

Р. Р. Пилипюк, Р. Г. Пилипюк, Т. Ю. Грицюк, Д.П. Приймак
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ СПОСТЕРІГАЧІВ НА РЕЗУЛЬТАТИ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ

© Пилипюк Р. Р., Пилипюк Р. Г., Грицюк Т. Ю., Приймак Д.П., 2012

Исследуется психофизиологическое состояние наблюдателей при проведении геометрического нивелирования. Установлено, что коэффициент энтропии каждого наблюдателя дает репрезентативную характеристику его состояния при проведении измерений. Составленные для каждого наблюдателя уравнения регрессии позволяют вычислять систематические ошибки при проведении нивелирования, а исправленные этими поправками измеренные превышения повышают точность нивелирования.

The psychophysiological condition of observers is investigated at carrying out of geometrical leveling. It is established, that the factor of entropy of each observer gives the representative characteristic of its condition at carrying out of measurements. The equations of regress worked out for everyone observer allow to calculate regular errors at leveling carrying out, and corrected by these amendments measured excess raise accuracy of leveling.

Постановка проблеми. Для розв'язання наукових і науково-технічних задач, пов'язаних з визначенням фігури Землі, вертикальними рухами земної кори, деформаціями інженерних споруд і технологічного обладнання в геодезичній практиці широко застосовують спосіб геометричного нівелювання, який дозволяє визначати висоти точок земної поверхні з максимально можливою нині точністю. Забезпечення високої точності геометричного нівелювання можливе тільки у разі врахування всіх чинників, які впливають на остаточні значення перевищень. До чинників, які найбільше впливають на результати нівелювання, зараховують ті, що пов'язані з впливом зовнішнього середовища, інструментальні похибки, особисті похибки спостерігача.

Вплив джерел похибок, що належать до перших двох чинників, детально проаналізовано в роботах П.В. Павліва [3] та К.Р. Третьяка [5]. За результатами цих досліджень розроблені рекомендації, що дозволяють урахувати вплив цих джерел шляхом удосконалення методики нівелювання чи удосконалення процесів опрацювання результатів вимірів, і, тим самим, усунути або ослабити їх вплив, а у разі дії систематичних похибок – врахувати їх вплив шляхом розрахунку і введення відповідних поправок.

Що стосується особистих похибок спостерігача, то вплив цього чинника під час геометричного нівелювання практично не враховується. До того ж, як стверджується у роботі [6], на основі спеціальних досліджень встановлено, що похибки вимірів залежать від особистих властивостей спостерігачів, їх психофізіологічного стану під час спостережень. Ці психофізіологічні особливості спостерігачів, як це доведено в роботі [4], притаманні кожній особистості і не залишаються постійними протягом дня. Це означає, що кожному спостерігачу притаманна своя особиста складова систематичної похибки, яка впливатиме на результати нівелювання. Тому дослідження з визначення цього впливу є актуальними і сприятимуть підвищенню точності визначення висот.

Виклад основного матеріалу досліджень. Дії спостерігачів під час проведення геодезичних спостережень пов'язані зі сприйманням зовнішньої інформації про об'єкт дослідження. Цю інформацію отримують завдяки сенсорній системі людини, причому більше 90% її отримують за допомогою зорової системи [2]. Сприйнята спостерігачем інформація про об'єкт дослідження

надходить у мозок, аналізується, виробляється рішення, яке і відтворюється у вигляді тої чи іншої дії.

