

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ
ЕКОНОМІКИ І УПРАВЛІННЯ

Р.М. ЛІТНАРОВИЧ

**СТВОРЕННЯ ПЛАНОВОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ
МЕТОДОМ ПАРНИХ ЛАНОК ЗАСІЧОК**

Навчальний посібник з курсу

“ОСНОВНІ ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ”

Частина VIII

м. Чернігів, 2001 р.

УДК 378.147.31

Літнарівч Р.М. Створення планової геодезичної мережі методом парних ланок засічок. Навчальний посібник з курсу “Основні геодезичні роботи”. Частина VIII., м. Чернігів, 2001, - 80 с.

Затверджено на засіданні Вченої ради ЧДІЕУ, 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

ЗМІСТ

Введення	3
2. Побудова і дослідження експериментальної мережі.	
Польовий контроль	4
2.1 Побудова моделі дослідження	4
2.2 Польовий контроль при створенні планової геодезичної основи	
Методом ПЛЗ	8
2.3 Зрівноваження ряду ПЛЗ спрощеним способом	21
2.4 Зрівноваження ряду по виміряним кутам β і допоміжним кутам ω	32
2.5 Зрівноваження ряду по виміряним кутам β	39
2.6 Зрівноваження ряду ПЛЗ по напрямкам	41
2.7 Дослідження точності визначення координат пунктів в залежності від точності виміру кутів	45
2.8 Оцінка точності елементів ряду ПЛЗ	57
2.9 Попередній розрахунок елементів в МПЛЗ	61
Висновки	63
Література	64
Список приведених програм	64
Додатки	65

Введення

У VII частині навчального посібника з курсу “Основні геодезичні роботи” були приведені принципові схеми методу створення опорних геодезичних мереж парними ланками засічок (ПЛЗ), розроблені теоретичні основи визначення співвідношення елементів типової фігури МПЛЗ, розглянуті умовні рівняння, які виникають в невільній мережі.

У даній VIII частині посібника розглядаються методи польових контролей, будується модель для проведення досліджень, розробляється методика зрівноваження і досліджується точність елементів мережі.

Дослідження виконується методом спотвореної моделі. Генеруються середні квадратичні похибки в діапазоні $0,7'' - 2''$ і $5''$ вимірювання горизонтальних кутів.

Знаючи істинні координати моделі і одержавши імовірніші координати в результаті строгого зрівноваження, появляється можливість зробити оцінку точності визначення координат, сторін і дирекційних кутів.

В розглядаємих мережах відсутні умовні рівняння фігур. Польовий контроль виконується розрахунком вільних членів базисного умовного рівняння, умовного рівняння дирекційних кутів і координатних умовних рівнянь по розробленим авторам програмах на програмованих мікрокалькуляторах МК 61 і МК 52 в польових умовах після закінчення польових спостережень на останньому пункті спостереження.

2. Побудова і дослідження експериментальної мережі. Польовий контроль

2.1. Побудова моделі дослідження

На плані крупного масштабу запроектований ряд геодезичних чотирикутників. Координати пунктів визначені графічно. По координатам рішені обернені геодезичні задачі і одержані горизонтальні кути, які прийнято за істинні значення кутів моделі. За даними кутами вираховані координати пунктів, які прийнято за істинні.

В дальшому кути моделі спотворювались істинними похибками в діапазонах 2", 4" і 5". По спотвореним кутам проводилось строге зрівноваження з оцінкою точності результатів і порівнювались результати з істинними значеннями координат. Крім цього, порівнювались результати зрівноваження мереж суцільних і несуцільних спостережень. Дані дослідження проведено на семи моделях.

Випадкові числа генерувались на персональному комп'ютері по слідуєчій програмі на мові BASIC.

Програма №1. Генератор випадкових чисел

```
10 PRINT "Генератор випадкових чисел в діапазоні від -M до +M"  
20 INPUT "Введіть С.К.П. вимірів і їх число"; M; N  
30 DIM Z(N)  
40 X=-M; Y=+M; PRINT "M="; M; PRINT "N="; N;  
50 FOR I=1 TO N  
60 Z(I) = ((Y-X)* RND(I)+X)  
70 PRINT USING "Z(##.)=###.##"; I; Z(I);  
80 NEXT I  
90 END
```

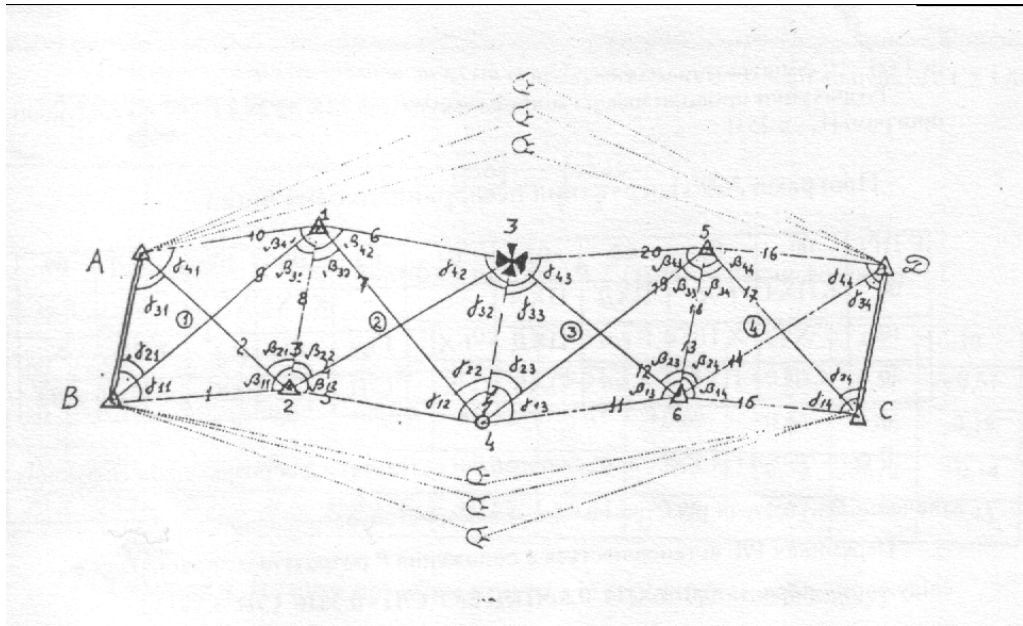


Рис.1. Експериментальних ряд, який розвивається методом парних ланок засічок (МПЛЗ). Координати вихідних пунктів А, В, С, Д отримані по системі GPS. β_i – вимірювані кути; γ_i – вимірювані кути;

Крім цього, генерувались псевдовипадкові числа, розподілені за нормальним законом [1, - с. 251].

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (2.1.1)$$

Значення Δ_{2i-1} , Δ_{2i} генеруються із ζ_i ($i=1,2,3 \dots$) за

$$\Delta_{2i-1} = (-2\text{Ln}\zeta_i)^{1/2} \cos(e^9 \zeta_i), \quad (2.1.2)$$

$$\Delta_{2i} = (-2\text{Ln}\zeta_i)^{1/2} \sin(e^9 \zeta_i), \quad (2.1.3)$$

Значення ζ_i виробляються за допомогою лінійного конгруентного методу

$$\zeta_i + 1 = F(11\zeta_i + \pi), \quad (2.1.4)$$

де $F(z)$ – дробна частина від z .

Розрахунки проводились на мікрокалькуляторі МК 52 №133799 по слідуєчій програмі [1, - с. 251]

Програма №2 генерування псевдовипадкових чисел

F ПРГ	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	КПХ4	F π	ПХД	ПХ 4	:	+	K X	ХПД	9	Fe ^x
10	X	X ПС	F cos	ПХД	FX ²	FLn	/-/	F $\sqrt{\quad}$	ХПВ	X
20	С/П	ПХС	F sin	ПХВ	X	С/П	БП	ОО	F	АВТ

В регістрах 4 і Д зберігаються проміжні результати для розрахунків слідуєчих значень Δ_i , тому ці регістри не можна використовувати для других цілей.

Перемикач Р/Г встановлюється в положення Р розрахунки проводяться в слідуєчому порядку 0,011 ХП4 0,3 ХПД В/О С/П – 0,5816 С/П 1,1933 ...

Таблиця 1. Псевдовипадкові числа для дослідження спотвореної моделі

	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	-0,58	+1,19	-0,61	0,23	+0,20	+1,19	+0,89	+0,64	-0,75
10	-1,09	-1,59	+0,11	+0,09	-0,91	-1,61	-1,67	+0,30	-0,65
20	+0,35	+0,30	-1,53	+0,93	-0,23	+0,19	-0,12	-0,54	-0,19

Істинні значення напрямків спотворювались істинно похибкою у 2", яка генерувалась по нормальному закону. Середня квадратична похибка виміряних кутів становила $2'' \sqrt{2} = 2,8''$.

Таблиця 2. Побудова модклі №1 дослідження ряду ПЛЗ

Кути	Істинне значення	Δ''	Значення спотвореної модулі	Кути	Істинне значення	Δ''	Значення спотвореної модулі
β_{11}	100°00'08.54	-0,54	100°00'08.00"	β_{13}	108°02'15.00"	-1,00	100°00'08.54"
β_{21}	48°58'15.10	-0,60	48°58'14.50	β_{23}	59°03'02.17	+0,43	48°58'15.10
β_{31}	41°29'35.71	+0,39	41°29'36.10	β_{33}	38°28'03.05	-3,05	100°00'08.54
β_{41}	81°25'14.21	-0,11	81°25'14.10	β_{43}	77°48'09.25	-1,25	100°00'08.54
β_{12}	95°32'16.32	-2,52	95°32'13.80	β_{14}	92°27'12.19	+2,51	100°00'08.54
β_{22}	45°30'07.82	+2,28	45°30'10.10	β_{24}	53°31'07.21	+2,59	100°00'08.54
β_{32}	41°58'07.14	-0,94	41°58'06.20	β_{34}	49°32'18.09	-0,39	100°00'08.54
β_{42}	76°32'15.07	-1,17	76°32'13.90	β_{44}	85°27'17.05	+2,15	100°00'08.54

$\Sigma VV = 44,45$

При переході від напрямків до кутів із врахуванням кутів тільки на пунктах 1, 2, 5, 6 одержана середня квадратична похибка кута модулі

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{r}} = \sqrt{\frac{44,45}{4}} = 3,33''$$

Таблиця 3. Істинні похибки при $m_{\beta}=0,7''$ (трангуляція 1 класу)

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
00	+0,30	+0,26	-0,03	+0,70	+0,21	-0,51	-0,18	+0,12	-0,51	+0,61
10	+0,39	-0,27	-0,37	+0,55	+0,12	-0,05	+0,69	+0,46	-0,66	-0,18
20	+0,01	+0,07	-0,54	-0,19	+0,45	+0,52	-0,12	+0,30	-0,70	+0,14
30	-0,03	+0,37	-0,56	+0,06	+0,53	+0,45	-0,45	+0,04	-0,45	-0,43

Таблиця 4. Істинні похибки при $m_{\beta}=1''$ (трангуляція 2 класу)

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
00	+0,43	+0,37	-0,04	+1,00	+0,29	-0,74	-0,26	+0,17	-0,73	+0,87
10	-0,56	-0,38	-0,53	+0,79	+0,17	-0,08	-0,99	+0,65	-0,95	-0,25
20	+0,01	+0,10	+0,77	-0,28	+0,64	+0,75	-0,17	+0,42	-1,00	+0,20
30	-0,04	+0,53	-0,81	+0,09	+0,76	+0,65	-0,64	+0,06	-0,65	-0,60

Таблиця 5. Істинні похибки при $m_{\beta}=1,5''$ (трангуляція 3 класу)

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
00	+0,65	+0,55	-0,05	+1,50	+0,44	-1,10	-0,39	+0,26	-1,10	+1,30
10	-0,84	-0,57	-0,80	+1,19	+0,26	-0,11	-1,49	+0,98	-1,42	-0,38
20	+0,02	+0,15	-1,16	+0,42	+0,96	+1,12	-0,26	+0,63	-1,50	+0,30
30	-0,06	+0,80	+1,21	+0,43	+1,14	+0,97	-0,96	+0,08	-0,97	-0,91

Таблиця 6. Істинні похибки при $m_{\beta}=2''$ (трангуляція 4 класу)

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
00	+0,86	+0,73	-0,07	+2,00	+0,59	-1,47	-0,52	+0,35	-1,46	+1,74
10	-1,12	-0,76	-1,07	+1,58	+0,34	-0,15	-1,99	+1,30	-1,89	-0,50
20	+0,03	+0,20	-1,54	-0,55	+1,28	+1,49	-0,34	+0,84	-2,00	+0,40
30	-0,09	+1,07	-1,61	+0,18	+1,52	+1,29	-1,28	+0,11	-1,29	-1,22

2.2. Польовий контроль при створенні планової геодезичної основи методом ПЛЗ

Принцип метода парних ланок полягає в побудові і закріпленні на місцевості рядів геодезичних чотирикутників, виміру горизонтальних кутів β і тільки з двох кутів парних чотирикутників.

Розрахунок невимірюваних кутів γ_i виконують за формулами

$$\gamma_{1i} = 180^\circ - \beta_{1i} + \omega_i, \quad (2.2.1)$$

$$\gamma_{2i} = \omega_i + \beta_{3i}, \quad (2.2.2)$$

$$\gamma_{2i} = \beta_{2i} - \omega_i, \quad (2.2.3)$$

$$\gamma_{4i} = 180^\circ - \omega_i - \beta_{4i}, \quad (2.2.4)$$

$$\operatorname{tg}\omega_i = \frac{(\operatorname{ctg}\beta_{1i} + \operatorname{ctg}\beta_{3i}) - (\operatorname{ctg}\beta_{2i} + \operatorname{ctg}\beta_{4i})}{\operatorname{ctg}\beta_{2i} \operatorname{ctg}\beta_{3i} - \operatorname{ctg}\beta_{1i} \operatorname{ctg}\beta_{4i}} \quad (2.2.5)$$

Передачу зв'язуючих сторін виконуються за формулами

$$S_n = S_{\text{вих}} \frac{t_1 \cdot t_2}{t_1' \cdot t_2'}, \quad (2.2.6)$$

$$t_i = \sqrt{\left(\frac{1}{\operatorname{ctg}\beta_{2i} + \operatorname{ctg}\beta_{4i}} - \frac{1}{\operatorname{ctg}\beta_{1i} + \operatorname{ctg}\beta_{34i}} \right)^2 - \left(\frac{\operatorname{ctg}\beta_{2i}}{\operatorname{ctg}\beta_{2i} + \operatorname{ctg}\beta_{4i}} - \frac{\operatorname{ctg}\beta_{1i}}{\operatorname{ctg}\beta_{1i} + \operatorname{ctg}\beta_{34i}} \right)^2}, \quad (2.2.7)$$

де t_i' - коефіцієнти, які визначаються із рішення задачі Ганзена, тобто при визначенні сторони з кінцевих пунктів якої виконують спостереження напрямків;

t_i коефіцієнти для визначення сторони, з кінцевих пунктів в якої спостереження ведуться;

i – номер чотирикутника.

Так, наприклад,

$$S_{12} = S_{AB} \frac{1}{t_1'}, \quad (2.2.8)$$

$$S_{34} = S_{AB} \frac{t_1}{t_1'}, \quad (2.2.9)$$

$$S_{56} = S_{AB} \frac{t_1}{t_1' \cdot t_2'}, \quad (2.2.10)$$

$$S_{CD} = S_{AB} \frac{t_1 \cdot t_2}{t_1' \cdot t_2'}. \quad (2.2.11)$$

Розрахунок сторони S_{CD} і порівняння її з вихідною і буде першим польовим контролем, тобто

$$W_S = S_{CD} - S_{CD \text{ вих}}, \quad (2.2.12)$$

Відносна похибка передачі сторони $f_{\text{відн}}$ і дасть інформацію про якість польових вимірів

$$f_{\text{відн}} = \frac{W_s}{S_{\text{CD}}}. \quad (2.2.13)$$

Після порівнюють одержану похибку з допустимою для даного класу або розряду триангуляції

$$f_{\text{відн}} \leq f_{\text{доп}} \quad (2.2.14)$$

Другим польовим контролем буде розрахунок дирекційного кута α_{CD} вихідної сторони

$$\alpha_{\text{CD}} = \alpha_{\text{AB}} + \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4, \quad (2.2.15)$$

Вільний член умовного рівняння дирекційних кутів знаходять з виразу

$$W_\alpha = \alpha_{\text{кінц.вирах.}} - \alpha_{\text{кінц.вихід.}}$$

Приймаючи до уваги, що середня квадратична похибка передачі дирекційних кутів врівноваженого ряду, прокладено між двома вихідними сторонами з відомими дирекційними кутами, розраховується за формулою

$$m_\alpha = 1,58m_\beta \sqrt{n}, \quad (2.2.17)$$

допустиме значення вільного члена умовного рівняння дирекційних кутів розраховується за формулою

$$W_{\alpha\text{доп.}} \leq 2,5 m_\alpha, \quad (2.2.18)$$

або

$$W_{\alpha\text{доп.}} = 4\mu \sqrt{n} \quad (2.2.19)$$

де n – число чотирикутників в ряді;

μ - середня квадратична похибка одиниці ваги.

При цьому слід враховувати, щов формулах (2.2.18) і (2.2.19) не враховані похибки вихідних дирекційних кутів.

Практична реалізація вищче приведених теоретичних положень виконана на програмованих мікрокалькуляторах МК 61 і МК 52.

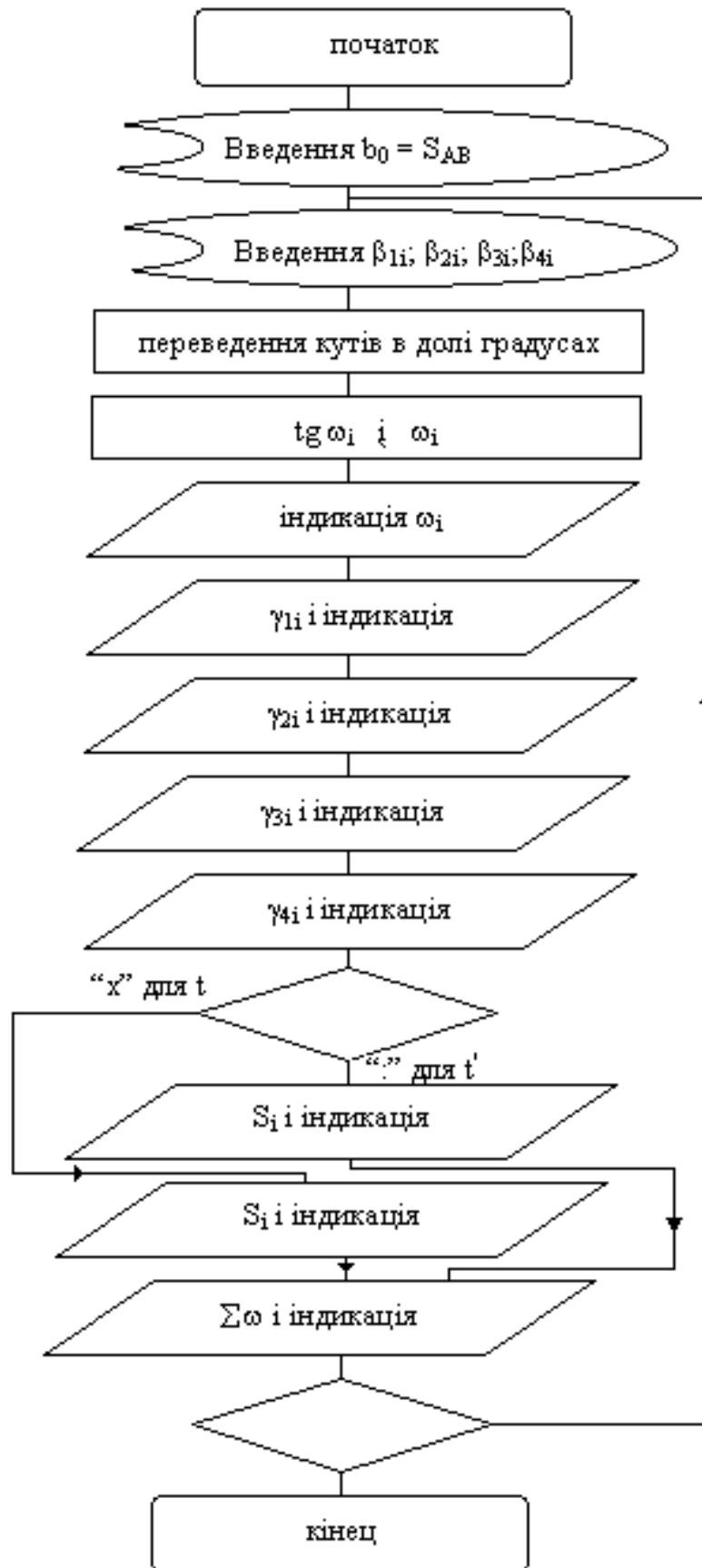
Програма №2 генерування псевдовипадкових чисел

F ПРГ	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	4	ХП0	С/П	К $\overline{0\Pi\Pi}$	Ftg	F 1/x	КХП4	FL0
10	04	ПХ7	ПХ8	Х	ПХ6	ПХ9	Х	-	ХП1	ПХ6
20	ПХ8	+	ПХ7	ПХ9	+	-	ПХ1	:	Ftg ⁻¹	К $\overline{0\Pi\Pi}$
30	С/П	К $\overline{0\Pi\Pi}$	ХП1	ПХа	К $\overline{0\Pi\Pi}$	-	1	8	0	+
40	К $\overline{0\Pi\Pi}$	С/П	ПХ1	ПХС	К $\overline{0\Pi\Pi}$	+	К $\overline{0\Pi\Pi}$	С/П	ПХ2	К $\overline{0\Pi\Pi}$
50	ПХ1	-	К $\overline{0\Pi\Pi}$	С/П	1	8	0	ПХ1	-	ПХd
60	К $\overline{0\Pi\Pi}$	-	К $\overline{0\Pi\Pi}$	С/П	ПХ6	ПХ8	+	f 1/x	ХПе	ПХ7
70	ПХ9	+	F1/x	ХП2	ХПе	-	Fx ²	ХПО	ПХ2	ПХ7
80	Х	ХПе	ПХ6	Х	-	Fx ²	ПХО	+	F $\sqrt{\quad}$	ХП4
90	ПХ5	ПХ4	С/П	ХП5	С/П	ПХ1	ПХ3	+	ХП3	К $\overline{0\Pi\Pi}$
100	С/П	БП	ОО	F	АВТ					

ІНСТРУКЦІЯ

1. Перемикач Р/Г встановлюється в положення Г.
2. Перед початком розрахунку ввести вихідний базис S_{AB} в регістр 5/ S_{AB} ХП5/.
3. Вводять виміряні кути в геодезичному чотирикутнику (градуси, мінути, секунди) β_{1i} ХПа; β_{2i} ХПв; β_{3i} ХПс; β_{4i} ХПd. С/П.
4. Індикація на дисплеї мікрокалькулятора послідовно через натиск клавіші С/П: ω_i ; γ_{1i} ; γ_{2i} ; γ_{3i} ; γ_{4i} в градусах, мінутах і секундах.
5. Індикація t_i або t'_i .
6. Натиск клавіші “:” (ділення), якщо визначають сторону, з кінцевих пунктів якої виконують спостереження (рішення задачі Ганзена), абл клавішу “х” (множення), якщо визначають недоступну сторону.
7. Зчитують довжину зв’язуючої.
8. Два рази натискають клавішу С/П і зчитують $\sum\omega_i$ в градусах, мінутах, секундах.
9. Два рази натискають клавішу С/П і набирають кути другого чотирикутника.
10. В новому розрахунку (для другого ряду) необхідно обнулити регістр 3 (0ХП3).

