

## ТОЧНІСТЬ ВІДЛІЧУВАННЯ НІВЕЛІРНИХ РЕЙОК

І. Рій, к. е. н., О. Бочко, к. е. н.

*Львівський національний аграрний університет*

<https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.173>

**Постановка проблеми.** Геометричне нівелювання на сьогодні є одним із найточніших методів визначення перевищень на віддалі до ста кілометрів. Високоточне визначення перевищень застосовують у багатьох галузях народного господарства та для наукових досліджень. Найбільший вплив на точність високоточного геометричного нівелювання мають вертикальна рефракція та негоризонтальність променя нівелювання. Збільшення зорової труби нівеліра та віддалі до рейки впливає на точність відлічування шашкових рейок. Пропонуємо методику, яка дозволяє визначати точність відлічування шашкової рейки незалежно від похибки перефокусування труби, кута негоризонтальності візирного променя, вертикальної рефракції, кривизни Землі тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Німецький геодезист Рейнхерц був одним із перших вчених, які у кінці XIX століття досліджували точність відлічувань шашкових рейок нівеліром. На основі його формул А. С. Чеботарьов дав свої формули для оцінки точності відлічування рейки та похибки погляду [9, с. 67-69]. Наближена оцінка точності відлічувань рейки, пов'язана з товщиною ниток та збільшенням труби, подана у [8, с. 203, 347]. Питанням точності відлічувань шкал присвячено значну частину праці [6, с. 103-105]. У праці [1, с. 18-19] подано залежність точності візування від форми сітки ниток і предмета. Формули для оцінки точності нівелювання в [3; 4] виведені на основі точності відліку. Основними складовими цієї похибки є похибка відлічування рейки та точність погляду. Оцінка точності геометричного нівелювання досить детально розглядається у [7, с. 79-82] та на основі [7] у [2, с. 133]. Проблема точності відлічувань рейки залежно від форми та розмірів штрихів розглянута у [5, с. 173-185], де показано, що точність візування приблизно дорівнює точності відлікових пристроїв у нівелірі, наприклад оптичного мікрометра, і зроблено припущення, що треба якимось чином удосконалити оптичний мікрометр.

**Постановка завдання.** Наше завдання – запропонувати методику, яка дозволяє визначати точність відлічування шашкової рейки незалежно від похибок, зумовлених перефокусуванням тру-

би, кутом негоризонтальності візирного променя, вертикальною рефракцією, кривизною Землі тощо.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження похибки відлічування рейки можна виконувати так. Визначають перевищення між сусідніми знаками нівелюванням ізсередини точнішим нівеліром, ніж досліджуваний. Наприклад, для дослідження відлічувань шашкових рейок, перевищення ізсередини визначатимемо нівеліром Ni002 та інварними рейками. Потім виконують нівелювання вперед. Установлюють досліджуваний нівелір над першим або дванадцятим знаком, вимірюють його висоту точніше ніж 0,3 мм і, установлюючи рейку послідовно на решті знаків, відлічують її (див. рис.). Порівнюють перевищення, отримані першим і другим способами. У цій методиці для визначення похибки відлічування рейки додатково існують похибки, які складно вилучити під час порівняння.

Пропонуємо запровадити методику дослідження середньоквадратичної похибки (СКП) відлічування рейки, яка полягає у такому.

Необхідно закріпити на місцевості декілька знаків (див. рис.) вбитими у землю на глибину 0,9 м дерев'яними кілками, у торчаки яких вкручують 5-сантиметрові шурупи з кулеподібними головками.

До початку спостережень виконують основну перевірку нівелірів і установлюють відлік шашкового боку рейки, який повинен відповідати виправленому за кут  $i$  – електронному. Основну перевірку нівелірів виконують для плечей, приблизно у два рази довших, ніж подано у паспорті нівелірів. Крім того, потрібно детально перевіряти положення сітки ниток. Різниця відліків, отриманих по краях нитки, має бути в межах 1 мм.

Дослідження виконували нівелірами South DL 202 та Sprinter 150 M, збільшення зорової труби яких 32- та 24-кратне та СКП самоустановлення лінії візування 0,5" і 0,8".

