

УДК 528.48: 624.04

В.К. Чибіряков, В.С. Староверов,
О.В. Адаменко

ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРОГІННИХ КОНСТРУКЦІЙ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ.

Постановка проблеми

Основні нормовані технічні вимоги до геодезичних робіт при будівництві мостів наведені в СНиП 3.06.04-91 «Мости и труби». Проте діючий СНиП не розкриває повною мірою вимоги до геодезичних робіт в цілому, а зокрема і відносно конструкції прогонів мостового переходу.

Аналіз досліджень у даній темі

Питання обґрунтування точності геодезичних робіт при будівництві будівель і споруд залишаються актуальними і на сьогодні. Не виключенням є і конструкції прогонів мостових переходів. Більшість авторів вважають за доцільне виконувати розрахунок нормування точності інженерно-геодезичних робіт добре вивченою теорією розмірних ланцюгів.

Цілі статті

Описати методика визначення точності геодезичних робіт при монтажі та спостереженнях за деформаціями конструкцій прогонів мостового переходу. Нормування точності геодезичних робіт пропонується виконувати, моделюючи поведінку конструкцій під час монтажу та експлуатації.

Викладення основного матеріалу

Геодезичні спостереження за несучими конструкціями дозволяють стежити за загальним станом конструкції і, зокрема за напружено-деформованим станом. Проте помилки геодезичних спостережень можуть вплинути на адекватність дослідження реального стану конструкції. З іншого боку, вимоги надмірно високої точності призводять до істотного підвищення трудомісткості геодезичних робіт і реально не завжди досяжні. Тому актуальним є вибір оптимальних параметрів геодезичних робіт, які, з одного боку, забезпечують достатню точність, а з іншого - не призводять до надмірного підвищення трудомісткості.

Оскільки йдеться про геодезичні спостереження за несучими конструкціями, поведінка яких безпосередньо залежить від їх напружено-деформованого стану на різних етапах існування конструкції, то необхідна точність пов'язана з можливими рівнями напружено-деформованого стану. При проектуванні даної конструкції прогнозування всіх можливих варіантів напружено-деформованого стану є основою підбору фізико - геометричних характеристик елементів

конструкції. Цей етап проектування конструкції вимагає високої кваліфікації і виконується відповідними фахівцями. Використовувати результати цих розрахунків в геодезичних розрахунках неможливо. Проте остаточний результат розрахунків - спроектована конструкція - вибраний за умови забезпечувати необхідну міцність конструкції при всіх можливих варіантах напружено - деформованого стану конструкції. А тому відомі фізико - геометричні характеристики елементів конструкції дозволяють визначати максимальні характеристики напружено-деформованого стану, при яких ще забезпечується міцність конструкції. Визначення максимальних характеристик напружено-деформованого стану запроєктованої конструкції, по суті, є зворотним завданням будівельної механіки. А будь-який розрахунок із застосуванням будівельної механіки виконується з використанням певної розрахункової моделі даної конструкції. Вибір розрахункової моделі - вельми істотний етап розрахунку, і він впливає на адекватність результатів розрахунку реальному напружено-деформованому стану.

Балка жорсткості є головною частиною мостового переходу, основна задача якої – сприймати навантаження від проїжджаючого транспорту. Оскільки зазвичай прогони в мостах досить великі, а навантаження від власної ваги, навантаження додаткових споруд та транспорту мають досить великі значення, то у вертикальній площині балка жорсткості має вигляд ферми (рис.1).

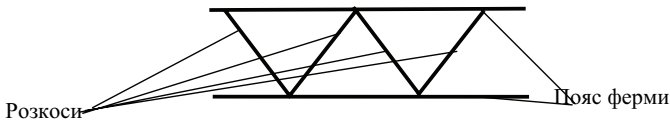


Рис. 1 Балка жорсткості (ферма)

Розглянемо процес забезпечення проектної довжини елементів балки жорсткості. В процесі будівництва мостового переходу балка жорсткості складається із окремих елементів. Кожний елемент окремо встановлюється у проектне положення, а потім об'єднується з іншими за допомогою допоміжних вставок, що мають вигляд фрагменту ферми. Найчастіше будівництво мостового переходу ведеться з двох берегів назустріч, причому побудовані прогони закріплюються.

При будівництві балки жорсткості необхідно забезпечити наступні параметри:

- довжину балки жорсткості та її окремих елементів;
- встановлення елементів балки жорсткості по осі мостового переходу;
- висотне встановлення елементів балки жорсткості у проектне положення.

