

В.М.Новосад

**ПОПЕРЕДНІЙ РОЗРАХУНОК ТОЧНОСТІ НІВЕЛЮВАННЯ МЕТОДОМ
"СУМІЩЕНЬ" ШАШКОВИМИ РЕЙКАМИ**

З метою подальшого підвищення точності геометричного нівелювання III, IV класів, що проводиться звичайними дерев'яними шашковими рейками з сантиметровими поділками, запропоновано вести нівелювання цих класів методом "суміщень" [2]. Це можливо, якщо горизонтальний візирний промінь розміщувати в вертикальній площині паралельно до нього самого на 10 мм, тобто на ширину мінімальної поділки шашкової рейки. Для цього використовували оптичний мікрометр угорського нівеліра Ni-A3, фірми MOM, в якому вдвічі збільшена товщина плоскопаралельної пластини; таким чином, конструктивна заміна мікрометра полягає в тому, що склеєні дві плоскопаралельні пластини фірмового мікрометра. Шкала мікрометра розділена на 50 частин, а найменша поділка на рейці 10 мм, тому кожному повороту шкали оптичного мікрометра на одну поділку відповідає паралельне зміщення візирного променя на 0,2 мм. Оскільки найменшу поділку мікрометра можна ще розділити на 10 частин, то точність відліку буде близько 0,02 мм.

Мета цієї статті, як видно з назви, попередньо оцінити очікувану точність такого нівелювання, а також порівняти точність запропонованого модернізованого нівелювання з точністю звичайного нівелювання шашковими рейками а оцінюванням на око частин найменшої (сантиметрової) поділки рейки.

Як відомо, питання оцінки точності нівелювальних робіт є досить складним. Це пояснюється тим, що на точність нівелювання впливає велика кількість джерел помилок, які до того ж складно взаємодіють між собою. Так точність нівелювальних робіт залежить від характеристик нівеліра (збільшення труби, ціни поділки рівня), типу рейок (дерев'яні, інварні), розміру їх найменших поділок (штрихові - 5 мм, шкалові - 10 мм), прийнятої методики нівелювання, довжини оптичного променя, висоти його над землею, періоду виконання робіт протягом доби, пори року, впливу зовнішніх умов (нестійкість реперів, перехідних точок, вертикальна рефракція) тощо.

Найважливішою частиною таких розрахунків, на нашу думку, є достатньо точне визначення так званої "помилки погляду" - $m_{\text{пог}}$, яка містить багато складових помилок. Було проаналізовано 15 різних джерел помилок.

1. Помилка приведення візирної осі (нівелірів а рівнем) або лінії візування (нівелірів а компенсаторами) в горизонтальне положення - $m_{\text{прв}}$.

Ця помилка залежить відповідно від точності суміщення кінців зображення бульбашки або точності роботи компенсатора. Прийmemo, як цього вимагає чинна інструкція [1] для нівелювання III класу, що кут нахилу візирної лінії - α не перевищує 0,5". При довжині плеча $S = 75$ м, маємо

$$m_{\text{прв}} = \frac{\alpha S}{\rho''} = \frac{0,5'' \cdot 75000}{206265''} = 0,18 \text{ мм.} \quad (1)$$

2. Помилка наведення середньої горизонтальної нитки сітки на край шашки - $m_{\text{нав}}$.

Ця помилка аналогічна помилці наведення кутового бісектора нівеліра на штрих інварної рейки при нівелюванні I та II класів. При звичайному нівелюванні III, IV класів така дія не виконується і тому $m_{\text{нав}} = 0$. Якщо ведеться нівелювання методом суміщень нівеліром НВ, то ця помилка (визначена експерименталь-

но) приблизно дорівнювала $m_{\text{нав.}} = 0,06$ мм. Як відомо, наведення кутового бісектора при проведенні нівелювання вищих класів становить $m_{\text{нав.}} = 0,03$ мм.

3. Помилка за непаралельність візирної осі циліндричного рівня (кут i) - m_i .

Згідно з інструкцією допускається кут i до $10''$. При рівних плечах цей фактор не впливає на визначення перевишень. При нерівності плечей 2 м (як це знову таки допускається інструкцією) помилка в перевищенні буде

$$m_{i1} = \frac{10'' \cdot 2000}{206265''} = 0,1 \text{ мм.}$$

Однак за час роботи на окремій станції, хоча нівелір знаходиться під парасолею, кут i може змінитися. Нехай ця аміна $\Delta i = 5''$, тоді, відповідно

$$m_{i2} = \frac{5'' \cdot 2000}{206265''} = 0,05 \text{ мм.}$$

Загальний вплив цих двох випадкових причин

$$m_i = 0,112 \text{ мм.}$$

4. Помилка під впливом зміни фокусування труби при відліках по задній та передній рейках - m_d .