Показником довільної реакції зазвичай приймають час реакції, що дає характеристику точності відповіді на отриману інформацію. Під часом реакції розуміється час від видачі сигналу до кінця відповідної дії, що може бути виражено такою формулою:

$$T_p = t_{nn} + t_{np} + t_o, \quad (1)$$

де T_p – загальний час реакції на інформацію; t_{nn} – час процесу на аналіз інформації; t_{np} – час оцінки і прийняття рішення і t_o – час рухової відповіді. Очевидно, що час реакції залежить як від особливостей сенсорної системи окремих спостерігачів, так і від зовнішніх умов, що впливають на функціонування системи. Створюючи такі умови в експерименті, можна отримати дані про залежність часу реакції від різноманітних чинників (наприклад, від освітлення, температури, від складності завдання тощо). Встановлено [2], що найбільш інформативним показником сенсомоторної реакції є реакція спостерігача на рухомий об'єкт, а інформаційною характеристикою цієї реакції є коефіцієнт ентропії, що не тільки визначає обсяг інформації, але оцінює також рівень організованості сенсорної системи у спостерігача. Щоб дослідити вплив психофізіологічних чинників на результати нівелювання спостерігачі підбиралися з різним типом темпераменту, різної емоційної стійкості. Для цього перед дослідженнями був проведений тест Г. Айзенка, результати якого наведені на рис. 1.



Рис. 1. Тип темпераменту по колу Айзенка

Встановлено, що спостерігач № 1 за темпераментом є флегматиком з ухилом до меланхоліка, а за емоційною стійкістю – стабільний інтроверт; спостерігач № 2 є, навпаки, меланхоліком з типом темпераменту наближеним до холерика, а за емоційною стійкістю – нестабільний екстраверт; спостерігач № 3 – за темпераментом є холериком, а за емоційною стійкістю – нестабільний екстраверт.

Проведене дослідження з визначення впливу психофізіологічних особливостей спостерігача на результати геометричного нівелювання полягало в наступному. Три спостерігачі досліджують свою реакцію на рухомий об'єкт. Суть цієї реакції полягає у виконанні відповідного руху на специфічний сигнал — видиме просторове сполучення двох або декількох рухомих об'єктів. Зазвичай від суб'єкта вимагається виконання рухів з таким розрахунком, щоб зафіксувати момент

найбільш точного поєднання рухомих об'єктів. Тому в реакції на рухомий об'єкт позначається не лише здібність суб'єкта до оцінки просторових стосунків між об'єктами, але і його здатність співвіднести ці стосунки з тимчасовими характеристиками переміщення і інерційністю всієї системи стеження. У реакції на рухомий об'єкт проявляються індивідуальні особливості організації нервової системи людини: у разі переважання у нього сили збуджуючого процесу спостерігається збільшення кількості реакцій, що запізнюються, у разі переважання гальмівного процесу — збільшення кількості передчасних реакцій [2]. За вказаною методикою спостереження проводились протягом дня (вранці, в обід, та ввечері), а також протягом одинадцяти днів дослідження. Результати дослідів стали вихідним матеріалом для обчислення коефіцієнта ентропії H кожного спостерігача, розрахунок якого проводився за формулою

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \times \log_2 P_i \quad (2)$$

де $i = 1, 2, \dots, n$ – кількість реакцій різного виду, P_i – ймовірність відповідного виду реакцій, яку розраховують як відношення кількості реакцій відповідного виду до загальної кількості реакцій. Значення цих коефіцієнтів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Коефіцієнти ентропії

Дні спостереження	Спостерігачі								
	№ 1			№ 2			№ 3		
	Ранок	День	Вечір	Ранок	День	Вечір	Ранок	День	Вечір
	Коефіцієнти ентропії								
1	1,5813	1,3690	1,4406	1,4577	1,1813	1,4388	1,2789	1,4577	1,2362
2	1,5589	1,5395	1,5395	1,4406	1,5395	1,4577	1,1568	1,1568	1,4388
3	1,3367	1,3610	1,4855	1,5219	1,2955	1,3710	1,4388	1,4388	1,2789
4	1,4406	1,3367	1,1412	1,5589	1,5813	1,0763	1,2955	1,4060	1,4060
5	1,4060	1,4388	1,1412	1,4060	1,4855	1,1568	1,2789	1,3527	1,4060
6	1,5395	1,2789	1,5395	1,5219	1,5395	1,5395	1,4388	1,5395	1,2789
7	1,4577	1,5589	1,2192	1,5129	1,4577	1,4406	1,5395	1,4406	1,5395
8	1,5589	0,8113	1,5395	1,5395	1,4855	1,5813	1,1813	1,4388	1,3710
9	1,5395	1,5129	1,5395	1,5219	1,4577	1,5813	1,4388	1,3367	1,3710
10	1,2362	1,5129	1,2192	1,4577	1,5723	1,4406	1,5219	1,5395	1,5395
11	1,4577	0,8113	1,5395	1,5589	1,4577	1,4406	1,1813	1,3367	1,5395