Слід зауважити, що найголовнішим із цих параметрів є останній. При великих навантаженнях невелике відхилення у положенні деяких елементів

балки жорсткості може призвести до появи великих надлишкових напружень у конструкції і, відповідно, до її руйнування.

Як показано в роботі [4] основними питаннями геодезичних спостережень є: 1) правильне розміщення осадкових марок з визначенням відстані між ними; 2) визначення стандарту спостережень; 3) розрахунок періодів спостережень. За несучу конструкцію в [4] вибрано конструкцію, розрахунковою моделлю якої є балка. Це найбільш проста розрахункова модель і тому використовувати одержані в [4] результати для складніших конструкцій безпосередньо неможливо. У зв'язку з цим актуально узагальнити розроблену в [4] методику на конструкції, для розрахунку яких використовуються більш складні розрахункові моделі.

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. Якщо балками перекриваються прогони до 12 м., то фермами перекриваються прогони набагато більшої довжини і тому, в основному, ферми використовуються в мостових переходах як основні несучі конструкції. 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)

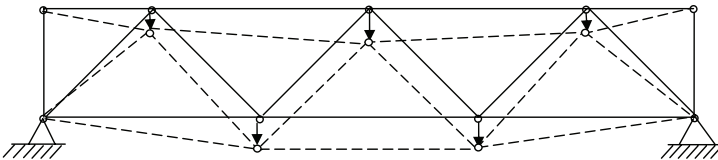


Рис. 2 Вертикальні переміщення вузлів ферми.

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 запроектованих перерізах нескладно знайти очікувані максимальні зусилля в стрижнях ферми:

$$S = A[\sigma]m, \quad (1)$$

де S - зусилля в стрижні,

A - площа поперечного перетину стрижня,

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

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

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

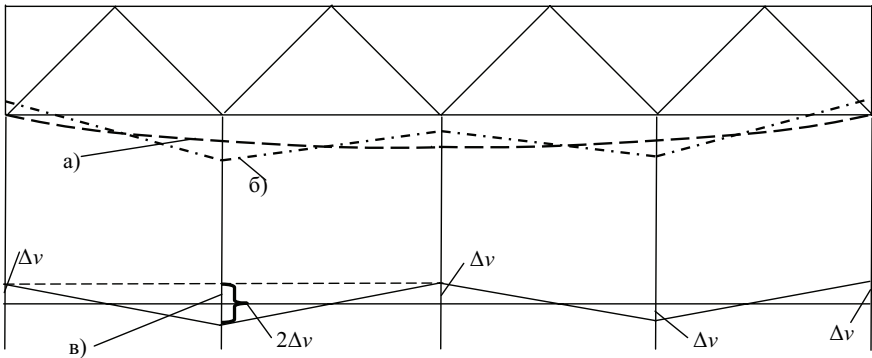


Рис. 3 Визначення максимальних прогинів вузлів нижнього поясу.

Прогини вузлів нижнього поясу:

- а) дійсні прогини нижнього поясу;
- б) виміряні прогини нижнього поясу;
- в) внесок допустимих погрішностей.

Як правило, деформаційні марки розташовуються в кожному вузлі навантаженого нижнього поясу ферми. Розглянемо дійсну епію прогинів

нижнього поясу ферми (показана штриховою лінією), та побудовану за геодезичними спостереженнями з допустимими погрішностями (показано штрих-пунктиром). 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. Епюра прогинів нижнього поясу в) можлива в даній фермі при дії на неї самоврівноважених в двох панелях дій, внаслідок чого частина ферми в межах двох панелей працює окремо на ці самоврівноважені дії:

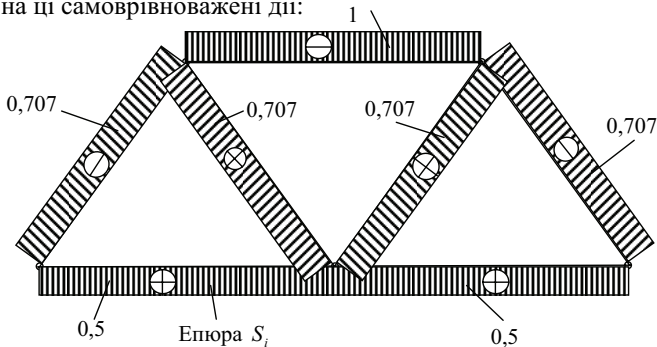


Рис. 4 Розподіл зусиль від самоврівноваженого одиничного навантаження.

