

УДК 528.063

Третяк К., Турук Д.

Національний університет "Львівська політехніка" (Львів, Україна)

**ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ДЕРЖАВНОЇ ВИСОТНОЇ МЕРЕЖІ 2-ГО КЛАСУ УКРАЇНИ**

© Третяк К., Турук Д., 2003

*По оригинальной методике выполнено уравнивание государственной высотной сети 2-го класса Украины. Определены величины случайной и систематической погрешностей нивелирования, оценены искажения сети деформациями земной поверхности. Результаты измерений с учетом соответствующих поправок могут быть редуцированы на любую эпоху. Окончательные значения погрешностей и ошибок их определения составляют: случайной  $\eta = 1,057 \pm 0,180$  мм/км, систематической  $\sigma = 0,098 \pm 0,018$  мм/км, за деформацию земной поверхности  $\zeta = 0,008 \pm 0,003$  мм/(км·год).*

*On an original technique is executed processing of a state leveling network of 2 class of Ukraine. The sizes of a casual, regular error leveling are determined and the distortions of a network by deformations of a terrestrial surface are appreciated. The results of measurements in view of the appropriate amendments can be reduced on any epoch. The final meanings(importance) of errors and mistakes of their definition make: casual  $\eta = 1,057 \pm 0,180$  mm/km, regular  $\sigma = 0,098 \pm 0,018$  mm/km, for deformation of a terrestrial surface  $\zeta = 0,008 \pm 0,003$  mm/(km·year).*

*Постановка проблеми.* Особливість проблеми підвищення точності державних висотних мереж обумовлена тривалим часом їх створення. У більшості Європейських держав такі мережі створювались протягом десятків років. Протягом цього часу під дією геодинамічних процесів положення реперів мережі безперервно змінювалось. Відповідно виконані на конкретні епохи виміри перевищень між реперами спотворені впливом факторів ендегенної природи. У зв'язку з цим диференціація основних джерел похибок вимірів перевищень та їх спотворень природними факторами є необхідна для їх врахування та підвищення точності остаточних результатів урівноваження мереж. Крім цього мережа 2-го класу опирається на репери мережі 1-го класу, що вимагає сумісного урівноваження мереж обох класів і узгоджених результатів впливу геодинамічних процесів на стійкість їх реперів.

*Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями.* Високоточні висотні мережі є носіями системи висот на території держави, а результати їх повторних вимірів несуть достовірну інформацію про інтенсивність сучасних геодинамічних процесів у земній корі. Відповідно удосконалення обробки результатів вимірів висотних мереж підвищує їх точність і надійність, та прискорює розв'язання наукових задач сучасної геодинаміки.

*Аналіз останніх досліджень та публікацій присвячених розв'язанню даної проблеми.* Перші кількісні характеристики випадкових похибок у державних мережах високоточного нівелювання одержано за нев'язками замкнутих полігонів роботах [1,2]. Однак ці результати отримані без врахування систематичних похибок та геодинамічних факторів на точність визначення положення реперів. Аналогічні результати отримано зарубіжними дослідниками на прикладі Європейської висотної мережі [5,6].

У роботі [3] започаткована спроба виділити та оцінити вплив геодинамічних факторів на точність визначення висот реперів у мережах 1-го класу. Обробка висотної мережі виконується з кінематичних позицій. Однак запропонована методика дозволяла виконувати оцінку цих чинників виключно при редукуванні вимірів на середню епоху їх проведення. У роботі [4] представлено удосконалення запропонованої методики та виконано оцінку мережі 1-го класу при редукуванні вимірів на середню епоху окремих замкнутих полігонів. Одержані двома методами результати оцінки впливу випадкових і систематичних похибок та факторів геодинамічної природи на точність висотного положення реперів мають повну збіжність. Однак у цих роботах відсутні дослідження точності державної висотної мережі 2-го класу.

*Невирішені частини загальної проблеми.* Проблема підвищення точності державної висотної мережі вимагає визначення кількісних характеристик випадкових та систематичних похибок вимірів перевищень та впливу геодинамічних факторів на стійкість вузлових реперів мережі 2-го класу. Без розв'язку цієї проблеми неможлива оптимізація проектування повторних вимірів у державній висотній мережі.