Послідовність спостережень:

- установлюють нівелір, наприклад над знаком 1. Рейку установлюють на другому знаку. Відлічують штрихкодний бік рейки (у налаштуваннях нівеліра число вимірів встановлюють 9), обертають рейку і відлічують шашковий бік. Установлюючи рейку на решті знаків (3–12), виконують аналогічні вимірювання. Повторюють вимірювання, установлюючи рейку на знаки в зворотному напрямі;

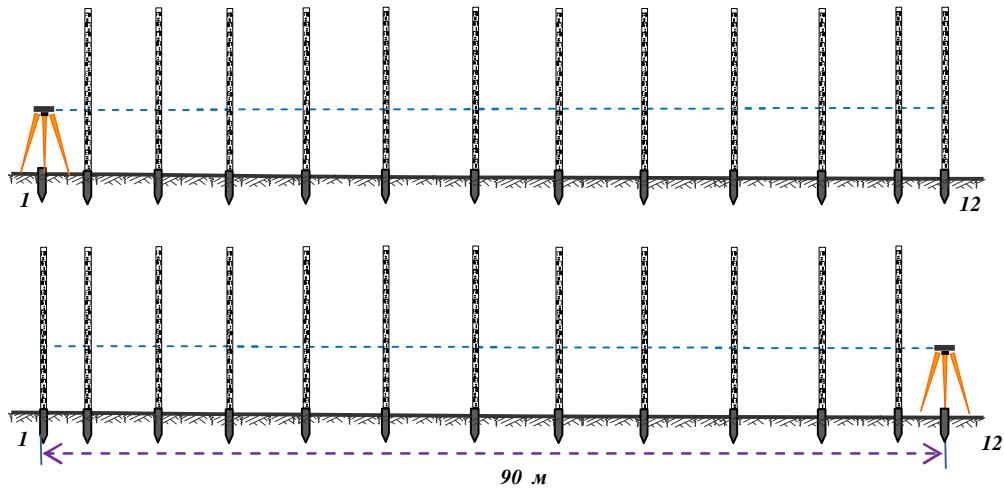


Рис. Спостережна станція

- змінюють горизонт приладу і виконують вимірювання так, як описано вище. Спостереження при двох горизонтах приладу є півприйомам;

- установлюють прилад над знаком 12 і виконують вимірювання на рейку, що встановлена на решті знаків наступним півприйомам, як описано вище.

Методика спостереження обома нівелірами однакова.

Виконують по п'ять прийомів вимірювань для кожного нівеліра.

Під час нівелювання будуть виникати похибки. Джерела похибок нівелювання можна в загальному поділити на три групи [7]. До першої групи належать похибки, пов'язані з нівеліром, до другої – із рейкою і до третьої – із впливом зовнішнього середовища.

У різниці будуть входити похибки всіх трьох груп.

Розглянемо дію кожної з похибок детальніше. Похибки, що належать до першої групи:

- 1) похибка погляду через неточне встановлення візирного променя;
- 2) похибка через кут  $i$ ;
- 3) похибка відлічування рейки;
- 4) похибка від неточного установлення сітки ниток;
- 5) похибка через перефокусування труби;
- 6) похибка недокомпенсації.

У запропонованому способі 1-шу, 2-гу, 5-ту та 6-ту похибки вилучають, тому що між відліками штрихкового і шашкового боків рейки візирний промінь не змінює свого положення. У похибці 3 різниця відліків шашкового і штрихкового боків буде найвагомішою частиною шуканої похибки. Похибка 4 входить у різницю штрихкового і

шашкового відліків. Згідно з дослідженнями М. Є. Піскунова, ця похибка є в межах 0,06 мм. Якщо відлічувати шашковий бік рейки однією частиною нитки, то цю похибку можна вилучити як систематичну.

До другої групи похибок належать похибки, пов'язані з рейкою:

- 1) похибка через нахил рейки;
- 2) похибка через неоднозначність встановлення рейки на нівелірні знаки;
- 3) похибка через викривлення рейки;
- 4) похибка через неперпендикулярність п'ятки рейки до осі рейки;
- 5) похибка незбігання нулів шкал з п'яткою рейки;
- 6) похибка нанесення штрихів шкал рейок;
- 7) похибка через неточне визначення середньої довжини метра рейки;
- 8) похибка через непаралельність осей рівня і осі рейки.