Саме така одинична дія необхідна для знаходження просідання середнього вузла $2\Delta v$.

Значення зусиль ΔS , які викликають просідання $2\Delta v$, знаходимо по перерізах стрижнів (рис.5).

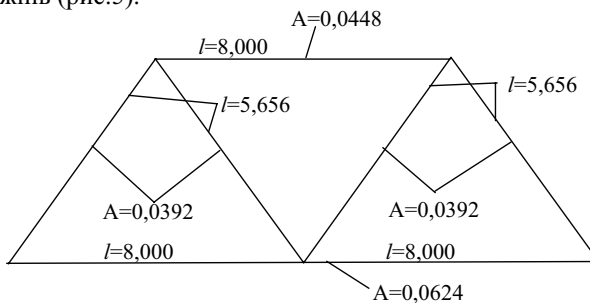


Рис. 5 Геометричні розміри елементів ферми

Оскільки зусилля у вантажному стані знаходимо по формулі (1), то вони будуть пропорційні площі поперечного перерізу стрижня і відносяться між собою так, як відносяться відповідні площі. Оскільки найбільша площа i , відповідно, зусилля - в стрижнях нижнього поясу, то позначивши його S_{\max} , решту зусиль знайдемо в долях S_{\max} (рис.6).

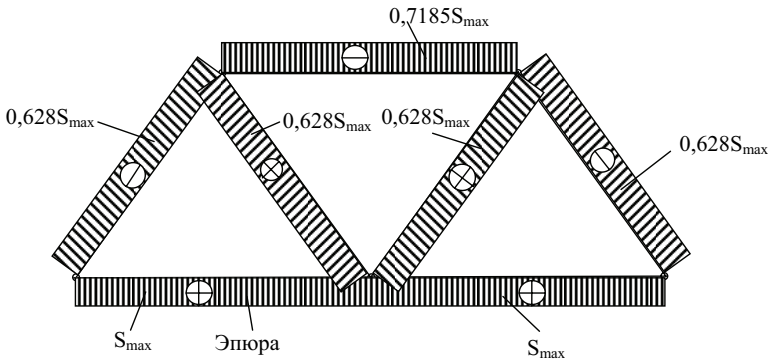


Рис. 6 Зусилля, що виникають у стержнях ферми.

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

$$2\Delta v = \sum_{j=1}^n \frac{S_i^j S_p^j l^j}{EA^j} = \frac{1}{E} \left[\frac{0,5 * 1 * 8}{0,0624} * 2 + \frac{0,707 * 0,628 * 5,656}{0,0392} * 4 + \frac{1 * 0,718 * 8}{0,0448} \right] = 3,5 \text{ мм} \quad (2)$$

Розглянемо фізичну сутність величини “ Δv ”. Величина “ Δv ” показує максимальне зміщення кожного вузла ферми відносно іншого, яке ми можемо допустити при умові, що геометрія споруди не впливає на її стійкість. Іншими словами, величина “ Δv ” задає технологічну точність монтажу вузлів ферм по вертикалі, яку ми повинні забезпечити.

У деяких видах мостів, конструкції прогонів за допомогою компенсаційних вставок об’єднуються у єдину нерозрізну систему (рис. 7)

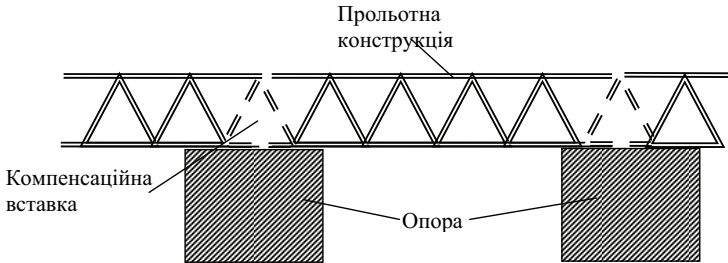


Рис. 7 Об’єднання прогонів у єдину конструкцію

Під дією геодезичних і монтажних похибок верхній торець мостових опор може мати деяку похибку встановлення по висоті. Внаслідок цього ферма конструкції прогонів або провисає, або отримує додаткове навантаження від опори, що згинає її. Маючи величину допустимого відхилення взаємного положення вузлів ферми, визначимо технологічну точність встановлення верхнього торця опори по висоті.