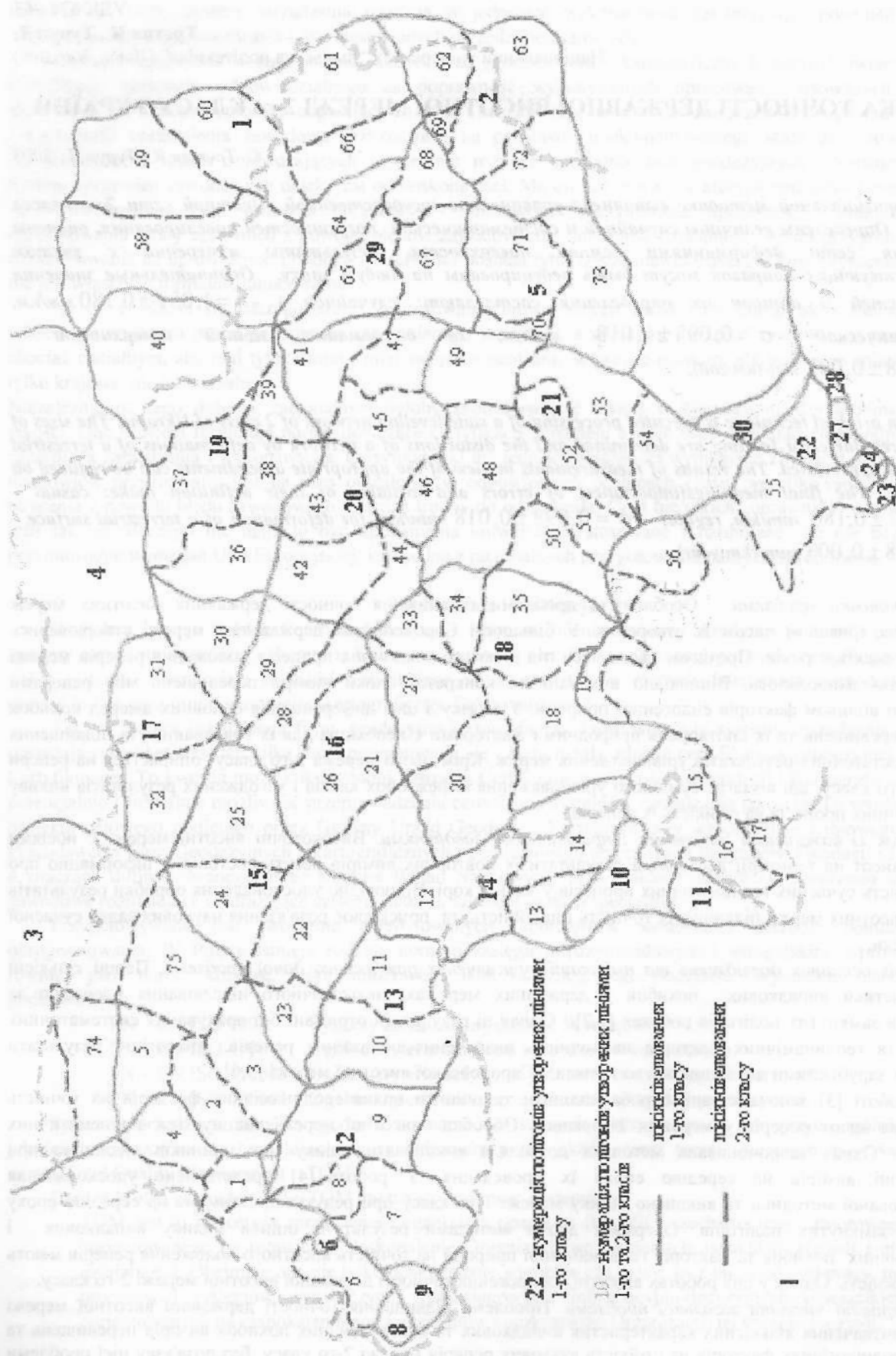


Рис. 1. Схема ліній півоповання 1-го та 2-го класів на території України та Молдови.

*Постановка завдання.* З метою підвищення точності державної висотної мережі визначити кількісні параметри сумарних випадкових та систематичних похибок на виміри перевищень і впливу факторів геодинамічної природи на висотне положення пунктів мережі 2-го класу.

Повний цикл нівелювання першого та другого класу практично тривав з 1969 по 1992 рр. На рис.1. представлена схема державної мережі 1-го та 2-го класів України.

Усі лінії нівелювання 2-го класу утворюють разом із лініями 1-го класу 75 замкнених полігонів. Ці полігони заповнюють полігони утворені лініями 1-го класу. Слід зауважити, що на східній частині території України зосереджено значно більшу частину мережі 2-го класу у порівнянні із західною. Загальна довжина ліній нівелювання 2-го класу складає 11560,5 км. На рис.2 представлено щорічний розподіл об'ємів виконаних нівелювань.

