

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ І УПРАВЛІННЯ**

Р. М. Лігнарівч

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ
ГЕОДЕЗИЧНОЇ ОПОРИ МЕТОДОМ
НЕСУЦЬЛЬНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ
ЧОТИРИКУТНИКІВ БЕЗ ДІАГОНАЛЕЙ**

**Навчальний посібник
з курсу “Основні геодезичні роботи ”**

ЧАСТИНА-XV

Чернігів, 2001

УДК 378.147.31

Літнарівич Р. М. Розробка технології створення геодезичної опори методом несущільних спостережень чотирикутників без діагоналей.

Навчальний посібник з курсу “Основні геодезичні роботи”. Частина XV. Чернігів, ЧДІЕіУ, 2001. -28с.

Затверджено на засіданні Вченої ради ЧДІЕіУ, протокол №6 від 27.06.01.

Рецензенти: Боровий В.О., д.т.н., професор

Войтенко С.П., д.т.н., професор

Канівець В.І., д.с.-г.н., професор

В даній роботі пропонується ідея створення геодезичної опори методом несущільних спостережень чотирикутників без діагоналей.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. Постановка проблеми дослідження.	4
2. Польовий контроль при згущенні мереж методом несущільних спостережень чотирикутників без діагоналей	5
3. Теоретичні основи співвідношення елементів у чотирикутнику без діагоналей	7
4. Вивід умовного рівняння звязуючої сторони ряду	10
5. Представлення умовних рівнянь дирекційних кутів і координат	12
6. Зрівноваження ряду	14
7. Оцінка точності й порівняльний аналіз	24
8. Висновки	27
9. Література	28

ВСТУП

Метод створення планової геодезичної опори чотирикутниками без діагоналей, розроблений професором І. В. Зубрицьким і в ряді кандидатських дисертацій, набув широкого застосування для побудови будівельних координатних сіток в умовах поквартальної забудови, забудови населених пунктів, кварталів лісових масивів і т. і.

В РДТУ метод чотирикутників без діагоналей вивчається у курсі землевпорядних вишукувань.

В даній роботі пропонується ідея створення геодезичної опори методом несучільних спостережень чотирикутників без діагоналей.

Нам не відомі літературні джерела, у яких розглядалася б дана проблема.

На нашу думку, дана проблема реалізовується у даній роботі вперше.

Розглядається ряд чотирикутників без діагоналей, який опирається на два пункти з кожної сторони, координати яких визначені по системі GPS, або на пункти старшого класу триангуляції.

На відміну від чотирикутників професора Зубрицького, у чотирикутниках, що розглядаються, відсутні умовні рівняння фігур.

Четвертий кут визначається як доповнення до 360° трьох вимірених кутів.

1. Постановка проблеми дослідження.

Розглянемо ряд, який опирається на вихідні пункти А, В, С, D, визначені по системі GPS, або пункти старшого класу.

Координати пунктів А, В, С, D безпомилкові.

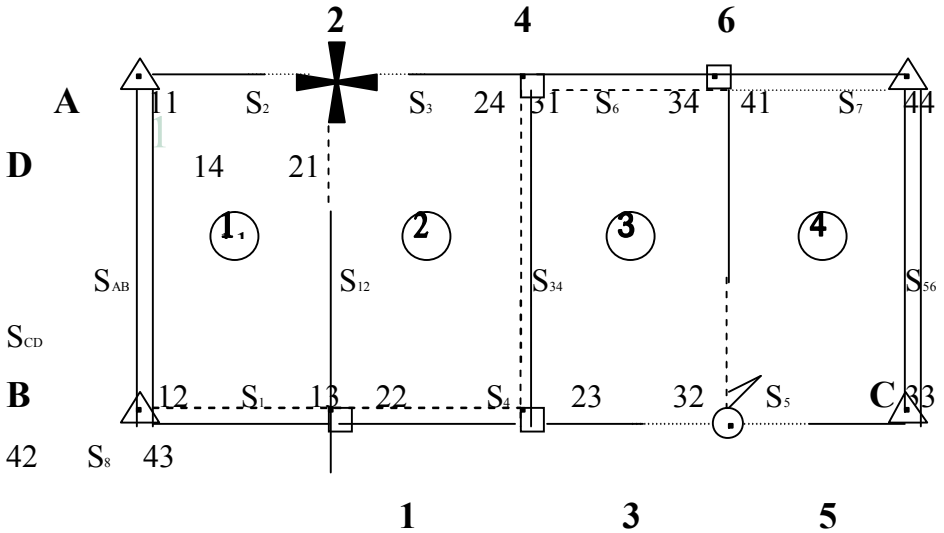


Рис.1. Ряд несучільних спостережень чотирикутників без діагоналей.

Світловіддалеміром виміряні сторони S_1 , S_4 , S_6 , S_7 , які показані подвійними лініями. На пунктах 2 і 5 спостереження не ведуться. Вони недоступні для встановлення на них теодоліта і вимірювання на них горизонтальних кутів або напрямків. Ряд пунктів являють собою конструктивні елементи капітальних споруд, шпیلی соборів, антени телевізійних станцій і т.п. Вони зберуться на тривалий час і будуть носіями координат, надійно закріплені на капітальних спорудах.

Генеруються істинні похибки вимірювання сторін у 5мм і кутів 1". Необхідно строго корелатним способом зрівноважити дану мережу і виконати оцінку точності зрівноважених елементів.

Таблиця 1. Побудова моделі дослідження.

Назва пункту або елемента ряду	Істинні значення	Δ 5мм 1сек	X	Y	α	S	На пункт
A			5934.594	2297.186	188°54'25.00"	4992.250	B
B			1002.545	1524.235	8°54' 25.00"	4992.250	A
C			2103.362	21151.160	353°52'58.20	3836.8807	D
D			5918.396	20742.293	173°52'58.20"	3836.8807	C
S ₁	5111.536	-3.8	5111.5322				
S ₄	4755.032	+1.5	4755.0335				
S ₆	5033.750	+3.7	5033.7537				
S ₇	4916.752	+2.3	4916.7543				
11	102°21'54.00"	-0.76"	102°2'53.24"				
12	76°12'41.87"	+0.30"	76°12'42.17"				
13	99°59'58.54"	+0.74"	99°59'59.28"				
22	95°32'16.32"	+0.46"	95°32'16.78"				
23	73°56'42.84"	+0.60"	73°56'43.44"				
24	113°58'46.21"	-0.85"	113°58'45.36"				
31	94°06'55.17"	-0.02"	94°06'55.15"				
32	80°02'40.23"	-0.09"	80°02'40.14"				
34	77°48'09.25"	-0.79"	77°48'08.46"				
41	92°27'12.19"	+0.90"	92°27'13.09"				
43	86°44'40.33"	+0.41"	86°44'40.74"				
44	95°20'49.76"	+0.06"	95°20'49.82"				

1. Польовий контроль при згущенні мереж методом несущільних спостережень чотирикутників без діагоналей.

Приймаючи до уваги, що умовні рівняння фігур в даних мережах відсутні, польовий контроль виконується розрахунком невимірних сторін два рази з контролем по розробленій автором програми на програмованих мікрокалькуляторах МК-61 або МК-52.