БЛОК-СХЕМА ПРОГРАМИ



Протокол №1 виконання польового контролю по програмі №3. ($m_B=3,33''$ модель)

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз. нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз. нач.
1	4992,25 ХП5		S _{AB}	37	108°02'14.0"		β ₁₃
2	В/О С/П			38	ХПа С/П		
3	100°00'08.0"		β ₁₁	39	59°03'02.6"		β ₂₃
4	ХПа С/П			40	ХПв С/П		
5	48°58'14.5"		β ₂₁	41	38°28'00.0"		β ₃₃
6	ХПв С/П			42	ХПс С/П		
7	41°29'36.1"		β ₃₁	43	77°48'08.0"		β ₄₃
8	ХПс С/П			44	ХПd С/П		
9	81°25'14.1"		β ₄₁	45		8°05'04.94"	ω ₃
10	ХПd С/П			46	С/П	80°02'51.04"	γ ₁₃
11		-3°47'09.37"	ω ₁	47	С/П	46°33'04.94"	γ ₂₃
12	С/П	76°12'42.70"	γ ₁₁	48	С/П	50°57'57.65"	γ ₃₃
13	С/П	37°42'26.72"	γ ₂₁	49	С/П	94°06'47.05"	γ ₄₃
14	С/П	54°45'23.86"	γ ₃₁	50	С/П	1,0949223	t ₃
15	С/П	102°21'55.3"	γ ₄₁	51	“.”	4013.902	S ₅₆
16	С/П	1,039344	t ₁	52	С/П С/П	-6°12'59.35"	Σω
17	“.” ГАНЗЕНА	4803,270	S ₁₂	53	С/П		
18	С/П С/П	-3°47'09.37"	Σω	54	92°27'14.7"		β ₁₄
19	С/П			55	ХПа С/П		
20	95°32'13.8"		β ₁₂	56	53°31'09.8"		β ₂₄
21	ХПа С/П			57	ХПв С/П		
22	45°30'10.1"		β ₂₂	58	49°32'17.7"		β ₃₄
23	ХПв С/П			59	ХПс С/П		
24	41°58'06.2"		β ₃₂	60	85°27'19.20"		β ₄₄
25	ХПс С/П			61	ХПd С/П		
26	76°32'13.9"		β ₄₂	62		0°48'00.25"	ω ₄
27	ХПd С/П			63	С/П	86°44'45.06"	γ ₁₄
28		-10°30'54.93"	ω ₂	64	С/П	48°44'17.45"	γ ₂₄
29	С/П	73°56'51.29"	γ ₁₂	65	С/П	54°19'10.04"	γ ₃₄
30	С/П	31°27'11.26"	γ ₂₂	66	С/П	95°20'41.06"	γ ₄₄
31	С/П	56°01'05.01"	γ ₃₂	67	С/П	0,95593806	t ₄
32	С/П	113°58'41.08"	γ ₄₂	68	“.”	3837,042	S _{CD}
33	С/П	0,91498315	t ₂	69	С/П С/П	-7°00'59.60"	Σω
34	“x” Пр. зас.	4394,910	S ₃₄	70		3836,965	S _{CDвих}
35	С/П С/П	-14°18'04.36"	Σω	71		+0,077	W
36	С/П						

$$\Sigma\omega_{\text{теор}} = \alpha_{CD} + (-\alpha_{BA}) = 1^\circ53'04.32'' - 8^\circ54'25.00'' = -7^\circ01'20.68''.$$

$$W_n = \sum \omega_{\text{теор}} - \sum \omega_{\text{рас}} = +21,08''$$

На основі одержаного розрахунку відносна похибка визначення сторони CD буде:

$$f_{\text{відн}} = \frac{0,077}{3836,965} = \frac{1}{49830} \approx \frac{1}{50000},$$

що цілком задовольняє триангуляцію 1 розряду.

При середній квадратичній похибці вимірювання кутів в триангуляції 1 розряду рівній 5'', допустиме значення вільного члена умовного рівняння дирекційних кутів

$$W_{\alpha} = 4 \times 5\sqrt{4} = 40''$$

при $W_{\alpha\text{факт}} = 21,08''$

Таким чином, розроблена методика польового контролю дає можливість на останньому пункті спостереження на протязі декількох хвилин виконати надійний польовий контроль.

Безпідставні твердження в слабості польового контролю через відсутність умовних рівнянь фігур. В полігонометрії і трилатерації вони також відсутні, але дані методи є в арсеналі геодезії.

Особливо актуальним є розвиток даних мереж при спостереженні за деформаціями і зсувами, де необхідно поквартально або помісячно визначати координати пунктів.

По даній методиці в найкоротший час спостерігається мережа, на ряд пунктів якої доступ затруднений.

Наземні методи в найкоротший час незалежно від широкого примінення методу космічної геодезії GPS.

Замітимо, що ми розглянули вище невелику мережу ПЛЗ, яка опирається на дві вихідні сторони.

Аналогічні контролю будуть і у вільній мережі, представлений на рис.2.

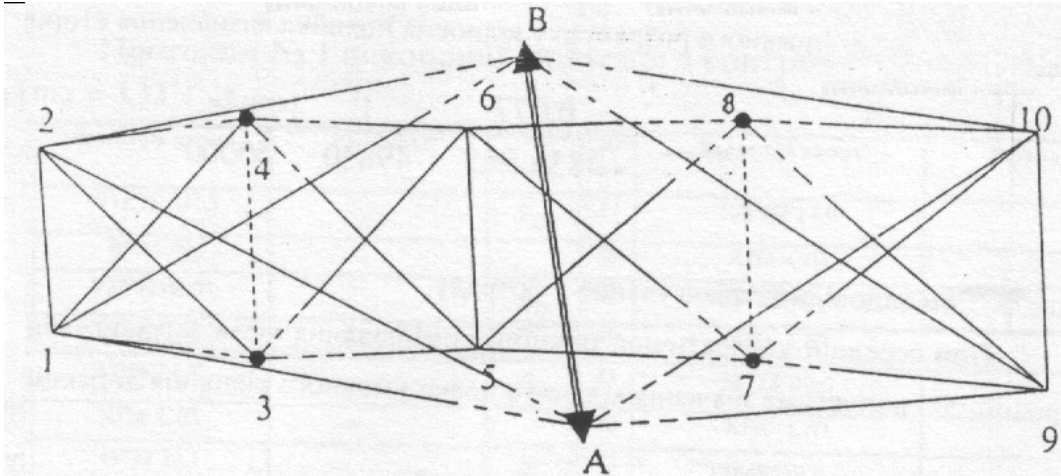


Рис.2. Вільний ряд, розвиваємий ПЛЗ.

На рис.2. приведена принципова схема вільного ряду ПЛЗ, який опирається на вихідні пункти А і В. польовим контролем в даному випадку, також, буде визначення вільних членів базисного і умовного рівняння дирекційних кутів.

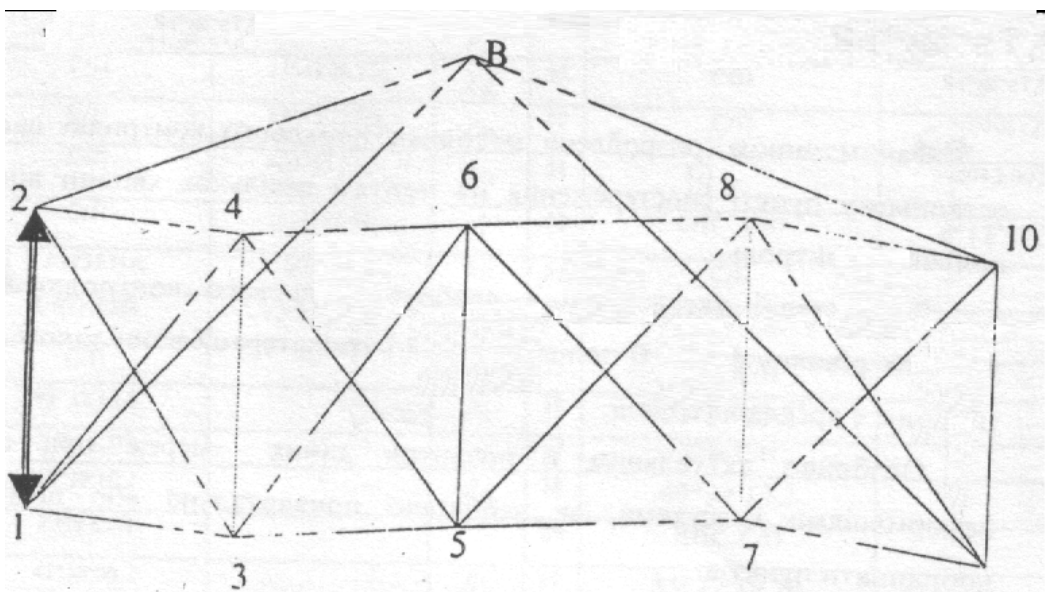


Рис.3. Вільний ряд, розвиває МПЛЗ. Пункти 1 і 2 вихідні.

Польовий контроль у вільному ряді, приведену на рис.3 виконується розрахунком координат довільного пункту В добре видимого зі сторони 1-2 і 9-10.

При відомих координатах чотирьох пунктів А, В, С і Д автором розроблена програма, яка дає можливість виконати польовий контроль розрахунком координат пунктів.

В основу програми покладений алгоритм рішення задачі Ганзена і прямих кутових засічок по формулам Гаусса.

Абсиси пунктів розраховуються за формулами:

$$X_i = \frac{X_{ліє} \operatorname{tg} \alpha_{ліє} - X_{np} \operatorname{tg} \alpha_{np} - Y_{ліє} + Y_{np}}{\operatorname{tg} \alpha_{ліє} - \operatorname{tg} \alpha_{np}}, \quad (2.2.20)$$

ординати пунктів

$$Y_i = Y_{\text{пр}} + (X_i - X_{\text{пр}}) \text{tg} \alpha_{\text{пр}}, \quad (2.2.21)$$

де X_i, Y_i – абсциса і ордината визначаємого пункту;

$X_{\text{л}}, Y_{\text{л}}$ – абсциса і ордината лівого пункту базисної сторони;

$X_{\text{п}}, Y_{\text{п}}$ – абсциса і ордината правого пункту базисної сторони;

$\alpha_{\text{лів}}, \alpha_{\text{пр}}$ – дирекційні кути з лівого і правого базисного пункту на визначаємий.

Вихідними даними є виміряні кути β_i в даному геодезичному чотирикутнику і відомі координати двох пунктів.

Із рішення оберненої геодезичної задачі визначається румб вихідної сторони, наприклад:

$$\text{tg} Y_{AB} = \frac{Y_A - Y_B}{X_A - X_B}, \quad (2.2.22)$$

де Y_A, X_A - ордината і абсциса лівого пункту базису;

Y_B, X_B - ордината і абсциса правого пункту базису;

Розраховується кут ω між стороною вихідного базису і стороною, утвореною визначаємыми пунктами по формулі (2.2.25).

Дирекційний кут α_{21} сторони S_{12} знаходять із виразу:

$$\alpha_{21} = \alpha_{AB} + \omega_1, \quad (2.2.23)$$

а для визначення координат пункту 2, одержимо

$$\alpha_{2 \text{ лів}} = \alpha_{21} - \beta_{21}, \quad (2.2.24)$$

$$\alpha_{2 \text{ пр}} = \alpha_{21} - \beta_{11}, \quad (2.2.25)$$

При визначенні ж координат пункту 1 дирекційні кути засічки будуть

$$\alpha_{1 \text{ лів}} = \alpha_{12} + \beta_{41}, \quad (2.2.26)$$

$$\alpha_{1 \text{ пр}} = \alpha_{12} - \beta_{31}, \quad (2.2.27)$$

Для визначення координат пункту 4 маємо:

$$\alpha_{4 \text{ лів}} = \alpha_{12} - \beta_{32}, \quad (2.2.28)$$

$$\alpha_{4 \text{ пр}} = \alpha_{21} + \beta_{42}, \quad (2.2.29)$$

При визначенні ж координат пункту 3 будемо мати:

$$\alpha_{3 \text{ лів}} = \alpha_{12} - \beta_{42}, \quad (2.2.30)$$

$$\alpha_{3 \text{ пр}} = \alpha_{21} + \beta_{32}, \quad (2.2.31)$$

Приймаючи до уваги, що $\text{tg}(180^\circ \pm \alpha) = \pm \text{tg} \alpha$ і $\text{tg}(360^\circ - \alpha) = -\text{tg} \alpha$, при розрахунку координат по формулам Гауса перехід від румбів до дирекційних кутів не виконувався.

Крім розрахунку координат пунктів по цій програмі при необхідності визначають прирости координат між визначаємими пунктами і румб напрямку, що дає можливість зразу визначити довжину сторони і її дирекційний кут. А це і буде польовим контролем при розвитку ряду між відомими сторонами, дирекційні кути яких також відомі. При наявності ж відомих координат кінцевих пунктів, зразу визначають вільні члени координатних умовних рівнянь. В даному випадку виконують зустрічне вирахування координат.

Імовірнішим значенням координат пунктів 3 і 4 при спрощеному врівноваженні буде середнє арифметичне із двох значень. Одержана нев'язка від цього середнього розприділяється пропорційно по пунктам зовнішніх сторін по кожному від середини.

Програма №4 розрахунку попередніх координат пунктів при розвитку рядів МПЛЗ

F прг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	4	ХП0	С/П	F tg	F 1/x	КХП4	FLO	04
10	С/П	ПХ7	ПХ8	Х	ПХ6	ПХ9	Х	-	ХП1	ПХ6
20	ПХ8	+	ПХ7	ПХ9	+	-	ПХ1	:	F tg ⁻¹	ХПЕ
30	С/П	ХП0	С/П	ХП1	-	С/П	ХП2	С/П	ХП3	-
40	:	F tg ⁻¹	ПХ E	+	ХП4	ПХ4	ПХв	-	F tg	ХП5
50	ПХ4	ПХа	-	F tg	ХП6	ПП	68	ХП9	ПХ8	ХП7
60	ПХd	/-/	ХПв	ХПс	/-/	ХПа	ПП	45	ПХ3	ПХ6
70	Х	ПХ2	ПХ5	Х	-	ПХ1	-	ПХ0	+	ПХ6
80	ПХ5	-	:	С/П	ХП8	ПХ3	-	ПХ6	F 1/x	:
90	ПХ1	+	С/П	В/О	ХП0	ПХ9	-	С/П	ПХ8	ПХ7
100	-	С/П	:	F tg ⁻¹	С/П	F	АВТ			

ІНСТУКЦІЯ

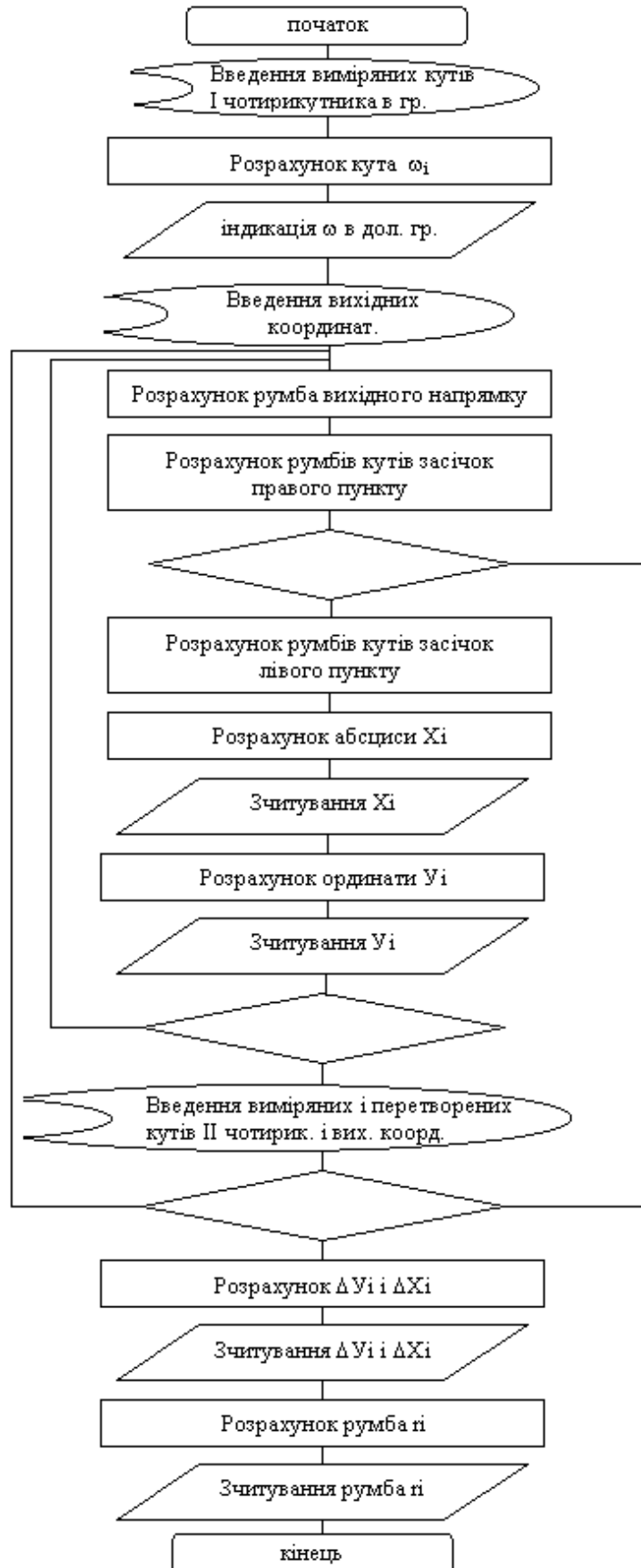
1. Перемикач Р/Г поставити в положення Г.
2. Введення виміряних кутів в першому геодезичному чотирикутнику (градуси, мінути, секунди) β_{1i} К0Ш, ХПа, С/П; β_{2i} К0Ш, ХПв, С/П; β_{3i} К0Ш, ХПс, С/П; β_{4i} К0Ш, ХПd, С/П, С/П.
3. Зчитування кута ω в градусах і долях градуса.
4. Введення координат базисного пункту $Y_{лів}$ С/П; $Y_{пр}$ С/П; $X_{лів}$ С/П; $X_{пр}$ С/П.
5. Зчитування координат визначаємих пунктів $X_{пр}$ С/П; $Y_{пр}$ С/П; $X_{лів}$ С/П; $Y_{лів}$ С/П.
6. Натиск клавіші БП 94 С/П.

7. Зчитування ΔY_i і ΔX_i і \checkmark_i .
8. Натиск клавіші БП 29 С/П.
9. Ввести “нуль” в реєстр Е (ОХПЕ).
10. Введення перетворених кутів другого чотирикутника) $\beta_{12} \text{ /-/ } \overline{K0\Pi}$, ХПа; $\beta_{32} \text{ В } \uparrow 180+\overline{K0\Pi}$, ХПв; $\beta_{22} \overline{K0\Pi}$, ХПс; $\beta_{42} \text{ В } \uparrow 180 + \text{ /-/ } \overline{K0\Pi}$, ХПд.
11. Введення координат, визначених у попередньому розрахунку $Y_{\text{лів}} \text{ С/П}$; $Y_{\text{пр}} \text{ С/П}$; $X_{\text{лів}} \text{ С/П}$; $X_{\text{пр}} \text{ С/П}$.
12. Зчитування координат визначаємих пунктів $X_{\text{пр}} \text{ С/П}$; $Y_{\text{пр}} \text{ С/П}$; $X_{\text{лів}} \text{ С/П}$; $Y_{\text{лів}} \text{ С/П}$.
13. Натиск клавіші БП 94 С/П.
14. Зчитування ΔY_i і ΔX_i і румба.
15. Натиск клавіші В/О С/П і перехід до розрахунку другої типової фігури методу ПЛЗ.
16. В новому розрахунку обнуляти реєстр Е.

Нижче приводиться блок-схема програми, яка показує структуру і принцип дії при розрахунку координат пунктів в рядах ПЛЗ.

Оскільки програмований мікрокалькулятор Електроніка МК 52 має довгострокову пам'ять, то один раз набравши дану програму можна її багатократно використовувати як польових умовах, так і при подальшій камеральній обробці.

БЛОК-СХЕМА ПРОГРАМИ



Протокол №2 розрахунку істинних координат моделі на мікрокалькуляторі МК 52 №133799.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	В/О С/П	4		41	59°03'02.17"		β_{23}
2	100°00'08.54"		β_{11}	42	К $\overline{0\text{III}}$ ХПв С/П		
3	К $\overline{0\text{III}}$ ХПа С/П			43	38°28'03.05"		β_{33}
4	48°58'15.10"		β_{21}	44	К $\overline{0\text{III}}$ ХПс С/П		
5	К $\overline{0\text{III}}$ ХПв С/П			45	77°48'09.25"		β_{43}
6	41°29'35.71"		β_{31}	46	К $\overline{0\text{III}}$ ХPd С/П С/П	+8,0821593°	ω_3
7	К $\overline{0\text{III}}$ ХПс С/П			47	10876,947 С/П		У $_{3\text{лів}}$
8	81°25'14.21"		β_{41}	48	11290,212 С/П		У $_{4\text{пр}}$
9	К $\overline{0\text{III}}$ ХPd С/П	-3,785530°	ω_1	49	4933,491 С/П		Х $_{3\text{лів}}$
10	2297,186 С/П		У $_{2\text{лів}}$	50	557,932 С/П		Х $_{4\text{пр}}$
11	1524,235 С/П		У $_{2\text{пр}}$	51		1755,716 С/П	Х $_{4\text{пр}}$
12	5934,594 С/П		Х $_{2\text{лів}}$	52		15653,358 С/П	У $_{4\text{пр}}$
13	1002,545 С/П		Х $_{2\text{пр}}$	53		5765,233 С/П	Х $_{5\text{лів}}$
14		1437,462 С/П	Х $_{2\text{пр}}$	54		15841,507	У $_{5\text{лів}}$
15		6617,235 С/П	У $_{2\text{пр}}$	55	БП 29 С/П		
16		6221,548 С/П	Х $_{1\text{лів}}$	56	ОХПЕ		
17		7046,007	У $_{1\text{лів}}$	57	92°27'12.19"		β_{14}
18	БП 29 С/П			58	/-/ К $\overline{0\text{III}}$ ХПа		
19	ОХПЕ			59	49°32'18.09"		β_{34}
20	95°32'16.32"		β_{12}	60	В \uparrow 180 + К $\overline{0\text{III}}$		
21	К $\overline{0\text{III}}$ ХПа			61	ХПв		
22	41°58'07.14"		β_{32}	62	53°31'07.21"		β_{24}
23	В \uparrow 180 + К $\overline{0\text{III}}$ ХПв			63	К $\overline{0\text{III}}$ ХПс		
24	45°30'07.82"		β_{22}	64	85°27'17.05"		β_{44}
25	К $\overline{0\text{III}}$ ХПс			65	В \uparrow 180 + /-/		
26	76°32'15.07"		β_{42}	66	К $\overline{0\text{III}}$ ХPd		
27	В \uparrow 180 + /-/			67	15841,507 С/П		У $_{5\text{лів}}$
28	К $\overline{0\text{III}}$ ХPd			68	15653,358 С/П		У $_{6\text{пр}}$
29	7046,007 С/П		У $_{1\text{лів}}$	69	5765,233 С/П		Х $_{5\text{лів}}$
30	6617,235 С/П		У $_{2\text{пр}}$	70	1755,716 С/П		Х $_{6\text{пр}}$
31	6221,548 С/П		Х $_{1\text{лів}}$	71		1311,388 С/П	Х $_{\text{дпр}}$
32	1437,462 С/П		Х $_{2\text{пр}}$	72		20592,951 С/П	У $_{\text{дпр}}$
33		557,932 С/П	Х $_{4\text{пр}}$	73		5146,283 С/П	Х $_{\text{слів}}$
34		11290,212 С/П	У $_{4\text{пр}}$	74		20719,147	У $_{\text{слів}}$
35		4933,491 С/П	Х $_{3\text{лів}}$	75	БП 94 С/П	+126,196 С/П	$\Delta\text{У}_{\text{сд}}$
36		10876,947	У $_{3\text{лів}}$	76		+3834,894 С/П	$\Delta\text{Х}_{\text{сд}}$
37	ОХПЕ			77		108847689°	Гел
38	В/О С/П				К $\overline{0\text{III}}$	1°53'07.17"	$\alpha_{\text{сд}}$
39	108°02'15.00"		β_{13}		К $\overline{0\text{III}}$ F cos		
40	К $\overline{0\text{III}}$ ХПа С/П				3834.894 F 1/x	3836,974	S $_{\text{сд}}$

2.3. Зрівношення ряду ПЛЗ спрощеним способом

Приймаючи до уваги, що координати пунктів 1, 2, 5 і 6 неможливо визначити через вимірні кути β_i , розрахуємо їх координати через невимірні кути γ_i по формулам Юнга. Для цього автором розроблена програма №5.

Програма №5 розрахунку координат по формулам Юнга.