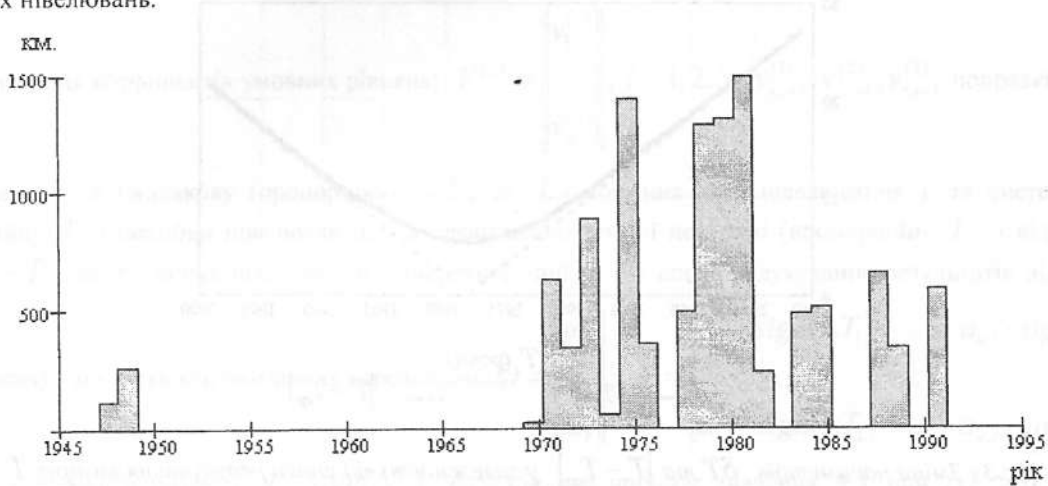


Рис. 2. Щорічний розподіл об'ємів виконаних нівелювань у висотній мережі 2-го класу.

Як видно з гістограми, щорічний розподіл об'ємів нівелювань протягом усього циклу вимірів був нерівномірний, і навіть незначна частина вимірів була виконана 1948-1949 роках, що виходить за встановлені часові межі повного циклу вимірів. Відповідно це підтверджує гіпотезу, що протягом повного циклу спостережень внаслідок ендогенних та техногенних процесів відбувалось зміщення опорних реперів, що у свою чергу при нерівномірному просторово-часовому розподілі об'ємів нівелювань буде віддзеркалюватись на величях нев'язок замкнених полігонів.

У раніше приведених роботах встановлено, що для редукування вимірів на будь-яку епоху, необхідно визначити оптимальний розмах зміщення епох, для яких визначаються поправки у виміри.

Для цього визначають зміну середньо часового розмаху нівелювання ліній мережі у залежності від епохи редукування вимірів відповідно для першого способу за виразом

$$\delta T = \frac{\sum_{i=1}^n |t_i - T| \cdot s_i}{\sum_{i=1}^n s_i} \quad (1)$$

де:  $t_i$  - час проведення нівелювання  $i$  - лінії;  $s_i$  - довжина  $i$  - лінії;  $T$  - епоха редукування вимірів;  $n$  - кількість ліній нівелювання;

За даними щорічного розподілу об'ємів нівелювання 2-го класу розрахуємо зміну середньо часового розмаху нівелювання ліній мережі. На рис.3 представлено графік зміни  $\delta T$  та  $|T - T_{cp}|$  від  $T$ ,  $T_{cp}$  - середня епоха нівелювання усієї мережі.

Різниця параметрів  $\delta T$  та  $|T - T_{cp}|$  із віддаленням від  $T_{cp}$  прямує до 0. На епоху 1964 р та 1992 р. ці параметри є практично рівні і ці епохи приймемо, як початкову та кінцеву. Відносно  $T_{cp} = 1978$  р. оптимальний розмах зміщення епох, для яких визначаються поправки у виміри складає  $\pm 14$  років. Раніше встановлено, що для нівелювання 1-го класу цей розмах рівний  $\pm 10$  років. Виводження оптимального

розмаху зміщення епох для 2-го класу відносно 1-го пояснюється включенням у мережу ліній 2-го класу виконаних у сорокових роках.

Оскільки обробка мережі полягає у редукуванні вимірів на певну епоху. Відповідно можна розраховувати поправки у виміри двома способами:

- в усі виміри мережі на певну епоху;
- окремо у виміри кожного замкненого полігону на відповідну епоху.