**Програма №1 розрахунку невимірних сторін і кутів у типовій фігурі
несуцільних спостережень чотирикутників без діагоналей.**

ФПРГ	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	ХП 1	С/П	ХП 2	С/П	К _о →	ХП 3	С/П	К _о →	ХП 4
10	+	С/П	К _о →	ХП 5	+	С/П	К _о →	ПХ 6	+	3
20	6	0	-	/-/	С/П	ПХ2	ПХ 5	ПХ 6	+	Fsin
30	ХП 0	×	ПХ 1	ПХ 3	Fsin	ХП8		+	ПХ 6	Fsin
40	ХП9	±	ХП 7	С/П	ПХ1	ПХ3	ПХ 6	+	Fsin	ПХa
50		ПХ 2	ПХ 5	Fsin	ПХ d		+	ПХ 9		ПХ b
60	С/П	ПХ b	ПХ 8		ПХ 2	ПХ 4	Fsin		-	ПХ a
70		ПХ 7	ПХ d		ПХ 1	ПХ 4	Fsin		-	ПХ 0
80		С/П	F	АВТ						

Протокол №1 виконання польового контролю у чотирикутниках АВ12 і 1234.

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначен	№ п/п	Введення даних	Результат	
1	В/О С/П			15	ХП 2		
2	4992,250 с/п		АВ	16	БП04 с/п		
3	5111,5322 с/п		S ₁	17	0 с/п		Невим. кут 21
4	102°21'53,24"с/п		11		95°32'16,78" с/п		22
5	76°12'42,17"с/п		12	19	73°56'43,44"с/п		23
6	99°59'59,28" с/п		13	20	113°58'45,36"с/п		24
7	0 С/П	81,42373°	Невим. кут 14	21		76,53735°	21
8	ХП 6 С/П			22	ХП 3 С/П		
9		4803,1742 с/п	S ₁₂	23		4394,926 с/п	S ₃₄
10		4757,2185 с/п	S ₂	24		4041,734 с/п	S ₃
11		4803,1725 с/п	S ₁₂	25		4394,927 с/п	S ₃₄
12		4757,2873	S ₂	26		4041,7287	S ₃
13	ПХ 7,ХП 1						
14	4755,0335		S ₄				

Оцінка точності і порівняльний аналіз

Невимірний кут вводиться натиском клавіш О С/П. Після індикується значення невиміряного кута, визначене як доповнення до 360° . Натиском клавіш 1і ХПЗ С/П; 2і ХП4 С/П; 3і ХП5 С/П; 4і ХП6 С/П вводиться у відповідний регістр невимірний кут. Індексом (і) позначений номер чотирикутника. Зауважимо, що на рис.1 позначено індексом і першу цифру кута.

3. Теоретичні основи співвідношення елементів у чотирикутнику без діагоналей .

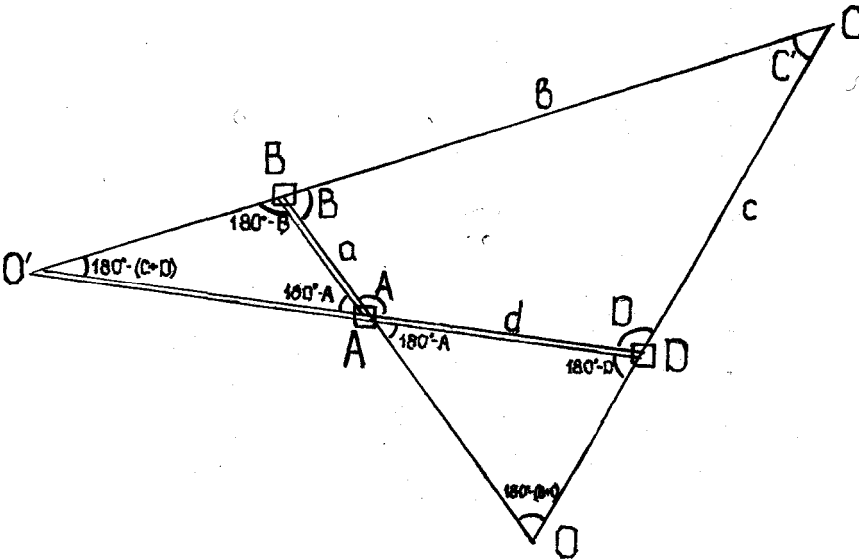


Рис.2. Елементи чотирикутника без діагоналей.

На основі теореми синусів запишемо:

$$\frac{AO}{\sin D} = \frac{d}{\sin(B+C)},$$

Звідки

$$AO = d \cdot \frac{\sin D}{\sin(B+C)}. \quad (3.1)$$

З іншої сторони

$$\frac{a + AO}{\sin C} = \frac{b}{\sin(B + C)} = \frac{C + OD}{\sin B}. \quad (3.2)$$

Звідки

$$b = \frac{[a + AO]\sin(B + C)}{\sin C}. \quad (3.3)$$

Підставляючи у (3.3) вираз(3.1), отримаємо:

$$b = \frac{a \sin(B + C) + d \sin D}{\sin C}. \quad (3.4)$$

Із трикутника ABO' на основі теореми синусів запишемо:

$$\frac{AO}{\sin B} = \frac{a}{\sin(C + D)}.$$

Звідки

$$AO = a \frac{\sin B}{\sin(C + D)}. \quad (3.5)$$

Із трикутника CDO маємо:

$$\frac{d + AO}{\sin C} = \frac{C}{\sin(C + D)}. \quad (3.6)$$

тоді

$$C = \frac{(d + AO)\sin(C + D)}{\sin C} \quad (3.7)$$

З врахуванням (3.5)отримаємо:

$$c = \frac{d \sin(C + D) + a \sin B}{\sin C} \quad (3.8)$$

Формули (3.4) і (3.8) і будуть робочими формулами для розрахунку чотирикутників.

Виведемо контрольні співвідношення.

Міркуючи по аналогії, запишемо:

$$\frac{OC}{\sin B} = \frac{b}{\sin(B + C)}$$

Звідки

$$OC = b \frac{\sin B}{\sin(B + C)}. \quad (3.9)$$

$$\frac{DO}{\sin A} = \frac{d}{\sin(B+C)};$$

Звідки

$$DO = d \frac{\sin A}{\sin(B+C)}. \quad (3.10)$$

Але

$$c = OC - OD, \quad (3.11)$$

тоді

$$c = b \frac{\sin B}{\sin(B+C)} - d \frac{\sin A}{\sin(B+C)},$$

або

$$c = \frac{b \sin B - d \sin A}{\sin(B+C)}. \quad (3.12)$$

Формула (3.12) і буде першою контрольною формулою.

