у тілі опори і також вигинає її. Побудуємо розрахункову (фізичну і математичну) модель поведінки опори під дією вказаних похибок монтажу опори. На рисунку 1 зображена нахилена під кутом φ опора під дією стискаючої сили N .

Використовуючи принцип суперпозиції дії сил, розкладемо прогин від сил, що вигинають опору на складові:

$$v_x = v_v + v_\epsilon + v_l, \quad (1)$$

де $v_l = \varphi l, \quad (2)$

$$v_\epsilon = \frac{N \epsilon l^2}{2EI}, \quad (3)$$

$$v_\epsilon = \frac{N l^3}{3EI} \quad (4)$$

Маємо

$$v_x = \frac{Nl^3}{3EI} + \frac{N\epsilon l^2}{2EI} + \phi \quad (5)$$

Питаннями стисненого стрижня, закріпленого з одного торця, займався М. В. Корноухов [1]. Ним були отримані рівняння прогинів та моментів, що діють в затисненому стержні :

$$v_x = v_0 + L\phi \sin \frac{x}{L} - \frac{M_0}{N \cos \phi} (1 - \cos \frac{x}{L}) - L \operatorname{tg} \phi \left(\frac{x}{L} - \sin \frac{x}{L} \right), \quad (6)$$

$$M = \frac{EI}{L} \phi \sin \frac{x}{L} + M_0 \cos \frac{x}{L} + N \sin \phi L \sin \frac{x}{L} \quad (7)$$

Розв'язуючі ці рівняння отримаємо:

$$\phi = 0,0021, \quad \epsilon = 98 \text{ мм.}$$

Основною несучою конструкцією мостових переходів є ферми. У відмінності від балок, в яких матеріал поширений суцільним чином, ферми є системами, які збираються з окремих стрижнів.

За розрахункову модель ферми приймають шарнірно-стрижньову модель. Хоча в реальній фермі стрижні з'єднуються жорсткими деталями - фасонками, проте в розрахунковій моделі вважають, що точка перетину осей стрижнів, що сполучаються, - вузол - забезпечує відсутність згину в стрижнях. Це відповідає шарнірному з'єднанню стрижнів у вузлах. Відсутність згину в стрижнях забезпечуються певними конструктивними рішеннями, зокрема, передачею навантаження у вузли ферми за допомогою додаткових допоміжних конструкцій. Згідно описаної вище розрахункової моделі вертикальні переміщення точок нижнього або верхнього поясів визначаються переміщеннями вузлів або поясів.

Вертикальні переміщення точок стрижнів відповідного поясу змінюються по лінійному закону, оскільки згин стрижнів в розрахунковій моделі відсутній (рис.2)

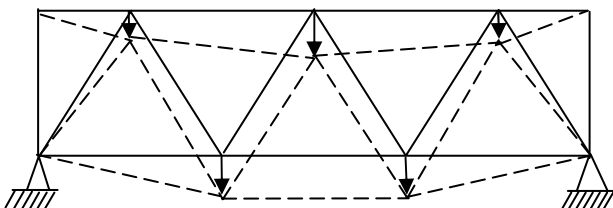


Рис. 2 Вертикальні переміщення вузлів ферми

У зв'язку з цим деформаційні марки слід розташовувати у вузлах ферми, а от чи забезпечить це необхідну точність спостережень, є питанням. Якщо в розрахунковій моделі балки вертикальні переміщення пов'язані з рештою характеристик напружено-деформованого стану простими диференціальними залежностями, то в розрахунковій моделі ферми вертикальні переміщення вузлів поясу пов'язані з величинами зусиль у фермах - основними характеристиками напруженого стану - складним способом.

Оскільки ферми мостових переходів розглядаються, в основному, як статично визначні, то зусилля в

стрижнях пов'язані із зовнішніми навантаженнями рівняннями рівноваги. Якщо ферма статично невизначна, то до рівнянь рівноваги додаються деформаційні рівняння.

При необхідності планування геодезичних робіт необхідно враховувати, що ферми спроектовані, тобто проведений розрахунок перерізів стрижнів на всі можливі зовнішні дії і їх несприятливі комбінації. По спроектованих перерізах нескладно знайти очікувані максимальні зусилля в стрижнях ферми:

$$S = A[\sigma]m, \quad (8)$$

де S - зусилля в стрижні,

A - площа поперечного перетину стрижня ферми,

$[\sigma]$ - допустима напруга матеріалу стрижня ферми,

m - коефіцієнт умови роботи (по суті, коефіцієнт запасу).

Оскільки значення коефіцієнта умови роботи коливаються від 1 до 1,4, то в середньому, будемо вважати $m=1,2$. Це означає, що допускається перевантаження стрижня на 20%. Саме на це значення розраховується допустима погрішність геодезичних вимірювань.

Як правило, деформаційні марки розташовуються в кожному вузлі навантаженого нижнього поясу ферми. Вважаючи, що в найгіршому випадку похибки чергуються по довжині із зміною знаку, розглянемо які додаткові напруження виникають в фермі від переміщень, що обумовлені похибками монтажу.