F прг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	4	ХП0	С/П	КХП4	FLO	04	ХПв	С/П
10	$\overline{K0\Pi}$	ХПв	Ftg	F 1/x	ХП2	ХПС	С/П	$\overline{K0\Pi}$	ХПС	Ftg
20	F 1/x	ХП3	+	ХП4	ПХ8	ПХ2	Х	ПХ6	ПХ3	Х
30	+	ПХ7	-	ПХ9	+	ПХ4	:	С/П	ПХ7	ПХ3
40	Х	ПХ9	ПХ2	Х	+	ПХ6	+	ПХ8	-	ПХ4
50	:	С/П	БП	09	F	АВТ				

Протокол №3 розрахунку попередніх координат пунктів 1 і 2,3,4.

№ п/п	Ведення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	В/О С/П	4		14	В/О С/П	4	
2	5934,594 С/П		$X_{алів}$	15	6221,582 С/П		$X_{1лів}$
3	2297,186 С/П		$Y_{алів}$	16	7045,984 С/П		$Y_{1лів}$
4	1002,545 С/П		$X_{апр}$	17	1437,486 С/П		$X_{2пр}$
5	1524,235 С/П		$Y_{апр}$	18	6617,249 С/П		$Y_{2пр}$
6	52°45'23,86 С/П		$Y_{31лів}$	19	41°58'06,20 С/П		β_{32}
7	76°12'42,70С/П		$Y_{11пр}$	20	95°32'13,80 С/П		β_{12}
8		1437,486 С/П	X_2	21		558,062 С/П	X_4
9		6617,249 /П	Y_2	22		11290,142 С/П	Y_4
10	102°21'55,33 С/П		$Y_{41лів}$	23	76°32'13,90 С/П		β_{42}
11	37°42'26,0С/П		$Y_{21пр}$	24	45°30'10,10 С/П		β_{22}
12		6221,582 С/П	X_1	25		4933,514 С/П	X_3
13		7045.984	Y_1	26		10876,986	Y_3

Протокол № 4 розрахунку попередніх координат пунктів 5, 6, 3, 4.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач
1	В/О С/П			14	В/О С/П		
2	1311,42 С/П		X _{слів}	15	1755,623 С/П		X _{6лів}
3	20592,95 С/П		У _{слів}	16	15653,419 С/П		У _{6лів}
4	5146,31 С/П		X _{дпр}	17	5765,040 С/П		X _{5пр}
5	20719,13 С/П		У _{дпр}	18	15841,420 С/П		У _{5пр}
6	86°44'45,06" С/П		γ ₁₄	19	108°02'14,0 С/П		β ₁₃
7	54°19'10,04 С/П		γ ₃₄	20	38°28'00,0 С/П		β ₃₃
8		1755,623 С/П	X ₆	21		557,797 С/П	X ₄
9		15653,419 С/П	У ₆	22		11290,636 С/П	У ₄
10	48°44'17,45 С/П		γ ₂₄	23	59°03'02,6" С/П		β ₂₃
11	95°20'41,06 С/П		γ ₄₄	24	77°48'08,0" С/П		β ₄₃
12		5765,040 С/П	X ₅	25		4933,16 С/П	X ₃
13		15841,420	У ₅	26		10877,041	У ₃

Вільні члени координатних умовних рівнянь будуть:

$$W_{X4} = 558,062 - 557,797 = +0,265$$

$$W_{Y4} = 11290,142 - 11290,636 = -0,494$$

$$W_{X3} = 4933,514 - 4933,116 = +0,398$$

$$W_{Y3} = 10876,986 - 10877,041 = -0,055$$

Приймаючи кути γ_i за виміряні величини проведемо зрівноваження корелатним способом. Хоч в даному випадку це і буде порушенням строгості зрівноваження, але для багатьох цілей даного способу цілком достатньо для обробки рядів ПЛЗ. Даний спосіб зрівноваження цілком достатній і для наукових досліджень вважав професор В.Д.Большаков.

Проведемо зустрічний обрахунок сторін і дирекційних кутів за кутами Гамма по програмі №3.

Протокол №5 розрахунку зв'язуючих сторін і кутів ω та γ .

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз. нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз. нач.
1	4992,25 ХП5		S_{AB}	37	3836,965		S_{CD}
2	В/О С/П			38	В/О С/П		
3	76°12'42.7"		γ_{11}	39	86°44'45.06"		γ_{14}
4	ХПа С/П			40	ХПа С/П		
5	37°42'26.72"		γ_{21}	41	48°44'17.45"		γ_{24}
6	ХПв С/П			42	ХПв С/П		
7	54°45'23.86"		γ_{31}	43	54°19'10.04"		γ_{34}
8	ХПс С/П			44	ХПс С/П		
9	102°21'55.3"		γ_{41}	45	95°20'41.06"		γ_{44}
10	ХПд С/П			46	ХПд С/П		
11		-3°47'09.43"	ω_1	47		-0°48'00.27"	ω_3
12	С/П	100°00'08.0"	β_{11}	48	С/П	92°27'14.69"	β_{14}
13	С/П	48°58'14.5"	β_{21}	49	С/П	53°31'09.76"	β_{24}
14	С/П	41°29'36.1"	β_{31}	50	С/П	49°32'17.71"	β_{34}
15	С/П	81°25'14.1"	β_{41}	51	С/П	85°27'19.22"	β_{44}
16	С/П	0,9621451	t_1	52	С/П	1,0949227	t_4
17	“X”	4803,269	S_{12}	53	“X”	4013.821	S_{56}
18	С/П С/П	-3°47'09.43"	$\Sigma\omega$	54	С/П С/П	-0°48'00.27"	$\Sigma\omega$
19	С/П			55	С/П		
20	95°32'13.8"		β_{12}	56	108°02'14.0"		β_{13}
21	ХПа С/П			57	ХПа С/П		
22	45°30'10.1"		β_{22}	58	59°03'02.6"		β_{23}
23	ХПв С/П			59	ХПв С/П		
24	41°58'06.2"		β_{32}	60	38°28'00.0"		β_{33}
25	ХПс С/П			61	ХПс С/П		
26	76°32'13.9"		β_{42}	62	77°48'08.0"		β_{43}
27	ХПд С/П			63	ХПд С/П		
28		-10°30'54.93"	ω_2	64		8°05'04.94"	ω_4
29	С/П	73°56'51.29"	γ_{12}	65	С/П	80°02'51.04"	γ_{13}
30	С/П	31°27'11.26"	γ_{22}	66	С/П	46°33'04.94"	γ_{23}
31	С/П	56°01'05.01"	γ_{32}	67	С/П	50°57'57.65"	γ_{33}
32	С/П	113°58'41.00"	γ_{42}	68	С/П	94°06'47.05"	γ_{43}
33	С/П	0,91498315	t_2	69	С/П	1,0949223	t_3
34	“X”	4394,910	S_{34}	70	“X”	4394,822	S_{CD}
35	С/П С/П	-14°18'04.36"	$\Sigma\omega$	71	С/П С/П	7°17'04.67"	$\Sigma\omega$
36	С/П		$\Sigma\omega=0$				

Таким чином, $\Sigma\omega$ вирах = $(\omega_1 + \omega_2) + (\omega_3 + \omega_4) = -14°18'04.36" + 7°17'04.67" = -7°00'59.69"$.

$$W_a = +20,59''$$

$$W_b = +SS_{MM}$$

$$W_s = S_{34} - S'_{34} = 4394,910 - 4394,822 = +0,088_m$$

Протокол №6 розрахунку коефіцієнтів умовного рівняння дирекційних кутів досліджуваної моделі через кути γ_i .

№ п/п	Введення даних	Результат	Познач	№ п/п	Введення даних	Результат	Познач
1	В/О С/П	4		11	86°44'45,06" С/П		γ_{14}
2	76°12'42,7" С/П		γ_{11}	12	48°17'17,45 С/П		γ_{24}
3	37°42'26,72 С/П		γ_{12}	13	54°19'10,04 С/П		γ_{34}
4	52°45'23,86 С/П		γ_{13}	14	95°20'41,06 С/П		γ_{44}
5	102°21'55,3 С/П		γ_{14}	15		-1,581 С/П	a_{14}
6		-1,032 С/П	a_{11}	16		-2,414 С/П	a_{24}
7		-1,644 С/П	a_{31}	17		+2,757 С/П	a_{34}
8		+2,43 С/П	a_{21}	18		+1,589 С/П	a_{44}
9		+1,022 С/П	a_{41}				
10	В/О С/П						

На основі даних результатів із врахуванням розрахунку коефіцієнтів умовного рівняння дирекційних кутів через кути β_i для чотирикутників 1234 і 3456 одержимо умовне рівняння дирекційних кутів.

$$-1,032(\gamma_{11})+2,437(\gamma_{21})-1,644(\gamma_{31})+1,022(\gamma_{41})-0,836(\beta_{12})+1,352(\beta_{22})-2,291(\beta_{32})+0,900(\beta_{42})-1,581(\gamma_{14})+2,757(\gamma_{24})-2,414(\gamma_{34})+1,589(\gamma_{44})-1,354(\beta_{13})+1,904(\beta_{23})-2,808(\beta_{33})+1,301(\beta_{43})+20,59'' = 0. \quad (2.3.1)$$

де

$$(\omega_1) = -1,032(\gamma_{11})+2,437(\gamma_{21})-1,644(\gamma_{31})+1,022(\gamma_{41}), \quad (2.3.2)$$

$$(\omega_2) = -0,836(\beta_{12})+1,352(\beta_{22})-2,291(\beta_{32})+0,900(\beta_{42}), \quad (2.3.3)$$

$$(\omega_3) = -1,581(\gamma_{14})+2,757(\gamma_{24})-2,414(\gamma_{34})+1,589(\gamma_{44}), \quad (2.3.4)$$

$$(\omega_4) = -1,354(\beta_{13})+1,904(\beta_{23})-2,808(\beta_{33})+1,301(\beta_{43}), \quad (2.3.5)$$

Приведемо результати розрахунку коефіцієнтів умовного рівняння сторін через кути γ_i .

Протокол №7 розрахунку коефіцієнтів умовного рівняння сторін через кути γ_i .

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач
1	В/О С/П	4		10	В/О С/П		
2	76°12'42,7" С/П		γ_{11}	11	86°44'45,06" С/П		γ_{14}
3	37°42'26,72 С/П		γ_{21}		48°17'17,45 С/П		γ_{24}
4	52°45'23,86 С/П		γ_{31}		54°19'10,04 С/П		γ_{34}
5	102°21'55,3 С/П		γ_{41}		95°20'41,06 С/П		γ_{44}
6		+1,644 С/П	B'_{11}			+2,558 С/П	B'_{14}
7		-0,537 С/П	B'_{31}			-0,226 С/П	B'_{24}
8		+0,681 С/П	B'_{21}			+0,480 С/П	B'_{34}
9		+2,140 С/П	B'_{41}			+2,966 С/П	B'_{44}

На основі виконаних розрахунків умовне рівняння сторін буде:

$$\frac{S_{12}}{2pt_1} [+1,664(\gamma_{11}) + 0,618(\gamma_{12}) - 0,537(\gamma_{31}) + 2,140(\gamma_{41})] + \frac{S_{34}}{2pt_2} [+2,288(\beta_{12}) - 1,006(\beta_{22}) + 1,104(\beta_{32}) + 1,015(\beta_{42})] -$$

$$- \frac{S_{56}}{2pt_4} [+2,558(\gamma_{14}) + 0,480(\gamma_{24}) - 0,226(\gamma_{34}) + 2,966(\gamma_{44})] - \frac{S_{34}}{2pt_3} [+3,076(\beta_{13}) - 0,328(\beta_{23}) + 1,182(\beta_{33}) + 2,529(\beta_{43})] +$$

$$+88\text{мм} = 0, \quad (2.3.6)$$

або

$$12,101[+1,664(\gamma_{11}) + 0,681(\gamma_{21}) - 0,573(\gamma_{31}) + 2,140(\gamma_{41})] +$$

$$+11,643[+2,288(\beta_{12}) - 1,006(\beta_{22}) + 1,104(\beta_{32}) + 1,015(\beta_{42})] -$$

$$-9,301[+2,558(\gamma_{14}) + 0,480(\gamma_{24}) - 0,226(\gamma_{34}) + 2,966(\gamma_{44})] -$$

$$-9,730[+3,076(\beta_{13}) - 0,328(\beta_{23}) + 1,182(\beta_{33}) + 2,529(\beta_{43})] + 88 = 0, \quad (2.3.7)$$

і в кінцевому вигляді

$$+20,137(\gamma_{11}) + 8,241(\gamma_{21}) - 6,489(\gamma_{31}) + 25,897(\gamma_{41}) +$$

$$+26,640(\beta_{12}) - 11,713(\beta_{22}) + 12,854(\beta_{32}) + 11,818(\beta_{42}) -$$

$$-23,792(\gamma_{14}) - 4,464(\gamma_{24}) + 2,12(\gamma_{34}) - 27,587(\gamma_{44}) -$$

$$-29,929(\beta_{13}) + 3,191(\beta_{23}) - 11,500(\beta_{33}) - 24,606(\beta_{43}) + 88 = 0, \quad (2.3.8)$$

Всі результати обчислень зведемо в таблицю коефіцієнтів умовних рівнянь.

Систему умовних рівнянь і вагової функції, які приведені в таблиці нижче, запишемо в матричній формі

$$AV + W = 0, \quad (2.3.9)$$

де A –прямокутня матриця коефіцієнтів умовних рівнянь і вагової функції;

V – вектор-стовпець поправок виміряних з вагами p кутів або напрямків;

W – вектор-стовпець вільних членів умовних рівнянь.

Від рівнянь поправок перейдемо до системи нормальних рівнянь корелат:

$$ACA^TK + W = 0, \quad (2.3.10)$$

де C – діагональна матриця обернених ваг $q = \frac{1}{p}$ виміряних напрямків;

A^T – транспонована по відношенню до A матриця коефіцієнтів умовних рівнянь;

K – вектор-стовпець корелат нормальних рівнянь.

Систему нормальних рівнянь запишемо у вигляді:

$$NK + W = 0, \quad (2.3.11)$$

де N – квадратна матриця коефіцієнтів нормальних рівнянь:

$$N = ACA^T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{23} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{24} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}, \quad (2.3.12)$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \end{bmatrix}, \quad (2.3.13)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{bmatrix}, \quad (2.3.14)$$

При рівноночних вимірах напрямків $C=E$, де E -одинична матриця, і тому:

$$N=AA^T, \quad (2.3.15)$$

Помноживши рівняння (2.3.11) зліва на матрицю $N^{-1}=Q$, одержимо вектор K шуканих корелат

$$K=-QW, \quad (2.3.16)$$

де Q – матриця ваг коефіцієнтів, обернена до матриці N коефіцієнтів нормальних рівнянь

$$Q = N^{-1} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} & Q_{14} \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} & Q_{24} \\ Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} & Q_{34} \\ Q_{41} & Q_{42} & Q_{43} & Q_{44} \end{bmatrix}, \quad (2.3.17)$$

Вектор поправок виміряних напрямків:

$$V=CA^TK, \quad (2.3.18)$$

Або, при рівно точно виміряних напрямках:

$$V=A^TK, \quad (2.3.19)$$

Таблиця 7. Коефіцієнти умовних рівнянь, поправки і зрівноважені кути

Назва поправки	(α)	(S)	(S)	(X_4)	(Y_4)	V"	Виміряні кути	Зрівноважені кути
(γ_{11})	-1,032	+1,664	+20,137	-3,424	+46,830	+0,29	76°12'42,70"	76°12'42,99"
(γ_{21})	+2,437	+0,681	+8,241	-56,768	-2,056	+0,75	37°42'26,72"	37°42'27,47"
(γ_{31})	-1,644	-0,537	-6,498	+41,792	+39,177	+0,08	52°45'23,86"	52°45'23,94"
(γ_{41})	+1,022	+2,140	+25,897	-28,086	+21,826	0	102°21'55,30"	102°21'55,30"
(β_{12})	-0,836	+2,288	+26,640	-27,304	+20,461	+0,17	95°32'13,80"	95°32'13,97"
(β_{22})	+1,352	-1,006	-11,713	0	0	0,25	45°30'10,10"	45°30'10,35"
(β_{32})	-2,291	+1,104	+12,854	-9,392	+49,908	+0,90	41°58'06,20"	41°58'07,10"
(β_{42})	+0,900	+1,015	+11,818	0	0	-0,53	76°32'13,90"	76°32'13,37"
(γ_{14})	-1,581	+2,558	-23,792	-5,369	+65,694	+2,29	86°44'45,06"	86°44'47,35"
(γ_{24})	+2,757	+0,480	-4,404	+59,580	-11,374	-1,83	48°44'17,45"	48°44'15,62"
(γ_{34})	-2,414	-0,226	+2,102	-55,874	+58,665	+2,59	54°19'10,04"	54°19'12,63"
(γ_{44})	+1,589	+2,966	-25,587	+41,467	+19,434	+0,10	95°20'41,06"	95°20'41,16"
(β_{13})	-1,354	+3,076	-29,929	+29,919	+26,153	+0,95	108°02'14,00"	108°02'14,95"
(β_{23})	+1,904	-0,328	+3,191	0	0	-0,35	59°03'02,60"	59°03'02,25"
(β_{33})	-2,808	+1,182	-11,500	+16,076	+58,576	+1,36	38°28'00,00"	38°28'01,36"
(β_{43})	+1,301	+2,529	-24,606	0	0	+0,71	77°48'08,00"	77°48'08,71"

Коефіцієнти нормальних рівнянь визначаються по розробленій автором програмі.

Програма №6 переходу від системи умовних рівнянь розміром $4 \times n$ до системи нормальних рівнянь 4×4 .

Ф прг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	Cx	XП2	XП4	XП5	XП7	XП8	XП9	XПв	XПс	XПd
10	XПе	C/П	XП0	C/П	XП1	Fx^2	ПХ2	+	XП2	C/П
20	XП3	Fx^2	ПХ4	+	XП4	ПХ1	ПХ3	X	ПХ5	+
30	XП5	C/П	XП6	Fx^2	ПХ7	+	XП7	ПХ1	ПХ6	X
40	ПХ8	+	XП8	ПХ3	ПХ6	X	ПХ9	+	XП2	C/П
50	XПа	Fx^2	ПХв	+	XПв	ПХа	ПХ1	X	ПХе	+
60	XПс	ПХ3	ПХа	X	ПХd	+	XПd	ПХ6	ПХа	X
70	ПХе	+	ПХе	FLO	13	ПХ2	C/П	ПХ5	C/П	ПХ4
80	C/П	ПХ8	C/П	ПХ9	C/П	ПХ7	C/П	ПХе	C/П	ПХd
90	C/П	ПХе	C/П	ПХв	C/П	БП	00	F	АВТ	

Після натиску клавіш В/О С/П вводиться число умовних рівнянь n і построчно всі коефіцієнти таблиці. Після вводу останнього коефіцієнта натиском клавіш С/П виводяться коефіцієнти [аа] С/П [ав] С/П [авв] С/П [ас] С/П [вс] С/П [сс] С/П [ад] С/П [вд] С/П [а] С/П [dd] С/П.

Таблиця 8. Коефіцієнти нормальних рівнянь.

	а]	в]	с]	д]	-W
а]	52,8256	+2,8091	+99,9928	-672,7341	-20,59"
в]		5333,1461	-4863,7278	-958,0606	-88мм
с]			16177,046	-1824,9669	-265мм
д]				19497,407	+494мм

Рішення нормальних рівнянь виконано по програмі, приведеній у [2, - с.79].

Програма №7 рішення систем лінійних рівнянь при $n \leq 4$.

F прг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	ХП4	1	4	ХП2	ПХ0	ХП1	С/П	ПХ4	:	КХП2
10	FL1	06	1	4	ХП3	ПХ0	ХП1	FL1	23	КХП3
20	С/П	БП	19	Сх	КХП2	FL1	24	КХП2	ПХ0	ПХ2
30	+	ХП1	ХП2	ПХ3	-	FX≠0	42	С/П	ПП	84
40	БП	28	КПХ0	ПХ0	ХП3	С/П	КПХ2	-	ХП4	С/П
50	КПХ2	-	ПХ4	:	КХП1	FL3	49	ПХ1	ПХ0	+
60	ХП3	1	4	ХП1	ХП2	КПХ1	/-/	ПП	84	ПХ3
70	+	ХП3	ПХ1	-	FX=0	65	ПХ0	ХП1	КПХ3	КХП2
80	FL1	78	БП	12	ПХ0	↔	В ↑	КПХ3	Х	КПХ1
90	+	КХП2	FO	FL0	86	FO	ХП0	В/О	F	АВТ

Перед розрахунком по програмі слід ввести число рівнянь n в регістр 0, тобто в ХП0, після набирають коефіцієнт [аа] В/О С/П [ав] С/П [ас] С/П [ад] С/П -W С/П [ав] С/П [авв] С/П...

По кожній строчці вводиться 4 коефіцієнти і вільний член з оберненим знаком. В кінці розрахунку одержують:

$$\text{ПХd} - 0,1256056 = K_1; \text{ПХc} - 0,0356462 = K_2;$$

$$\text{ПХв} - 0,0244080 = K_3; \text{ПХа} - 0,0169666 = K_4.$$

Розрахунок поправок в кути виконується по розробленій автором програмі №8, яка реалізує формулу:

$$V_i = K_1(a_i) + K_2(b_i) + K_3(c_i) + K_4(d_i). \quad (2.3.20)$$

Програма №8 розрахунку поправок в кути.

F прг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	Cx	XПе	C/П	XП0	XПd	0	C/П	КПХ0	ПХ0	1
10	-	FX=0	06	ПXd	XП0	КПХ0	C/П	X	ПХe	+
20	XПе	ПХ0	1	-	FX=0	15	ПХe	C/П	Cx	XПе
30	БП	13	F	АВТ						

Програма розрахована для вводу не більше 12 корелат.

Після натиску клавіш В/О С/П вводиться n+1 числа умовних рівнянь n і після натиску клавіші С/П всі корелати. Після натиску клавіші С/П вводять коефіцієнти i-ої строчки умовних рівнянь і отримують поправку. Корелати автоматично визиваються із пам'яті калькулятора і в дальнішому набираються тільки коефіцієнти умовних рівнянь відповідної строчки і висвічується на дисплеї значення поправки.

Корисно спочатку перевірити як дані корелати задовільняють умову нормального рівняння.

По зрівноваженим кутам визначені координати і дана порівняльна характеристика із істинними і істинних координат.

Таблиця № 9. Порівняльна таблиця зрівноважених і істинних координат.

№ пунктів	X зрівн.	X іст.	Δ	У зрівн.	У іст.	Δ
1	6221,585	6221,548	+0,037	7046,028	7046,007	+0,021
2	1437,480	1437,462	+0,018	6617,259	6617,735	+0,024
3	4933,477	4933,491	-0,014	10877,029	10876,947	+0,082
4	558,014	557,932	+0,082	11290,211	11290,212	-0,001
5	5765,030	5765,233	-0,203	15841,513	15841,507	+0,006
6	1755,585	1755,716	-0,131	15653,225	15653,358	-0,133
4'	558,002			11290,204		
3'	4933,467			10877,016		

Остаточні значення вільних членів:

$$Wx'_4 = +12\text{мм}; \quad Wx'_3 = +10\text{мм}; \quad Wy'_4 = +7\text{мм}; \quad Wy'_3 = +13\text{мм}; \quad Ws'_4 = -3\text{мм};$$

Приймаючи граничні значення в два рази більші за середні квадратичні похибки, можемо сказати, що при вимірах кутів з точністю 3" одержують координати з точністю +10см.

Остаточні значення вільних членів визвані похибками округлення, вони не перевищують 1 см і ними можна нехтувати.

Цікаво прослідкувати розходження попередніх і істинних координат пунктів.

Таблиця 10. Порівняльна таблиця незрівноважених істинних координат.

№ пунктів	X незрівн.	X іст.	Δ	У незрівн.	У іст.	Δ
1	6221,582	6221,548	+0,034	7045,984	7046,007	-0,023
2	1437,486	1437,462	+0,024	6617,249	6617,235	-0,014
3	4933,514	4933,491	+0,023	10876,986	10876,947	+0,039
4	558,062	557,932	+0,130	11290,142	11290,212	-0,070
5	5765,040	5765,233	-0,193	15841,420	15841,507	-0,087
6	1755,623	1755,716	-0,093	15653,419	15653,358	+0,061
4'	557,797	557,932	-0,135	11290,636	11290,212	+0,424
3'	4933,116	4933,491	-0,375	10877,041	10876,947	+0,094

Вільні члени координатних умовних рівнянь будуть:

$$Wx'_4 = +12\text{мм}, \quad Wx'_3 = +10\text{мм}$$

$$Wy'_4 = +7\text{мм}, \quad Wy'_3 = +13\text{мм}$$

З порівняльних таблиць бачимо, що найбільші розходження зрівноважених координат складають:

$$\Delta x_5 = -0,203 \quad \text{і} \quad \Delta y_6 = -0,133$$

а незрівноважених координат:

$$\Delta x'_3 = -0,375 \quad \text{і} \quad \Delta y_4 = +0,424$$

таким чином, зрівноваження майже у два рази зменшило розходження координат пунктів з їх істинними значеннями.