По аналогії:

$$\frac{O'C}{\sin D} = \frac{c}{\sin(C+D)},$$

або

$$O'C = C \frac{\sin D}{\sin(C+D)},$$

З іншої сторони

$$\frac{O'B}{\sin A} = \frac{a}{\sin(C+D)}, \quad (3.13)$$

або

$$O'B = a \frac{\sin A}{\sin(C+D)}, \quad (3.14)$$

тоді

$$b = O'C - O'B,$$

$$\text{і} \quad b = \frac{c \sin D - a \sin A}{\sin(D+C)}. \quad (3.15)$$

Формула (3.15) і буде другою контрольною формулою. Таким чином, програма №1 складена на основі формул (3.4), (3.8), (3.12), (3.15).

4. Вивід умовного рівняння зв'язуючої сторони ряду

Диференціюючи формулу (3.8) і приймаючи до уваги, що

$$\begin{aligned} (\cos \alpha)' &= -\sin \alpha; & (\sin \alpha)' &= \cos \alpha; \\ \left(\frac{u}{v}\right)' &= \frac{u'v - v'u}{v^2}, \end{aligned}$$

отримаємо:

$$\begin{aligned} (c) = \frac{1}{\sin^2 C} \left\{ \left[(d) \sin(C+D) + d \cos(C+D) \frac{(C)+(D)}{\rho''} + (a) \sin B + a \cos B \frac{(B)}{\rho''} \right] \sin C - \right. \\ \left. - [d \sin(C+D) + a \sin B] \cos C \frac{(C)}{\rho} \right\} \end{aligned} \quad (4.1)$$

де (c)- поправка у зв'язуючу сторону

(d) і (a)- поправки у відповідні сторони;

(C), (D), (B)- поправки у відповідні кути;

ρ'' - число секунд в одному радіані.

Запишемо вираз (4.1) у вигляді:

$$\begin{aligned} (c) = \frac{(d) \sin(C+D)}{\sin C} + \frac{d \cos(C+D)}{\sin C} \cdot \frac{[(C)+(D)]}{\rho} + \frac{(a) \sin B}{\sin C} + \\ + \frac{a \cos B}{\cos C} \cdot \frac{(B)}{\rho} - c \cdot \sin C \cdot \cos C \frac{(C)}{\rho}, \end{aligned} \quad (4.2)$$

або

$$\begin{aligned} (c) = \frac{1}{\sin C} \left[\sin(C+D)(d) + d \cdot \cos(C+D) \frac{(D)}{\rho} + \sin B(a) + \right. \\ \left. + a \cdot \cos B \cdot \operatorname{tg} C \frac{(B)}{\rho} - [c \cdot \sin^2 C \cdot \cos C - d \cdot \cos(C+D)] \cdot \frac{(C)}{\rho} \right] \end{aligned} \quad (4.3)$$

і в кінцевому вигляді:

$$\begin{aligned} (c) = \frac{1}{\sin C} \left\{ \sin(C+D)(d) + d \cos(C+D) \frac{(D)}{\rho} + \sin B(a) + \right. \\ \left. + [c(1 - \cos^2 C) \cos C - d \cos(C+D)] \frac{(C)}{\rho} \right\}. \end{aligned} \quad (4.4)$$

Перевіримо теоретичні викладки контрольним прикладом. Розрахуємо коефіцієнти для одного чотирикутника. При цьому, нехай сторона $c=4803,00$ а вирахувана сторона $c'=4803,1834$. Тоді $W=+0,1834$.

Умвне рівняння зв'язуючої сторони у числовому вираженні буде:

$$+0.00471378(d)-0.004695(D)-0.1855089(a)+0.0065354(B)+ \\ +0.00406024(C)+0.1834=0 \quad (4.5)$$

Розрахуємо кореляту К за формулою:

$$K = -\frac{W}{[AA]}, \quad (4.6)$$

де [AA]-сума квадратів коефіцієнтів при шуканих поправках.

У нашому випадку

$$K = -\frac{+0,1834}{0,97868} = -0,18780.$$

Знайдемо поправки за формулою:

$$V_i = K \cdot A_i \quad (4.7)$$

Результати контрольного розрахунку приведені у протоколі № 2.

Протокол № 2. Контрольний розрахунок апробації умовного рівняння сторони.

№ п/п	Виміряні значення	Результат	Позначення	V	Зрівноважені значення	Результат	Позначення
1	4992,250 с/п		a	-0,186	4992,064 с/п		a
2	5111,536с/п		d	+0,005	5111,541 с/п		d
3	102°21'54,00" с/п		A	0	102°21'54,00"с/п		A
4	76°12'41,87"с/п		B	+0,01"	76°12'41,88"с/п		B
5	99°59'58,54"с/п		C	0	99°59'58,54"с/п		C
6	OC/П		D	0	0с/п		D
7	ХП 6 С/П				ХП6 С/П		
8		4803.1834	C			4802,9994	C

$$W's=-0,6 \text{ мм.}$$

Представимо поправки зв'язуючих сторін ряду

$$(S_{12}) = \frac{1}{\sin 14} \cdot \left\{ \sin(13+14) \cdot (S_1) + S_1 \cdot \cos(13+14) \frac{13}{\rho} + \sin 11 \cdot (AB) + \right. \\ \left. + AB \cdot \cos 11 \cdot \operatorname{tg} 14 \frac{(11)}{\rho} - \left[S_{12} \cdot (1 - \cos^2 14) \cdot \cos 14 - S_1 \cdot \cos(13+14) \cdot \frac{(14)}{\rho} \right] \right\}. \quad (4.8)$$

$$(S_{34}) = \frac{1}{\sin 24} \cdot \left\{ \sin(23+24) \cdot (S_4) + S_4 \cdot \cos(23+24) \frac{(23)}{\rho} + \sin 21 \cdot (S_{12}) + \dots \dots \dots (4.9) \right. \\ \left. + S_{12} \cdot \cos 21 \cdot \operatorname{tg} 24 \frac{21}{\rho} - \left[S_{34} \cdot (1 - \cos^2 24) \cdot \cos 24 - S_4 \cdot \cos(23+24) \cdot \frac{(24)}{\rho} \right] \right\}.$$

$$(S_{56}) = \frac{1}{\sin 33} \cdot \left\{ \sin(33+34) \cdot (S_6) + S_6 \cdot \cos(33+34) \cdot \frac{(34)}{\rho} + \sin 32 \cdot (S_{34}) + \dots \dots \dots (4.10) \right. \\ \left. + S_{56} \cdot \cos 32 \cdot \operatorname{tg} 33 \cdot \frac{(32)}{\rho} - \left[S_{56} \cdot (1 - \cos^2 33) \cdot \cos 33 - S_6 \cdot \cos(33+34) \right] \cdot \frac{(33)}{\rho} \right\}.$$

$$(S_{CD}) = \frac{1}{\sin 43} \cdot \left\{ \sin(43+44) \cdot (S_7) + S_7 \cdot \cos(43+44) \cdot \frac{(44)}{\rho} + \sin 42 \cdot (S_{56}) + \dots \dots \dots (4.11) \right. \\ \left. + S_{CD} \cdot \cos 42 \cdot \operatorname{tg} 43 \cdot \frac{(42)}{\rho} + \left[S_{CD} \cdot (1 - \cos^2 43) \cdot \cos 43 - S_7 \cdot \cos(43+44) \right] \cdot \frac{(43)}{\rho} \right\}.$$

5. Представлення умовних рівнянь дирекційних кутів і координат.