У роботі [4] було доказано, що коефіцієнти ентропії дають представницьку характеристику психофізіологічного стану різних спостерігачів. Дані табл. 1 свідчать, що коефіцієнти ентропії мають різне значення не тільки у різних спостерігачів, але і у одного спостерігача. Це свідчить про

непостійність психофізіологічного стану спостерігачів як протягом дня, так і у різні дні спостереження. Встановимо чи зміни цих коефіцієнтів ентропії є істотними. Для підтвердження або спростування цієї тези проведена перевірка гіпотези про рівність середніх арифметичних значень, прийнявши, що коефіцієнти ентропії відповідають критеріям нормального закону розподілу спостережень. Позначимо середні значення коефіцієнтів ентропії зі всіх днів спостережень n для одного спостерігача: H_{01} – ранішні спостереження, H_{02} – обідні спостереження, H_{03} – вечірні спостереження. Виконується перевірка гіпотези, що $H_{01} = H_{02}$ і $H_{02} = H_{03}$. За відомими формулами [1], для кожного ряду визначення коефіцієнтів ентропії (табл. 1), визначаємо дисперсії s_i і, користуючись ними, за формулою

$$Z = \frac{H_{01} - H_{02}}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (3)$$

обчислюємо статистику Z , що є критерієм для оцінювання виконання умови прийнятої гіпотези. Гіпотеза задовольняється, якщо виконується умова

$$|Z| < t_p(k), \quad (4)$$

де $t_p(k)$ – щільність розподілу статистики Стюдента для числа ступенів вільності k , значення яких можна розрахувати за формулою

$$k = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} \quad (5)$$

Знаючи, що $n_1 = n_2 = 11$, приймають довірчу ймовірність $p = 0,95$, розраховуємо дані для оцінки виконання прийнятої для перевірки гіпотези (табл. 2).

Зіставляючи розраховане значення Z з табличним значенням критерію Стюдента $t_{0,95} = 1,812$ встановлюємо, що для всіх спостерігачів виконується умова (4). Підтвердження гіпотези про рівність коефіцієнтів ентропії окремих спостерігачів за довготерміновий період спостережень свідчить про стабільність загалом їх психофізіологічних характеристик. Приймаючи довірчу ймовірність $p = 0,95$ і стандартну щільність розподілу статистики Стюдента $t_p(k) = 1,812$ для числа ступенів вільності $k = 10$, за формулою (3) розраховуємо ту граничну різницю $H_{0i} - H_{0i+1} = 0,0965$, за якої гіпотеза про рівність коефіцієнтів ентропії не буде задовольнятися.

Аналіз даних табл. 1 показує, що і протягом окремого дня спостереження у всіх спостерігачів різниці між коефіцієнтами ентропії змінюються. Причому для спостерігача №1 за період спостережень в одинадцять діб ці зміни перевищували допустиму різницю у 73 % днів, в спостерігача №2 – у 45 % днів, в спостерігача №3 – у 64 % днів. Ці результати свідчать про зміну психофізіологічного стану спостерігачів впродовж дня спостереження і можливий вплив цього фактора на результати нівелювання.