Середня квадратична похибка одиниці ваги μ по результатам зрівноваження склала:

$$\mu = \sqrt{\frac{v^2}{\mu}} = 2,26''$$

Середня квадратична похибка середньої квадратичної похибки одиниці ваги буде:

$$m_{\mu} = \frac{\mu}{\sqrt{2\nu}} = 0,80''$$

Таким чином, середня квадратична похибка моделювання кутів складає 3,32". Всі напрямки на кожному пункті моделювались з середньою квадратичною похибкою в 2". При переході до кутів із врахуванням кутів тільки на пунктах 1, 2, 5, 6 точність визначення координат пунктів становить 10см.

2.4. Зрівноваження ряду по вимірним кутам β і допоміжним кутам ω

Розглянемо спосіб зрівноваження з виявленням істинних похибок зрівноважених величин. Візьмемо повний диференціал із формул:

$$\gamma_{1i} = 180^\circ - \beta_{1i} + \omega_i \quad (2.4.1)$$

$$\gamma_{2i} = \omega_i + \beta_{3i} \quad (2.4.2)$$

$$\gamma_{3i} = \beta_{2i} - \omega_i \quad (2.4.3)$$

$$\gamma_{4i} = 180^\circ - \omega_i - \beta_{4i} \quad (2.4.4)$$

і перейшовши до поправок, одержимо

$$(\gamma_{1i}) = (\omega_i) - (\beta_{1i}) \quad (2.4.5)$$

$$(\gamma_{2i}) = (\omega_i) + (\beta_{3i}) \quad (2.4.6)$$

$$(\gamma_{3i}) = (\omega_i) - (\beta_{2i}) \quad (2.4.7)$$

$$(\gamma_{4i}) = -(\omega_i) - (\beta_{4i}) \quad (2.4.8)$$

Підставляючи далі значення формули поправок (1.7.21) – (1.7.24) і (1.7.37) – (1.7.40), отримаємо:

$$(x_1) = \frac{(x_1 - x_B)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{41})}{p(\text{ctg} \gamma_{41} + \text{ctg} \gamma_{21})} [-(w_1) - (\beta_{41})] + \frac{(x_1 - x_A)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{21})}{p(\text{ctg} \gamma_{41} + \text{ctg} \gamma_{21})} [(w_1) + (\beta_{31})], \quad (2.4.9)$$

$$(y_1) = \frac{(y_1 - y_B)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{41})}{p(\text{ctg} \gamma_{41} + \text{ctg} \gamma_{21})} [-(w_1) - (\beta_{41})] + \frac{(y_1 - y_A)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{21})}{p(\text{ctg} \gamma_{41} + \text{ctg} \gamma_{21})} [(w_1) + (\beta_{31})], \quad (2.4.10)$$

$$(x_2) = \frac{(x_2 - x_B)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{31})}{p(\text{ctg} \gamma_{31} + \text{ctg} \gamma_{11})} [-(w_1) + (\beta_{21})] + \frac{(x_2 - x_A)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{11})}{p(\text{ctg} \gamma_{31} + \text{ctg} \gamma_{11})} [(w_1) - (\beta_{11})], \quad (2.4.11)$$

$$(y_2) = \frac{(y_2 - y_B)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{31})}{p(\text{ctg} \gamma_{31} + \text{ctg} \gamma_{11})} [-(w_1) - (\beta_{21})] + \frac{(y_2 - y_A)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{11})}{p(\text{ctg} \gamma_{31} + \text{ctg} \gamma_{11})} [(w_1) + (\beta_{11})], \quad (2.4.12)$$

$$(x_5) = \frac{(x_5 - x_D)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{24})}{p(\text{ctg} \gamma_{24} + \text{ctg} \gamma_{44})} [(w_4) + (\beta_{34})] + \frac{(x_5 - x_C)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{44})}{p(\text{ctg} \gamma_{24} + \text{ctg} \gamma_{44})} [-(w_4) - (\beta_{44})], \quad (2.4.13)$$

$$(y_5) = \frac{(y_5 - y_D)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{24})}{p(\text{ctg} \gamma_{24} + \text{ctg} \gamma_{44})} [(w_4) + (\beta_{34})] + \frac{(y_5 - y_C)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{44})}{p(\text{ctg} \gamma_{24} + \text{ctg} \gamma_{44})} [-(w_4) - (\beta_{44})], \quad (2.4.14)$$

$$(x_6) = \frac{(x_6 - x_D)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{14})}{p(\text{ctg} \gamma_{14} + \text{ctg} \gamma_{34})} [(w_4) + (\beta_{14})] + \frac{(x_6 - x_C)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{34})}{p(\text{ctg} \gamma_{14} + \text{ctg} \gamma_{34})} [-(w_4) - (\beta_{24})], \quad (2.4.15)$$

$$(y_6) = \frac{(y_6 - y_D)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{14})}{p(\text{ctg} \gamma_{14} + \text{ctg} \gamma_{34})} [(w_4) + (\beta_{14})] + \frac{(y_6 - y_C)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{34})}{p(\text{ctg} \gamma_{14} + \text{ctg} \gamma_{34})} [-(w_4) - (\beta_{24})], \quad (2.4.16)$$

Підставляючи значення (γ_i) в умовні рівняння координат, одержимо:

$$\begin{aligned} & -3,424[(w_1) - (\beta_{11})] - 56,768[(w_1) - (\beta_{31})] + 41,792[-(w_1) + (\beta_{21})] - 28,086[-(w_1) - (\beta_{41})] - \\ & - 27,304(\beta_{12}) - 9,392(\beta_{32}) - 5,369[(w_4) - (\beta_{14})] + 59,580[(w_2) + (\beta_{34})] - 55,874[-(w_4) + (\beta_{24})] + \\ & + 41,467[-(w_4) - (\beta_{44})] + 29,919(\beta_{13}) + 16,076(\beta_{33}) + 265 = 0, \end{aligned} \quad (2.4.17)$$

$$\begin{aligned} & +46,830[(w_1) - (\beta_{11})] - 2,056[(w_1) + (\beta_{31})] + 39,177[-(w_1) + (\beta_{21})] + 21,826[-(w_1) - (\beta_{41})] + \\ & + 20,461(\beta_{12}) + 49,908(\beta_{32}) + 26,153(\beta_{13}) + 58,579(\beta_{33}) + 65,694[-(w_4) - (\beta_{14})] - \\ & - 11,374 [(w_4) + (\beta_{34})] + 58,665[-(w_4) + (\beta_{24})] + 19,434[-(w_4) - (\beta_{44})] - 494 = 0, \end{aligned} \quad (2.4.18)$$

Приймаючи до уваги, що:

$$(w_1) = -3,424 - 56,768 - 41,792 + 28,086 = -73,898, \quad (2.4.19)$$

$$(w_1) = +46,830 - 2,056 - 39,177 - 21,862 = -16,229, \quad (2.4.20)$$

$$(w_4) = -5,369 + 59,580 + 55,874 - 41,467 = -73,898, \quad (2.4.21)$$

$$(\omega_4) = +65,694 - 11,374 - 58,665 - 19,434 = -23,779, \quad (2.4.22)$$

і координатні умовні рівняння приймуть вигляд:

$$+3,424(\beta_{11}) + 41,792(\beta_{21}) - 56,768(\beta_{31}) + 28,086(\beta_{41}) - 73,898(\omega_1) - 27,304(\beta_{12}) - 9,392(\beta_{32}) + 29,919(\beta_{13}) + 16,076(\beta_{33}) + 5,369(\beta_{14}) - 55,874(\beta_{24}) + 59,580(\beta_{34}) - 41,467(\beta_{44}) + 68,618(\omega_4) + 265 = 0, \quad (2.4.23)$$

$$-46,830(\beta_{11}) + 39,177(\beta_{21}) - 2,056(\beta_{31}) - 21,826(\beta_{41}) - 16,229(\omega_1) + 20,461(\beta_{12}) + 49,908(\beta_{32}) + 26,153(\beta_{13}) + 58,576(\beta_{33}) - 65,694(\beta_{14}) + 58,665(\beta_{24}) - 11,374(\beta_{34}) - 19,434(\beta_{44}) - 23,779(\omega_4) - 494 = 0, \quad (2.4.24)$$

Таблиця 11. Коефіцієнти умовних рівнянь, поправки в кути і їх зрівноважені значення.

Назва попр.	(α)	(Si)	(x_4)	(y_4)	V	Виміряні кути	Зрівноважені кути
(β_{11})	-1,006	-31,491	+3,424	-46,830	-0,16	100°00'08,0	100°00'07,84
(β_{21})	+1,602	+8,503	+41,79	+39,177	-0,47	48°58'14,5	48°58'14,03
(β_{31})	-2,374	-14,104	-56,768	-2,056	+1,93	41°29'31,1	41°29'38,03
(β_{41})	+0,996	-18,328	+28,086	-21,826	-0,99	81°25'14,1	81°25'13,11
(ω_1)	0	0	-73,898	-16,229	+0,54	-3°47'09,37	-3°47'08,83
(β_{12})	-0,836	+26,639	-27,304	+20,461	+0,75	95°32'13,8	95°32'14,55
(β_{22})	+1,352	-11,713	0	0	-0,41	45°30'10,1	45°30'09,69
(β_{32})	-2,291	+12,854	-9,392	+49,908	+2,06	41°58'06,2	41°58'08,26
(β_{42})	+0,900	+11,818	0	0	-0,59	76°32'13,9	76°32'13,31
(β_{13})	-1,578	+25,751	+5,369	-65,694	-1,27	92°27'14,7	92°27'13,43
(β_{23})	+2,410	-4,193	-55,874	+58,665	+1,02	53°31'09,8	53°31'10,82
(β_{33})	-2,752	+2,911	+59,580	-11,374	+0,18	49°32'17,7	49°32'17,88
(β_{43})	+1,586	+21,181	-41,467	-19,434	-0,97	85°27'19,20	85°27'18,23
(ω_4)	0	0	+68,61	-23,779	-1,39	-0°48'00,25	-0°48'01,64
(β_{14})	-1,354	-29,929	+29,91	+26,153	+1,31	108°02'14,0	108°02'15,31
(β_{24})	+1,904	+3,191	0	0	-0,90	59°03'02,6	59°03'01,70
(β_{34})	-2,808	-11,501	+16,076	+58,576	+2,56	38°28'08,0	38°28'02,56
(β_{44})	+1,301	-24,607	0	0	-0,18	77°48'08	77°48'07,82

$$\Sigma VV = 25,24.$$

Таблиця 12. Коефіцієнти нормальних рівнянь.

	a]	b]	c]	d]	-W
[a	52.2149	+25,3339	-187,98	+7.1972	-21,07
[b'		5532,0525	-1727,3223	-415,4195	-88
[c			26346,390	-2257,5139	-265
[d				20326.216	+494
Корелати	-0,4432285	-0,0160145	-0,0123190	+0,0227650	
	d	c	b	a	

Зрівноважені значення кутів γ розраховуються за формулами:

$$\gamma_{11} = 180^\circ - [\beta_{11} + (\beta_{11})] + \omega_1 + (\omega_1) = \gamma_{11\text{незр}} - (\beta_{11}) + (\omega_1), \quad (2.4.25)$$

$$\gamma_{21} = \omega_1 + (\omega_1) + \beta_{31} + (\beta_{31}) = \gamma_{21\text{незр}} + (\beta_{31}) + (\omega_1), \quad (2.4.26)$$

$$\gamma_{31} = \beta_{21} + (\beta_{21}) - [\omega_1 + (\omega_1)] = \gamma_{31\text{незр}} + (\beta_{21}) - (\omega_1), \quad (2.4.27)$$

$$\gamma_{41} = 180^\circ - [\omega_1 + (\omega_1)] - [\beta_{41} + (\beta_{41})] = \gamma_{41\text{незр}} - (\beta_{41}) - (\omega_1), \quad (2.4.28)$$

$$\gamma_{14} = 180^\circ - [\beta_{14} + (\beta_{14})] + \omega_4 + (\omega_4) = \gamma_{14\text{незр}} - (\beta_{14}) + (\omega_4), \quad (2.4.29)$$

$$\gamma_{24} = \omega_4 + (\omega_4) + \beta_{34} + (\beta_{34}) = \gamma_{24\text{незр}} + (\beta_{34}) + (\omega_4), \quad (2.4.30)$$

$$\gamma_{34} = \beta_{24} + (\beta_{24}) - [\omega_4 + (\omega_4)] = \gamma_{34\text{незр}} + (\beta_{24}) - (\omega_4), \quad (2.4.31)$$

$$\gamma_{44} = 180^\circ - [\omega_4 + (\omega_4)] - [\beta_{44} + (\beta_{44})] = \gamma_{44\text{незр}} - (\beta_{44}) + (\omega_4), \quad (2.4.32)$$

Протокол №8 розрахунку дирекційних кутів і зв'язуючих сторін, зрівнених по вимірним кутам бета і допоміжним кутам омега.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз. нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз. нач.
1	2	3	4	1	2	3	4
1	4992,25 ХП5		S _{AB}	15	С/П С/П	-3°47'19.52"	Σω
2	В/О С/П			16	С/П		
3	100°00'07.81" ХПа С/П		β ₁₁	17	95°32'14.55" ХПа С/П		β ₁₂
4	48°58'14.03" ХПв С/П		β ₂₁	18	45°30'09.69" ХПв С/П		β ₂₂
5	41°29'38.03" ХПс С/П		β ₃₁	19	41°58'08.26" ХПс С/П		β ₃₂
6	81°25'13.11" ХПd С/П		β ₄₁	20	76°32'13.31" ХПd С/П		β ₄₂
7		-3°47'15.52"	ω ₁	21		-10°30'01.36"	ω ₂
8	С/П			22	С/П	73°56'44.09"	γ ₁₂
9	С/П	76°12'36.72"	γ ₁₁	23	С/П	31°27'06.91"	γ ₂₂
10	С/П	37°42'22.5"	γ ₂₁	24	С/П	56°01'11.04"	γ ₃₂
11	С/П	54°45'29.54"	γ ₃₁	25	С/П	113°58'48.1"	γ ₄₂
12	С/П	102°21'02.4"	γ ₄₁	26	С/П	0,91499322	t ₂
13	С/П	1,0393458	t ₁	27	"X"	4394,952	S ₃₄
14	“.”	4803,262	S ₁₂	28	С/П С/П	-14°18'16.87"	Σω

1	2	3	4	1	2	3	4
1	Сх ХП3			15	С/П С/П	-0°47'57.80"	Σω
2	3836,965 ХП5		S _{CD}	16	С/П		
3	В/О С/П			17	108°02'15.31" ХПа С/П		β ₁₃

4	92°27'13.43" ХПа С/П		β_{14}	18	59°03'01.7" ХПв С/П		β_{23}
5	53°31'10.82" ХПв С/П		β_{24}	19	38°28'02.57" ХПс С/П		β_{33}
6	49°32'17.88" ХПс С/П		β_{34}	20	77°48'07.82" ХПд С/П		β_{43}
7	85°27'18.23" ХПд С/П		β_{44}	21		+8°04'53.98"	ω_3
8		-0°47'57.80"	ω_4	22		80°02'38.72"	γ_{13}
9	С/П	86°44'48.77"	γ_{14}	23		46°33'56.54"	γ_{23}
10	С/П	48°44'20.08"	γ_{24}	24		50°58'07.71"	γ_{33}
11	С/П	54°19'08.62"	γ_{34}	25		94°46'58.21"	γ_{43}
12	С/П	95°20'39.59"	γ_{42}	26		1,0949378	t_3
13	С/П	0,95592369	t_4	27		4394,951	S_{34}
14	“.”	4013,882	S_{56}	28		+7°16'56.18"	$\Sigma\omega$

Таким чином, так як в умовні рівняння сторін і дирекційних допоміжних кутів не входили допоміжні кути омега, то при розрахунку їх зрівноважених значень поправки в кути омега не враховуються.

При розрахунку ж зрівноважених координат необхідно до попередньо розрахованих кутів гама ввести поправки в кути омега і бета по формулам (2.4.25) - (2.4.32).

$$\begin{aligned} \gamma_{11} &= 76^\circ 12' 36.72'' + 0.16'' + 0.54'' = 76^\circ 12' 43.40'', \\ \gamma_{21} &= 37^\circ 42' 22.5'' + 1.93'' + 0.54'' = 37^\circ 42' 29.19'', \\ \gamma_{31} &= 54^\circ 45' 29.54'' - 0.47'' - 0.54'' = 54^\circ 45' 22.85'', \\ \gamma_{41} &= 102^\circ 21' 02.4'' + 0.99'' - 0.54'' = 102^\circ 21' 55.75'', \\ \gamma_{14} &= 86^\circ 44' 48.77'' + 1.27'' - 1.39'' = 86^\circ 44' 44.94'', \\ \gamma_{24} &= 48^\circ 44' 20.08'' + 0.18'' - 1.39'' = 48^\circ 44' 16.24'', \\ \gamma_{34} &= 54^\circ 19' 08.62'' + 1.02'' + 1.39'' = 54^\circ 19' 12.45'', \\ \gamma_{44} &= 95^\circ 20' 39.59'' + 0.97'' + 1.39'' = 95^\circ 20' 43.42''. \end{aligned}$$

Це і будуть кінцевими значеннями невимірних кутів гама, одержаних по результатам зрівноваження.

$$\begin{aligned} \alpha_{43} &= \alpha_{BA} + \Sigma\omega_{1,2} = 8^\circ 54' 25.00'' - 14^\circ 18' 16.87'' = -5^\circ 23' 51.87'', \\ \alpha_{43} &= \alpha_{CD} - \Sigma\omega_{3,4} = 1^\circ 53' 04.32'' - 7^\circ 16' 56.18'' = -5^\circ 23' 51.86'', \\ W\alpha &= -0^\circ 00' 00.01''. \end{aligned}$$

Протокол № 9 розрахунку координат по зрівноваженим кутам.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач
1	В/О С/П			1	В/О С/П		
2	5934,594 С/П		X _{Алів}	2	1311,42 С/П		X _{Слів}
3	2297,186 С/П		Y _{Алів}	3	20592,95 С/П		Y _{Слів}
4	1002,545 С/П		X _{Впр}	4	5146,31 С/П		X _{Дпр}
5	1524,235 С/П		Y _{Впр}	5	20719,13 С/П		Y _{Дпр}
6	52°45'22.58 С/П		γ _{31лів}	6	86°44'44.94 С/П		γ ₁₄
7	76°12'43.40 С/П		γ _{11пр}	7	54°19'12.45 С/П		γ ₃₄
8		1437,467 С/П	X ₂	8		1755,635 С/П	X ₆
9		6617,225 С/П	Y ₂	9		15653,310 С/П	Y ₆
10	102°21'55,75 С/П		γ _{41лів}	10	48°44'16.24 С/П		γ ₂₄
11	37°42'29,19 С/П		γ _{21пр}	11	95°20'43.42 С/П		γ ₄₄
12		6221,600 С/П	X ₁	12		5765,09 С/П	X ₅
13		7046.136	Y ₁	13		15841,413	Y ₅
1	В/О С/П			1	В/О С/П		
2	6221,600 С/П		X _{1лів}	2	1755,635 С/П		X ₆
3	7046,136 С/П		Y _{1лів}	3	15653,31 С/П		Y ₆
4	1437,467 С/П		X _{2пр}	4	5765,097 С/П		X ₅
5	6617,225 С/П		Y _{2пр}	5	15841,413 С/П		Y ₅
6	41°58'08,26 С/П		β ₃₂	6	108°02'15.31 С/П		β ₁₃
7	95°32'14.55 С/П		β ₁₂	7	38°28'02.57 С/П		β ₃₃
8		557,832 С/П	X ₄	8		557,821 С/П	X ₄
9		11290,260 С/П	Y ₄	9		11290,259 С/П	Y ₄
10	76°32'13,31 С/П		β ₄₂	10	59°03'01.7П С/П		β ₂₃
11	45°30'09,69 С/П		β ₂₂	11	77°48'07.82 С/П		β ₄₃
12		4933,376 С/П	X ₃	12		4933,289 С/П	X ₃
13		10877,111	Y ₃	13		10876,994	Y ₃

Кути омега, визначені по зрівноваженим кутам бета задовільняють умови дирекційних кутів і сторін.

Так, після зрівноваження отримали:

$$W'_{x4}=+11\text{мм}; W'_{y4}=+1\text{мм}; W'_{x3}=87\text{мм}; W'_{y3}=+117\text{мм}.$$

На цьому можна стверджувати, що граничні істинні похибки в зрівноваженому ряді складають

$$\Delta x = +87\text{мм}; \Delta y = +117\text{мм}.$$

Зрівноважені координати пункту 3 визначимо по зрівноваженим елементам по формулам:

$$x_{3пр} = x_{4пр} + S_{43} \cos \alpha_{43} = (557.832 + 557.821) * 0.5 * \cos 354^\circ 36' 08.13'' = 4933.290,$$

$$y_{3пр} = y_{4пр} + S_{43} \sin \alpha_{43} = 11290.260 + 4394.952 * \sin 354^\circ 36' 08.13'' = 10876.830,$$

Значення $W'_{x_3}=87\text{мм}$; $W'_{y_3}=+117\text{мм}$ говорить про наявність істинних похибок в ряді того ж ряду.

Імовірнішими значеннями координат третього пункту візьмемо середнє арифметичне:

$$x_3=0,5(4933,375+4933,289)=4933,332,$$

$$y_4=0,5(10877,111+10876,994)=10877,052.$$

Таблиця 13. Порівняльна таблиця зрівноважених і істинних значень координат.

№ п/п	$X_{зр}$	$X_{іст}$	$\Delta X(\text{мм})$	$Y_{зр}$	$Y_{іст}$	$\Delta Y(\text{мм})$
1	6221,600	6221,548	+52	7046,136	7046,007	+129
2	1437,467	1437,462	+5	6617,225	6617,235	-10
3	4933,332	4933,491	-159	10877,052	10876,947	+105
4	557,826	557,932	-106	11290,260	11290,212	+48
5	55765,097	55765,233	-136	15841,413	15841,507	-84
6	1755,635	1755,716	-81	15653,310	15653,358	-48
3'	4933,290	4933,491	-201	10876,830	10876,947	-117

Не маючи істинних значень похибок для реальної мережі розраховують координати, наприклад, третього пункту із декількох визначень.

Таблиця 14. Порівняльна таблиця імовірніших остаточної похибок.

№ п/п	X	X'	$\delta X(\text{мм})$	Y	Y'	$\delta Y(\text{мм})$
3	4933,376	4933,332	+44	10877,111	10877,052	+59
	4933,289	4933,332	-43	10876,994	10877,052	-58
	4933,376	4933,289	+87	10877,111	10876,994	+117

Велика нев'язка в координатах 3 пункту визвана тим, що кути β_{22} , β_{42} , β_{23} і β_{43} не враховують поправки орієнтирних напрямків ω за координатні умови на 3 пункт.

Однак, даним способом зрівноваження можна виявити остаточної імовірніші похибки, які знаходяться в реальних мережах ПЛЗ.

Даним способом можна зрівноважувати, якщо замість умовних рівнянь дирекційних кутів і сторін взяти ще два координатні умовні рівняння на пункт 3.

Але дану процедуру корисно провести при дослідженні точності реальних рядів парних ланок за січок.

Граничні істинні похибки точних попередніх координат для даної моделі $\Delta x_3=-375$ мм $\Delta y_3=+424$ мм. В результаті зрівноваження граничні істинні похибки склали $\Delta x_3=-201$ мм; $\Delta y_1=+129$ мм.

Таким чином, в результаті зрівноваження істинні похибки змінились приблизно в два рази, але зовсім вони не виключені із зрівноважених елементів.

Для зменшення істинних похибок необхідно підвищити точність спостережень.