Передачу дирекційного кута виконаємо за формулою:

$$\alpha_{DC} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ + 12 \pm 180^\circ + 13 \pm 22 \pm 180^\circ + 23 \pm 180^\circ - 31 \pm 180^\circ - 34 - 41 \pm 180^\circ - 44.$$

Диференціюючи (5.1) і переходячи до поправок, умовне рівняння дирекційних кутів буде

$$(12) + (13) - (34) - (41) + (22) + (23) - (31) - (44) + W_\alpha = 0, \quad (5.2)$$

де (12), (13), (22), - поправки у відповідні кути.

$$W\alpha = \alpha_{DC} \text{ вирах.} - \alpha_{DC} \text{ свихід.} \quad (5.3)$$

Запишемо формулу рішення прямої геодезичної задачі:

$$\Delta X = S_i \cdot \cos \alpha_i, \quad (5.4)$$

$$\Delta Y = S_i \cdot \sin \alpha_i, \quad (5.5)$$

Приймаючи до уваги, що похідні

$$(\cos \alpha)' = -\sin \alpha; \quad (\sin \alpha)' = \cos \alpha,$$

і диференціюючи формули (5.4) і (5.5), отримаємо:

$$d\Delta X_i = \cos \alpha_i \cdot dS_i - S_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \frac{d\alpha_i}{\rho}, \quad (5.6)$$

$$d\Delta Y_i = \sin \alpha_i \cdot dS_i + S_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \frac{d\alpha_i}{\rho}, \quad (5.7)$$

або

$$d\Delta X_i = \cos \alpha_i \cdot dS_i - \Delta Y_i \cdot \frac{d\alpha_i}{\rho}, \quad (5.8)$$

$$d\Delta Y_i = \sin \alpha_i \cdot dS_i + \Delta X_i \cdot \frac{d\alpha_i}{\rho}, \quad (5.9)$$

Запишемо формулу передачі координат по ходовій лінії, що показана на рис.1 пунктиром.

$$XD = XB + S1 \cos \alpha_{B1} + S4 \cos \alpha_{13} + S34 \cos \alpha_{34} + S6 \cos \alpha_{46} + S7 \cos \alpha_{6D}, \quad (5.10)$$

$$YD = YB + S1 \sin \alpha_{B1} + S4 \sin \alpha_{13} + S34 \sin \alpha_{34} + S6 \sin \alpha_{46} + S7 \sin \alpha_{6D}, \quad (5.11)$$

Диференціюючи (5.10) і (5.11), отримаємо

$$dXD = dXB + \cos \alpha_{B1} \cdot dS1 - S1 \cdot \sin \alpha_{B1} \cdot \frac{d\alpha_{B1}}{\rho} + \cos \alpha_{13} \cdot dS4 - \\ - S4 \cdot \sin \alpha_{13} \cdot \frac{d\alpha_{13}}{\rho} + \cos \alpha_{34} \cdot dS34 - S34 \cdot \sin \alpha_{34} \cdot \frac{d\alpha_{34}}{\rho} + \cos \alpha_{46} \cdot dS6 - \\ - S6 \cdot \sin \alpha_{46} \cdot \frac{d\alpha_{46}}{\rho} + \cos \alpha_{6D} \cdot dS7 - S7 \cdot \sin \alpha_{6D} \cdot \frac{d\alpha_{6D}}{\rho}. \quad (5.12)$$

$$dYD = dYB + \sin \alpha_{B1} \cdot dS1 + S1 \cdot \cos \alpha_{B1} \cdot \frac{d\alpha_{B1}}{\rho} + \sin \alpha_{13} \cdot dS4 + \\ + S4 \cdot \cos \alpha_{13} \cdot \frac{d\alpha_{13}}{\rho} + \sin \alpha_{34} \cdot dS34 + S34 \cdot \cos \alpha_{34} \cdot \frac{d\alpha_{34}}{\rho} + \sin \alpha_{46} \cdot dS6 + \\ + S6 \cdot \cos \alpha_{46} \cdot \frac{d\alpha_{46}}{\rho} + \sin \alpha_{6D} \cdot dS7 + S7 \cdot \cos \alpha_{6D} \cdot \frac{d\alpha_{6D}}{\rho}. \quad (5.13)$$

Приймаючи до уваги, що хід спирається на пункти старшого класу, або отримані по системі GPS з більшою точністю, тоді

$$dX_B = 0 \text{ і } dY_B = 0.$$

Переходячи до поправок, умовні рівняння координат в загальному вигляді будуть:

$$\sum_{i=1}^n \left[\cos \alpha_i (S_i) - S_i \sin \alpha_i \frac{(\alpha_i)}{\rho} \right] + W_x = 0 \quad (5.14)$$

$$\sum_{i=1}^n \left[\sin \alpha_i (S_i) + S_i \cos \alpha_i \frac{(\alpha_i)}{\rho} \right] + W_Y = 0; \quad (5.15)$$

або з врахуванням (5.4) і (5.5)

$$\sum_{i=1}^n \left[\cos \alpha_i (S_i) - \Delta Y_i \frac{(\alpha_i)}{\rho} \right] + W_X = 0; \quad (5.16)$$

$$\sum_{i=1}^n \left[\sin \alpha_i (S_i) + \Delta X_i \frac{(\alpha_i)}{\rho} \right] + W_Y = 0; \quad (5.17)$$

На основі вище сказаного, умовні рівняння координат набудуть вигляду:

$$\begin{aligned} & \cos \alpha_{B1} (S_1) - \Delta Y_{B1} \frac{(12)}{\rho} + \cos \alpha_{13} (S_4) - \Delta Y_{13} \frac{[(13)+(12)]}{\rho} + \\ & + \cos \alpha_{34} (S_4) - \Delta Y_{34} \frac{[(23)]}{\rho} + \cos \alpha_{46} (S_6) - \Delta Y_{46} \frac{[-(31)]}{\rho} + \\ & + \cos \alpha_{6D} (S_7) - \Delta Y_{6D} \frac{[-(41)-(34)]}{\rho} + W_X = 0; \end{aligned} \quad (5.18)$$

$$\begin{aligned} & \sin \alpha_{B1} (S_1) + \Delta X_{B1} \frac{(12)}{\rho} + \sin \alpha_{13} (S_4) + \Delta X_{13} \frac{[(13)+(22)]}{\rho} + \\ & + \sin \alpha_{34} (S_4) + \Delta X_{34} \frac{[(23)]}{\rho} + \sin \alpha_{46} (S_6) + \Delta X_{46} \frac{[-(31)]}{\rho} + \\ & + \sin \alpha_{6D} (S_7) + \Delta X_{6D} \frac{[-(41)-(34)]}{\rho} + W_Y = 0; \end{aligned} \quad (5.19)$$

де

$$W_X = X_{\text{Двирах}} - X_{\text{Двихідн.}} \quad (5.20)$$

$$W_Y = Y_{\text{Двирах}} - Y_{\text{Двихідн.}} \quad (5.21)$$

6. Зрівноваження ряду

Розрахунок і передача сторін в ряді несущільних спостережень чотирикутників без діагоналей виконується за програмою № 2.