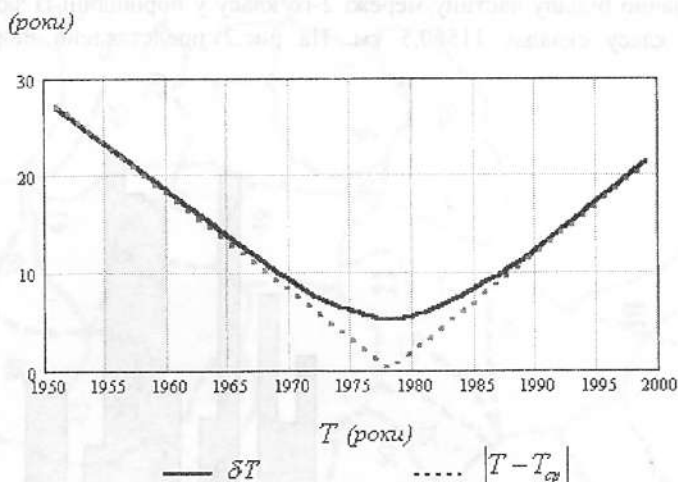


Рис.3. Зміна параметрів  $\Delta T$  та  $|T - T_{cp}|$  у залежності від епохи редукування вимірів  $T$ .

Однак мережа 2-го класу є заповнюючою мережею 1-го класу і у всіх замкнених полігонах присутні лінії 1-го класу. Відповідно мережа 2-го класу утворена з окремих роз'єднаних блоків, які обмежені полігонами 1-го класу. Тому мережу 2-го класу урівноважувати, як суцільну немає можливості. Відповідно з метою обробки мережі утвореної виключно з ліній 2-го класу вилучимо лінії 1-го класу. Для реалізації першого способу, врахуємо при обчисленні нев'язок змішаних полігонів 1-го та 2-го класу поправки у перевиснення визначені із обробки мережі 1-го класу на середню епоху нівелювання мережі 2-го класу ( $T_{cp} = 1978$  р). У результаті отримаємо нев'язки полігонів, утворені виключно лініями 2-го класу. Нев'язки полігонів  $\omega_1$  утворених спільно лініями 1-го та 2-го класу та виключно лініями 2-го класу  $\omega_{1-2}$  представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Нев'язки полігонів утворених спільно лініями 1-го та 2-го класу  $\omega_1$  та

виключно лініями 2-го класу  $\omega_{1-2}$

№ №	$\omega_1$ (мм)	$\omega_{1-2}$ (мм)	№ №	$\omega_1$ (мм)	$\omega_{1-2}$ (мм)	№ №	$\omega_1$ (мм)	$\omega_{1-2}$ (мм)	№ №	$\omega_1$ (мм)	$\omega_{1-2}$ (мм)	№ №	$\omega_1$ (мм)	$\omega_{1-2}$ (мм)
1	-24.4	-23.6	16	44.6	44.6	31	-83.9	-73.3	46	8.1	3.3	61	75.6	60.2
2	-2.2	-2.4	17	-46.8	-88.2	32	16.9	23.7	47	-36.3	-34.5	62	5.6	13.3
3	-33.1	-18.9	18	-30.5	-70.7	33	54.9	62.1	48	-11.0	-9.0	63	-14.1	-0.7
4	25.0	25.6	19	23.2	51.0	34	20.5	24.5	49	55.9	41.6	64	-76.9	-107.1
5	108.4	108.1	20	108.1	93.4	35	-12.1	-0.9	50	53.6	36.2	65	113.0	103.7
6	25.2	20.1	21	-39.5	-33.5	36	-80.4	-82.1	51	-11.3	-15.0	66	16.8	33.5
7	81.8	68.2	22	59.1	51.6	37	40.9	41.7	52	-35.4	-36.0	67	0.7	-17.1
8	-19.9	-23.3	23	47.1	29.5	38	9.9	17.8	53	-42.1	-64.9	68	32.4	20.5
9	-12.0	-25.9	24	-58.8	-73.0	39	-77.6	-69.1	54	67.0	47.1	69	-44.5	-40.1
10	-17.4	12.5	25	-3.4	-8.0	40	63.7	91.7	55	-82.0	-60.2	70	-72.8	-54.9
11	-18.8	-12.5	26	-23.5	-6.9	41	109.9	110.6	56	58.0	65.9	71	1.7	14.0
12	-14.5	0.2	27	-91.6	-108.3	42	44.2	29.8	57	-47.3	-42.6	72	15.1	27.5
13	-6.0	-4.8	28	41.3	44.2	43	-87.1	-95.0	58	-29.0	-49.1	73	-2.1	40.9
14	-7.8	4.7	29	-14.3	-3.8	44	8.1	-1.5	59	3.3	-6.8	74	11.9	11.8
15	-15.5	-27.0	30	41.5	49.6	45	-11.7	-12.8	60	-34.1	-37.8	75	-24.6	-10.4

Реалізація другого способу є неможлива, оскільки поправки ліній 1-го класу необхідно розраховувати на середні епохи окремих блоків нівелювання ліній 2-го класу, які обмежені полігонами 1-го класу.