Середня квадратична похибка одиниці ваги зрівноваженого кута:

$$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{r}} = \sqrt{\frac{25.24}{4}} = 2.51''$$

2.5. Зрівноваження ряду по виміряним кутам β

Представимо поправки (ω_{1x4}) і (ω_{1y4}) , (ω_{4x4}) і (ω_{4y4}) в координати за орієнтирний кут Ω через поправки у виміряні кути.

$$-73,898(\omega_{1x4}) = -73,898[-1,006(\beta_{11}) + 1,602(\beta_{21}) - 2,374(\beta_{31}) + 0,996(\beta_{41})], \quad (2.5.1)$$

$$+68,618(\omega_{4x4}) = +68,618[-1,578(\beta_{14}) + 2,410(\beta_{24}) - 2,752(\beta_{34}) + 1,586(\beta_{44})], \quad (2.5.2)$$

$$-16,229(\omega_{1y4}) = -16,229[-1,006(\beta_{11}) + 1,602(\beta_{21}) - 2,374(\beta_{31}) + 0,996(\beta_{41})], \quad (2.5.3)$$

$$-23,779(\omega_{4y4}) = -23,779[-1,578(\beta_{14}) + 2,410(\beta_{24}) - 2,752(\beta_{34}) + 1,586(\beta_{44})], \quad (2.5.4)$$

або

$$-73,898(\omega_{1x4}) = +74,341(\beta_{11}) - 118,385(\beta_{21}) + 175,385(\beta_{31}) - 73,602(\beta_{41}), \quad (2.5.5)$$

$$+68,618(\omega_{4x4}) = -108,279(\beta_{14}) + 165,369(\beta_{24}) - 188,837(\beta_{34}) + 108,828(\beta_{44}), \quad (2.5.6)$$

$$-16,229(\omega_{1y4}) = +16,526(\beta_{11}) - 25,999(\beta_{21}) + 38,528(\beta_{31}) - 16,164(\beta_{41}), \quad (2.5.7)$$

$$-23,779(\omega_{4y4}) = +37,523(\beta_{14}) - 57,307(\beta_{24}) + 65,440(\beta_{34}) - 37,713(\beta_{44}), \quad (2.5.8)$$

Підставляючи дані виразі в координатні умови рівняння, одержимо:

$$\begin{aligned} &+77,765(\beta_{11}) - 76,593(\beta_{21}) + 118,666(\beta_{31}) - 45,516(\beta_{41}) - 27,304(\beta_{12}) - \\ &- 9,392(\beta_{22}) + 29,919(\beta_{13}) + 16,076(\beta_{33}) - 102,910(\beta_{14}) + 109,495(\beta_{24}) - \\ &- 129,257(\beta_{34}) + 67,351(\beta_{44}) + 265 = 0, \end{aligned} \quad (2.5.9)$$

$$\begin{aligned} &-30,504(\beta_{11}) + 13,178(\beta_{21}) + 36,472(\beta_{31}) - 37,990(\beta_{41}) + 20,461(\beta_{12}) + \\ &+ 49,908(\beta_{22}) + 26,153(\beta_{13}) + 58,576(\beta_{33}) - 28,171(\beta_{14}) + 1,358(\beta_{24}) + \\ &+ 54,066(\beta_{34}) - 57,147(\beta_{44}) - 494 = 0, \end{aligned} \quad (2.5.10)$$

Умовні рівняння дирекційних кутів і сторін не мають змін. В умовних рівняннях координат нам вперше вдалося виразити невиміряні кути γ і ω через виміряні кути β .

Такого рішення не бачили професор М.Г.Відусв, ні професор В.Д. Большаков.

Проблема заключається в рішенні системи умовних рівнянь тільки рішивши умовні рівняння під умовою $[PVV]=\min$, можна буде сказати про вірність даної ідеї.

Ітак, таблиця коефіцієнтів умовних рівнянь буде мати вигляд:

Таблиця 15. Коефіцієнти умовних рівнянь, поправки і зрівноважені кути (зустрічне обчислення координат).

Назва попр.	(α_i)	(S_i)	(x_4)	(y_4)	V	Виміряні кути	Зрівноважені кути
(β_{11})	-1,006	-31,491	+77,765	-30,504	-0,27	100°00'08,0	100°00'07,734
(β_{21})	+1,602	+8,503	-76,593	+13,178	+0,22	48°58'14,5	48°58'14,77
(β_{31})	-2,374	-14,104	+118,666	+36,472	+0,91	41°29'36,1	41°29'37,01
(β_{41})	+0,996	-18,328	-45,516	-37,990	-0,47	81°25'14,1	81°25'13,63
(β_{12})	-0,836	+26,639	-27,304	+20,461	+0,19	95°32'13,8	95°32'13,99
(β_{22})	+1,352	-11,713	0	0	+0,04	45°30'10,1	45°30'10,14
(β_{32})	-2,291	+12,854	-9,392	+49,908	+1,18	41°58'06,2	41°58'07,38
(β_{42})	+0,900	+11,818	0	0	-0,32	76°32'13,9	76°32'13,58
(β_{14})	-1,578	+25,751	-102,910	-28,171	-0,49	92°27'14,7	92°27'14,21
(β_{24})	+2,410	-4,193	+109,495	+358	-0,59	53°31'09,8	53°31'09,21
(β_{34})	-2,752	+2,911	-129,257	+54,066	+1,94	49°32'17,7	49°32'19,04
(β_{44})	+1,586	+21,181	+67,361	-57,147	-2,05	85°27'19,20	85°27'17,15
(β_{13})	-1,354	-29,929	+29,919	+26,153	+1,15	108°02'14,0	108°02'15,15
(β_{23})	+1,904	+3,191	0	0	-0,29	59°03'02,6	59°03'02,31
(β_{33})	-2,808	-11,501	+16,076	+58,576	+1,77	38°28'00,0	38°28'01,77
(β_{43})	+1,301	-24,607	0	0	+0,26	77°48'08,0	77°48'08,26

$$\Sigma VV = 15,86.$$

Таблиця 16. Коефіцієнти нормальних рівнянь.

	a]	b]	c]	d]	-W
[a	52.2149	+25,3339	+319,5356	-595,6597	-21,07
[b'		5532,0525	-7926,6694	-799,4741	-88
[c			73879,01	-4417,7269	-265
[d				17886,55	+494
Корелати	-0,4432285	-0,0160145	-0,0036074	+0,0218180	
	d	c	b	a	

По зрівноваженим кутам визначені координати і дана порівняльна характеристика із істинними.

Таблиця 17. Порівняльна таблиця зрівноважених і істинних координат.

№ п/п	X _{зр}	X _{іст}	Δ(мм)	У _{зр}	У _{іст}	Δ(мм)
1	6221,638	6221,548	+90	7046,992	7046,007	-15
2	1437,529	1437,462	+67	6617,298	6617,235	+63
3	4933,595	4933,491	+104	10877,009	10876,947	+62
4	557,134	557,932	+202	11290,273	11290,212	+61
5	55765,304	55765,233	+71	15841,473	15841,507	-34
4'	558,135			11290,269		
3'	4933,597			10876,003		

Остаточні значення вільних членів координатних умовних рівнянь

$$W'_{x4} = -1 \text{ мм}; W'_{y4} = +4 \text{ мм};$$

$$W'_{x3} = -2 \text{ мм}; W'_{y3} = +6 \text{ мм}.$$

Остаточні значення вільних членів визвані похибками округлення, вони не перевищують 6 мм і ними можна нехтувати.

З порівняльної таблиці видно, що найбільші розходження зрівноважених координат складають:

$$\Delta X_4 = +202 \text{ мм і } \Delta Y_4 = -66 \text{ мм}.$$

А по результатам спрощеного зрівноваження:

$$\Delta X_{\max} = -203 \text{ мм і } \Delta Y_{\max} = -0.133 \text{ мм}.$$

так що можна сказати, що строге зрівноваження не підвищило точність визначення координат пунктів в порівнянні зі спрощеним зрівноваженням.

Середня квадратична похибка одиниці ваги виміряного куту по результатам зрівноваження складає:

$$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{r}} = \sqrt{\frac{15.84}{4}} = 1.99''$$

2.6. Зрівноваження ряду ПЛЗ по напрямкам

Представим кожний виміряний кут як різницю двох напрямків (рис.1), які підписані на кожній стороні.

Тоді, умовні рівняння будуть:

- дирекційних кутів

$$\begin{aligned} & -1,006[(3)-(1)] + 1,602[(3)-(2)] - 2,374[(9)-(8)] + 0,996[(10)-(8)] - 0,836[(5)-(3)] + \\ & + 1,352[(4)-(3)] - 2,291[(8)-(7)] + 0,900[(8)-(6)] + 1,354[(13)-(10)] + 1,904[(13)-(12)] - \\ & - 2,808[(19)-(18)] + 1,301[(20)-(18)] - 1,578[(15)-(13)] + 2,410[(14)-(13)] - 2,752[(18)-(17)] + \\ & + 1,586[(18)-(16)] + 21,07 = 0, \end{aligned} \quad (2.6.1)$$

- сторін
 $-31,491[(3)-(1)]+8,503[(3)-(2)] -14,104[(9)-(8)]-18,328[(10)-(8)] +26,639[(5)-(3)]+$
 $-11,713[(4)-(3)]+12,854[(8)-(7)] +11,818[(8)-(6)]+25,751[(15)-(13)]-4,193[(14)-(13)]+$
 $+2,911[(18)-(17)]+21,181[(18)-(16)] -29,929[(13)-(11)]+3,191[(13)-(12)] -11,501[(19)-(18)]-$
 $-24,607[(20)-(18)]+ 88=0,$ (2.6.2)

- абсцисс
 $+77,765[(3)-(1)]-76,593[(3)-(2)] +118,666[(9)-(8)]-45,516[(10)-(8)] -27,304[(5)-(3)]-$
 $-9,392[(8)-(7)]+29,911[(13)-(11)]+16,076[(19)-(18)]-102,910[(15)-(13)]+109,495[(14)-(13)] -$
 $-129,257[(18)-(17)]+67,361[(18)-(16)]+ 265=0,$ (2.6.3)

- ординат
 $-30,504[(3)-(1)]+13,178[(3)-(2)] +36,472[(9)-(8)]-37,990[(10)-(8)] +20,461[(5)-(3)]+$
 $+49,908[(8)-(7)]+26,153[(13)-(11)]+58,576[(19)-(18)]-28,171[(15)-(13)]+1,358[(14)-(13)] +$
 $+54,066[(18)-(17)]-57,147[(18)-(16)]- 494=0,$ (2.6.4)

Таблиця 18. Коефіцієнти умовних рівнянь.

Назви поправок	p	(α)	(S)	(X ₄)	(Y ₄)	V'' _{напр.}
(1)	1	+1,006	+31,491	-77,765	+30,504	+0,12
(2)	1	-1,602	-8,503	+76,593	-13,178	-0,06
(3)	1	+0,080	-37,914	+28,476	-37,787	-0,26
(4)	1	+1,352	-11,713	0	0	-0,26
(5)	1	-0,836	+26,639	-27,304	+20,461	+0,34
(6)	1	-0,900	-11,818	0	0	+0,30
(7)	1	+2,291	-12,854	+9,392	-49,908	-1,04
(8)	1	-0,013	+54,104	-82,542	+51,426	+0,44
(9)	1	-2,374	-14,104	+118,666	+36,472	+0,69
(10)	1	+0,996	-18,328	-45,516	-37,990	-0,38
(11)	1	+1,354	+29,929	-29,919	-26,153	-0,72
(12)	1	-1,904	-3,191	0	0	+0,49
(13)	1	-0,282	-48,296	+23,334	+52,966	+0,89
(14)	1	+2,410	-4,193	+109,495	+1,358	-0,90
(15)	1	-1,578	+25,751	-102,910	-28,171	+0,24
(16)	1	-1,586	-21,181	-67,361	+57,147	+1,36
(17)	1	+2,757	-2,911	+129,257	-54,066	-1,66
(18)	1	+0,341	+60,200	-77,972	-61,657	-0,90
(19)	1	-2,808	-11,501	+16,076	+58,576	+1,35
(20)	1	+1,301	-24,607	0	0	-0,16

$\Sigma VV=11,936$

Таблиця 19. Коефіцієнти нормальних рівнянь.

	a]	b]	c]	d]	-W
a]	52.4448	+55.6915	+290.3644	-635.5830	-21.07
b]		16186.934	-19540.640	-2699.9848	-88
c]			88127.184	-3695.1262	-265
d]				28566.024	+494
Кореляти К. 0,2462551		-0,0066639	-0.0032274	+0,0107622	
	d	c	b	a	

Таблиця 20. Результати врівноваження кутів.

Формула поправки	V"	Вимірні кути	Зрівноважені кути
$(\beta_{11})=(3)-(1)$	-0,38	100°00'08,0"	100°00'07.62"
$(\beta_{21})=(3)-(2)$	-0,32	48°58'14,5"	48°58'14.18"
$(\beta_{31})=(9)-(8)$	+0,25	41°29'36.1"	41°29'36.35"
$(\beta_{41})=(10)-(8)$	-0,82	81°25'14,1"	81°25'13.28"
$(\beta_{12})=(5)-(3)$	+0,60	95°32'13.8"	95°32'14.40"
$(\beta_{22})=(4)-(3)$	0	45°30'10.1"	45°30'10,10"
$(\beta_{32})=(8)-(7)$	+1,48	41°58'06.2"	41°58'07.68"
$(\beta_{42})=(8)-(6)$	+0,14	76°32'13.9"	76°32'14.04"
$(\beta_{14})=(15)-(13)$	-0,65	92°27'14.7"	92°27'14,05"
$(\beta_{24})=(14)-(13)$	-1,79	53°31'09.8"	53°31'08.01"
$(\beta_{34})=(18)-(17)$	+0,76	49°32'17.7"	49°32'18.46"
$(\beta_{44})=(18)-(16)$	-2,26	85°27'19.20"	85°27'16.94"
$(\beta_{13})=(13)-(11)$	+1,61	108°02'14.0"	108°02'15.61"
$(\beta_{23})=(13)-(12)$	+0,40	59°03'02.6"	59°03'03.00"
$(\beta_{33})=(19)-(18)$	+2,25	38°28'00.0"	38°28'02.25"
$(\beta_{43})=(20)-(18)$	+0,74	77°48'08.0"	77°48'08.74"

По зрівноваженим кутам визначені координати і дана порівняльна характеристика з істинними.

Таблиця 21. Порівняльна таблиця зрівноважених і істинних координат

№ пункті	X _{зрів}	X _{іст}	Δ(мм)	Y _{зрів}	Y _{іст}	Δ(мм)
1	6221,637	6221,548	+89	7045,974	7046,007	-33
2	1437,516	1437,462	+54	6671,268	6617,235	+33

3	4933,588	4933,491	+97	10877,003	10876,947	+56
4	558,095	557,932	+163	11290,274	11290,212	+62
5	5765,296	5765,233	+63	15841,526	15841,507	+19
6	1755,830	1755,716	+114	15653,347	15653,358	-11
4'	558,090			11290,276		
3'	4933,589			10876,999		

$$[\Delta_x \Delta_x] = 63780$$

$$[\Delta_y \Delta_y] = 9640$$

Остаточні значення вільних членів:

$$Wx'_4 = 5\text{мм}; \quad Wy'_4 = -2\text{мм};$$

$$Wx'_4 = -1\text{мм}; \quad Wy'_4 = +4\text{мм};$$

Середня квадратична похибка визначення абсцис:

$$m_x = \sqrt{\frac{[\Delta_x \Delta_x]}{n}} = 103\text{мм},$$

середня квадратична похибка визначена ординат:

$$m_y = \sqrt{\frac{[\Delta_y \Delta_y]}{n}} = \sqrt{\frac{9640}{6}} = 40\text{мм}.$$

Середня квадратична похибка одиниці ваги напрямку по результатам зрівноваження складає:

$$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{r}} = \sqrt{\frac{11,936}{4}} = 1,73''$$

Середню квадратичну похибку зрівноваженого кута знайдемо із виразу:

$$m_{\text{кут}} = \mu \sqrt{2} = 2,44''$$

При розрахунку попередніх координат зустрічним ходом середні значення координат пунктів 3 і 4 будуть: $X_{3\text{ср}} = 4933,315$; $Y_{3\text{ср}} = 10877,014$; $X_{4\text{ср}} = 557,9295$; $Y_{4\text{ср}} = 11290,386$.

Прийнявши середнє значення координат пунктів 3 і 4 за їх імовірніше значення, половину одержаної нев'язки з оберненим знаком введемо в координати пунктів 1, 2, 5 і 6.

Раніше було визначено: $Wx_4 = +0,265$; $Wy_4 = -0,494$; $Wx_3 = +0,398$; $Wy_3 = -0,055$.

Результати наближеного зрівноваження зведемо в таблиці 22 і 23.

Таблиця 23. Наближене зрівноваження і порівняльна характеристика з істинними координатами абсцис.

№ пункт	X попер.	V_x	$X_{зр}$	$X_{іст}$	Δ
1	6221,582	-0,099	6221,483	6221,548	-0,065
2	1437,486	-0,066	1437,420	1437,462	-0,042

3	4933,514	-0,199	4933,315	4933,491	-0,176
4	558,062	-0,132	557,930	557,932	-0,002
5	5765,040	+0,099	5765,139	5765,233	-0,094
6	1755,623	+0,066	1755,689	1755,716	-0,027
4'	557,797	+0,132	557,929	557,932	-0,003
3'	4933,116	+0,199	4933,315	4933,491	-0,176

Таблиця 24. Наближене зрівноваження і порівняльна характеристика з істинними значеннями ординат.

№ пвнк	У попер.	V _y	У _{зр}	У _{іст}	Δ
1	7045,984	+0,014	7045,998	7046,407	-0,009
2	6617,249	+0,124	6617,373	6617,235	+0,138
3	10876,986	+0,028	10877,014	10876,947	+0,067
4	11290,142	+0,247	11290,389	11290,212	+0,177
5	15841,420	-0,014	15841,406	15841,507	-0,101
6	15653,419	-0,124	15653,295	15653,358	-0,063
4'	11290,636	-0,247	11290,389	11290,212	+0,177
3	10877,041	-0,028	10877,013	10876,947	+0,066

Таким чином, наближене зрівноваження забезпечує найбільше відхилення координат від їх істинних значень в 177 мм при середній квадратичній похибці виміру кута в 3,32". При строгому зрівноваженні по напрямкам найбільше розходження складає 163 мм, що не набагато підвищимо точність результатів. Однак, строге зрівноваження забезпечує узгодженість всіх виникаючих умов і воно необхідне як апарат проведення досліджень.

2.7. Дослідження точності визначення координат пунктів в залежності від точності виміру кутів.

Побудуємо модель дослідження при середніх квадратичних похибках 0,7", що відповідає точності вимірювання кутів в триангуляції 1 класу.

Таблиця 25. Модель ряду ПЛЗ при $m_{\beta} = 0,7''$

Назва кута	Істинне значення	Δ	Значення спотвореної моделі	Назва кута	Істинне значення	Δ	Значення спотвореної моделі
β_{11}	100°00'08.54	+0,30	100°00'08.84	β_{13}	108°02'15.00	-0.51	108°02'14.49
β_{21}	48°58'15.10	+0,26	48°58'15.36	β_{23}	59°03'02.17	+0.61	59°03'02.78
β_{31}	41°29'35.71	-0,03	41°29'35.68	β_{33}	38°28'03.05	+0.39	38°28'03.44
β_{41}	81°25'14.21	+0,70	81°25'14.91	β_{43}	77°48'09.25	-0.27	77°48'08.98
β_{12}	95°32'16.32	+0,21	95°32'16.53	β_{14}	92°27'12.19	-0.37	92°27'11.82
β_{22}	45°30'70.82	-0,51	45°30'70.31	β_{24}	53°31'07.21	+0.55	53°31'07.76

β_{32}	41°58'07.14	-0,18	41°58'06.96	β_{34}	49°32'18.09	+0,12	49°32'18.21
β_{42}	76°32'15.07	+0,12	76°32'15.19	β_{44}	85°27'17.05	-0,05	85°27'17.00

Протокол № 10 розрахунку координат пунктів.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	В/О С/П			22	/-/ К $\overline{0III}$ ХПа		
2	100°00'08.84"		β_{11}	23	41°58'06.96"		β_{32}
3	К $\overline{0III}$ ХПа С/П			24	В \uparrow 180 +		
4	48°58'15.36"		β_{21}	25	К $\overline{0III}$ ХПв		
5	К $\overline{0III}$ ХПв С/П			26	45°30'07.31"		β_{22}
6	41°29'35.68"		β_{31}	27	К $\overline{0III}$ ХПс		
7	К $\overline{0III}$ ХПс С/П			28	76°32'15.19"		β_{43}
8	81°25'14.91"		β_{41}	29	В \uparrow 180 + /-		
9	К $\overline{0III}$ ХПд С/П			30	К $\overline{0III}$ ХПд		
10	С/П	-3,785275°	ω_1	31	7046,015 С/П		У $_{1лів}$
11	2297,186 С/П		У $_{Алів}$	32	6617,224 С/П		У $_{2пр}$
12	1524,235 С/П		У $_{Впр}$	33	6221,511 С/П		Х $_{1лів}$
13	5934,594 С/П		Х $_{Алів}$	34	1437,444 С/П		Х $_{2пр}$
14	1002,545 С/П		Х $_{Впр}$	35		557,892 С/П	Х $_{4пр}$
15		1437,444 С/П	Х $_{2пр}$	36		11290,182 С/П	У $_{4пр}$
16		6617,224 С/П	У $_{2пр}$	37		4933,488 С/П	Х $_{3лів}$
17		6221,511 С/П	Х $_{1лів}$	38		10876,921	У $_{3пр}$
18		7046,015	У $_{1лів}$	39		+413,261 С/П	Δ У $_{34}$
19	БП 29 С/П			40		4375,556 С/П	Δ Х $_{34}$
20	ОХПЕ			41		-5°39'54.58	Γ_{43}
21	95°32'46.53"		β_{12}	42	К $\overline{0III}$	-5°23'43.613"	Γ_{43}

Протокол № 11 розрахунку координат пунктів.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	В/О С/П	4		22	/-/ К $\overline{0III}$ ХПа		
2	85°27'17.00"		β_{44}	23	59°03'02.78"		β_{23}
3	К $\overline{0III}$ ХПа С/П			24	В \uparrow 180 +		
4	49°32'18.21"		β_{34}	25	К $\overline{0III}$ ХПв		
5	К $\overline{0III}$ ХПв С/П			26	38°28'03.44"		β_{33}
6	53°31'07.76"		β_{24}	27	К $\overline{0III}$ ХПс		

7	К0П ХПс С/П			28	108°02'14.49"		β_{13}
8	92°27'11.82"		β_{14}	29	B ↑ 180 + /-/		
9	К0П ХПд С/П			30	К0П ХПд		
10	С/П	-0,80153129°	ω_1	31	15653,344 С/П		У _{6лів}
11	20592,95 С/П		У _{Слів}	32	15841,451 С/П		У _{5пр}
12	20719,13 С/П		У _{Дпр}	33	1755,687 С/П		Х _{6лів}
13	1311,42 С/П		Х _{Слів}	34	5765,215 С/П		Х _{5пр}
14	5146,31 С/П		Х _{Дпр}	35		4933,410 С/П	Х _{3пр}
15		5765,215 С/П	Х _{5пр}	36		10876,873	У _{3пр}
16		15841,451 С/П	У _{5пр}	37		557,867 С/П	Х _{4лів}
17		1755,687 С/П	Х _{6лів}	38		11290,193 С/П	У _{4пр}
18		15653,344	У _{7лів}	39		413,320 С/П	ΔY_{34}
19	БП 29 С/П			40		-4375,543 С/П	ΔX_{34}
20	ОХПЕ			41		-5°39'6230	Γ_{43}
21	77°48'08.98"		β_{43}	42	К0П	-5°23'46.43"	Γ_{43}

$$S_{34 \text{ зв}} = 4395,021$$

$$W_{\alpha} = +2,82''$$

$$S_{34 \text{ пр}} = 4395,028$$

$$W_S = +0,007$$

Значення вільних членів координатних умовних рівнянь $W_{x_4} = +25\text{мм}$; $W_{y_4} = -11\text{мм}$; $W_{x_3} = +38$; $W_{y_3} = -48\text{мм}$.

Таким чином, при середній квадратичній похибці вимірювання кутів в $0,7''$ максимальні розходження координат складає 48мм , а середня квадратична похибка при цьому буде складати приблизно 24мм .

