

УДК 528.48

О.В. Адаменко

ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ БУДІВНИЦТВІ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ.

Мостові переходи відносяться до унікальних об'єктів. Їх будівництво до цих пір носить експериментальний характер. У практиці будівництва таких об'єктів виникає цілий ряд конструкторських і технологічних питань, які вимагають рішення. Одним з таких питань, є нормування точності геодезичних робіт при будівництві мостових переходів. Найбільш розповсюдженим методом, що дозволяє отримати такі дані є теорія розмірних ланцюгів.

Загальна ідея теорії розмірних ланцюгів полягає в наступному. Кожний об'єкт будівництва, або його частина, представляється як сукупність окремих елементів, що мають деякий розмір (розмірні ланки). Разом розмірні ланки складають розмірний ланцюг. Теорія розмірних ланцюгів визначає залежність точності визначення довжини ланцюга від точності визначення довжини окремих ланок, і навпаки.

Мостовий перехід є, в першу чергу, лінійним об'єктом. В проектні виконання робіт проєктанти звичайно розміщують допуски на виготовлення будівельних конструкцій мосту. Геодезисти також можуть використовувати ці дані, визначаючи точність геодезичних робіт по забезпеченню монтажу цих будівельних конструкцій.

Розглянемо конструкцію мостового переходу. По конструкції це арочний міст, отже основна несуча конструкція моста - безшарнірна арка, прольотом $l=312$ м, її стріла підйому $f=54,7$ м. Контур осі арки, судячи по геометричних розмірах, - квадратна парабола. За допомогою тросів арка підтримує балку жорсткості – конструкцію, яка забезпечуватиме пересування по мосту. Балка жорсткості є нерозрізною фермою завдовжки 312 м (рис 1).

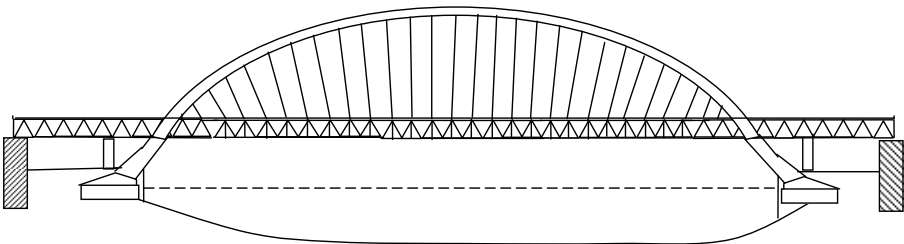


Рис. 1 Схема мостового переходу

Для нормування точності геодезичних робіт необхідно знати технологію будівництва мостового переходу. Розглянемо принципову технологічну схему зведення арочного мостового переходу (рис 2).

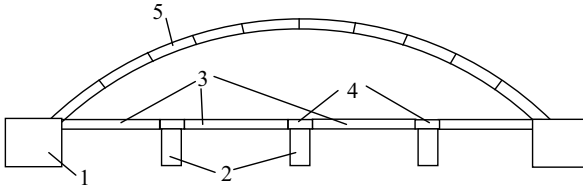


Рис. 2 Технологічна схема будівництва мостового переходу

Першим етапом будівництва мостового переходу є зведення мостових опор (постійних 1 і тимчасових 2). На зведені мостові опори підвозять і закріплюють фрагменти балки жорсткості 3. Після закріплення всіх фрагментів, їх зв'язують між собою за допомогою компенсаційних вставок 4. Після закінчення будівництва балки жорсткості, зводять арку мостового переходу 5 від двох опор до замку (від країв до центру). У такому разі монтаж подальших блоків здійснюється по попередніх. Після закінчення будівництва тимчасові опори демонтують.

Розглянемо докладніше будівництво балки жорсткості мостового переходу (рис 3).