Максимальне допустиме зміщення одного вузла ферми відносно іншого - “ Δv ”. Оскільки ферма повинна опиратися (передавати навантаження) вузлом, то

відстань між опорами завжди кратна відстані між вузлами ($n_k = \frac{l_{on}}{l_{вуз}}, n \in N$).

Тоді максимальна похибка встановлення опор по висоті: $\Delta = n_k \Delta v$. При $l_{on} = 80$ м, $\Delta v = 1,75$ мм, отримаємо $\Delta = 17,5$ мм.

Скористаємось добре відомою залежністю точності геодезичних робіт від технологічної точності будівництва:

$$m_1 = \frac{\Delta v}{t}, \quad (3)$$

де m_1 – СКП визначення відмітки верхнього торця опори,

t – коефіцієнт Ст'юдента, який вибирається по заданій ймовірності P та кількості вимірювань n певної величини.

При невеликій кількості вимірювань $t \approx 3,0$, тоді $m_1 = \frac{17,5}{3} = 5,8$ мм. На положення верхнього торця опори впливають переважно дві похибки геодезичних робіт: похибка визначення проектної відмітки на нульовому горизонті m_2 та похибка передачі відмітки на монтажний горизонт m_3 . Користуючись принципом рівного впливу похибок, отримаємо:

$$m_2 = m_3 = \frac{m_1}{\sqrt{2}} = 4,1 \text{ мм.} \quad (4)$$

Розглянемо ще одне питання. При спостереженнях за деформаціями конструкцій прогонів мостового переходу, необхідно визначати вузли конструкції з такою точністю, щоб невизначені геодезистами деформації не впливали суттєво на надійність споруди. Як було визначено вище необхідна точність визначення положення (встановлення) кожного вузла $\Delta v = 1,3$ мм.

Точність геодезичних робіт при визначенні висоти кожного вузла m_4 :

$$m_4 = \frac{\Delta v}{t}. \quad (5)$$

Оскільки спостереження за деформаціями споруд звичайно виконують у невелику кількість прийомів ($n=2\dots4$), то коефіцієнт t будемо вибирати за таблицею розподілу Ст'юдента. Тоді необхідна точність визначення висоти кожного вузла $m_4 = 0,6$ мм.

При складанні балки мостового переходу може утворитися ситуація, при якій деякі елементи ферми можуть бути стисненими або розтягненими під впливом похибок складання і монтажу елементів ферми балки жорсткості. Можна визначити допустиму лінійну деформацію балки жорсткості та її елементів під дією похибок монтажу.

В конструкції ферми основну лінійну деформацію забезпечують пояси. Тому необхідно визначити наскільки максимально можна розтягнути або стиснути

пояс ферми, щоб він не втратив міцність. Умову міцності для поясів запишемо формулою:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]_{\text{матеріалу}} \quad (6)$$

Із закону Гука запишемо:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (7)$$

де ε - відносна деформація поясу,

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}; \quad (8)$$

E - модуль пружності матеріалу (сталі) на розтяг та стискання. Для сталі $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Оскільки ферми виготовлюються на заводах у вигляді окремих елементів, а на місці будівництва лише збираються, то геодезичний контроль не може повною мірою впливати на довжину конструкцій прогонів. Проте під час монтажу мостового переходу одним із видів геодезичних робіт є визначення його довжини.

Допустимо позовжню деформацію мостового переходу, а звідси і точність монтажних робіт, визначимо за формулою:

$$\Delta l = \frac{[\sigma]_{\text{матеріалу}}}{E} l, \quad (9)$$

де l - довжина елемента (конструкції прогону).

При довжині мостового переходу $l \approx 220 \text{ м}$, маємо $\Delta l = 167 \text{ мм}$

Тоді за відомою залежністю точності геодезичних робіт від технологічної точності будівництва визначимо:

$$m_s = \frac{\Delta l}{t}, \quad (10)$$

де m_s - СКП визначення довжини мостового переходу,

t - коефіцієнт Ст'юдента, який вибирається по заданій ймовірності P та кількості вимірювань n . Маємо $m_s = 55,8 \text{ мм}$. Тобто під час проведення інженерно-геодезичних вишукувань точність визначення довжини мостового переходу повинна бути $m_s = 55,8 \text{ мм}$, при $l = 220 \text{ м}$.

Розглянемо процес монтажу елементів балки жорсткості по осі мостового переходу при такій же послідовності його будівництва.