Таблиця 26. Порівняльна таблиця попередніх і істинних координат при $m_{\beta} = 0,7''$.

№ п/п	Х _{попер}	Х _{іст}	Δ	У _{попер}	У _{іст}	Δ
1	6221,511	6221,548	-0,037	7046,015	7046,007	+0,008
2	1437,444	1437,462	-0,018	6617,224	6617,235	-0,011
3	4933,448	4933,491	-0,043	10876,921	10876,947	-0,026
4	557,892	557,932	-0,040	11290,182	11290,212	-0,030
5	55765,215	55765,233	-0,018	15841,451	15841,507	-0,056
6	1755,687	1755,716	-0,029	15653,344	15653,358	-0,014
3'	4933,410	4933,491	-0,081	10876,873	10876,947	-0,074

4'	557,867	557,932	-0,065	11290,193	11290,212	-0,019
----	---------	---------	--------	-----------	-----------	--------

Побудуємо модель дослідження при середніх квадратичних похибках вимірювання кутів 1", що відповідає точності виміру кутів в триангуляції 2 класу.

Таблиця 27. Модель ряду ПЛЗ при $m_{\beta} = 1''$

Назва кута	Істинне значення	Δ	Значення спотвореної моделі	Назва кута	Істинне значення	Δ	Значення спотвореної моделі
β_{11}	100°00'08.54	+0,43	100°00'08.97	β_{13}	108°02'15.00	-0.73	108°02'14.27
β_{21}	48°58'15.10	+0,37	48°58'15.47	β_{23}	59°03'02.17	+0.87	59°03'03.04
β_{31}	41°29'35.71	-0,04	41°29'35.67	β_{33}	38°28'03.05	+0.56	38°28'02.49
β_{41}	81°25'14.21	+1,00	81°25'15.21	β_{43}	77°48'09.25	-0.38	77°48'08.87
β_{12}	95°32'16.32	+0,29	95°32'16.61	β_{14}	92°27'12.19	-0.53	92°27'11.66
β_{22}	45°30'07.82	-0,74	45°30'07.08	β_{24}	53°31'07.21	+0.76	53°31'08.00
β_{32}	41°58'07.14	-0,26	41°58'06.88	β_{34}	49°32'18.09	+0,17	49°32'18.26
β_{42}	76°32'15.07	+0,17	76°32'15.24	β_{44}	85°27'17.05	-0,08	85°27'16.97

Побудуємо модель дослідження при середніх квадратичних похибках вимірювання кутів 1,5", що відповідає точності виміру кутів в триангуляції 3 класу.

Таблиця 27. Модель ряду ПЛЗ при $m_{\beta} = 1,5''$

Назва кута	Істинне значення	Δ	Значення спотвореної моделі	Назва кута	Істинне значення	Δ	Значення спотвореної моделі
β_{11}	100°00'08.54	+0,65	100°00'09.19	β_{13}	108°02'15.00	-1.10	108°02'13.90
β_{21}	48°58'15.10	+0,55	48°58'15.65	β_{23}	59°03'02.17	+1.30	59°03'03.47
β_{31}	41°29'35.71	-0,05	41°29'35.66	β_{33}	38°28'03.05	-0.84	38°28'02.21
β_{41}	81°25'14.21	+1,50	81°25'15.71	β_{43}	77°48'09.25	-0.57	77°48'08.68
β_{12}	95°32'16.32	+0,44	95°32'16.76	β_{14}	92°27'12.19	-0.80	92°27'11.39
β_{22}	45°30'07.82	-1,10	45°30'06.72	β_{24}	53°31'07.21	+1.19	53°31'08.40
β_{32}	41°58'07.14	-0,39	41°58'06.75	β_{34}	49°32'18.09	+0,26	49°32'18.35
β_{42}	76°32'15.07	+0,26	76°32'15.33	β_{44}	85°27'17.05	-0,11	85°27'16.94

Побудуємо модель дослідження при середніх квадратичних похибках вимірювання кутів 2", що відповідає точності виміру кутів в триангуляції 4 класу.

Таблиця 27. Модель ряду ПЛЗ при $m_{\beta} = 2''$

Назва кута	Істинне значення	Δ	Значення спотвореної моделі	Назва кута	Істинне значення	Δ	Значення спотвореної моделі
β_{11}	100°00'08.54	+0,86	100°00'09.40	β_{13}	108°02'15.00	-1.46	108°02'13.54
β_{21}	48°58'15.10	+0,73	48°58'15.83	β_{23}	59°03'02.17	+1.74	59°03'03.91

β_{31}	41°29'35.71	-0,07	41°29'35.64	β_{33}	38°28'03.05	-1.12	38°28'01.93
β_{41}	81°25'14.21	+2,00	81°25'16.21	β_{43}	77°48'09.25	-0.76	77°48'08.49
β_{12}	95°32'16.32	+0,59	95°32'16.91	β_{14}	92°27'12.19	-1.07	92°27'11.12
β_{22}	45°30'07.82	-1,74	45°30'06.35	β_{24}	53°31'07.21	+1.58	53°31'08.79
β_{32}	41°58'07.14	-0,52	41°58'06.62	β_{34}	49°32'18.09	+0,34	49°32'18.43
β_{42}	76°32'15.07	+0,35	76°32'15.42	β_{44}	85°27'17.05	-0,15	85°27'16.90

Таблиця 30. Коефіцієнти нормальних рівнянь.

	a]	b]	c]	d]	$m_{\beta}=0,7''$ -W	$m_{\beta}=1''$ -W	$m_{\beta}=1,5''$ -W	$m_{\beta}=2''$ -W
[a	52,448	+55,6915	+290,3644	-635,5830	-2,82	-7,69	-10,50	-13,67
[b		16186,934	-19540,640	-2699,9848	-7	-12	-20	-22
[c			88127,184	-3695,1262	-25	-32	-46	-67
[d				28566,024	+11	+88	+124	+160
$m_{\beta}=0,7''$	-0,0657884	-0,00074367	-0,00021518	$1,1854 \cdot 10^{-3}$				
$m_{\beta}=1''$	-0,150119	-0,00016886	$8,29635 \cdot 10^{-5}$	$-2,64727 \cdot 10^{-4}$				
$m_{\beta}=1,5''$	-0,202222	-0,00056164	$1,09695 \cdot 10^{-5}$	$-2,10216 \cdot 10^{-4}$				
$m_{\beta}=2''$	-0,263887	0,00053218	$2,23674 \cdot 10^{-5}$	$-3,23412 \cdot 10^{-4}$				

Таблиця 31. Коефіцієнти умовних рівнянь і поправки в напрямки.

Назв. напр.	P	(α)	(S)	(X_4)	(Y_4)	Поправки і напрямки			
						$m_{\beta} = 0,7''$	$m_{\beta} = 1''$	$m_{\beta} = 1,5''$	$m_{\beta} = 2''$
(1)	1	+1,006	+31,491	-77,765	+30,504	-0,10	-0,17	-0,23	-0,29
(2)	1	-1,602	-8,503	+76,593	-13,178	+0,10	+0,25	+0,33	+0,43
(3)	1	+0,080	-37,914	+28,476	-37,787	+0,06	+0,01	+0,01	+0,01
(4)	1	+1,352	-11,713	0	0	-0,08	-0,20	-0,27	-0,35
(5)	1	-0,836	+26,639	-27,304	+20,461	+0,02	+0,11	+0,15	+0,20
(6)	1	-0,900	-11,818	0	0	+0,07	+0,14	+0,19	+0,24
(7)	1	+2,291	-12,854	+9,392	-49,908	-0,08	-0,33	-0,44	-0,58
(8)	1	-0,013	+57,104	-82,542	+51,426	-0,08	-0,03	-0,04	-0,04
(9)	1	-2,374	-14,104	+118,661	-36,472	+0,09	+0,36	+0,48	+0,62
(10)	1	+0,996	-18,328	-45,516	-37,990	0	-0,14	-0,18	-0,24
(11)	1	+1,354	+29,929	-29,919	-26,153	-0,07	-0,20	-0,28	-0,36
(12)	1	-1,904	-3,191	0	0	+0,13	+0,29	+0,39	+0,50
(13)	1	-0,282	-48,296	+23,334	+52,966	-0,01	+0,04	+0,07	+0,08
(14)	1	+2,410	-4,193	+109,495	+1,358	-0,19	-0,35	-0,48	-0,64
(15)	1	-1,578	+25,751	-102,910	-28,171	+0,15	+0,23	+0,31	+0,41

(16)	1	-1,586	-21,181	-67,361	+57,147	+0,07	+0,20	+0,32	+0,42	
(17)	1	+2,757	-2,911	+129,257	-54,066	-0,15	-0,39	-0,54	-0,71	
(18)	1	+0,341	+60,200	-77,972	-61,657	+0,03	-0,05	-0,09	-0,10	
(19)	1	-2,808	-11,501	+16,076	+58,576	+0,12	+0,41	+0,56	+0,73	
(20)	1	+1,301	-24,607	0	0	-0,07	-0,19	-0,25	-0,33	
						ΣVV	0,184	1,130	2,092	3,565
						μ	0,21	0,53	0,72	0,94

Таблиця 32. Поправки в кути

Формула поправки	$m_{\beta} = 0,7''$	$m_{\beta} = 1''$	$m_{\beta} = 1,5''$	$m_{\beta} = 2''$
$(\beta_{11})=(3)-(1)$	+0,16	+0,18	+0,24	+0,30
$(\beta_{21})=(3)-(2)$	-0,04	-0,24	-0,32	-0,42
$(\beta_{31})=(9)-(8)$	+0,17	+0,39	+0,52	+0,66
$(\beta_{41})=(10)-(8)$	+0,08	-0,11	-0,14	-0,20
$(\beta_{12})=(5)-(3)$	-0,04	+0,10	+0,14	+0,19
$(\beta_{22})=(4)-(3)$	-0,14	-0,21	-0,28	-0,36
$(\beta_{32})=(8)-(7)$	0	+0,30	+0,40	+0,54
$(\beta_{42})=(8)-(6)$	-0,15	-0,17	-0,23	-0,28
$(\beta_{14})=(15)-(13)$	+0,16	+0,19	+0,24	+0,33
$(\beta_{24})=(14)-(13)$	-0,18	-0,39	-0,55	-0,72
$(\beta_{34})=(18)-(17)$	+0,18	+0,34	+0,45	+0,61
$(\beta_{44})=(18)-(16)$	-0,04	-0,27	-0,41	-0,52
$(\beta_{13})=(13)-(11)$	+0,06	+0,24	+0,35	+0,44
$(\beta_{23})=(13)-(12)$	-0,14	-0,25	-0,35	-0,42
$(\beta_{33})=(19)-(18)$	+0,09	+0,46	+0,65	+0,83
$(\beta_{43})=(20)-(18)$	-0,10	-0,14	-0,16	-0,22

Таблиця 33. Зрівноважені кути моделей.

Назва кутів	Кути моделі $m_{\beta}=0,7''$	V''	Зрівноважені кути	Кути моделі $m_{\beta}=1''$	V''	Зрівноважені кути (секунди)	Кути моделі $m_{\beta}=1,5''$	V''	Зрівноважені кути (секунди)	Кути моделі $m_{\beta}=2''$	V''	Зрівноважені кути (секунди)
β_{11}	100°00'08.84	+0,16	100°00'09.00	08,97	+0,18	09,15"	09,19	+0,24	09,43	09,40	+0,30	09,70
β_{21}	48°58'15.36	-0,04	48°58'15.32	15,47	-0,24	15,23	15,65	-0,32	15,33	15,83	-0,42	15,41
β_{31}	41°29'35.68	+0,17	41°29'35.85	35,67	+0,39	36,06	35,66	+0,52	36,18	35,64	+0,66	36,30
β_{41}	81°25'14.91	+0,08	81°25'14.99	15,21	-0,11	15,10	15,71	-0,14	15,57	16,21	-0,20	16,01
β_{12}	95°32'16.53	-0,04	95°32'16.49	16,61	+0,10	16,71	+0,14	+0,14	16,90	+16,19	+0,19	17,10

(β ₂₂)	45°30'07.31"	-0,14	45°30'07.17	07,08	-0,21	06,87	06,72	-0,28	06,44	06,35	-0,36	05,99
(β ₃₂)	41°58'06.96"	0	41°58'06.96	06,88	+0,30	06,58	06,75	+0,40	07,15	06,62	+0,54	07,16
(β ₄₂)	76°32'15.19"	-0,15	76°32'15.04	15,24	-0,17	15,07	15,33	-0,23	15,10	15,42	-0,28	15,14
(β ₁₃)	92°27'11.82"	+0,16	92°27'11.98	11,66	+0,19	11,85	11,39	+0,24	11,63	11,12	+0,33	11,45
(β ₂₃)	53°31'07.76"	-0,18	53°31'07.58	08,00	-0,39	07,61	08,40	-0,55	07,85	08,79	-0,72	08,07
(β ₃₃)	49°32'18.21"	+0,18	49°32'18.39	18,26	+0,34	18,60	18,35	+0,45	18,80	18,43	+0,61	19,04
(β ₄₃)	85°27'17.00"	-0,04	85°27'16.96	16,97	-0,27	16,70	16,94	-0,41	16,53	16,90	-0,52	16,48
(β ₁₄)	108°02'14.49"	+0,06	108°02'14.55	14,27	+0,24	14,51	13,90	+0,35	14,25	13,54	+0,44	13,98
(β ₂₄)	59°03'02.78	-0,14	59°03'02.64	03,04	-0,25	02,79	03,47	-0,32	03,15	03,91	-0,42	03,49
(β ₃₄)	38°28'03.44"	+0,09	38°28'03.53	02,49	+0,46	02,95	02,21	+0,65	02,86	01,93	+0,83	02,76
(β ₄₄)	77°48'08.98"	-0,10	77°48'08.58	08,87	-0,14	08,73	08,68	-0,16	08,50	08,49	-0,22	08,27

Таблиця 34. Порівняльна таблиця незрівноважених і істинних координат моделі №2 при $m_\beta=2''$

№ пункт.	Хмплз	Хіст	Δ мм	Умплз	Уіст	Δ мм
1	6221,448	6221,548	-100	7046,025	7046,007	+18
2	1437,422	1437,462	-40	6617,202	6617,235	-33
3	4933,381	4933,491	-110	10876,868	10876,947	-79
4	557,835	557,932	-97	11290,107	11290,212	-105
5	5765,160	5765,233	-73	15841,369	15841,507	-138
6	1755,604	1755,716	-112	15653,316	15653,358	-42

Таблиця 35. Порівняльна таблиця незрівноважених і істинних значень зв'язуючих сторін і їх дирекційних кутів

Напрямок	ω _i	αмплз	αіст	Δα сек	Смплз	Сіст	ΔS мм
2-1	ω ₁	-3°47'05.51"	-3°47'07,91	+2,40	4803,207	4803,258	-51
4-3	γ ₃₄	-5°23'42.63"	-5°23'43,79	+1,16	4395,016	4395,032	-16
6-5	ω ₄	-0°48'02.68	-0°48'07,01	+4,33	4013,964	4013,928	+36

Таблиця 36. Порівняльна таблиця зрівноважених і істинних координат.

№ пункт	Хмплз	Хіст	ΔX мм	Умплз	Уіст	ΔУ мм
1	6221,512	6221,548	-36	7045,984	7046,007	-23
2	1437,497	1437,462	+35	6617,227	6617,235	-8
3	4931,500	4933,491	+9	10876,814	10876,947	-33

4	557,965	557,932	+33	11290,159	11290,212	-53
5	5765,272	5765,2,13	+39	15841,433	15841,507	-74
6	1755,725	1755,716	+9	15653,291	15653,358	-67

$$[\Delta x \Delta x] = 5293$$

$$[\Delta y \Delta y] = 14456$$

Таблиця 37. Порівняльна таблиця зрівноважених і істинних значень зв'язуючих сторін і їх дирекційних кутів.

Напрямок	ω_i	$\alpha_{\text{мплз}}$	$\alpha_{\text{іст}}$	$\Delta \alpha$ сек	$S_{\text{мплз}}$	$S_{\text{іст}}$	ΔS мм
2-1	ω_1	-3°47'08.20"	-3°47'07,91	-0,29	4803,200	4803,258	-58
4-3	Γ_{34}	-5°23'47.63"	-5°23'43.79	-3,84	4395,014	4395,032	-18
6-5	ω_4	-0°48'07.25	-0°48'07,01	-0,24	4013,959	4013,928	+31

Середня квадратична похибка одиниці ваги зрівноваженого напрямку:

$$\mu = 0,94''$$

Середня квадратична похибка дирекційного кута $m_{\alpha_{43}}$

$$m_{\alpha_{43}} = 0,94 * 2,46 = 23''$$

Середня квадратична похибка дирекційного кута $m_{S_{43}}$

$$m_{S_{43}} = 0,94 * 59 = 55 \text{ мм}$$

Середня квадратична похибка координат пункту 4 по результатам зрівноваження:

$$m_{x_4} = 0,94 * 99 = 93 \text{ мм}$$

$$m_{y_4} = 0,94 * 55 = 52 \text{ мм}$$

Середня квадратична похибка координат по істинним похибкам:

$$m_{x_4} = \sqrt{\frac{[\Delta x \Delta x]}{n}} = \sqrt{\frac{5293}{6}} = 30 (\text{мм})$$

$$m_{y_4} = \sqrt{\frac{[\Delta y \Delta y]}{n}} = \sqrt{\frac{14456}{6}} = 49 (\text{мм})$$

$$m_{xy} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = 57 (\text{мм})$$

Таблиця 38. Порівняльна таблиця незрівноважених і істинних . координат моделі №3 при $m_p = 1,5''$

№ пункт	$X_{\text{мплз}}$	$X_{\text{іст}}$	ΔX мм	$Y_{\text{мплз}}$	$Y_{\text{іст}}$	ΔY мм
1	6221,471	6221,548	-77	7046,022	7046,007	-15

2	1437,429	1437,462	-31	6617,211	6617,235	-24
3	4933,405	4933,491	-36	10876,889	10876,947	-58
4	557,856	557,932	-76	11290,133	11290,212	-79
5	5765,180	5765,233	-53	15841,400	15841,507	-107
6	1755,635	1755,716	-81	15653,327	15653,358	-31

Таблиця 39. Порівняльна таблиця не зрівноважених і істинних значень зв'язуючих сторін і їх дирекційних кутів.

Напрямок	ω_i	$\alpha_{мплз}$	$\alpha_{іст}$	$\Delta\alpha$ сек	$S_{мплз}$	$S_{іст}$	ΔS мм
2-1	ω_1	-3°47'05.05"	-3°47'07,91	+1,86	4803,222	4803,258	-36
4-3	Γ_{34}	-5°23'42.85"	-5°23'43.79	-0,94	4395,021	4395,032	-11
6-5	ω_4	-0°48'03.72	-0°48'07,01	+3,29	4013,954	4013,928	+26

Таблиця 40. Порівняльна таблиця зрівноважених і істинних координат.

№ пункт.	$X_{мплз}$	$X_{іст}$	Δ мм	$U_{мплз}$	$U_{іст}$	Δ мм
1	6221,521	6221,548	-27	7046,990	7046,007	-17
2	1437,490	1437,462	+28	6617,229	6617,235	-6
3	4933,498	4933,491	+7	10876,845	10876,947	-2
4	557,958	557,932	+26	11290,173	11290,212	-39
5	5765,270	5765,233	+37	15841,450	15841,507	-57
6	1755,730	1755,716	+14	15653,306	15653,358	-52

$$[\Delta x \Delta x] = 3830$$

$$[\Delta y \Delta y] = 7803$$

Таблиця 41. Порівняльна таблиця зрівноважених і істинних значень зв'язуючих сторін і їх дирекційних кутів

Напрямок	ω_i	$\alpha_{мплз}$	$\alpha_{іст}$	$\Delta\alpha$ сек	$S_{мплз}$	$S_{іст}$	ΔS мм
2-1	ω_1	-3°47'08.17"	-3°47'07,91	-0,26	4803,206	4803,258	-52
4-3	Γ_{34}	-5°23'46.81"	-5°23'43.79	-3,02	4395,019	4395,032	-13
6-5	ω_4	-0°48'07.32	-0°48'07,01	-0,31	4013,952	4013,928	+24

Середня квадратична похибка одиниці ваги зрівноваженого напрямку:

$$\mu = 0,72''$$

Середня квадратична похибка дирекційного кута $m_{\alpha_{43}}$

$$m_{\alpha 43} = 0,72 * 2,46 = 1,77''$$

Середня квадратична похибка дирекційного кута m_{S43}

$$m_{S43} = 0,72 * 59 = 42 \text{ мм}$$

Середня квадратична похибка координат пункту 4 по результатам зрівноваження:

$$m_{x4} = 0,72 * 99 = 71 \text{ мм}$$

$$m_{y4} = 0,72 * 55 = 40 \text{ мм}$$

Середня квадратична похибка координат по істинним похибкам:

$$m_{x4} = \sqrt{\frac{[\Delta x \Delta x]}{n}} = \sqrt{\frac{3803}{6}} = 25 (\text{мм})$$

$$m_{y4} = \sqrt{\frac{[\Delta y \Delta y]}{n}} = \sqrt{\frac{7803}{6}} = 36 (\text{мм})$$

$$m_{xy} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = 43 (\text{мм})$$

Таблиця 42. Порівняльна таблиця незрівноважених і істинних координат моделі №4 при $m_p = 1''$

№ пункт.	Xмплз	Xіст	Δ мм	Умплз	Уіст	Δ мм
1	6221.499	6221.548	-49	7046.014	7046.007	+7
2	1437.446	1437.462	-16	6617.218	6617.235	-17
3	4933.436	4933.491	-55	10876.899	10876.947	-48
4	557.888	557.932	-44	11290.159	11290.212	-53
5	5765.202	5765.233	-31	15841.433	15841.507	-74
6	1755.668	1755.716	-48	15653.338	15653.358	-20

Таблиця 43. Порівняльна таблиця незрівноважених і істинних значень зв'язуючих сторін і їх дирекційних кутів

Напрямок	ω_i	$\alpha_{мплз}$	$\alpha_{іст}$	$\Delta \alpha$ сек	Sмплз	Sіст	ΔS мм
2-1	ω_1	-3°47'06.78"	-3°47'07,91	+1,13	4803,231	4803,258	-27
4-3	Γ_{34}	-5°23'43.61"	-5°23'43.79	+0,18	4395,020	4395,032	-12
6-5	ω_4	-0°48'04.84	-0°48'07,01	+2,17	4013,944	4013,928	+16

Таблиця 44. Порівняльна таблиця зрівноважених і істинних координат.

№ пункт.	Xмплз	Xіст	Δ мм	Умплз	Уіст	Δ мм
1	6221.535	6221.548	-13	7046.993	7046.007	-14

2	1437.486	1437.462	+24	6617.232	6617.235	-3
3	4933.506	4933.491	+15	10876.867	10876.947	+20
4	557.960	557.932	+28	11290.174	11290.212	-38
5	5765.268	5765.233	+35	15841.468	15841.507	-39
6	1755.738	1755.716	+22	15653.323	15653.358	-35

$$[\Delta x \Delta x] = 3463$$

$$[\Delta y \Delta y] = 4795$$

Таблиця 45. Порівняльна таблиця зрівноважених і істинних значень зв'язуючих сторін і їх дирекційних кутів

Напрямок	ω_i	$\alpha_{\text{мплз}}$	$\alpha_{\text{іст}}$	$\Delta \alpha$ сек	$S_{\text{мплз}}$	$S_{\text{іст}}$	ΔS мм
2-1	ω_1	-3°47'08.26"	-3°47'07,91	-0,35	4803,224	4803,258	-34
4-3	Γ_{34}	-5°23'46.80"	-5°23'43.79	-2,01	4395,023	4395,032	-9
6-5	ω_4	-0°48'07.48	-0°48'07,01	-0,47	4013,942	4013,928	+14

Середня квадратична похибка одиниці ваги зрівноваженого напрямку:

$$\mu = 0,53''$$

Середня квадратична похибка дирекційного кута $m_{\alpha 43}$

$$m_{\alpha 43} = 0,53 * 2,46 = 1,3''$$

Середня квадратична похибка дирекційного кута $m_{S 43}$

$$m_{S 43} = 0,53 * 59 = 31 \text{ мм}$$

Середня квадратична похибка координат пункта 4 по результатам зрівноваження:

$$m_{x4} = 0,53 * 99 = 52 \text{ мм}$$

$$m_{y4} = 0,53 * 55 = 29 \text{ мм}$$

Середня квадратична похибка координат по істинним похибкам:

$$m_{x4} = \sqrt{\frac{[\Delta x \Delta x]}{n}} = \sqrt{\frac{3463}{6}} = 24 (\text{мм})$$

$$m_{y4} = \sqrt{\frac{[\Delta y \Delta y]}{n}} = \sqrt{\frac{4795}{6}} = 28 (\text{мм})$$

$$m_{xy} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = 37 (\text{мм})$$

В таблиці 26 приведений порівняльний аналіз незрівноважених і істинних координат моделі №5 при $m_\beta = 0,7''$

Таблиця 46. Порівняльна таблиця не зрівноважених і істинних значень зв'язуючих сторін і їх дирекційних кутів.