У першому способі урівноваження мережі умовні рівняння мають наступний вид:

$$\|A, A, A\| \cdot \begin{pmatrix} V^{(1)} \\ V^{(2)} \\ V^{(3)} \end{pmatrix} + \Omega = 0 \quad (2)$$

де:  $A$  - матриця коефіцієнтів умовних рівнянь;  $V^{(j)} = \begin{pmatrix} v_1^{(j)} \\ \dots \\ v_n^{(j)} \end{pmatrix}, j = 1, 2, 3; v_{i,j+1}^{(1)}, v_{i,j+1}^{(2)}, v_{i,j+1}^{(3)}$  поправки в  $i, i+1$

перевищення за випадкову (пропорційну  $\sqrt{L}$ , де  $L$  - довжина лінії нівелювання), та систематичну (пропорційну  $L$ ) похибки нівелювання, та деформацію земної поверхні (пропорційну  $L$  і відрізка часу  $\Delta T_i = t_i - T$ , де:  $t_i$  - епоха нівелювання конкретної лінії, а  $T$  - епоха редукування результатів нівелювання

всієї мережі),  $n$  - кількість вимірних перевищень;  $\Omega = \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \dots \\ \omega_r \end{pmatrix}; A = \begin{pmatrix} a_{1,1} \cdot \text{sign}(\Delta T_1) & \dots & a_{n,1} \cdot \text{sign}(\Delta T_n) \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{1,r} \cdot \text{sign}(\Delta T_1) & \dots & a_{n,r} \cdot \text{sign}(\Delta T_n) \end{pmatrix};$

$a_{1,1} \dots a_{n,r}$  - елементи матриці  $A$ ;  $\text{sign}(\Delta T)$  - функція, яка приймає значення  $+1$  при  $\Delta T > 0$ ,  $-1$  при  $\Delta T < 0$ , і  $0$  при  $\Delta T = 0$ ,  $r$  - кількість умовних рівнянь.

Співвідношення ваг відповідних поправок прийняте

$$p^{(1)} = \frac{1}{m_{\text{вип}}^2 L}, \quad p^{(2)} = \frac{1}{m_{\text{сис}}^2 L^2}, \quad p^{(3)} = \frac{1}{m_{\text{деф}}^2 L^2 \Delta T^2}. \quad (3)$$

де апріорні значення:  $m_{\text{вип}}^2, m_{\text{сис}}^2, m_{\text{деф}}^2$  - середніх квадратичних випадкових, систематичних та викликаних деформацію земної поверхні похибок нівелювання.

Діагональна матриця обернених ваг є наступною

$$P^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{P^{(1)}} & & & \\ & \frac{1}{P^{(2)}} & & \\ & & \frac{1}{P^{(3)}} & \\ & & & \dots \end{pmatrix}; \quad \frac{1}{P^{(j)}} = \begin{pmatrix} \frac{1}{p_1^{(j)}} & & & \\ & \frac{1}{p_2^{(j)}} & & \\ & & \dots & \\ & & & \frac{1}{p_n^{(j)}} \end{pmatrix}, \quad j = 1, 2, 3 \quad (4)$$

Нормальні рівняння мають наступний вид

$$N \cdot K + W = 0 \quad (5)$$

де:  $N = A^* \cdot P^{-1} \cdot A^{*T}, A^* = \|A, A, A\|$  а  $K = -N^{-1} \cdot W$  - вектор корелат. Вектор поправок знаходиться за залежністю

$$V = P^{-1} \cdot A^{*T} \cdot K \quad (6)$$

Оцінка точності виконується згідно наступних залежностей

$$\eta = \sqrt{\frac{p^{(1)}v^{(1)}v^{(1)}m_{\text{вип}}^2}{r}}, \sigma = \sqrt{\frac{p^{(2)}v^{(2)}v^{(2)}m_{\text{сист}}^2}{r}}, \zeta = \sqrt{\frac{p^{(3)}v^{(3)}v^{(3)}m_{\text{деф}}^2}{r}} \quad (7)$$

де:  $\eta$  - ср. кв. випадкова похибка на 1 км. ходу,  $\sigma$  - ср. кв. систематична похибка на 1 км. ходу, та  $\zeta$  ср. кв. похибка викликана деформацією земної поверхні за 1 рік на 1 км. ходу.