Якщо нерівність плечей не перебільшує 2 м, то перефокусування труби на станції не виконується, тому цю помилку можна прийняти такою, що дорівнює нулю: $m_d = 0$.

5. Помилка власне відліку по рейці (по шкалі) - m_B .

При звичайному нівелюванні, найменша поділка на рейці (10 мм) ділиться на око на 10 частин. Приймемо $m_B = 1$ мм (як середня квадратична помилка). При нівелюванні методом "сумішень" відлік береться по шкалі барабана мікрометра. Як відмічалося раніше, найменша поділка шкали мікрометра 0,2 мм. Її поділяють на око ще на 10 частин. Приймемо $m_{B, \mu} = 0,025$ мм.

6. Помилка за неточне приведення середньої нитки сітки в горизонтальне положення при юстуванні (нахил сітки ниток) - $m_{с.н.}$. Звичайно труба наводиться на рейку серединою поля зору і цю помилку в деяких роботах приймають такою, що дорівнює 0,05 мм; так що

$$m_{с.н.} = 0,05 \text{ мм.}$$

7. Помилки нанесення поділок на дерев'яну рейку (помилка шашки рейки) - $m_{ш}$. Відповідно до інструкції з нівелювання, гранична помилка дециметрових поділок рейок, яку використовують в III класі нівелювання, не повинна перевищувати 0,5 мм. Тому прийнято середню квадратичну помилку шашки - $m_{ш} = 0,17$ мм.

8. Помилки за нахил рейки - $m_{н.р}$.

Нехай ціна поділки круглого рівня $\tau = 15'$ і реєчник тримає рейку не вертикально власне з такою помилкою. Тоді

$$m_{н.р} - \Delta l = l - l_0 = l - l \cos \tau = 2l \sin^2 \tau / 2. \quad (2)$$

У цій формулі l - відлік по нахиленій рейці; l_0 - відлік по вертикальній рейці; оскільки $\Delta l = m_{н.р}$, то на основі (2) маємо кінцеві

$$m_{н.р} = l \frac{\tau^2}{2\rho^2}. \quad (3)$$

Максимально можливий відлік по рейці $l = 3000$ мм. Підрахунки за формулою (3) дають

$$m_{н.р} = 0,028 \text{ мм.}$$

9. Помилка за непаралельність осі рейки та осі круглого рівня - $m_{н.о}$.

Названа непаралельність призводить до додаткового нахилу рейки. Маємо підставу прийняти $m_{н.о} = m_{н.р}$.

Тому $m_{н.о} = 0,028$ мм.

10. Помилки за різницю висот нулів рейок - $m_{н.р}$.

При парному числі штативів у ході, як і потрібно виконувати нівелювання, ця помилка виключається.

Тому $m_{р.н} = 0$.

11. Помилки за неперпендикулярність площини п'ятки рейки до її осі - $m_{н.р}$.

Як середню квадратичну помилку приймаємо

$$m_{н.п} = 0,05 \text{ мм.}$$

12. Помилки за жолоблення рейки - $m_{жол}$.

Як відомо, помилку відліку за жолоблення рейки - $\Delta l_{жол}$ обчислюють за формулою

$$\Delta l_{жол} = \frac{8}{3} \frac{f^2}{l}, \quad (4)$$

де f - стрілка жолоблення рейки, яка, коли проводять нівелювання III класу, допускається 10 мм. При довжині рейки $l = 3000$ мм

маємо за формулою (4)

$$m_{\text{жол.}} - \Delta l_{\text{жол.}} = 0,1 \text{ мм.}$$

13. Помилки за нівелірну рефракцію - $m_{\text{реф.}}$

На результати нівелювання впливає тільки диференційна рефракція, тобто різниця впливу рефракції в відліки. На основі багатьох досліджень диференційної нівелірної рефракції можна прийняти, що

$$m_{\text{реф.}} = 0,2 \text{ мм.}$$

14. Помилки за осідання підкладини - $m_{\text{о.б.}}$

$$\text{Прийmemo } m_{\text{о.б.}} = 0,15 \text{ мм.}$$

15. Помилки за випирання штатива - $m_{\text{в.ш.}}$

Випирання штатива відбувається від переміщення спостерігача навколо штатива під час нівелювання. Є деякі підстави вважати, що

$$m_{\text{в.ш.}} - m_{\text{о.б.}} = 0,15 \text{ мм.}$$

Всі розглянуті помилки зводимо в таблицю.