Рейку під час відлічувань утримують біподом, тому граничні значення першої та другої похибок не перевищуватимуть 0,03 мм. Похибки 3, 5 та 8 впливатимуть однаково на обидва відліки та з різниці відліків вилучаються. Похибка 4 не перевищуватиме 0,01 мм.

Досліджена нами похибка 6 нанесення відлічуваних шашок (віддаль від п'ятки рейки до досліджуваного штриха) не перевищувала для досліджуваних штрихів 0,05 мм. Похибка 7 входить у попередню, шосту, похибку, якщо знати віддаль від п'ятки рейки до відлічуваного штриха.

До третьої групи похибок належать похибки, пов'язані зі зовнішнім середовищем:

- 1) похибка через вертикальне переміщення штатива і рейок;

- 2) похибка, зумовлена впливом рефракції;
- 3) похибка, зумовлена тепловою дією на нівелір;
- 4) похибка через температурне розширення рейки;
- 5) похибка, зумовлена дрижанням зображення.

Спостереження виконували в похмуру та перемінну погоду за температури повітря 12–15 °С, зі зміною температури не більше ніж 1 °С на годину, зображення рейок було практично спокійним. Тому похибки 3 та 5 малозначущі. А похибки 1, 2 та 4 у різницях відліків вилучаються, тому що відлічування шкал виконують практично одночасно.

Застосовуючи пропоновану методику досліджень, нам вдалося відокремити шукану похибку від значної частини вищеперелічених похибок.

Усі вимірювання, виконані для різних горизонтів приладу та з різних боків спостережної станції, зведено у таблицю залежно від віддалі до рейки.

У таблиці подано також похибки відлічування, обчислені за формулою А. С. Чеботарьова:

$$m_{b, мм} = 0,040 t + \frac{0,156}{v} s, \quad (1)$$

де  $t$  – найменша поділка на шашковій рейці, мм;  $v$  – збільшення труби;  $s$  – віддаль до рейки, м.

Таблиця

Середньоквадратичні похибки відлічування рейок

№ № знаків	Віддаль, м	СКП відлічування, мм			
		South DL 202 пропонованим методом	за формулою (1)	Sprinter 150 M пропонованим методом	за формулою (1)
2	5	0,517	0,424	0,498	0,433
3	10	0,351	0,449	0,403	0,465
4	20	0,404	0,498	0,369	0,530
5	30	0,555	0,546	0,361	0,595
6	40	0,486	0,595	0,523	0,660
7	50	0,489	0,644	0,529	0,725
8	60	0,544	0,697	0,672	0,797
9	70	0,747	0,741	0,717	0,855
10	80	0,692	0,790	0,901	0,920
11	85	0,822	0,814	1,144	0,953
12	90	0,763	0,829	1,018	0,972
<b>СКП</b>		<b>0,67</b>		<b>0,76</b>	

Похибку відлічування шашкового боку рейки для однакових віддалей обчислювали за формулою Гавсса, приймаючи за істинне значення відлік штрих-кодового боку рейки.

Порівнюючи отримані похибки з розрахованими для кожної віддалі, бачимо, що СКП різниць між ними, обчислена за формулою подвійних вимірів, для нівеліра South DL202 дорівнює 0,07, а для Sprinter 150 M – 0,10 мм.

**Висновки.** Аналізуючи результати, подані у таблиці, можна зробити висновок, що запропонована методика дозволяє значно, порівняно із класичним методом, спростити такі дослідження для цифрових нівелірів. Таку методику дослідження можна застосовувати не тільки для циф-

рових нівелірів, а також для оптичного нівеліра, який устанавлюють біля цифрового, відлічуючи ним цю ж рейку, що й цифровим із шашкового боку.

#### Бібліографічний список

1. Афанасьев В. А. Оптические измерения: учебник. Москва: Недра, 1968. 255 с.
2. Баран П. І. Інженерна геодезія: монографія. Київ: ВІПОЛ, 2012. 618 с.
3. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. Москва: Недра, 1990. 167 с.
4. Инструкция з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Київ: ГУГК, 1999. 156 с.
5. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве / В. Д. Большаков и др.; под ред. В. Д. Большакова. Москва: Недра, 1976. 335 с.