Алгоритм має ітераційну структуру. Критерієм завершення ітераційного процесу є виконання умов  $\eta = m_{\text{вип}}$ ,  $\sigma = m_{\text{сист}}$  і  $\zeta = m_{\text{деф}}$ . У першому наближенні прийнемо  $m_{\text{вип}} = 1 \text{ мм/км}$ ,  $m_{\text{сист}} = 0,1 \text{ мм/км}$ ,  $m_{\text{деф}} = 0,01 \text{ мм/км*рік}$ .

Оскільки мережа 2-го класу не є суцільною, то застосуємо представлену методику до кожного блоку обмеженого полігоном 1-го класу окремо. Так як не всі полігони 1-го класу заповнені лініями 2-го класу, то для урівноваження відібрано наступні блоки № 1, 2, 3, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 29.

У результаті урівноваження окремих блоків визначено похибки  $\eta$ ,  $\sigma$ ,  $\zeta$  та поправки  $v^{(1)}$ ,  $v^{(2)}$ ,  $v^{(3)}$  у перевищення ліній 2-го класу на початкову (1964 р) та кінцеву (1992р) епохи нівелювання. При обробці держаної мережі 1-го класу було теоретично та експериментально встановлено, що на ці епохи визначені похибки нівелювання і поправки у перевищення є стійкими і достовірними. У таблиці 2. представлено результати оцінки точності нівелювання 2-го класу окремих блоків та середні квадратичні похибки величин  $\eta$ ,  $\sigma$ ,  $\zeta$  знайдені за наступними виразами

$$m_{\eta} = \sqrt{\frac{[v_{\text{почкін}}^{(1)} - v^{(1)}]^2}{n-1}}, \quad m_{\sigma} = \sqrt{\frac{[v_{\text{почкін}}^{(2)} - v^{(2)}]^2}{n-1}}, \quad m_{\zeta} = \sqrt{\frac{[v_{\text{почкін}}^{(3)} - v^{(3)}]^2}{n-1}}, \quad (8)$$

У цій же таблиці приведено від загальної довжини ліній кожного блоку середньовагові значення величин  $\eta$ ,  $\sigma$ ,  $\zeta$  та їх похибки.

Для порівняння середні квадратичні помилки нівелювання та похибки їх визначення для мережі 1-го класу складають  $\eta = 0,5208 \pm 0,0050 \text{ (мм/км)}$ ,  $\sigma = 0,0641 \pm 0,0068 \text{ (мм/км)}$ ,  $\zeta = 0,0060 \pm 0,0015 \text{ (мм/км*рік)}$ .

Аналізуючи отримані результати слід зауважити, що випадкова похибка у два рази більша ніж для нівелювання 1-го класу, систематична у 1.5 рази, а похибка за деформацію земної поверхні і стійкість реперів зросла тільки на 30 %. Це можна пояснити нижчим рівнем стійкості опорних реперів ліній нівелювання 2-го класу у порівнянні з лініями 1-го класу.

З метою підтвердження ефективності визначення впливу деформацій земної поверхні та стійкості реперів на результати нівелювання, розрахуємо нев'язки полігонів із врахуванням обчислених градієнтів поправок  $v^{(3)}$  визначених на початкову та кінцеву епохи.