Програма № 2 розрахунку невимірних сторін і кутів у ряді несущільних спостережень

Фпрг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	ХП1	С/П	ХП2	С/П	К→о111	ХП3	С/П	К→о111	ХП4
10	+	С/П	К→о111	ХП5	+	С/П	К→о111	ХП6	+	3
20	6	0	-	/-/	С/П	ПХ2	ПХ3	ПХ6	+	Fsin
30	ХП0	Х	ПХ1	ПХ3	Fsin	ХП8	Х	+	ПХ6	Fsin
40	ХП9	+	ХП 7	С/П	ПХ1	ПХ3	ПХ6	+	Fsin	ХПа
50	Х	ПХ2	ПХ5	Fsin	ХПd	Х	+	ПХ9	.	ХПв
60	С/П	ПХ7	ХП1	С/П	ХП2	БП	04	F	АВТ	

Протокол №3 розрахунку істинних значень сторін і кутів

№ п./п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п./п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/о с/п			21	5033,750 с/п		S ₆
2	4992,250 с/п		АВ	22	80°02'40,23" с/п		32
3	5111,536 с/п		S ₁	23	94°06'55,17" с/п		31
4	102°21'54" с/п		11	24	77°48'09,25" с/п		34
5	76°12'41,87" с/п		12	25	0 с/п		33
6	99°59'58,54" с/п		13	26		108,0376	33
7	0 с/п		14	27	ХП6с/п		
8		81,42378	14	28		4013,8236 с/п	S ₆
9	ХП6с/п			29		4524,5888 с/п	S ₅
10		4803,1834с/п	S ₁₂	30	4916,752 с/п		S ₇
11		4757,1994с/п	S ₂	31	92°27'12,19" с/п		41
12	4755,032 с/п		S ₃	32	Ос/п		42
13	0 с/п		21	33	95°20'49,76" с/п		44
14	95°32'16,32" с/п		22	34	86°44'40,33" с/п		43
15	73°56'42,84" с/п		23	35		85,45402°	42
16	113°58'46,21" с/п		24	36	ХПУ с/п		
17		76,5374	21	37		3836,8807 с/п	S _{ca}
18	ХП3 с/п			38		4959,5467	S ₈
19		4394,938 с/п	S ₃₄				
20		4041,7074 с/п	S ₃				

Таблиця № 2. Розрахунок істинних координат пунктів

	Формули кутів	Кути передачі	Дирекційні кути	Сторони	X	У	Назви
A			188°54'25,00"		1002,545	1524,235	A
B	12	76°12'41,87"	85°07'06,87"	5111,536	1437,505	6617,232	B
1	13+22	195° 32'14,86"	100°39'21,73"	4755,032	558,242	11290,264	1
3	23	73°56'42,84"	354°36'04,57"	4395,032	4933,778	10876,751	3
4	-31	94°06'55,17"	79°29'09,40"	5033,750	5852,320	15825,985	4
6	-31-41	170°15'21,44"	89°13'47,96"	4916,752	5918,396	20742,293	6
Д	-44	95°20'49,76"			2103,362	21151,160	Д
С			173°52'58,20"	3836,8807			С

Програма № 3 розрахунку коефіцієнтів умовного рівняння сторони

Фпрг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	XП1	С/П	XП2	С/П	K→0111	XП3	С/П	K→0111	XП4
10	+	С/П	K→0111	XП5	+	С/П	K→0111	XП6	+	3
20	6	0	-	/-/	С/П	ПХ2	ПХ5	ПХ6	+	Fsin
30	XП0	X	ПХ1	ПХ3	Fsin	XП8	X	+	ПХ6	Fsin
40	XП9	+	XП7	С/П	ПХ1	ПХ3	ПХ6	+	Fsin	XПa
50	X	ПХ2	ПХ5	Fsin	XПd	X	+	ПХ9	+	XПb
60	С/П	ПХ0	ПХ9	+	С/П	ПХ0	Fsin ⁻¹	Fcos	ПХ2	X
70	XПe	ПХc	+	ПХ9	+	С/П	ПХ8	ПХ9	+	С/П
80	ПХ1	ПХ3	Fcos	X	ПХ6	Ftg	X	ПХc	+	ПХ9
90	+	С/П	ПХ7	ПХ6	Fcos	XПч	X	ПХ4	FX ²	1
100	-	X	ПХe	+	/-/	F	ABT			

**Протокол № 4 розрахунку незрівноважених сторін і коефіцієнтів
умовного рівняння сторони**

№ п/п	Введення даних	Результат	Познач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Познач.
1	206265 хпс		ρ	11		4757,2185с/п	S ₂
2	В/о с/п			12		-0,0251 с/п	A (S ₁)
3	4992,250 с/п		AB	13		+0,0250с/п	A (13)
4	5111,5322 с/п		S ₁	14		+0,9878с/п	A (AB)
5	102°21'53,24"с/п		11	15		-0,0348с/п	A (11)
6	76°12'42,17"с/п		12	16	ПХС,-,ПХ9,-	-0,0216	A (14)
7	99°59'59,28"с/п		13	17	ПХ7,ХП1		
8	О с/п	81,42373	14	18	4755,0335		S ₄
9	ХП6 с/п			19	ХП2,БП 04		
10		4803,1742с/п	S ₁₂	20	С/П		

Продовження протоколу № 4

№ п/п	Введення даних	Результат	Познач.	№ п/п	Введення д інших	Результат	Познач.
21	Ос/п		21	44		4524,5792с/п	S ₅
22	95°32'16,78"		22	45		-0,1070с/п	A(S ₆)
23	73°56'43,44"с/п		23	46		+0,0255с/п	A(34)
24	113°58'45,36"с/п		24	47		+1,0358с/п	A(S ₃₄)
25		76,53735°	21	48		-0,0119с/п	A(32)
26	ХПЗ с/п			49	ПХС + ПХ9 +	-0,0313	A(33)
27		4394,926с/п	S ₃₄	50	ПХ7,ХП1		
28		4041,734с/п	S ₂₄	51	4916,7543		S ₇
29		-0,1509с/п	A (S ₄)	52	ХП2 БП04		
30		+0,0250 с/п	A(23)	53	С/П		
31		+1,0644 с/п	A(S ₁₂)	54	92°27'13,09"с/п		41
32		-0,01334с/п	A(21)	55	О с/п		42
33	ПХС + ПХ9 +	-0,03290	A(24)	56	92°20'49,82"с/п		44
34	ПХ7,ХП1			57	86°44'40,74"с/п		43
35	5033,7537		S ₆	58		85,45454°	42
36	ХП2 БП4			59	ХП4 с/п		
37	С/П			60		3836,857с/п	S'ед
38	80°02'40,14"с/п		32	61		4959,5224с/п	S ₈
39	94°06'55,15"с/п		31	62		-0,0366с/п	A(S ₇)
40	77°48'08,46"с/п		34	63		+0,0238с/п	A(44)
41	О с/п	108,03785°	33	64		+1,0007с/п	A(56)
42	ХП6 с/п			65		-0,0147с/п	A(41)
43		4013,8125 с/п	S ₅₆	66	ПХС,+ ,ПХ9,+	-0,0228	A(41)