6. Плотников В. С. Геодезические приборы: учебник. Москва: Недра, 1987. 396 с.
7. Справочник по инженерной геодезии / П. И. Баран и др.; под общ. ред. Н. Г. Видуева. Киев: Вища шк., 1978. 376 с.
8. Чеботарев А. С. Геодезия: учебник. Москва: Изд-во геодез. лит., 1955. Ч. 1. 627 с.
9. Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. Н. Геодезия: учебник. Москва: Изд-во геодез. лит., 1962. Ч. 2. 614 с.

**Рій І., Бочко О.**

### **ТОЧНІСТЬ ВІДЛІЧУВАННЯ НІВЕЛІРНИХ РЕЙОК**

Геометричне нівелювання на сьогодні є одним із найточніших методів визначення перевищень на віддалі до ста кілометрів. Високоточне визначення перевищень застосовують у багатьох галузях народного господарства та для наукових досліджень. Найбільший вплив на точність високоточного геометричного нівелювання мають вертикальна рефракція та негоризонтальність променя нівелювання. Збільшення зорової труби нівеліра та віддалі до рейки впливає на точність відлічування шашкових рейок. Розглянуто методику дослідження точності відлічування шашкових рейок з використанням цифрових нівелірів залежно від збільшення зорової труби нівеліра та віддалі до рейки, яка дозволяє визначити цю точність незалежно від похибки, зумовленої перефокусуванням труби, кутом негоризонтальності візирного променя, вертикальною рефракцією, кривизною Землі тощо.

Найбільший вплив на точність високоточного геометричного нівелювання мають вертикальна рефракція та негоризонтальність променя нівелювання. Збільшення зорової труби нівеліра та віддалі до рейки впливає на точність відлічування шашкових рейок. Пропонується методика, яка дозволяє визначити точність відлічування шашкової рейки незалежно від похибок, зумовлених перефокусуванням труби, кутом негоризонтальності візирного променя, вертикальною рефракцією, кривизною Землі тощо. Дослідження виконували нівелірами South DL 202 та Sprinter 150 M, збільшення зорової труби яких 32- та 24-кратне та СКП самоустановлення лінії візування 0,5" та 0,8". Спостереження виконували у похмуру та перемінну погоду за температури повітря 12–15 °С, зі зміною температури не більше ніж 1 °С на годину, зображення рейок було практично спокійним. Тому похибки 3 та 5 малозначущі. А похибки 1, 2 та 4 у різницях відліків вилучатимуться, тому що відлічування шкал виконують практично одночасно.

Таку методику дослідження можна застосовувати не тільки для цифрових нівелірів, а й для оптичних.

**Ключові слова:** цифровий нівелір, нівелірна рейка, похибка, відлічування.

**Rii I., Bochko O.**

### **ACCURACY OF COUNTING OF LEVELING RODS**

Geometric leveling is one of the most accurate methods for determining the elevation to a distance of up to one hundred kilometers. The precise definition of elevation is used in many branches of the national economy and for scientific research. The greatest influence on precision of high-precision geometric leveling is the vertical refraction and non-horizontality of the leveling beam. The increase in the leveling of the visual tube and the distance to the rod affects the accuracy of the counting of the checkered rods. The technique of studying the accuracy of checking rack rods using numerical levelers is considered,

The increase in the leveling of the visual tube and the distance to the rod affects the accuracy of the counting of the rack rods. A methodology is proposed that allows us to determine the accuracy of the checkmark rack counting regardless of the error in the re-focusing of the tube, the angle of the non-horizontal incision of the sight beam, the vertical refraction, the curvature of the Earth, and others like that. The studies were performed using the South DL 202 and Sprinter 150 M levelers, with an increase in the sight tube of 32 and 24 times and the mean square error of self-installing line of vision 0.5' and 0.8". Observations were carried out in gloomy and changing weather conditions at a temperature of 12–15 °C, with a temperature change of no more than 1 °C per hour, the image of the rods was practically calm. Therefore, errors 3 and 5 are unimportant. And errors 1, 2, and 4 will be removed in the countdown, because scoring is done practically at the same time. This research technique can be used not only for digital levelers, but also for optical ones.

**Key words:** digital leveler, level rod, error, counting.

*Стаття надійшла 05.04.2018.*