Таблиця 2

Результати оцінки точності блоків нівелювання 2-го класу

№.№ полігонів	Пери метри поліго нів Ф(км)	$\eta$ (мм/км)			$m_{\eta}$ (мм)	$\sigma$ (мм/км)			$m_{\sigma}$ (мм)	$\zeta$ (мм/км*рік)			$m_{\zeta}$ (мм)
		$T_{\text{поч}}$	$T_{\text{кін}}$	сер.		$T_{\text{поч}}$	$T_{\text{кін}}$	сер.		$T_{\text{поч}}$	$T_{\text{кін}}$	сер.	
12	416.9	1.261	1.261	1.261	0.005	0.132	0.132	0.132	0.001	0.006	0.026	0.016	0.017
17	452.5	1.096	1.096	1.096	0.000	0.094	0.094	0.094	0.000	0.007	0.007	0.007	0.000
15	677.6	1.336	1.346	1.341	0.228	0.126	0.126	0.126	0.022	0.012	0.007	0.010	0.004
2	856	0.623	0.745	0.684	0.402	0.069	0.067	0.068	0.045	0.009	0.005	0.007	0.004
29	983.2	1.151	1.174	1.163	0.154	0.091	0.090	0.091	0.009	0.006	0.007	0.007	0.002
1	1075.1	0.528	0.531	0.529	0.062	0.049	0.048	0.049	0.006	0.003	0.005	0.004	0.001
16	1229	0.643	0.644	0.643	0.033	0.047	0.047	0.047	0.002	0.004	0.003	0.003	0.000
19	1242.3	1.421	1.414	1.417	0.219	0.127	0.127	0.127	0.020	0.008	0.012	0.010	0.004
20	1503.7	1.433	1.400	1.417	0.296	0.12	0.139	0.140	0.031	0.009	0.011	0.010	0.002
18	1574.7	1.155	1.155	1.155	0.171	0.094	0.094	0.094	0.013	0.007	0.006	0.007	0.001
3	1780.2	1.382	1.310	1.346	0.168	0.141	0.137	0.139	0.023	0.012	0.008	0.010	0.003
21	2046.6	0.743	0.728	0.736	0.220	0.072	0.075	0.074	0.024	0.006	0.005	0.006	0.003
Сер. вагове		1.060	1.054	1.057	0.180	0.098	0.098	0.098	0.018	0.007	0.008	0.008	0.003

У таблиці 3. наведено обчислені за вимірними перевищеннями ліній 2-го класу нев'язки полігонів  $\omega$  та нев'язки  $\omega_{поч}$  і  $\omega_{кін}$  одержані у результаті виправлення вимірних перевищень поправками за деформацію земної поверхні на початкову та кінцеву епохи нівелювання. У передостанньому рядку таблиці наведено розраховані за абсолютною величиною середні обчислені та виправлені поправками за деформацію земної поверхні нев'язки полігонів  $|\omega|_{сер}$ . Величини нев'язок після врахування поправок за деформацію земної поверхні зменшились практично на 30%, що свідчить про вагомий вплив цього чинника на точність нівелювання. При цьому отримано однаковий результат на початкову та кінцеву епохи нівелювання мережі, що свідчить про достовірність представленої методики.

Таблиця 3

Периметри та нев'язки полігонів державної мережі нівелювання 2-го класу обчислені за результатами вимірів та перевищеннями виправленими поправками за деформацію земної поверхні

№№ полігонів	Φ (км)	нев'язки полігонів (мм)			№№ полігонів	Φ (км)	нев'язки полігонів (мм)			№№ полігонів	Φ (км)	нев'язки полігонів (мм)		
		$\omega$	$\omega_{поч}$	$\omega_{кін}$			$\omega$	$\omega_{поч}$	$\omega_{кін}$			$\omega$	$\omega_{поч}$	$\omega_{кін}$
2	259.9	-2.4	-0.7	-1.2	34	134.4	24.5	15.4	17.8	54	163.2	47.1	42.0	21.8
3	236.3	-18.9	-8.7	-13.0	35	333.8	-0.9	-0.9	-2.4	59	407.7	-6.8	-3.3	-4.0
5	174	108.1	76.2	75.9	36	198.8	-82.1	-47.6	-60.0	60	428.3	-37.8	-26.0	-23.4
7	180.1	68.2	43.9	66.4	37	445.2	41.7	18.6	36.6	62	198.4	13.3	10.0	6.3
8	236.8	-23.3	-14.4	-22.7	38	332.7	17.8	9.5	16.8	63	331.2	-0.7	13.9	-8.7
17	462.1	-88.2	-42.9	-21.2	39	265.6	-69.1	-44.0	-45.7	64	258.4	-107.1	-68.8	-72.3
18	407.2	-70.7	-51.6	-42.2	41	187.3	110.6	73.6	73.9	65	340.1	103.7	65.5	68.5
20	332.1	93.4	65.6	57.7	42	264.9	29.8	16.8	5.2	66	239.1	33.5	19.7	23.9
21	175	-33.5	-21.0	-21.8	43	243.7	-95.0	-58.1	-46.0	67	206.4	-17.1	-15.5	-9.1
22	280.8	51.6	42.5	28.7	44	147.3	-1.5	-0.5	-1.5	68	178.3	20.5	18.8	11.6
23	125.6	29.5	13.2	23.4	45	437.3	-12.8	-4.8	-18.2	69	158.5	-40.1	-28.8	-20.5
24	271.2	-73.0	-49.4	-45.6	47	223.2	-34.5	-28.2	-16.7	72	167.9	27.5	4.9	22.9
26	368.9	-6.9	-2.4	-5.3	48	344.1	-9.0	-7.8	-12.2	74	281.6	11.8	8.3	5.4
27	367.2	-108.3	-69.3	-74.1	49	208.8	41.6	31.9	27.0	75	366.3	-10.4	-27.0	-45.6
28	439.5	44.2	25.3	29.8	50	233.1	36.2	33.1	13.0					
29	245.6	-3.8	-1.9	-2.7	51	272.2	-15.0	5.1	-0.6		$ \omega _{сер}$	42.9	29.2	28.0
30	130.7	49.6	32.3	33.3	52	566.8	-36.0	-47.7	-17.6		$\eta$ за	3.41	2.29	2.28
31	321.8	-73.3	-46.8	-48.3	53	530.6	-64.9	-56.7	-31.5		виразом (9)			