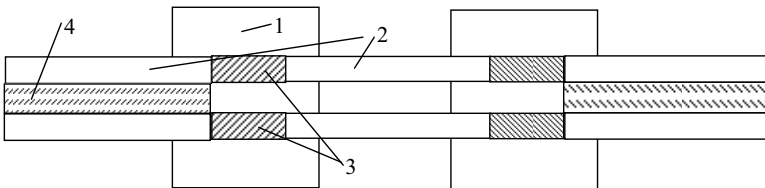


Рис. 3 Схема будівництва балки жорсткості мостового переходу (вид зверху)

На зведені мостові опори 1 встановлюються фрагменти балки жорсткості 2. По осі моста вони скріплюються за допомогою компенсаційних вставок 3. Паралельно прольоти балки жорсткості скріплюються і між собою 4. В результаті виходить лінійний розмірний ланцюг.

Так як монтаж подальших ланок розмірного ланцюга залежить від попередніх, то розмірний ланцюг корельований.

Помилка замикаючої ланки розмірного ланцюга [1]:

$$\sigma(s) = \sigma(s_i) \sqrt{n+2 \sum r_{ij}}, \quad (1)$$

де $\sigma(s_i)$ - допуск на виготовлення елементів конструкції балки жорсткості;

n - кількість ланок розмірного ланцюга;

r - коефіцієнти кореляції ланок розмірного ланцюга.

Коефіцієнти кореляції знайдемо по формулі [1]:

$$r_{ij} = \frac{i}{\sqrt{ij}}; \quad (2)$$

У ППР на будівництво мостового переходу вказані допуски на розміри елементів конструкції балки жорсткості. Для поясів $\sigma(s_i)=10$ мм. Визначимо кількість ланок розмірного ланцюга. Балка жорсткості складається з п'яти прольотів і чотирьох компенсаційних вставок. В результаті отримуємо $n=9$. Тоді помилка замикаючої ланки розмірного ланцюга $\sigma(s)=76,3$ мм;

Нехтуючи дією систематичних помилок, отримаємо допуск замикаючої ланки:

$$\Delta(s) = 2t\sigma(s), \quad (3)$$

тоді з вірогідністю 0,9973 отримаємо:

$$\Delta(s) = 6\sigma(s_i)\sqrt{n+2\sum r_{ij}}, \quad \Delta(s) = 458 \text{ мм}$$

Гранично допустима помилка геодезичних вимірів при забезпеченні монтажу ланки розмірного ланцюга [2]:

$$\Delta_1 = \frac{2,1\sigma(s_i)}{n}\sqrt{n+2\sum r_{ij}}, \quad (4)$$

Пункти розмічувальної основи при забезпеченні монтажу балки жорсткості необхідно отримати з похибкою, що не перевищує:

$$\Delta_0 = \frac{0,66\sigma(s_i)}{n}\sqrt{n+2\sum r_{ij}}, \quad (5)$$

Похибка детальних розмічувальних робіт не повинна виходити за межі:

$$\Delta_p = \frac{1,98\sigma(s_i)}{n}\sqrt{n+2\sum r_{ij}}, \quad (6)$$

Отримуємо відповідно $\Delta_1 = 17,8$ мм, $\Delta_0 = 5,6$ мм, $\Delta_p = 16,8$ мм.

Одним з основних питань при забезпеченні монтажу балки жорсткості є забезпечення паралельності поясів (рис 5). Отже, необхідно забезпечити рівність ланок $s_2 = s' = s'' = \dots = s^n$

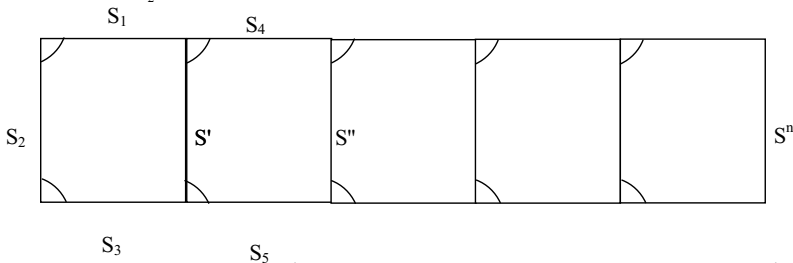


Рис. 5 Схема розмірного ланцюга при геодезичному контролі паралельності поясів балки жорсткості

Складемо плоский розмірний ланцюг для балки жорсткості в цьому випадку.