Напрямок	ω_i	$\alpha_{\text{мплз}}$	$\alpha_{\text{іст}}$	$\Delta\alpha$ сек	$S_{\text{мплз}}$	$S_{\text{іст}}$	ΔS мм
2-1	ω_1	-3°47'06.99"	-3°47'07,91	+0,92	4803,245	4803,258	-13
4-3	Γ_{34}	-5°23'46.43"	-5°23'43.79	-2,64	4395,028	4395,032	-5
6-5	ω_4	-0°48'05.51	-0°48'07,01	+1,50	4013,938	4013,928	+10

Таблиця 40. Порівняльна таблиця зрівноважених і істинних координат.

№ пункт.	$X_{\text{мплз}}$	$X_{\text{іст}}$	Δ мм	$Y_{\text{мплз}}$	$Y_{\text{іст}}$	Δ мм
1	6221.524	6221.548	-24	7046.002	7046.007	-5
2	1437.469	1437.462	+7	6617.229	6617.235	-6
3	4933.478	4933.491	-13	10876.896	10876.947	+51
4	557.936	557.932	+4	11290.175	11290.212	-37
5	5765.242	5765.233	+9	15841.470	15841.507	-37
6	1755.720	1755.716	+4	15653.340	15653.358	-18

$$[\Delta x \Delta x] = 907$$

$$[\Delta y \Delta y] = 5724$$

Таблиця 41. Порівняльна таблиця зрівноважених і істинних значень зв'язуючих сторін і їх дирекційних кутів

Напрямок	ω_i	$\alpha_{\text{мплз}}$	$\alpha_{\text{іст}}$	$\Delta\alpha$ сек	$S_{\text{мплз}}$	$S_{\text{іст}}$	ΔS мм
2-1	ω_1	-3°47'07.68"	-3°47'07,91	-0,23	4803,231	4803,258	-27
4-3	Γ_{34}	-5°23'44.26"	-5°23'43.79	-0,47	4395,015	4395,032	-17
6-5	ω_4	-0°48'06.71	-0°48'07,01	-0,30	4013,933	4013,928	+5

Середня квадратична похибка одиниці ваги зрівноваженого напрямку:

$$\mu = 0,21''$$

Середня квадратична похибка дирекційного кута $m_{\alpha 43}$

$$m_{\alpha 43} = 0,21 * 2,46 = 0,52''$$

Середня квадратична похибка дирекційного кута $m_{S 43}$

$$m_{S 43} = 0,21 * 59 = 12 \text{ мм}$$

Середня квадратична похибка координат пункта 3,4:

$$m_{x4} = 0,21 \cdot 99 = 21 \text{ мм}$$

$$m_{y4} = 0,21 \cdot 55 = 12 \text{ мм}$$

по істинним похибкам:

$$m_{x4} = \sqrt{\frac{[\Delta x \Delta x]}{n}} = \sqrt{\frac{907}{6}} = 12 \text{ (мм)}$$

$$m_{y4} = \sqrt{\frac{[\Delta y \Delta y]}{n}} = \sqrt{\frac{5724}{6}} = 31 \text{ (мм)}$$

$$m_{xy} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = 33 \text{ (мм)}$$

2.8. Оцінка точності елементів ряду ПЛЗ

Вагова функція для визначення оберненої ваги дирекційного кута сторони S_{43} буде:

$$\begin{aligned} F_{\alpha_{43}} = & \frac{1}{A_1(1 + \text{tg}^2 \omega_1)} [(1 + \text{tg} \omega_1 \text{ctg} \beta_{31})(1 + \text{ctg}^2 \beta_{21})(\beta_{21}) - (1 - \text{tg} \omega_1 \text{ctg} \beta_{41})(1 + \text{ctg}^2 \beta_{11})(\beta_{11}) - \\ & - (1 + \text{tg} \omega_1 \text{ctg} \beta_{21})(1 + \text{ctg}^2 \beta_{31})(\beta_{31}) + (1 - \text{tg} \omega_1 \text{ctg} \beta_{11})(1 + \text{ctg}^2 \beta_{41})(\beta_{41})] + \\ & + \frac{1}{A_1(1 + \text{tg}^2 \omega_2)} [(1 + \text{tg} \omega_2 \text{ctg} \beta_{32})(1 + \text{ctg}^2 \beta_{22})(\beta_{22}) - (1 + \text{tg} \omega_2 \text{ctg} \beta_{42})(1 + \text{ctg}^2 \beta_{12})(\beta_{12}) - \\ & - (1 - \text{tg} \omega_2 \text{ctg} \beta_{22})(1 + \text{ctg}^2 \beta_{32})(\beta_{32}) + (1 - \text{tg} \omega_2 \text{ctg} \beta_{12})(1 + \text{ctg}^2 \beta_{42})(\beta_{42})], \end{aligned} \quad (2.8.1)$$

де

$$A_i = \text{ctg} \beta_{2i} \text{ctg} \beta_{3i} - \text{ctg} \beta_{1i} \text{ctg} \beta_{4i} \quad (2.8.2)$$

$$\text{tg} \omega_i = \frac{(\text{ctg} \beta_{3i} + \text{ctg} \beta_{1i}) - (\text{ctg} \beta_{4i} + \text{ctg} \beta_{2i})}{A_i} \quad (2.8.3)$$

Коефіцієнти вагової функції визначаються по програмі №2, приведений у VII частині посібника.

Вагова функція для визначення оберненої ваги сторони S_{43} має вигляд:

$$F_{S_{43}} = -\frac{S_{21}}{2pt_1}(t_1) + \frac{S_{43}}{2pt_2}(t_2), \quad (2.8.4)$$

де

$$\begin{aligned} t_i = & \left(\frac{1}{\text{ctg} \beta_{2i} + \text{ctg} \beta_{4i}} - \frac{1}{\text{ctg} \beta_{1i} + \text{ctg} \beta_{3i}} \right)^2 + \\ & + \left(\frac{\text{ctg} \beta_{2i}}{\text{ctg} \beta_{2i} + \text{ctg} \beta_{4i}} - \frac{\text{ctg} \beta_{1i}}{\text{ctg} \beta_{1i} + \text{ctg} \beta_{3i}} \right)^2, \end{aligned} \quad (2.8.5)$$

$$S_{21}^2 = \frac{S_{AB}^2}{t_1}; S_{43}^2 = S_{21}^2 \cdot t_2; \quad (2.8.6)$$

$$\begin{aligned}
t_i &= \frac{2(1 + \operatorname{ctg}^2 \beta_{1i})}{(\operatorname{ctg} \beta_{1i} + \operatorname{ctg} \beta_{3i})^2} [r_i + q_i \operatorname{ctg} \beta_{3i}] (\beta_{1i}) + \\
&+ \frac{2(1 + \operatorname{ctg}^2 \beta_{2i})}{(\operatorname{ctg} \beta_{2i} + \operatorname{ctg} \beta_{4i})^2} [-r_i + q_i \operatorname{ctg} \beta_{4i}] (\beta_{2i}) + \\
t_i &= \frac{2(1 + \operatorname{ctg}^2 \beta_{1i})}{(\operatorname{ctg} \beta_{1i} + \operatorname{ctg} \beta_{3i})^2} [r_i + q_i \operatorname{ctg} \beta_{1i}] (\beta_{3i}) + \\
&+ \frac{2(1 + \operatorname{ctg}^2 \beta_{2i})}{(\operatorname{ctg} \beta_{2i} + \operatorname{ctg} \beta_{4i})^2} [-r_i + q_i \operatorname{ctg} \beta_{2i}] (\beta_{4i}),
\end{aligned} \tag{2.8.7}$$

де

$$r_i = -\frac{1}{\operatorname{ctg} \beta_{2i} + \operatorname{ctg} \beta_{4i}} + \frac{1}{\operatorname{ctg} \beta_{1i} + \operatorname{ctg} \beta_{3i}} \tag{2.8.8}$$

$$q_i = \frac{\operatorname{ctg} \beta_{2i}}{\operatorname{ctg} \beta_{2i} + \operatorname{ctg} \beta_{4i}} - \frac{\operatorname{ctg} \beta_{1i}}{\operatorname{ctg} \beta_{1i} + \operatorname{ctg} \beta_{3i}} \tag{2.8.9}$$

Коефіцієнти вагової функції визначаються по програмі №1, приведений у VII частині посібника.

Вагової функції для визначення обернених ваг координат пункту 4 будуть:

$$\begin{aligned}
(x_4) &= \frac{\operatorname{ctg} \beta_{12}}{\operatorname{ctg} \beta_{32} + \operatorname{ctg} \beta_{12}} (x_1) + \frac{\operatorname{ctg} \beta_{32}}{\operatorname{ctg} \beta_{32} + \operatorname{ctg} \beta_{12}} (x_2) - \\
&- \frac{1}{\operatorname{ctg} \beta_{32} + \operatorname{ctg} \beta_{12}} (y_1) + \frac{1}{\operatorname{ctg} \beta_{32} + \operatorname{ctg} \beta_{12}} (y_2) + \\
&+ \frac{(x_4 - x_2)(\operatorname{ctg}^2 \beta_{32} + 1)}{p(\operatorname{ctg} \beta_{32} + \operatorname{ctg} \beta_{12})} (\beta_{32}) + \frac{(x_4 - x_1)(\operatorname{ctg}^2 \beta_{12} + 1)}{p(\operatorname{ctg} \beta_{32} + \operatorname{ctg} \beta_{12})} (\beta_{12}),
\end{aligned} \tag{2.8.10}$$

$$\begin{aligned}
(y_4) &= \frac{\operatorname{ctg} \beta_{12}}{\operatorname{ctg} \beta_{32} + \operatorname{ctg} \beta_{12}} (y_1) + \frac{\operatorname{ctg} \beta_{32}}{\operatorname{ctg} \beta_{32} + \operatorname{ctg} \beta_{12}} (y_2) + \\
&+ \frac{1}{\operatorname{ctg} \beta_{32} + \operatorname{ctg} \beta_{12}} (x_1) + \frac{1}{\operatorname{ctg} \beta_{32} + \operatorname{ctg} \beta_{12}} (x_2) + \\
&+ \frac{(y_4 - y_2)(\operatorname{ctg}^2 \beta_{32} + 1)}{p(\operatorname{ctg} \beta_{32} + \operatorname{ctg} \beta_{12})} (\beta_{32}) + \frac{(y_4 - y_1)(\operatorname{ctg}^2 \beta_{12} + 1)}{p(\operatorname{ctg} \beta_{32} + \operatorname{ctg} \beta_{12})} (\beta_{12}),
\end{aligned} \tag{2.8.11}$$

$$(x_1) = \frac{(x_1 - x_B)(1 + \operatorname{ctg}^2 \gamma_{41})}{p(\operatorname{ctg} \gamma_{41} + \operatorname{ctg} \gamma_{21})} (\gamma_{41}) + \frac{(x_1 - x_A)(1 + \operatorname{ctg}^2 \gamma_{21})}{p(\operatorname{ctg} \gamma_{41} + \operatorname{ctg} \gamma_{21})} (\gamma_{21}), \tag{2.8.12}$$

$$(y_1) = \frac{(y_1 - y_B)(1 + \operatorname{ctg}^2 \gamma_{41})}{p(\operatorname{ctg} \gamma_{41} + \operatorname{ctg} \gamma_{21})} (\gamma_{41}) + \frac{(y_1 - y_A)(1 + \operatorname{ctg}^2 \gamma_{21})}{p(\operatorname{ctg} \gamma_{41} + \operatorname{ctg} \gamma_{21})} (\gamma_{21}), \tag{2.8.13}$$

$$(x_2) = \frac{(x_2 - x_B)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{31})}{p(\text{ctg} \gamma_{31} + \text{ctg} \gamma_{11})} (\gamma_{31}) + \frac{(x_2 - x_A)(1 + \text{ctg}^2 \gamma_{11})}{p(\text{ctg} \gamma_{31} + \text{ctg} \gamma_{11})} (\gamma_{11}), \quad (2.8.14)$$

де

$$\begin{aligned} (\gamma_{11}) &= (\omega_1) - (\beta_{11}); & (\gamma_{21}) &= (\omega_1) + (\beta_{31}); \\ (\gamma_{31}) &= -(\omega_1) + (\beta_{21}); & (\gamma_{41}) &= -(\omega_1) - (\beta_{41}); \end{aligned} \quad (2.8.15)$$

$$\begin{aligned} (\omega_1) &= \frac{1}{A_1(1 + \text{tg}^2 \omega_1)} [(1 + \text{tg} \omega_1 \text{ctg} \beta_{31})(1 + \text{ctg}^2 \beta_{21})(\beta_{21}) - \\ &- (1 - \text{tg} \omega_1 \text{ctg} \beta_{41})(1 + \text{ctg}^2 \beta_{11})(\beta_{11}) - \\ &- (1 + \text{tg} \omega_1 \text{ctg} \beta_{21})(1 + \text{ctg}^2 \beta_{31})(\beta_{31}) + \\ &+ (1 - \text{tg} \omega_1 \text{ctg} \beta_{11})(1 + \text{ctg}^2 \beta_{41})(\beta_{41})], \end{aligned} \quad (2.8.16)$$

Таблиця 49. Коефіцієнти умовних рівнянь і вагових функцій.

Назв напн	P	(α)	(S)	(X ₄)	(Y ₄)	F _{α34}	F _{S34}	F _{X34}	F _{Y34}
(1)	1	+1,006	+31,491	-77,765	+30,504	+1,006	+31,491	-77,765	+30,504
(2)	1	-1,602	-8,503	+76,593	-13,178	-1,602	-8,503	+76,593	-13,178
(3)	1	+0,080	-37,914	+28,476	-37,787	+0,080	-37,914	+28,476	-37,787
(4)	1	+1,352	-11,713	0	0	+1,352	-11,713	0	0
(5)	1	-0,836	+26,639	-27,304	+20,461	-0,836	+26,639	-27,304	+20,461
(6)	1	-0,900	-11,818	0	0	-0,900	-11,818	0	0
(7)	1	+2,291	-12,854	+9,392	-49,908	+2,291	-12,854	+9,392	-49,908
(8)	1	-0,013	+57,104	-82,542	+51,426	-0,013	+57,104	-82,542	+51,426
(9)	1	-2,374	-14,104	+118,661	-36,472	-2,374	-14,104	+118,661	-36,472
(10)	1	+0,996	-18,328	-45,516	-37,990	+0,996	-18,328	-45,516	-37,990
(11)	1	+1,354	+29,929	-29,919	-26,153				
(12)	1	-1,904	-3,191	0	0				
(13)	1	-0,282	-48,296	+23,334	+52,966				
(14)	1	+2,410	-4,193	+109,495	+1,358				
(15)	1	-1,578	+25,751	-102,910	-28,171				
(16)	1	-1,586	-21,181	-67,361	+57,147				
(17)	1	+2,757	-2,911	+129,257	-54,066				
(18)	1	+0,341	+60,200	-77,972	-61,657				
(19)	1	-2,808	-11,501	+16,076	+58,576				
(20)	1	+1,301	-24,607	0	0				

Таблиця 50. Коефіцієнти нормальних рівнянь і вагових функцій.

	a]	b]	c]	d]	F _{α34}	F _{S34}	F _{X34}	F _{Y34}	W	S
[a	52.44 5	+55.692	+290.364	-635.5830	18.798	-0.164	-480.286	-207.760	+21,0 7	-885,424
[b		16186.934	- 19540.640	-2699.985	-0.164	+7448.882	-1058.81	+6810.398	+88	-2231,693
[c			88127.184	-3695.126	- 480.286	-10580.81	+36524.991	-3672.578	+265	+87238,099
[d				28566.024	- 207.760	+6810.398	-3672.578	+10859.553	-494	+34830,943
FF					+18.798	+7448.882	+36524.991	+10859.533		

t_{1i}	7,24 2	+7,690	+40,095	-87,765	+2,596	-0,023	-66,320	-28,689	+2,909	-122,264
t_{2i}		126,995	-156,297	-15,946	-0,138	+58,656	-79,301	+55,364	+0,517	-10,170
t_{3i}			249,180	-10,709	-2,444	-5,667	+107,511	+24,604	+0,920	+363,394
t_{4i}				143,158	-0,060	+53,668	-67,103	+66,276	1,540916	+194,399
$K:$ $\sqrt{\frac{1}{P_F}}$	- 0,246 25	-6,695 10^{-3}	-3,23 10^{-3}	+1,07637 10^{-2}	$\sqrt{\frac{1}{P_{\alpha 34}}} = +2,461$	$\sqrt{\frac{1}{P_{S34}}} = 58,656$	$\sqrt{\frac{1}{P_{X4}}} = 98,876$	$\sqrt{\frac{1}{P_{Y4}}} = 55,364$		

Для першої моделі при точності вимальовування горизонтальних кутів $m_{\beta}=3,3''$ одержана середня квадратична похибка дирекційного кута α_{34} :

$$m_{\alpha 43} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{\alpha 34}}} = 1,73 * 2,46 = 1,77''$$

Середня квадратична похибка дирекційного кута m_{S43}

$$m_{S43} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{S34}}} = 1,73 * 59 = 102 \text{ мм}$$

Середня квадратична похибка координат пункту 4:

$$m_{X4} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{X4}}} = 1,73 * 99 = 171 \text{ мм}$$

істина ж похибка була = 163 мм;

$$m_{Y4} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{Y4}}} = 1,73 * 55 = 95 \text{ мм}$$

Розрахуємо фактичні квадратичні похибки по їх істинним похибкам по формулам Гаусса:

$$m_x = \sqrt{\frac{[\Delta x \Delta x]}{n}} = \sqrt{\frac{63780}{6}} = 103 (\text{мм})$$

$$m_y = \sqrt{\frac{[\Delta y \Delta y]}{n}} = \sqrt{\frac{9640}{6}} = 40 (\text{мм})$$

Визначимо на найбільшій оберненій вазі необхідну точність виміру напрямків, щоб середня квадратична похибка координат пунктів була рівна 50 мм.

$$\mu = \frac{m_{XY}}{\sqrt{\frac{1}{P_{XY}}}} = \frac{50}{\sqrt{\frac{99^2 + 55^2}{2}}} = \frac{50}{80} = 63''$$

Як було показано в попередньому параграфі, при середній квадратичній похибці одиниці ваги $0,72''$ по результатам зрівноваження була отримана середня квадратична похибка планового положення пункту 4:

$$m_{XY} = \sqrt{71^2 + 40^2} = 81 \text{ мм},$$

а по істинним похибкам:

$$m_{XY} = 43 \text{ мм}.$$

Граничні істинні похибки незрівноважених координат при середній квадратичній похибці вимірювання кутів в $\Delta x=40 \text{ мм}$; $\Delta y=-30 \text{ мм}$. Так як дані значення похибок знаходяться на межі закруглень, то збільшення точності в два рази,

тобто зменшення істинних похибок в два рази добиватися не слід. Ці результати цілком задовольняють топографічні знімання любого масштабу.

2.9. Попередній розрахунок елементів в МПЛЗ

На основі оцінки точності ряду ПЛЗ одержимо формули попереднього розрахунку точності на стадії проектування мереж.

Для вільного ряду із чотирьох чотирикутників для четвертого чотирикутника величини обернених ваг будуть:

$$\frac{1}{P_{\alpha 4}} = \sqrt{52,445} = 7,24;$$

для одного чотирикутника:

$$\frac{1}{P_{\alpha 1}} = \sqrt{\frac{1}{P_{\alpha 4}}/4} = 3,62.$$

Середня квадратична похибка визначення дирекційного кута зв'язуючої сторони вільного ряду визначається по формулі:

$$m_{\alpha_n} = 3,62 \cdot m_{\beta} \sqrt{n} \quad (2.9.1)$$

де n - число чотирикутників ряду;

m_{β} - середня квадратична похибка виміру горизонтальних кутів.

Для ряду, який опирається на два вихідних дирекційних кути, величина оберненої ваги слабкої сторони буде:

$$\frac{1}{P_{\alpha}} = \sqrt{18,798 - 2,595^2} = 3,47;$$

і середня квадратична похибка m_{α} слабкої сторони для чотирикутників розраховується за формулою:

$$m_{\alpha} = 3,47 \cdot \mu \quad (2.9.2)$$

де μ - середня квадратична похибка одиниці ваги.

Для ряду із n чотирикутників:

$$m_{\alpha} = \frac{3,47}{2} \mu \sqrt{n} = 1,73 \mu \sqrt{n} \quad (2.9.3)$$

Замітимо, що в попередній частині посібника була отримана формула середньої квадратичної похибки передачі дирекційного кута в зрівноваженому ряді:

$$m_{\alpha} = 1,58 m_{\beta} \sqrt{n}. \quad (2.9.4)$$

Для вільного ряду обернена вага зв'язуючої сторони:

$$\sqrt{\frac{1}{P_s}} = \sqrt{16186,934} = 127,23.$$

Для одного чотирикутника:

$$\sqrt{\frac{1}{P_s}} / 4 = 63,61.$$

Середня квадратична похибка визначення зв'язуючої сторони вільного ряду розраховується по формулі:

$$m_s = 63,61 \mu \sqrt{n}. \quad (2.9.5)$$

Для ряду, який опирається на дві вихідні сторони величина оберненої ваги слабкої сторони буде:

$$\sqrt{\frac{1}{P_s}} = \sqrt{7448,882 - 58,656^2} = 63,61.$$

і середня квадратична похибка слабкої сторони ряду для 4 чотирикутників розраховується по формулі:

$$m_s = 63,61 \mu \quad (2.9.6)$$

для ряду із n чотирикутників:

$$m_s = \frac{63,61}{2} \mu \sqrt{n} = 31,6 \mu \sqrt{n} (\text{мм}) \quad (2.9.7)$$

Так, для ряду із чотирьох геодезичних чотирикутників при $\mu=1''$ отримаємо $m_s=63,2$ мм.

Ряд, який опирається на дві вихідні сторони з відомими дирекційними кутами і складається із 4 чотирикутників має величину оберненої ваги дирекційного кута слабкої зв'язуючої сторони:

$$\frac{1}{P_a} = \sqrt{18,798 - 2,595^2 - 0,158^2} = 3,47;$$

тобто умовне рівняння сторін не впливає на точність визначення дирекційних кутів. В даному випадку для оцінки точності справедливі формули (2.9.2) і (2.9.3).

Для того ж ряду величина оберненої ваги зв'язуючої сторони:

$$\sqrt{\frac{1}{P_s}} = \sqrt{7448,882 - 58,656^2 - 0,023^2} = 63,61.$$

тобто, умовне рівняння дирекційних кутів не впливає на точність визначення сторін. При цьому справедливої формули (2.9.6) і (2.9.7).

Ряд, який опирається на два вихідні пункти на початку і кінці ряду при чотирьох чотирикутниках в ряді має обернені ваги:

$$\frac{1}{P_a} = 2,461'', \quad (2.9.8)$$

і ряду із n чотирикутників:

$$m_a = \frac{2,461}{2} \mu \sqrt{n} = 1,23 \mu \sqrt{n} (\text{секунд}) \quad (2.9.9)$$

$$m_s = \frac{58,656}{2} \mu \sqrt{n} = 29,33 \mu \sqrt{n} (\text{мм}) \quad (2.9.10)$$

$$m_x = \frac{98,876}{2} \mu \sqrt{n} = 49,44 \mu \sqrt{n} (\text{мм}) \quad (2.9.11)$$

$$m_y = \frac{55,364}{2} \mu \sqrt{n} = 27,68 \mu \sqrt{n} (\text{мм}) \quad (2.9.12)$$

Для вільного ряду:

$$m_x = \mu \sqrt{\frac{36524,991}{4}} \sqrt{n} = 95,55 \mu \sqrt{n} (\text{мм}) \quad (2.9.13)$$

$$m_y = \mu \sqrt{\frac{10859,553}{4}} \sqrt{n} = 52,1 \mu \sqrt{n} (\text{мм}) \quad (2.9.14)$$

При кутах $\omega \leq \pm 15^\circ$ для попереднього розрахунку точності елементів ряду парних ланок засічок цілком можна використовувати ці спрощені формули, які дають розходження від строгих формул не більше 12%.