В останньому рядку таблиці наведено випадкові похибки нівелювання розраховані за виразом

$$\eta = \sqrt{\sum_{j=1}^m \frac{\omega^2}{m \cdot \Phi}} \quad (9)$$

де  $\Phi_j = \sum_{i=1}^{m_j} L_i$  - периметр  $j$ -го полігону.

Випадкові похибки розраховані із врахуванням поправок за деформацію земної поверхні на початкову та кінцеву епохи є практично рівноцінні і зменшились на 30% по відношенню до випадкової похибки розрахованої за безпосередніми вимірами.

### Висновки

1. За результатами урівноваження замкнутих полігонів нівелювання другого класу встановлено остаточні сумарні значення трьох груп похибок [випадкової -  $\eta = 1,057 \pm 0,180$  мм/км, систематичної -  $\sigma = 0,098 \pm 0,018$  мм/км та викликаною деформацію земної поверхні  $\zeta = 0,008 \pm 0,003$  мм/(км·рік)]. Для першого класу нівелювання ці похибки складають  $\eta = 0,520 \pm 0,007$  мм/км,  $\sigma = 0,064 \pm 0,010$  мм/км,  $\zeta = 0,006 \pm 0,002$  мм/(км·рік). Розбіжність впливу деформації земної поверхні на точність нівелювання першого та другого класу пояснюється меншою ступінню стійкості вузлових реперів другого класу у порівнянні з фундаментальними реперами першого класу.

2. Розбіжності в оцінках сумарних величин впливу деформацій земної поверхні на результати нівелювання 2-го класу для різних полігонів, обумовлені неоднорідністю інтенсивності протікання геодинамічних процесів на території України і їх спрощенням лінійною моделлю.

3. В результаті врахування поправок за деформацію земної поверхні нев'язки замкнених полігонів нівелювання 2-го класу зменшились на 30%, що свідчить про вагоме підвищення точності результатів опрацювання мережі.

*Перспективи подальших досліджень.* На основі виконаних досліджень, з'являється можливість мінімізації впливу джерел виділених груп похибок на точність мережі. Це можливе при виконанні оптимального проектування повторних вимірів у державній висотній мережі. Що у майбутньому дозволить досконало вивчати сучасні геодинамічні процеси.

#### Література

1. Павлів П.В. Совершенствование методики исполнения и оценки точности нивелирования I кл. / Геодезия, картография и аерофотосъемка.– 1979.– Вып. 29.– с. 81-87.
2. Рывина Е.М. Исследование зависимости невязок нивелирных полигонов I класса от периметров полигонов. / Изв. вузов. Геодезия и аерофотосъемка.– 1973.– Вып. 2.– с. 29-32.
3. Третяк К.Р. Новий метод визначення впливу випадкових та систематичних похибок на точність висотних мереж (на прикладі державної нівелірної мережі I класу України) / Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Вип. 60, – 2000.– с. 66-74.
4. Третяк К.Р. Експериментальна оцінка лінійної кінематики реперів нівелірної мережі I-го класу України. / Вісник Українського державного університету водного господарства та природокористування. – Вип. 6(19) Рівне 2003. с. 292-306.
5. Sacher M., Ihde J., Corcodel S. Status of the UELN/EVS data base results of the last UELN adjustment / Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Tromso, 22–24 June 2000. – IAG, Publication № 9. – Munchen 2000.– P. 126–131.
6. Land H., Sacher M. Status and results of the adjustment and enlargement of the United European Levelling Network 1995 (UELN –95)/ Paper presented at the Meeting of the Study Group CSG 6 Central Europe Regional Geodynamic Project CERGOP, Prague, Czech Republic, April 25–26, 1996. – p. 12.