Прийmemo, що $\sigma(s_1) = \sigma(s_3) = \sigma(s_4) = \sigma(s_5) = \dots = \sigma(s_1)$, $s_1 = s_3 = s_4 = s_5 = \dots$, $\sigma(\beta) = \frac{\sigma(s_1)}{s_1}$, запишемо рівняння розмірного ланцюга для ланок s' і s'' [2]:

$$\begin{aligned}\sigma^2(s') &= \sigma^2(s_1) + \sigma^2(s_2) + \sigma^2(s_3) + \sigma^2(\beta)(s_2^2 + 2s_1^2) \\ \sigma^2(s'') &= \sigma^2(s_4) + \sigma^2(s') + \sigma^2(s_4) + \sigma^2(\beta)(s'^2 + 2s_4^2)\end{aligned}\quad (7)$$

Аналогічним чином можна отримати допуски і для наступний ланок розмірного ланцюга. В загальному випадку введемо додаткові змінні:

$$k = \frac{s_2}{s_1}, \quad \varepsilon = \frac{\sigma(s_2)}{\sigma(s_1)}, \quad (8)$$

отримаємо

$$\sigma(s'') = \sigma(s_1) \sqrt{8 + 2k^2 + \varepsilon^2}, \quad (9)$$

Для n ланки розмірного ланцюга отримаємо:

$$\sigma(s^n) = \sigma(s_1) \sqrt{4n + nk^2 + \varepsilon^2} \quad (10)$$

При $\sigma(s_i) = 10$ мм, $n = 9$, $k = 0,5$, $\varepsilon = 1$ отримаємо похибку замикаючої ланки $\sigma(s) = 62,6$ мм.

Допуск замикаючої ланки (3):

$$\Delta(s) = 2t\sigma(s)$$

З вірогідністю 0,9973 отримаємо:

$$\Delta(s^n) = 6\sigma(s_1) \sqrt{4n + nk^2 + \varepsilon^2}, \quad \Delta(s^n) = 376 \text{ мм}$$

Гранично допустима похибка геодезичних вимірювань при забезпеченні монтажу ланки розмірного ланцюга [2]:

$$\Delta_1 = \frac{2,1\sigma(s_1)}{n} \sqrt{4n + nk^2 + \varepsilon^2}, \quad (11)$$

Пункти розмічувальної основи при забезпеченні монтажу балки жорсткості необхідно отримати з похибкою, що не перевищує:

$$\Delta_0 = \frac{0,66\sigma(s_1)}{n} \sqrt{4n + nk^2 + \varepsilon^2} \quad (12)$$

Помилка детальних розмічувальних робіт не повинна виходити за межі:

$$\Delta_p = \frac{1,98\sigma(s_1)}{n} \sqrt{4n + nk^2 + \varepsilon^2} \quad (13)$$

Отримуємо відповідно $\Delta_1 = 14,6$ мм, $\Delta_0 = 4,6$ мм, $\Delta_p = 13,7$ мм.

В процесі монтажу балки жорсткості виникають питання геодезичного забезпечення не лише лінійних розмірів мостового переходу, але також необхідно забезпечити незабігання однієї частини балки жорсткості щодо іншої. Таким чином, ми маємо справу з плоским розмірним ланцюгом (рис 4).

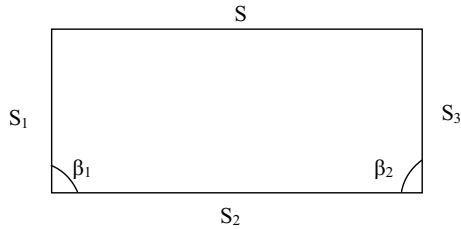


Рис. 4 Схема розмірного ланцюга при геодезичному забезпеченні монтажу балки жорсткості мостового переходу

Таким чином, стандарт замикаючої ланки:

$$\sigma(s) = \sqrt{\sum_1^n \sigma^2(s_i) + \sigma^2(\beta) \sum_1^n D_i^2}, \quad (14)$$

Для кожного прольоту прийемо, що

$$\sigma(\beta) = \frac{\sigma(s_1)}{s_1}, \quad s_1 = s_3, \quad \sigma(s_1) = \sigma(s_3), \quad (15)$$

Отримаємо

$$\sigma(s) = \sigma(s_1) \sqrt{n + \frac{n}{2s_1 + s_2} \sum_1^n D_i^2}; \quad (16)$$

При $s_2 = 86$ м, $s_1 = 8$ м, $\sigma(s_1) = 10$ мм, допуск незабігання однієї частини балки жорсткості щодо іншої $\sigma(s) = 15,1$ мм.