Для того, щоб розглянути якнайгірший варіант, припускаємо, що знаки зусиль у вантажному стані співпадають із знаками зусиль в одиничному стані.

Маємо:

$$2\Delta v = \sum_{j=1}^n \frac{S_i^j S_p^j l^j}{EA^j} \quad (9)$$

$$2\Delta v = 3,5 \text{ мм}$$

Розглянемо арку мостового переходу. Арки є головними несучими елементами в мостових переходах, тому дуже важливо правильно задавати точність геодезичних робіт під час монтажу арок. Судячи по геометричним характеристикам, її вісь - квадратна парабола (рис. 3).

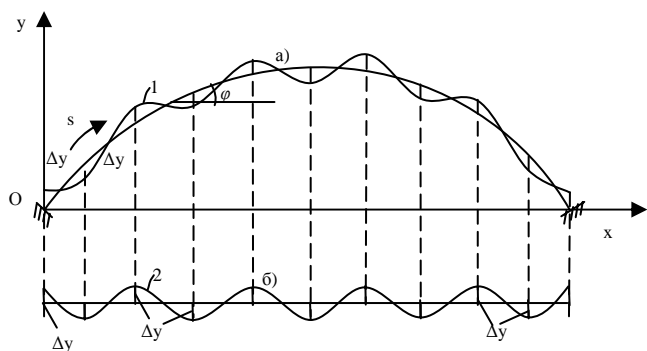


Рис.3 Деформована вісь арки в декартовій системі координат

Під дією похибок геодезичних робіт в арці виникають додаткові нормальні сили та моменти сил. Необхідно зауважити, що в найгіршому для стійкості конструкції випадку, похибки розкладуться в різні сторони. Для полегшення розрахунків перейдемо від дугової координати s до координати x , як це показано на рис. 3. Відносно координатної вісі x додаткові нормальні сили та моменти сил, що виникають під дією похибок геодезичних робіт, можна записати:

$$N = EF(x) \cos \varphi \frac{du_x}{dx}, \quad (10)$$

$$M = EI(x) \cos^2 \varphi \left(\sin 2\varphi \frac{4f}{l^2} \frac{dv_x}{dx} + \frac{d^2v_x}{dx^2} \right) \quad (11)$$

Незважаючи на те, що відстань між контрольними точками різниться по довжині арки, на окремій ділянці, між сусідніми контрольними точками крива прогинів може бути апроксимована косинусоїдою, як це показано в [3].

$$v_x = a \cos bx \quad (11)$$

Першу похідну від цього рівняння, знайдемо із наступного рівняння:

$$\frac{dv_x}{dx} = -ab \sin bx \quad (12)$$

Тоді друга похідна дорівнює:

$$\frac{d^2v_x}{dx^2} = -b^2 v_x \quad (13)$$

Точність геодезичних робіт в вертикальній площині знайдемо за формулою:

$$m_y = \frac{\Delta M}{EI(x) \cos^2 \varphi \left(\sin 2\varphi \frac{4f}{l^2} \frac{\pi}{l_m} + \frac{\pi^2}{l_m^2} \right)}, \quad (12)$$

де m_y - точність геодезичних робіт;

l_m - відстань між контрольними марками.

Для наведеної вище арки маємо:

$$\Delta M_{\max} = 5,21 \cdot 10^4 \text{ кНм}, \quad l = 312 \text{ м}, \quad f = 54,7 \text{ м},$$

$$E = 2,13 \cdot 10^8 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}, \quad I = 2,4988 \text{ м}^4, \quad l_m = 13 \text{ м},$$

$$m_y = 2,5 \text{ мм}.$$

Точність геодезичних робіт в горизонтальній площині:

$$m_x = \frac{Nl_m}{EF \cos \varphi \pi}, \quad (13)$$

Для наведеної вище арки маємо:

$$l = 312 \text{ м}, \quad f = 54,7 \text{ м},$$

$$\Delta N_{\max} = 0,2 N_{\max} = 3,58 \cdot 10^4 \text{ кН},$$

$$E = 2,13 \cdot 10^8 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}, \quad F = 0,7164 \text{ м}^2,$$

$$l_m = 13 \text{ м}, \quad m_x = 1,2 \text{ мм}.$$

Висновок

Таким чином отримані допуски геодезичних робіт на різних етапах будівництва мостового переходу. Слід зауважити, що для забезпечення будівництва мостового переходу, на різних етапах його зведення, необхідно створювати геодезичну основу різної точності. При цьому при будівництві балки жорсткості мостового переходу найбільш важливою (вимагає найбільшої точності) є вертикальна площина. При будівництві арки мостового переходу головною є повздожня вісь мостового переходу.

References

- [1] Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев, Изд-во «Сталь», 2002. -600с.
- [2] Н. В. Корноухов – Избранные труды по строительной механике. –К.: Изд. АН УССР, 1963 - с19-32
- [3] Староверов В. С. К определению точности и периодов наблюдений осадок инженерных сооружений. // Инж. геодезия .-1978.-Вип. 32.- с.57-61.