Таблиця № 3. Розрахунок попередніх координат і вільних членів

Назва пунктів	Формули	Незрівноважені кути	Дирекційні кути	Сторони	ΔX	ΔY	X	Y
			188°54'25,00"					
В	12	76°12'42,17"					1002.545	1524.235
1	13+22	195°32'16,06"	85°07'07,17"	5111,5322	+434,9530	+5092,9932	1437.498	6617.228
3	23	73°56'43,44"	100°39'23,23"	4755,0335	-879,2968	+4673,0269	558.201	11290.255
4	-31	94°06'55,15"	354°36'06,67"	4394,926	+4375,4348	-413,4578	4933.636	10876.797
6	-31-41	170°15'71,55"	79°29'11,52"	5033,7537	+918,4921	+4949,2472	5852.128	15826.1H-1
Д	-44	95°20'49,82"	89°13'49,97"	4916,7543	+66,0277	+4916,3110	5918.1558	20742.293
С			173°53'00,15"					

Вільний член умовного рівняння дирекційних кутів буде:

$$W_x = 173^\circ 53' 00,15'' - 173^\circ 52' 58,20'' = +1,95''.$$

Вільні члени координатних умовних рівнянь:

$$W_x = 5918,1558 - 5918,396 = -0,2402;$$

$$W_y = 20742,3555 - 20742,293 = +0,0625.$$

На основі вище приведенного, базисне умовне рівняння набуде вигляду:

$$+0.0238(44) - 0.0147(41) - 0.0228(43) - 0.0366(S7) +$$

$$+1.0007 \{ [+0.0255(34) - 0.0119(32) - 0.0313(33) - 0.1070(S6)] + \quad (6.1)$$

$$+1.0358 [+0.0250(23) - 0.0133(21) - 0.0329(24) - 0.1509(S4)] +$$

$$+1.0644 [+0.0250(13) - 0.0348(11) - 0.0216(14) - 0.0251(S1)] \} - 0.0237 = 0;$$

або

$$+0.0238(44) - 0.0147(41) - 0.0228(43) - 0.0366(S7) +$$

$$+0.0255(34) - 0.0119(32) - 0.0313(33) - 0.1071(S8) + \quad (6.2)$$

$$+0.0259(23) - 0.0138(21) - 0.0341(24) - 0.1564(S4) +$$

$$+0.0276(13) - 0.0384(11) - 0.0239(14) - 0.0277(S1) - 0.0237 = 0.$$

Зауважимо, що в даному умовному рівнянні сторони не враховані ваги вимірів.

Складовий компонент координатного умовного рівняння буде:

$$\cos \alpha_{34}(S_{34})=0.0258(23)-0.0137(21)-0.0339(24)-0.1557(S4)+ \\ +0.0275(13)-0.0382(11)-0.0238(14)-0.0276(S1). \quad (6.31)$$

$$\sin \alpha_{34}(S_{34})=-0,0024(23)+0,0013(21)+0,0032(24)+0,0147(S4)- \\ -0,0026(13)+0,0036(11)+0,0022(14)+0,0026(S1). \quad (6.32)$$

Теорема. Якщо у чотирикутнику без діагоналей є невимірний кут, то коефіцієнти поправок умовних рівнянь даного кута вводяться з оберненим знаком алгебраїчно у коефіцієнти трьох вимірних кутів відповідного умовного рівняння.

Дійсно, невимірний кут $\beta=360^\circ-(A+C+D)$, А кінцевий диференціал, або поправка (В)=
 $=-(A)-(C)-(D)$.

Таблиця № 4. Коефіцієнти умовних рівнянь

Назви поправок	(a)	(S)	(X)	(Y)	Формули коеф.	
					(X)	(Y)
(S ₁)		-0,0251	+0,085	+0,9964	cosα _{B1}	sinα _{B1}
(S ₁₂)	невимір.	+1,064				
(S ₁₃)		-0,1509	-0,1849	+0,9828	cosα ₁₃	sinα ₁₃
(S ₁₄)	невимір.	+1,0358	+0,9956	-0,0941	cosα ₃₄	sinα ₃₄
(S ₂)		-0,1070	+0,1825	+0,9832	cosα ₄₆	sinα ₄₆
(S ₂₃)	невимір.	+1,0007				
(S ₂₄)		-0,0366	+0,0134	+0,9999	cosα _{6D}	sinα _{6D}
(12)	+1		-0,0247	+0,0021	-ΔY _{B1/ρ}	+ΔX _{B1/ρ}
(13)	+1	+0,0250	-0,0226	+0,0043	-ΔY _{13/ρ}	+ΔX _{13/ρ}
(11)		-0,0348				
(14)	невимір.	-0,0216				
(22)	+1		-0,0226	+0,0043	-ΔY _{13/ρ}	+ΔX _{13/ρ}
(23)	+1	+0,0250	-0,0020	+0,0212	+ΔY _{34/ρ}	-ΔX _{34/ρ}
(21)	невимір.	-0,0133				
(24)		-0,0329				
(31)	-1		+0,0240	-0,0044	+ΔY _{46/ρ}	-ΔX _{46/ρ}
(34)	-1	+0,0255	+0,0238	-0,0003	+ΔY _{6D/ρ}	-ΔX _{6D/ρ}
(32)		-0,0119				
(33)	невимір.	-0,0313				
(44)	-1	+0,0238				
(41)	-1	-0,0147	+0,0238	-0,0003	+ΔY _{6D/ρ}	-ΔX _{6D/ρ}
(43)		-0,0228				
W	+1,95"	-0,0237м	-0,2402м	+0,0625		

Ваги виміру горизонтальних кутів прийємо $P\beta=1$, тоді ваги виміру сторін будуть :

$$P_s = m^2\beta/m^2S = 1/25 = 0,04. \text{ Обернена вага } 1/P_s = 25 \text{ і } 1/\sqrt{P_s} = 5.$$

В дослідженнях даної моделі прийнято $mS=5 \text{ мм}$; $m\beta=1''$.