Щоб дослідити вплив на результати високоточного геометричного нівелювання психофізіологічного стану спостерігача після кожного визначення коефіцієнта ентропії в лабораторії виконувалось високоточне нівелювання плоского металічного диска, товщину якого було попередньо визначено з високою точністю за допомогою контрольної женеvської лінійки. Різниця між результатами вимірів товщини пластинки за результатами нівелювання і точним значенням цієї товщини дозволяють отримати істинні похибки нівелювання кожного спостерігача в різні періоди дня. Високоточне нівелювання металічного диска кожним спостерігачем проводилось нівеліром Н-05, який встановлювався на металевому стовпі, і інварної рейки, що також встановлювалась на

металевому стовпі. Нівелювання виконувалось протягом одинадцяти днів три рази в день (ранок, обід, вечір). За одну серію спостережень здійснювалось 15 наведень на низ і верх металічного диска з фіксацією відліків по рейці. Причому нівелірна рейка і металічний диск кожного разу ставились в одне і те саме положення. Результати визначення товщини металічного диска шляхом нівелювання наведені на рис. 2.

Таблиця 2

Перевірка гіпотези про рівність коефіцієнтів ентропії

Спостерігачі	Час спостереження	H_{0i}	Z	k	$t_p(k)$	$H_{0i} - H_{0i+1}$ максимальне
№1	Ранок	1,4648	1,6530	10	1,812	0,0965
	Обід	1,3210	0,7669	10	1,812	0,0965
	Вечір	1,3949		10	1,812	0,0965
№2	Ранок	1,4998	1,0220	10	1,812	0,0965
	Обід	1,4594	0,7930	10	1,812	0,0965
	Вечір	1,4113		10	1,812	0,0965
№3	Ранок	1,3409	1,1841	10	1,812	0,0965
	Обід	1,4040	0,0761	10	1,812	0,0965
	Вечір	1,4005		10	1,812	0,0965

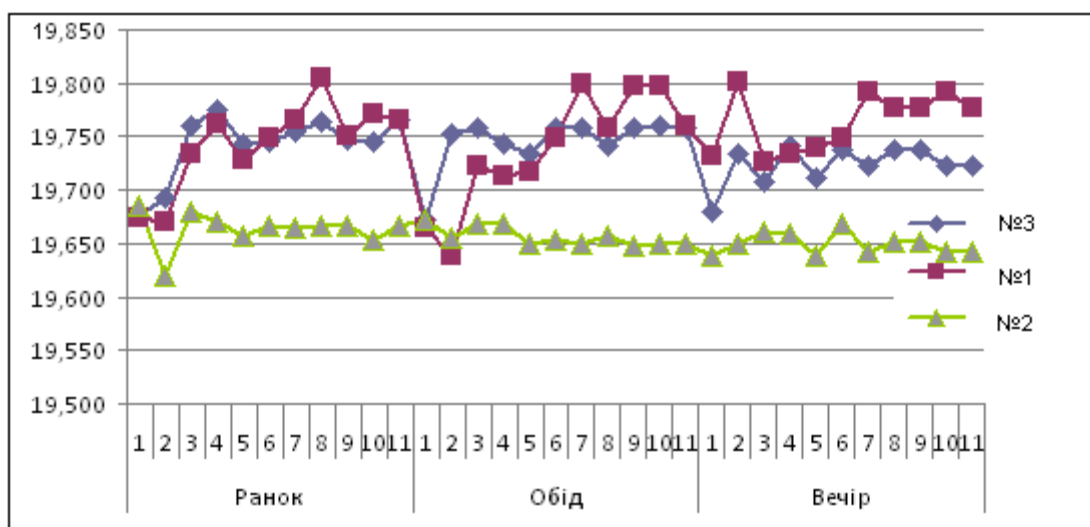


Рис. 2. Графік зміни визначеної товщини пластинки за дні дослідження

Аналізуючи дані визначення товщини бачимо, що вони відрізняються від теоретичного значення товщини у 19,734 мм не тільки у різних спостерігачів у різні дні спостережень, але і у одного і того ж спостерігача у різні періоди дня.