Звичайно мостовий перехід будують з двох берегів назустріч одне одному. Під дією геодезичних похибок у місці об'єднання дві конструкції розходяться. Коли їх притискають для об'єднання в конструкціях виникають додаткові напруження. Можна визначити точність монтажу балки жорсткості у планове положення за умови, щоб додаткові напруження не були більшими за допустимі для матеріалу ферми.

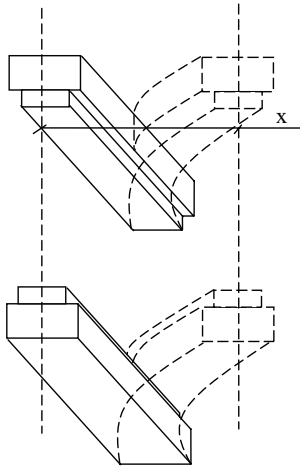


Рис. 8 Згин поясів балки жорсткості під дією монтажних похибок.

У горизонтальній площині ферму можна представити у вигляді двох стержнів, які діють разом (рис. 6).

Запишемо допустиме напруження, яке виникає при згині стержня:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W_x}, \quad (11)$$

де W_x - момент опору перерізу при згині,

$$W_x = \frac{I}{y_{max}}, \quad (12)$$

I_x - момент інерції перерізу,

y_{max} - максимальна віддаль від осі перерізу до крайньої точки перерізу.

Якщо всі елементи конструкції балки жорсткості будуть встановлені у проектне положення ідеально, тобто без відхилень, то момент на стиках елементів буде дорівнювати нулю. В іншому випадку момент виникаючої в стрижні сили знайдемо за формулою:

$$M = Nl, \quad (13)$$

де l - довжина стрижня,

N - сила, яка згинає кінець стрижня.

Силу N , під дією якої відбувається згин стрижня, знайдемо за формулою :

$$N = \frac{3EIx}{l^3}, \quad (13)$$

де x - прогин стрижня на кінці (максимальний прогин).

Запишемо залежність моменту, який з'являється в балці жорсткості від похибки, з якою вона зібрана. Для визначення точності геодезичних робіт використаємо принцип, який описаний в роботі [4].

Як було наголошено вище, при ідеальній збірці елементів балки жорсткості момент на стику елементів дорівнює нулю. Якщо встановлення елементів виконане з якоюсь похибкою, то в елементах з'являється момент, який можна вважати приростом моменту. Оскільки спостереження при встановленні елементів мосту необхідно виконувати по кожному вузлу балки жорсткості, то визначимо точність геодезичних робіт [4]:

$$m_6 = \frac{MI^2}{EI\pi^2}, \quad (14)$$

де m_6 – СКП визначення планового положення вузлів балки жорсткості.

l – відстань між вузлами балки жорсткості.

Тоді точність встановлення кожного вузла конструкції прогону у планове

положення $m_6 = \frac{l^2}{EI\pi^2} \sigma_{max} \frac{I}{y_{max}} = \frac{\sigma_{max} l^2}{E\pi^2 y_{max}}$

При $\sigma_{max} = 2292 \text{ кг/см}^2$, $l = 8 \text{ м}$, $y_{max} = 0,71 \text{ м}$, маємо $m_6 = 11 \text{ мм}$.

За описаною вище методикою можна визначити точність геодезичних робіт на мостових переходах на всіх етапах його будівництва.

Література

1. Будур А. И., Белогуров В. Д. Стальные конструкции. Справочник конструктора. – К.: Изд-во «Сталь», 2004 – 210 с.
2. Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Строительная механика: Учеб. для строит. спец. вузов. – 8-е изд. – М.: Высш. шк., 1986.-607 с.
3. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев, Изд-во «Сталь», 2002. -600 с.
4. Староверов В. С. К определению точности и периодов наблюдений осадок инженерных сооружений. // Инж. геодезия. -1978.-Вып. 32.- С. 57-61.
5. Чибириков В. К., Староверов В. С., Егоров А. И. Модели геодезических измерений при наблюдениях за деформациями инженерных сооружений. // Инж. Геодезия. - 1998.-Вып. 40. - С. 233-239.

Анотація

В статті наведені основні принципи визначення точності інженерно - геодезичних робіт під час будівництва прогінних конструкцій мостового переходу, використовуючи дані про роботу споруди та її напружено-деформований стан. Розрахунок виконується за умови, що додаткові напруги, що виникають в конструкції від похибок збирання конструкції, не повинні суттєво впливати на її стійкість.