Продовження таблиці № 4

Назви поправок	Без врахування ваг вимірів				(a)	(S)	(X)	(Y)	V
	(a)	(S)	(X)	(V)		$\frac{1}{\sqrt{P_s}} = 5$	$\frac{1}{\sqrt{P_s}} = 5$	$\frac{1}{\sqrt{P_s}} = 5$	
	(S1)		-0,0277	-0,0276 +0,0850		+0,0026 +0,9964	0	-0,1385	
(S4)		-0,1564	-0,1557 - 0,1849	+0,0147 +0,9828	0	-0,782	-1,703	+4,9875	-0,4859
(S6)		-0,1071	-0,1825	+0,9832	0	-0,5355	+0,9125	+4,9160	+0,4093
(S7)		-0,0366	+0,0134	+0,9999	0	-0,1830	+0,067	+4,9995	-0,0249
(12)	+1		-0,0247	+0,0021	+1	+0,0239	-0,0009	-0,0001	-0,24"
(13)	+1	+0,0276	+0,0275 -0,0226	-0,0026 -0,0043	+1	+0,0515	+0,0287	-0,0091	-0,24"
(11)		-0,0384	-0,0382	+0,0036	0	-0,0145	-0,0144	+0,0014	0
(14)		-0,0239	-0,0238	+0,0022					
(22)	+1		-0,0226	+0,0212	+1	+0,0138	-0,0089	+0,0199	-0,24
(23)	+1	+0,0259	+0,0258 -0,0020	-0,0024 -0,0212	+1	+0,0397	+0,0375	-0,0249	-0,24
(21)		-0,0138	-0,0137	+0,0013					
(24)		-0,0341	-0,0339	+0,0032	0	-0,0203	-0,0202	+0,0019	0
(31)	-1		+0,0240	-0,0044	-1	+0,0313	+0,0240	-0,0044	+0,24
(34)	-1	+0,0255			-1	+0,0568	0	0	+0,24
(32)		-0,0119			0	+0,0194	0	0	0
(33)		-0,0313							
(44)	-1	+0,0238			-1	+0,0238	0	0	+0,24
(41)	-1	-0,0147	+0,0238	-0,0003	-1	-0,0147	+0,0238	-0,0003	+0,24
(43)		-0,0228			0	-0,0228	0	0	0
(42)									
W	+1,95"	-0,0237	-0,2402	+0,0625	+1,95"	-0,0237	-0,2402	+0,0625	

Поправки зрівноваження V розраховуються за формулою:

$$V_i = K_1 A_1 \cdot \frac{1}{\sqrt{p}} + K_2 A_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{p}} + K_3 A_3 \cdot \frac{1}{\sqrt{p}} + K_4 A_4 \cdot \frac{1}{\sqrt{p}} \quad (6.33).$$

При цьому, як було зазначено вище, $\frac{1}{\sqrt{P_s}} = 1$; $\frac{1}{\sqrt{P_s}} = 5$, тобто поправки у лінійні величини множаться на 5, а поправки у кутові величини залишаються без змін.

Таблиця № 5. Зрівноважені величини

Елементи зрівноваження	Незрівноважені	V	Зрівноважені
S ₁	5111,5322	+0,0424	5111,57460
S ₄	4755,0335	-0,4859	4754,5476
S ₆	5033,7537	+0,4093	5034,1630
S ₇	4916,7543	-0,0249	4916,7294
12	76°12'42,17"	-0,24"	76°12'41,93"
13	99°59'59,28"	-0,24"	99°59'59,04"
11	102°21'53,24"	0	102°21'53,24"
22	95°32'16,78"	-0,24"	95°32'16,54"
23	73°56'43,44"	-0,24"	73°56'43,20"
24	113°58'45,36"	0	113°58'45,36"
31	94°06'55,15"	+0,24"	94°06'55,39"
34	77°48'08,46"	+0,24"	77°48'08,70"
32	80°02'40,14"	0	80°02'40,14"
44	95°20'49,82"	+0,24"	95°20'49,06"
41	92°27'13,09"	+0,24"	92°27'13,336"
43	86°44'40,77"	0	86°44'40,74"

Протокол № 5. Розрахунок зрівноважених сторін

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	2	3	4
1	В/о с/п		
2	4992,250 с/п		AB
3	5111,5746 с/п		S ₁
4	102°21'53,24" с/п		11
5	76°12'41,93"с/п		12
6	99°59'59,04" с/п		13
7	0 с/п	81,42386°	14
8	ХП6 с/п		
9		4803,1661 с/п	S ₁₂
10		4757,2486 с/п	S ₂
11	4754,5476 с/п		S ₄
12	0 с/п		21
13	95°32'16,54"с/п		22
14	73°56'43,20" с/п		23
15	113°58'45,36"с/п		24
16		76,53748	21
17	ХПЗ с/п		
18		4394,9998 с/п	S ₃₄

Продовження протоколу № 5

1	2	3	4
19		4041,4006 с/п	S ₃
20	5033,7537 с/п		S ₆
21	80°02'40,14" с/п		32
22	94°06'55,39" с/п		31
23	77°48'08,70" с/п		34
24	0 с/п	108,03771	33
25	ХП6 с/п		
26		4013,8617 с/п	S ₆
27		4524,5817 с/п	S ₅
28	4916,8410 с/п		S ₇
29	92°27'13,33" с/п		41
30	0 с/п		42
31	95°20'50,06" с/п		44
32	86°20'50,06" с/п		43
33		85,45441°	42
34	ХП4 с/п		
35		3836,897 с/п	S _{CD}
36		4959,605	S ₈
$W'_s = +16,4$ мм			

Таблиця коефіцієнтів нормальних рівнянь

	A]	B]	C]	D]	=W
[A	8	+0,0625	-0,1069	+0,0299	-1,95
[B	+0,0625	+0,9549	+0,7690	-8,1554	+0,020863
[C	-0,1069	+0,7690	+3,7298	-2,0935	+0,146.
[D	+0,0299	-8,1554	-2,0935	98,9628	-0,0535

$K_1 = -0,24403956$; $K_2 = +0,070101669$; $K_3 = +0,020925367$; $K_4 = +0,0057527796$.

Рішення нормальних рівнянь виконано по стандартній програмі, приведений у попередніх розділах.

Таблиця № 7. Розрахунок зрівноважених координат

Назва	Формули кутів	Зрівноважені кути	Дирекційні кути	Зрівноважені сторони	X	Y	Назва
A			188°54'25,00"				A
B	12	76°12'41,93"	85°07'06,93"	5111,6561	1002,545	1524,235	B
1	13+22	195°32'15,58"	100°39'22,51"	4754,7275	1437,5144	6617,3514	1
3	23	73°56'43,20"	354°36'05,71"	4394,9720	558,2881	11290,080	3
4	-31	94°06'55,39"	79°29'10,32"	5033,7537	4933,7668	10876,597	4
6	-31-41	170°15'22,03"	89°13'48,29"	4916,8410	5852,2876	15825,839	6
Д	-44	95°20'50,06"	173°52'58,23"		5918,3566	20742,236	Д
С							С

$$\alpha_{дсвих} = 173^{\circ}52'58,20''$$

$$X_{двих} = 5918,3008; \quad Y_{двих} = 20742,301$$

$$W\alpha' = -0,03''$$

$$W'x = +55,8 \text{ мм}$$

$$W'y = -65 \text{ мм}$$

У книзі П.А.Гайдаєва "Математична обробка геодезичних мереж" 1977 року видання [с. 135] відмічено, що "остаточные невязки в координатах в отдельных случаях могут достигать 10 см."

Тому дане зрівноваження можна вважати задовільним.