Щоб встановити зв'язок цих змін з ентропією спостерігачів, було проведено статистичне опрацювання результатів дослідження способом регресійного аналізу. Для встановлення функціонального зв'язку між коефіцієнтами ентропії $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ і результатами нівелювання металічної пластинки $Y(y_1, y_2, \dots, y_n)$ складалася система нормальних рівнянь.

$$b_0 \cdot n + b_1 \sum_{i=1}^{15} X_i + b_2 \sum_{i=1}^{15} X_i^2 + b_3 \sum_{i=1}^{15} X_i^3 = \sum_{i=1}^{15} Y_i$$

$$b_0 \sum_{i=1}^{15} X_i + b_1 \sum_{i=1}^{15} X_i^2 + b_2 \sum_{i=1}^{15} X_i^3 + b_3 \sum_{i=1}^{15} X_i^4 = \sum_{i=1}^{15} Y_i X_i$$

$$\begin{aligned} b_0 \sum_{i=1}^{15} X_i^2 + b_1 \sum_{i=1}^{15} X_i^3 + b_2 \sum_{i=1}^{15} X_i^4 + b_3 \sum_{i=1}^{15} X_i^5 &= \sum_{i=1}^{15} Y_i X_i^2 \\ b_0 \sum_{i=1}^{15} X_i^3 + b_1 \sum_{i=1}^{15} X_i^4 + b_2 \sum_{i=1}^{15} X_i^5 + b_3 \sum_{i=1}^{15} X_i^6 &= \sum_{i=1}^{15} Y_i X_i^3 \end{aligned} \quad (6)$$

розв'язок якої для визначення коефіцієнтів b_i проводився способом найменших квадратів за допомогою програмного комплексу SOLVER

У результаті розв'язання всіх нормальних рівнянь, складених для кожного спостерігача на всі дні спостереження і на кожен період доби отримали рівняння нелінійної регресії вигляду

$$Y_i = b_0 + b_1 H + b_2 H^2 + b_3 H^3 \quad (7)$$

які встановлюють функціональний зв'язок між поправками в результати нівелювання і коефіцієнтами ентропії. Отримані рівняння наведені в табл. 3.

Щоб оцінити чи відповідає математична модель, що встановлює функціональний зв'язок між похибками нівелювання і психофізіологічним станом спостерігачів, що задається коефіцієнтами ентропії, виконаємо перевірку нульової гіпотези, яка полягає у перевірці відсутності будь-якого зв'язку між відзначеними параметрами. Для цього обчислюємо статистику

$$F = \frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{k_2}{k_1}, \quad (8)$$

що має розподіл Фішера-Снедекора з $k_1 = 1$ і $k_2 = n - 2 = 9$ ступенями свободи.

Таблиця 3

Рівняння регресії для спостерігачів

Час спостереження	Спостерігачі
	№1
Ранок	$yp = yc + 66,9548 - 144,1750 \cdot H + 103,1435 \cdot H^2 - 24,5128 \cdot H^3$
Обід	$yp = yc - 3,4183 + 9,4196 \cdot H - 8,2846 \cdot H^2 + 2,3499 \cdot H^3$
Вечір	$yp = yc - 34,8796 + 78,9093 \cdot H - 59,0924 \cdot H^2 + 14,6608 \cdot H^3$
	№2
Ранок	$yp = yc + 129,9135 - 264,4431 \cdot H + 179,1037 \cdot H^2 - 40,3848 \cdot H^3$
Обід	$yp = yc - 5,4552 + 12,2544 \cdot H - 9,2012 \cdot H^2 + 2,2794 \cdot H^3$
Вечір	$yp = yc + 1,8846 - 4,2536 \cdot H + 3,0114 \cdot H^2 - 0,7000 \cdot H^3$
	№3
Ранок	$yp = yc - 2,4758 + 5,3768 \cdot H - 3,8861 \cdot H^2 + 0,9391 \cdot H^3$
Обід	$yp = yc - 18,1247 + 41,0026 \cdot H - 30,6828 \cdot H^2 + 7,6035 \cdot H^3$
Вечір	$yp = yc - 38,5956 + 81,7885 \cdot H - 57,6208 \cdot H^2 + 13,4940 \cdot H^3$