Розглянемо будівництво арки мостового переходу. Це криволінійний розмірний ланцюг із зв'язаними складовими ланками. Тоді стандарт замикаючої ланки ланцюга[2]:

$$\sigma(s) = \frac{R \sigma(\varphi)}{\rho n} \sqrt{n + \varphi^2 \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}}, \quad (17)$$

Похибка визначення положення окремої ланки арки мостового переходу:

$$\sigma(\varphi) = \frac{\rho n \sigma(s)}{R} \sqrt{\frac{1}{n + \varphi^2 \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}}}; \quad (18)$$

де $\sigma(s_i) = \sigma(\varphi)R$

З розрахунку балки жорсткості маємо $\sigma(s) = 76,3$ мм. Апроксимуємо криву арки по круговій кривій, отримаємо радіус кола $R = 250$ м. Кількість складових ланок арки $n = 24$, центральний кут на кожен ланку $\varphi = 0,052$, отримаємо $\sigma(\varphi) = 7,2$, $\sigma(s_i) = 8,7$ мм

Тоді гранично допустима похибка геодезичних вимірювань при забезпеченні монтажу ланки криволінійного розмірного ланцюга [2]:

$$\Delta_1 = \frac{2,1R\sigma(\varphi)}{\rho n^2} \sqrt{n + \varphi^2 \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}}, \quad (19)$$

Пункти розмічувальної основи при забезпеченні монтажу балки жорсткості необхідно отримати з похибкою, що не перевищує:

$$\Delta_0 = \frac{0,66R\sigma(\varphi)}{\rho n^2} \sqrt{n + \varphi^2 \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}} \quad (20)$$

Помилка детальних розмічувальних робіт не повинна виходити за межу:

$$\Delta_p = \frac{1,98R\sigma(\varphi)}{\rho n^2} \sqrt{n + \varphi^2 \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}} \quad (21)$$

Отримуємо $\Delta_1 = 6,6$ мм, $\Delta_0 = 2,1$ мм, $\Delta_p = 6,3$ мм.

З приведених вище розрахунків можна зробити такі виводи:

- пункти розмічувальної основи при монтажі балки жорсткості мають бути отримані з похибкою, що не перевищує $\Delta_0 = 4,6$ мм;
- гранична точність геодезичних розмічувальних робіт при монтажі балки жорсткості уздовж осі моста не повинна перевищувати $\Delta_p = 16,8$ мм;
- гранична точність геодезичних розмічувальних робіт при монтажі балки жорсткості поперек осі моста не повинна перевищувати $\Delta_p = 13,7$ мм;
- гранична точність геодезичних розмічувальних робіт при забезпеченні незабігання однієї частини балки жорсткості щодо іншої не повинна перевищувати $\Delta = 15,1$ мм;
- пункти розмічувальної основи при монтажі арки моста мають бути отримані з похибкою, що не перевищує $\Delta_0 = 2,1$ мм;
- гранична точність геодезичних розмічувальних робіт при монтажі арки моста не повинна перевищувати $\Delta_p = 6,3$ мм;

Литература

1. Н.Г. Видуев, Т.Т. Чмчян. Теория размерных цепей., К-1965/
2. Т.Т. Чмчян. Расчет точности геодезических работ в строительстве: Справочник. - М. Недра, 1988. - 150 с.

Анотація

В статті проводиться розрахунок точності геодезичних робіт при будівництві мостових переходів на основі теорії розмірних ланцюгів.

Аннотация

В статье выполняется расчет точности геодезических работ при строительстве мостовых переходов на основании теории размерных цепей.