Таблиця № 8. Порівняльна таблиця істинних і зрівноважених координат

Назви пунктів	Хзрівн.	Хіст.	Δx (мм)	Узрівн.	Уіст.	Δy (мм)
1	1437,508	1437,505	+3	6617,232	6617,232	+38
3	558,314	558,242	-28	11289,822	11290,264	-442
4	4933,821	4933,778	+43	10876,336	10876,751	-415
6	5852,416	5852,320	+96	15825,980	15825,985	-5
Д	5918,484	5918,396	+88	20742,266	20742,293	-27

$$\sum \Delta x^2 = 19602$$

$$\sum \Delta y^2 = 369787$$

Середня квадратична похибка визначення абсцис по формулі Гаусса буде:

$$m_x = \sqrt{\frac{19602}{5}} = 62,6 \text{ мм},$$

і ординат $m_y = \sqrt{\frac{369787}{5}} = 272 \text{ мм}.$

$$m_{x,y} = \sqrt{\frac{\sum \Delta x^2 + \sum \Delta y^2}{10}}; \quad m_{x,y} = 197 \text{ мм}$$

Таблиця № 9. Порівняльна таблиця істинних і незрівноважених координат

Назви пунктів	Хнз.	Хіст.	Δx (мм)	Унз.	Уіст.	Δy (мм)
1	1437,498	1437,505	-7	6617,228	6617,232	-5
3	558,201	558,242	-41	11289,255	11290,264	-9
4	4933,636	4933,778	-142	10876,797	10876,751	+46
6	5852,128	5852,320	-192	15825,044	15825,985	+59
Д	5918,156	5918,396	-240	20742,355	20742,293	+62

$$\sum \Delta x^2 = 116358$$

$$\sum \Delta y^2 = 9547$$

Середні квадратичні похибки координат, розраховані за формулою Гауса:

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum \Delta x^2}{5}} = 152,5 \text{ мм}$$

$$m_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta y^2}{5}} = 44 \text{ мм}$$

$$m_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta x^2 + \sum \Delta y^2}{10}} = 112 \text{ мм}$$

Як бачимо, в даному випадку процедура строгого зрівноваження добре узгодила умову дирекційних кутів і сторін.

Остаточні нев'язки в координатах говорять про великий вплив остаточних значень істинних похибок в мережах несущільних спостережень чотирикутників без діагоналей.

Очевидно, що продвиг ходу на 20 км не забезпечить дана модель для визначення координат пунктів у 5 см.

Середня квадратична похибка одиниці ваги $\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{v}} = \sqrt{\frac{0,4614}{4}} = 0,34''$

Таблиця № 10. Порівняльна таблиця зрівноважених дирекційних кутів і сторін

Назви напрямків	Зрівн.	Сист.	ΔS (мм)	$\alpha_{из}$	$\alpha_{ист.}$	$\Delta\alpha$ (сек)
B1	5111,575	5111,536	+39	85°07'06,93"	85°07'06,87"	+0,06
13	4754,548	4755,032	-484	100°39'22,5"	100°39'21,73"	+0,78
34	4395,000	4395,032	-32	354°36'05,71"	354°36'04,57"	+1,14
46	5034,163	5033,750	+413	79°29'10,32"	79°29'09,40"	+0,92
6Д	4916,729	4916,752	-23	89°13'48,29"	89°13'47,96"	+0,33

Середня квадратична похибка зрівноваженої сторони ходу складає:

$$m_s = \sqrt{\frac{\sum \Delta K^2}{5}} = \sqrt{\frac{407899}{5}} = 286 \text{ мм.}$$

Середня квадратична похибка зрівноваженого дирекційного кута:

$$m_{\alpha} = \sqrt{\frac{\sum \Delta K^2}{5}} = \sqrt{\frac{2,8669}{5}} = 0,76''$$

Таблиця № 11. Порівняльна таблиця незрівноважених дирекційних кутів і сторін

Назви напрямків	S _{нзр.}	S _{іст.}	Δ S (мм)	α нзр.	α іст.	Δ α (сек)
B1	5111,532	5111,536	-4	85°07'07,17"	85°07'06,87"	+0,30
13	4755,034	4755,032	+2	100°39'23,23"	100°39'21,73"	+1,50
34	4394,926	4395,032	-106	354°36'06,67"	354°36'04,57"	+2,10
46	5033,754	5033,750	+4	79°29'11,52"	79°29'09,40"	+2,12
6Д	4916,754	4916,752	+2	89°13'49,97"	89° 13'47,96"	+2,01

$$\sum \Delta S^2 = 11276$$

$$\sum \Delta \alpha^2 = 15,2845$$

Середня квадратична похибка незрівноваженої сторони ходу складає :

$$m_{S_{нз}} = \sqrt{\frac{11276}{5}} = 47 \text{ мм}$$

Середня квадратична похибка незрівноваженого дирекційного кута ходу

складає:

$$m_{\alpha_{нз}} = \sqrt{\frac{15,2845}{5}} = 1,75''.$$

Висновки

1. Запропонована ідея побудови геодезичних мереж несучільних спостережень чотирикутників без діагоналей.
 2. Розроблені теоретичні основи польового контролю.
 3. Розроблена методика корелатного способу зрівноваження .
 4. Складені програми на програмованих мікрокалькуляторах МК 61 і МК 52 для польових і камеральних обчислень даних мереж.
 5. Приведений практичний приклад повної камеральної обробки даних мереж.
 6. Встановлено, що при точності вимірювання сторін 5 мм і кутів - 1" при довжині сторін 5 км і довжині ходу 20 км не забезпечується допустима графічна точність визначення координат пунктів 5 см при топографічній зйомці масштабу 1: 500.
 7. В даних мережах великий вплив мають похибки функцій виміряних величин і основна похибка — це похибка сторони S34, яка зробила неможливим визначення координат пунктів з точністю 5 см.
 8. Дані мережі необхідно досліджувати, підбираючи співвідношення ваг вимірів і відповідну точність лінійних і кутових вимірів, і тоді цілком досягається точність визначення координат пунктів 5 см для даного ряду.
- Студентам у курсі пропонується скласти проект для досягнення необхідної точності даного ряду чотирикутників за умов несучільних спостережень. Необхідно виявити похибку систематичного характеру - вихідних даних, арифметичну похибку для повного узгодження всіх умов.

Література

1. Практикум по высшей геодезии / Н.В.Яковлев, Н.А.Беспалов, В.П.Глумов и др. М., Недра 1982. - 368 с.
2. Гайдаев П.А. Математическая обработка геодезических сетей. М., Недра, 1977.
3. Літнарівч Р.М. Розробка технології створення планової геодезичної мережі лінійно-кутовим методом несущільних спостережень. Навчальний посібник з курсу "Методи наукових досліджень". Частина XII. РДТУ, Рівне, 65 с.

Автор - Літнарівч Руслан Миколайович, доцент, к. т. н.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ОПОРИ МЕТОДОМ НЕСУЦІЛЬНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЧОТИРИКУТНИКІВ БЕЗ ДІАГОНАЛЕЙ

Навчальний посібник з курсу "Основні геодезичні роботи "

ЧАСТИНА-XV

Комп'ютерний набір і редагування тексту у видавничому редакторі Word for Windows: Моляр Ольга Володимирівна

м. Чернігів

вул. Стрілецька,1

[URL:www.geci.cn.ua](http://www.geci.cn.ua)

E-mail:rector@geci.cn.ua

Тел.: (0462) 179-308

(04622) 5-61-70