Числові значення помилок, що складають "помилку погляду",
при звичайному нівелюванні III класу
і нівелюванні методом "суміщень"

NN п/п	Складові помилки	Числові значення помилок, мм	
		при звичайному нівелюванні III класу	при нівелюванні методом "суміщень"
1	$m_{\text{прв.}}$	0,190	0,190
2	$m_{\text{наз.}}$	0,000	0,060
3	m_i	0,112	0,112
4	$m_{\text{ф}}$	0,000	0,000
5	$m_{\text{р}}$	1,000	0,025
6	$m_{\text{с.н}}$	0,050	0,050
7	$m_{\text{ш}}$	0,170	0,170
8	$m_{\text{н.р}}$	0,028	0,028
9	$m_{\text{н.о}}$	0,028	0,028
10	$m_{\text{р.н}}$	0,000	0,000
11	$m_{\text{н.п}}$	0,050	0,050
12	$m_{\text{жол.}}$	0,100	0,100
13	$m_{\text{реф.}}$	0,200	0,200
14	$m_{\text{о.б.}}$	0,150	0,150
15	$m_{\text{в.ш.}}$	0,150	0,150

Використаємо формули:

$$m_{\text{пог.}}^2 = m_{\text{пр.}}^2 + m_{\text{наз.}}^2 + m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_{\text{с.н.}}^2 + m_{\text{ш.}}^2 + m_{\text{н.р.}}^2 + m_{\text{н.о.}}^2 + m_{\text{р.н.}}^2 + m_{\text{н.п.}}^2 + m_{\text{жол.}}^2 + m_{\text{реф.}}^2 + m_{\text{о.б.}}^2 + m_{\text{в.ш.}}^2 \quad (5)$$

Обчислення за формулою (5) дають:

а) для звичайного нівелювання

$$m_{\text{пог.з}} = 1,086 \text{ мм};$$

б) для нівелювання методом "суміщень"

$$m_{\text{пог.с}} = 0,428 \text{ мм}.$$

Як відомо, точність визначення середнього перевищення на станції $m_{\text{нс}}$ (по чорних та червоних сторонах рейок) дорівнює точності "погляду" - $m_{\text{пог.}}$.

Допустимо, що на кілометр ходу приходить 10 станцій. Тоді помилки одного кілометра ходу відповідно будуть

$$m_{\text{км.з}} = 3,434 \text{ мм},$$

$$m_{\text{км.с}} = 1,353 \text{ мм}.$$

Отримані помилки кілометра ходу можна розглядати як середні квадратичні. Граничні помилки будуть втричі більші

$$m_{\text{гр.з}} = 10,302 \text{ мм},$$

$$m_{\text{гр.с}} = 4,059 \text{ мм}.$$

Той факт, що з розрахунків отримано граничну помилку звичайного нівелювання III класу, прийняту чинною інструкцією, вказує значною мірою на те, що ці розрахунки точності не занижені і близькі до реальних.

Визначимо коефіцієнт підвищення точності - k

$$k = \frac{m_{\text{пог.з}}}{m_{\text{пог.с}}} = \frac{m_{\text{км.з}}}{m_{\text{км.с}}} = \frac{m_{\text{гр.з}}}{m_{\text{гр.с}}} \quad (6)$$

Обчислення дають

$$k = 2,537 \approx 2,5.$$

Отже, точність підвищується в два з половиною рази.

Зробимо висновки, які ґрунтуються на вищезазначених розрахунках.

1. Запропонована модернізація нівелювання III класу, зміст якої полягає в переході від оцінювання частин найменшої сантиметрової поділки дерев'яної рейки "на око" до методу "суміщень", завдяки реконструкції мікрометра плоскопаралельної пластинки, підвищує точність нівелювання до рівня II класу (гранична помилка не перевищує 5 мм на 1 км).

2. З достатньою ймовірністю можна стверджувати, що проведення нівелювання модернізованим методом дасть змогу відмовитися від виконання зворотного ходу нівелювання III класу і при цьому отримати результати за точністю кращі, ніж точність середніх перевищень з прямого та зворотного ходів. Це вдвічі підвищує продуктивність нівелювання III класу.

3. Звичайно, наведені у статті попередні розрахунки та висновки потребують ще фундаментальної експериментальної перевірки.

1. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. М., 1990. 2. Островский А.Л., Новосад В.М. Разработка методики нивелирования III кл. шашечными деревянными рейками методом совмещений // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1988. Вып. 47. С. 53-58.