Ця статистика для всіх спостерігачів за час досліджень змінювалась у межах від 9 до 11, тобто $9 < F < 11$. Для рівня ймовірності $p = 0,95$ критичне значення F_0 , визначене за таблицями F -розподілу дорівнює 5,12, тобто задовольняється умова $F > F_0$. Виконання цієї умови свідчить про добре узгодження математичної моделі, що задаються рівняннями регресії, з експериментом.

Перевірка можливого впливу психофізіологічного стану спостерігача на результати високоточного геометричного нівелювання проводилась шляхом безпосереднього нівелювання спостерігачем №2 замкнутого нівелірного полігону, сторони якого були закріплені на місцевості п'ятьма стінними реперами. Периметр полігону перевищував 400 м. Нівелювання проводилось за програмою другого класу, зранку. Хід складався з дев'яти станцій, а саме нівелювання виконувалось нівеліром Н-05 і інварною рейкою короткими променями при двох горизонтах нівеліра. Перед початком нівелювання спостерігач визначив свій коефіцієнт ентропії $H = 1,5710$.

Результати нівелювання з урахуванням впливу психофізіологічного стану спостерігача наведені в табл. 4. На основі першого рівняння (ранок) для спостерігача №2 була розрахована поправка в перевищення на станції $\Delta = u_p - u_s = -0,075$ мм, якою і оцінюється систематичний вплив психофізіологічного фактора цього спостерігача під час проведення ним нівелювання на кожній станції.

Таблиця 4

Результати нівелювання полігону

Сторони ходу	Перевищення, мм			
	Виміряні	Число станц.	Поправка	Виправлені
Rp1 – Rp2	+1297,39	2	-0,15	+1297,24
Rp2 – Rp3	– 643,76	2	-0,15	– 643,91
Rp3 – Rp4	– 29,60	1	-0,08	– 29,68
Rp4 – Rp5	+ 13,23	2	-0,15	+ 13,08
Rp5 – Rp1	– 636,69	2	-0,15	– 636,84
Висотна нев'язка	+0,57			– 0,11

Висновки

1. Психофізіологічні дослідження спостерігачів з визначення їх реакції на рухомий об'єкт дають змогу оцінити їх стан за величиною коефіцієнта ентропії H .
2. Рівняння регресії, отримані для кожного спостерігача, з належною точністю оцінюють їх стан під час проведення нівелювання і дозволяють розраховувати систематичний вплив цього фактора.
3. Введення систематичних поправок за психофізіологічний стан спостерігача в результаті нівелювання покращує точність визначення перевищень.

1. Математическая статистика / [В.М. Иванова, В.Н. Калинина, Л.А. Нешумова и др.]; под науч. ред. Ю.И. Маркузе. – М.: Высшая школа, 1981. – 371 с. 2. Основы психофизиологии / отв. ред. Ю.И. Александров. – М.: ИНФРА-М, 1997. – 430 с. 3. Павлив П.В. Проблемы высокоточного нивелирования / Павлив П.В. – Львов: Вища школа, Изд-во при Львов. ун-те, 1980. – 124 с. 4. Пилип'юк Р.Г. До питання про психофізіологічні особливості спостерігачів при геодезичних вимірах / Р. Пилип'юк, Р. Пилип'юк // Вісник геодезії та картографії. – К., 2000. №2(17). – С. 8–10. 5. Третяк К.Р. Оптимізація кінематичних геодезичних мереж / Третяк К.Р. – Дис. ... д-ра техн. наук. – Львів: Нац. ун-т “Львівська політехніка”, 2003. 6. Уралов С.С. Курс геодезической астрономии / Уралов С.С. – М.: Недра, 1980. – 591 с.