Висновки

На основі проведених досліджень можна констатувати, що при згущенні опорних геодезичних мереж методом парних ланок засічок і точності вимірювання горизонтальних кутів 1" забезпечується точність визначення координат пунктів, яка задовольнить топографічні знімання любого масштабу.

Метод парних ланок засічок детально розроблено в даній роботі і він має право зайняти своє місце в арсеналі геодезії на ряду з триангуляцією, трилатерацією, полігонометрією і лінійно-кутовими мережами.

Немає основи твердження про те що наземні методи застаріли і всі опорні мережі необхідно розвивати тільки методами космічної геодезії по системі GPS.

Наземні методи необхідно розвивати і в дальнішому на ряду з широким використанням системи GPS.

На прикладі даного дослідження, де координати вихідних пунктів А, В, С, Д можуть бути визначені по системі GPS, а згущення проведено методом ПЛЗ показано органічне поєднання наземних методів і методів глобальної системи позиціонування.

В даній роботі вперше розроблений корелатний метод зрівноваження мереж несучільних спостережень ПЛЗ. До цієї роботи ні одна мережа не була зрівноважена і досліджена на основі корелатного методу.

Як було показано в [3] даний метод забезпечить точність визначення координат пунктів опорної мережі міста Рівне в 6 мм.

Література

1. Епанечников В.А., Цветков А.Н. Справочник по прикладным программам для микрокалькуляторов. - М.: Финансы и статистика, 1988, - 320с.
2. Дьяконов В.П. Справочник по расчетам на микрокалькуляторах. М.: Наука, 1986,-с.224с.
3. Літнарівч Р.М. Проект і дослідження геодезичної основи міста Рівне методом парних ланок засічок. Навчальний посібник з курсу "Методи наукових досліджень". Частина VI. РДТУ, м.Рівне. 1998, - 31с.
4. Літнарівч Р.М. Польовий контроль під час створення планової геодезичної основи методом парних ланок засічок. - Геодезія, картографія і аерофотознімання. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 56. Львів. Вид-во "Львівська політехніка", 1995, - с.26-32.
5. Літнарівч Р.М. Розрахунок попередніх координат пунктів при створенні планової геодезичної основи методом парних ланок засічок. - Геодезія, картографія та аерофотознімання. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 57. Львів. Вид-во "Львівська політехніка". 1996, с.40-48.

8.01.1999р.

Список приведенних програм

1	Програма №1 Генератор випадкових чисел	4
2	Програма №2 Генерування псевдовипадкових чисел	6
3	Програма №3 виконання польового контролю при розвитку ряду МПЛЗ.	10
4	Програма №4 розрахунку попередніх координат пунктів при розвитку рядів МПЛЗ	17
5	Програма №5 розрахунку координат по формулам Юнга.	21
6	Програма №6 переходу від системи умовних рівнянь розміром 4хп до системи нормальних рівнянь 4х4	28
7	Програма №7 рішення систем лінійних рівнянь при $n \leq 4$	29
8	Програма №8 розрахунку поправок в кути	30

Автор- Літнарівч Руслан Миколайович доцент, кандидат технічних наук.
Комп'ютерний набір і редагування тексту у видавничому редакторі Word for Windows
Кемпа Євгеній Леонідович, Мовчан Ігор Олегович.

ДОДАТКИ

Протокол №12. Розрахунку кутів Омега і бета, зв'язуючих сторін і їх дирекційних кутів по кутам гамма.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз. нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз. нач.
1	4992,25 ХП5		S _{AB}	36	С/П		
2	В/О С/П			37	80°02'51.04"		γ ₁₃
3	76°12'42.7"		γ ₁₁	38	ХПа С/П		
4	ХПа С/П			39	46°33'04.94"		γ ₂₃
5	37°42'26.72"		γ ₂₁	40	ХПв С/П		
6	ХПв С/П			41	50°57'57.65"		γ ₃₃
7	54°45'23.86"		γ ₃₁	42	ХПс С/П		
8	ХПс С/П			43	94°06'47.05"		γ ₄₃
9	102°21'55.3"		γ ₄₁	44	ХПд С/П		
10	ХПд С/П			45		8°05'04.88"	ω ₃
11		-3°47'09.43"	ω ₁	46	С/П	108°02'13.9"	β ₁₃
12	С/П	100°00'07.9"	β ₁₁	47	С/П	59°03'02.52"	β ₂₃
13	С/П	48°58'14.42"	β ₂₁	48	С/П	38°28'00.05"	β ₃₃
14	С/П	41°29'36.14"	β ₃₁	49	С/П	77°48'08.06"	β ₄₃
15	С/П	81°25'14.16"	β ₄₁	50	С/П	0,9133065	t ₃
16	С/П	0,9621451	t ₁	51	"X"	4013.9036	S ₅₆
17	"X"	4803,269	S ₁₂	52	С/П С/П	-6°12'59.656"	Σω
18	С/П С/П	-3°47'09.43"	Σω	53	С/П		
19	С/П			54	86°44'45.06"		γ ₁₄
20	73°56'51.29"		γ ₁₂	55	ХПа С/П		
21	ХПа С/П			56	48°44'17.45"		γ ₂₄
22	31°27'11.26"		γ ₂₂	57	ХПв С/П		
23	ХПв С/П			58	54°19'10.04"		γ ₃₄
24	56°01'05.01"		γ ₃₂	59	ХПс С/П		
25	ХПс С/П			60	95°20'41.06"		γ ₄₄
26	113°58'41.00"		γ ₄₂	61	ХПд С/П		
27	ХПд С/П			62		-0°48'00.27"	ω ₄
28		-10°30'54.93"	ω ₂	63	С/П	92°27'14.69"	β ₁₄
29	С/П	95°32'13.63"	β ₁₂	64	С/П	53°31'09.76"	β ₂₄
30	С/П	45°30'09.9"	β ₂₂	65	С/П	49°32'17.71"	β ₃₄
31	С/П	41°58'06.36"	β ₃₂	66	С/П	85°27'19.22"	β ₄₄
32	С/П	76°32'14.24"	β ₄₂	67	С/П	1,0460927	t ₃
33	С/П	1,0929153	t ₂	68	"."	3837,0438	S _{CD}
34	"."	4394,914	S ₃₄	69	С/П С/П	-7°00'59.92"	Σω
35	С/П С/П	-14°18'04.54"	Σω				

Протокол №13. Розрахунок попередніх координат при $m_\beta=1''$.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	В/О С/П			26	45°30'07.08"		β_{22}
2	100°00'08.97"		β_{11}	27	К0П ХПс		
3	К0П ХПа С/П			28	76°32'15.24"		β_{43}
4	48°58'15.47"		β_{21}	29	В ↑ 180 + /- /		
5	К0П ХПв С/П			30	К0П ХПd		
6	41°29'35.67"		β_{31}	31	7046,014 С/П		У _{1лів}
7	К0П ХПс С/П			32	6617,218 С/П		У _{2пр}
8	81°25'15.21"		β_{41}	33	6221,499 С/П		Х _{1лів}
9	К0П ХПd С/П			34	1437,446 С/П		Х _{2пр}
10	С/П	-3,785216°	ω_1	35		557,888	Х _{4пр}
11	2297,186 С/П		У _{Алів}	36	С/П	11290,159	У _{4пр}
12	1524,235 С/П		У _{Впр}	37	С/П	4933,436	Х _{3лів}
13	5934,594 С/П		Х _{Алів}	38	С/П	10876,899	У _{3пр}
14	1002,545 С/П		Х _{Впр}	39	БП 4 С/П	-413,260	ΔY_3
15		1437,446	Х _{2пр}	40	С/П	4375,548	ΔX_3
16	С/П	6617,218	У _{2пр}	41	С/П	-5°39'54.46"	Γ_{43}
17	С/П	6221,499	Х _{1лів}	42	К0П	-5°23'43.61"	Γ_{43}
18	С/П	7046,014	У _{1лів}				
19	БП 29 С/П						
20	ОХПЕ						
21	95°32'16.61"		β_{12}				
22	/- / К0П ХПе						
23	41°58'06.88"		β_{32}				
24	В ↑ 180 +						
25	К0П ХПв						

Продовження протоколу №13. Зустрічне обчислення координат.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	О ХПе В/О С/П	:4		26	38°28'02.49"		β_{33}
2	85°27'16.67"		β_{44}	27	К0III ХПс		
3	К0III ХПа С/П			28	108°02'14.27"		β_{13}
4	49°32'18.26"		β_{34}	29	В ↑ 180 + /-/		
5	К0III ХПв С/П			30	К0III ХПd		
6	53°31'08.00"		β_{24}	31	15653,338 С/П		У _{6лів}
7	К0III ХПс С/П			32	15841,433 С/П		У _{5пр}
8	92°27'11.65"		β_{14}	33	1755,668 С/П		Х _{6лів}
9	К0III ХПd С/П			34	5765,202 С/П		Х _{5пр}
10	С/П	-0,80134387°	ω_1	35		4933,377 С/П	Х _{3пр}
11	20592,95 С/П		У _{Слів}	36		10876,846 С/П	У _{3пр}
12	20719,13 С/П		У _{Дпр}	37		557,856 С/П	Х _{4лів}
13	1311,42 С/П		Х _{Слів}	38		11290,247	У _{4пр}
14	5146,31 С/П		Х _{Дпр}	39	БП 29 С/П	413,401 С/П	ΔY_{34}
15		5765,202	Х _{5пр}	40	С/П	-4375,522 С/П	ΔX_{34}
16	С/П	15841,433	У _{5пр}	41	С/П	-5,397307°	Γ_{43}
17	С/П	1755,668	Х _{6лів}	42	К0III	-5°23'50.305"	Γ_{43}
18	С/П	15653,338	У _{6лів}		$W_{\alpha} =$	+7,69"	
19	БП 29 С/П				$S_{34пр} =$	4395,020	
20	ОХПЕ				$S_{34об} =$	4395,008	
21	77°48'08.87"		β_{43}		W_S	+12мм	
22	/-/ К0III ХПа				W_{x4}	+0,032	
23	59°03'03.04"		β_{23}		W_{y4}	-0,088	
24	В ↑ 180 +				W_{x3}	+0,059	
25	К0III ХПв				W_{y3}	+0,053	

Протокол №14. Розрахунок попередніх координат при $m_\beta=1,5''$.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	В/О С/П			26	45°30'06.72"		β_{22}
2	100°00'09.19"		β_{11}	27	К0III ХПе		
3	К0III ХПа С/П			28	76°32'15.33"		β_{43}
4	48°58'15.65"		β_{21}	29	В ↑ 180 + /-		
5	К0III ХПв С/П			30	К0III ХPd		
6	41°29'35.66"		β_{31}	31	7046,022 С/П		У _{1лів}
7	К0III ХПе С/П			32	6617,211 С/П		У _{2пр}
8	81°25'15.71"		β_{41}	33	6221,471 С/П		Х _{1лів}
9	К0III ХPd С/П			34	1437,429 С/П		Х _{2пр}
10	С/П	-3,785015°	ω_1	35		557,856	Х _{4пр}
11	2297,186 С/П		У _{Алів}	36	С/П	11290,133	У _{4пр}
12	1524,235 С/П		У _{Впр}	37	С/П	4933,405	Х _{3лів}
13	5934,594 С/П		Х _{Алів}	38	С/П	10876,889	У _{3пр}
14	1002,545 С/П		Х _{Впр}	39	БП 4 С/П	-413,244	ΔY_{34}
15		1437,429 С/П	Х _{2пр}	40	С/П	4375,550	ΔX_{34}
16		6617,211 С/П	У _{2пр}	41	С/П	-5°39'52.35	Γ_{43}
17		6221,471 С/П	Х _{1лів}	42	К0III	-5°23'42.85"	Γ_{43}
18		7046,022	У _{1лів}				
19	БП 29 С/П						
20	ОХПЕ						
21	95°32'16.76"		β_{12}				
22	/-/ К0III ХПе						
23	41°58'06.75"		β_{32}				
24	В ↑ 180 +						
25	К0III ХПв						

Продовження протоколу №14. Зустрічне обчислення координат.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	О ХПе В/О С/П	:4		26	38°28'02.21"		β_{33}
2	85°27'16.94"		β_{44}	27	К0П ХПе		
3	К0П ХПа С/П			28	108°02'13.90"		β_{13}
4	49°32'18.39"		β_{34}	29	В ↑ 180 + /-		
5	К0П ХПв С/П			30	К0П ХPd		
6	53°31'08.40"		β_{24}	31	15653,327 С/П		У _{6лів}
7	К0П ХПе С/П			32	15841,400 С/П		У _{5пр}
8	92°27'11.39"		β_{14}	33	1755,635 С/П		Х _{6лів}
9	К0П ХPd С/П			34	5765,180 С/П		Х _{5пр}
10	С/П	-0,80103264°	ω_1	35		4933,318	Х _{3пр}
11	20592,95 С/П		У _{Слів}	36	С/П	10876,792	У _{3пр}
12	20719,13 С/П		У _{Дпр}	37	С/П	557,810	Х _{4лів}
13	1311,42 С/П		Х _{Слів}	38	С/П	11290,257	У _{4пр}
14	5146,31 С/П		Х _{Дпр}	39	БП 29 С/П	413,465	ΔY_{34}
15		5765,180 С/П	Х _{5пр}	40	С/П	-4375,509	ΔX_{34}
16		15841,400 С/П	У _{5пр}	41	С/П	-5,398153°	r ₄₃
17		1755,635 С/П	Х _{6лів}	42	К0П	-5°23'53.351"	r ₄₃
18		15653,327	У _{6лів}		W _α =	+10,50"	
19	БП 29 С/П				S _{34пр} =	4395,021	
20	ОХПЕ				S _{34об} =	4395,001	
21	77°48'08.68"		β_{43}		W _S	+20мм	
22	/-/ К0П ХПа				W _{x4}	+46мм	
23	59°03'03.47"		β_{23}		W _{y4}	-124мм	
24	В ↑ 180 +				W _{x3}	+87мм	
25	К0П ХПв				W _{y3}	+97мм	

Протокол №14.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	В/О С/П			26	45°30'06.35"		β_{22}
2	100°00'09.40"		β_{11}	27	К0П ХПе		
3	К0П ХПа С/П			28	76°32'15.42"		β_{43}
4	48°58'15.83"		β_{21}	29	В ↑ 180 + /-		
5	К0П ХПв С/П			30	К0П ХPd		
6	41°29'35.64"		β_{31}	31	7046,025 С/П		У _{1лів}
7	К0П ХПе С/П			32	6617,202 С/П		У _{2пр}
8	81°25'16.21"		β_{41}	33	6221,448 С/П		Х _{1лів}
9	К0П ХPd С/П			34	1437,422 С/П		Х _{2пр}
10	С/П	-3,784864°	ω_1	35		557,835 С/П	Х _{4пр}
11	2297,186 С/П		У _{Алів}	36		11290,107 С/П	У _{4пр}
12	1524,235 С/П		У _{Впр}	37		4933,381 С/П	Х _{3лів}
13	5934,594 С/П		Х _{Алів}	38		10876,868	У _{3пр}
14	1002,545 С/П		Х _{Впр}	39	БП 4 С/П	-413,239	ΔY_{34}
15		1437,422	Х _{2пр}	40	С/П	4375,546	ΔX_{34}
16	С/П	6617,202	У _{2пр}	41	С/П	-5,395175°	r_{43}
17	С/П	6221,448	Х _{1лів}	42	К0П	-5°23'42.63"	r_{43}
18	С/П	7046,025	У _{1лів}				
19	БП 29 С/П						
20	ОХПЕ						
21	95°32'16.91"		β_{12}				
22	/-/ К0П ХПе						
23	41°58'06.62"		β_{32}				
24	В ↑ 180 +						
25	К0П ХПв						

Продовження протоколу №14. Зустрічне обчислення координат.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	О ХПе В/О С/П	:4		26	38°28'01.93"		β ₃₃
2	85°27'16.90"		β ₄₄	27	К0П ХПе		
3	К0П ХПа С/П			28	108°02'13.54"		β ₁₃
4	49°32'18.43"		β ₃₄	29	В ↑ 180 + /-/		
5	К0П ХПв С/П			30	К0П ХPd		
6	53°31'08.79"		β ₂₄	31	15653,316 С/П		У _{6лів}
7	К0П ХПе С/П			32	15841,369 С/П		У _{5пр}
8	92°27'11.12"		β ₁₄	33	1755,604 С/П		Х _{6лів}
9	К0П ХPd С/П			34	5765,160 С/П		Х _{5пр}
10	С/П	-0,80074393°	ω ₁	35		4933,264 С/П	Х _{3пр}
11	20592,95 С/П		У _{Слів}	36	С/П	10876,74	У _{3пр}
12	20719,13 С/П		У _{Дпр}	37	С/П	557,768	Х _{4лів}
13	1311,42 С/П		Х _{Слів}	38	С/П	11290,267	У _{4пр}
14	5146,31 С/П		Х _{Дпр}	39	БП 29 С/П	413,527	ΔУ ₃ 4
15		5765,160 С/П	Х _{5пр}	40	С/П	-4375,496	ΔХ ₃ 4
16		15841,369 С/П	У _{5пр}	41	С/П	-5,398973°	г ₄₃
17		1755,604 С/П	Х _{6лів}	42	К0П	-5°23'56.30"	г ₄₃
18		15653,316	У _{6лів}		W _α =	+13,67"	
19	БП 29 С/П				S _{34пр} =	4395,016	
20	ОХПЕ				S _{34об} =	4394,994	
21	77°48'08.49"		β ₄₃		W _S	+24мм	
22	/-/ К0П ХПа						
23	59°03'03.91"		β ₂₃				
24	В ↑ 180 +						
25	К0П ХПв						

$$W_{x4}=X_{4пр} - X_{4об} = 557,835-557,768=+0,067$$

$$W_{y4}=Y_{4пр} - Y_{4об} = 11290,107-11290,267=-0,160$$

$$W_{x3}=X_{3пр} - X_{3об} = 4933,381-4933,264=+0,117$$

$$W_{y3}=Y_{3пр} - Y_{3об} = 10876,868-10876,740=+0,128$$

Протокол №15. Розрахунок зрівноважених координат при $m_b=0,7''$.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	В/О С/П			26	45°30'07.17"		β_{22}
2	100°00'09.00"		β_{11}	27	К0III ХПс		
3	К0III ХПа С/П			28	76°32'15.04"		β_{43}
4	48°58'15.32"		β_{21}	29	В ↑ 180 + /-/		
5	К0III ХПв С/П			30	К0III ХПd		
6	41°29'35.85"		β_{31}	31	7046,002 С/П		У _{1лів}
7	К0III ХПс С/П			32	6617,229 С/П		У _{2пр}
8	81°25'14.99"		β_{41}	33	6221,524 С/П		Х _{1лів}
9	К0III ХПd С/П			34	1437,469 С/П		Х _{2пр}
10	С/П	-3,785466°	ω_1	35		557,936 С/П	Х _{4пр}
11	2297,186 С/П		У _{Алів}	36		11290,175 С/П	У _{4пр}
12	1524,235 С/П		У _{Впр}	37		4933,478 С/П	Х _{3лів}
13	5934,594 С/П		Х _{Алів}	38		10876,846 С/П	У _{3пр}
14	1002,545 С/П		Х _{Впр}	39	БП 4 С/П	-413,279	ΔY_{34}
15		1437,469	Х _{2пр}	40	С/П	4375,541	ΔX_{34}
16	С/П	6617,229	У _{2пр}	41	С/П	-5°39'57.00"	Γ_{43}
17	С/П	6221,524	Х _{1лів}	42	К0III	-5°23'44.52"	Γ_{43}
18	С/П	7045,002	У _{1лів}				
19	БП 29 С/П						
20	ОХПЕ						
21	95°32'16.49"		β_{12}				
22	/-/ К0III ХПе						
23	41°58'06.96"		β_{32}				
24	В ↑ 180 +						
25	К0III ХПв						

Продовження протоколу №15. Зустрічне обчислення координат.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	О ХПе В/О С/П	:4		26	38°28'03.53"		β ₃₃
2	85°27'16.96"		β ₄₄	27	К ₀ Ш ХПе		
3	К ₀ Ш ХПа С/П			28	108°02'14.55"		β ₁₃
4	49°32'18.39"		β ₃₄	29	В ↑ 180 + /-/		
5	К ₀ Ш ХПв С/П			30	К ₀ Ш ХPd		
6	53°31'07.58"		β ₂₄	31	15653,340 С/П		У _{6лів}
7	К ₀ Ш ХПе С/П			32	15841,470 С/П		У _{5пр}
8	92°27'11.98"		β ₁₄	33	1755,720 С/П		Х _{6лів}
9	К ₀ Ш ХPd С/П			34	5765,242 С/П		Х _{5пр}
10	С/П	-0,80186349°	ω ₁	35		4933,466	Х _{3пр}
11	20592,95 С/П		У _{Слів}	36	С/П	10876,904	У _{3пр}
12	20719,13 С/П		У _{Дпр}	37	С/П	557,921	Х _{4лів}
13	1311,42 С/П		Х _{Слів}	38	С/П	11290,178	У _{4пр}
14	5146,31 С/П		Х _{Дпр}	39	БП 29 С/П	413,274	ΔУ ₃₄
15		5765,242	Х _{5пр}	40	С/П	-4375,545	ΔХ ₃₄
16	С/П	15841,470	У _{5пр}	41	С/П	-5,395629°	Г ₄₃
17	С/П	1755,720	Х _{6лів}	42	К ₀ Ш	-5°23'44.264"	Г ₄₃
18	С/П	15653,340	У _{6лів}		W _α =	-0,256"	
19	БП 29 С/П				S _{34пр} =	4395,015	
20	ОХПЕ				S _{34об} =	4395,019	
21	77°48'08.88"		β ₄₃		W _S	-4мм	
22	/-/ К ₀ Ш ХПа				W _{x4}	+15мм	
23	59°03'02.64"		β ₂₃		W _{y4}	-3мм	
24	В ↑ 180 +				W _{x3}	+12мм	
25	К ₀ Ш ХПв				W _{y3}	-8мм	

Протокол №16. Розрахунок зрівноважених координат при $m_b=1''$.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	В/О С/П			26	45°30'06.58"		β_{22}
2	100°00'09.15"		β_{11}	27	К0III ХПс		
3	К0III ХПа С/П			28	76°32'15.07"		β_{43}
4	48°58'15.23"		β_{21}	29	В ↑ 180 + /-/		
5	К0III ХПв С/П			30	К0III ХПd		
6	41°29'36.06"		β_{31}	31	7045,993 С/П		$Y_{1\text{лів}}$
7	К0III ХПс С/П			32	6617,232 С/П		$Y_{2\text{пр}}$
8	81°25'15.10"		β_{41}	33	6221,535 С/П		$X_{1\text{лів}}$
9	К0III ХПd С/П			34	1437,486 С/П		$X_{2\text{пр}}$
10	С/П	-3,785628°	ω_1	35		557,960 С/П	$X_{4\text{пр}}$
11	2297,186 С/П		$Y_{\text{Алів}}$	36		11290,174 С/П	$Y_{4\text{пр}}$
12	1524,235 С/П		$Y_{\text{Впр}}$	37		4933,506 С/П	$X_{3\text{лів}}$
13	5934,594 С/П		$X_{\text{Алів}}$	38		10876,867 С/П	$Y_{3\text{пр}}$
14	1002,545 С/П		$X_{\text{Впр}}$	39	БП 4 С/П	-413,307	ΔY_{34}
15		1437,486	$X_{2\text{пр}}$	40	С/П	4375,546	ΔX_{34}
16	С/П	6617,232	$Y_{2\text{пр}}$	41	С/П	-5°396057	Γ_{43}
17	С/П	6221,535	$X_{1\text{лів}}$	42	К0III	-5°23'45.805"	Γ_{43}
18	С/П	7045,993	$Y_{1\text{лів}}$				
19	БП 29 С/П						
20	ОХПЕ						
21	95°32'16.71"		β_{12}				
22	/-/ К0III ХПе						
23	41°58'06.87"		β_{32}				
24	В ↑ 180 +						
25	К0III ХПв						

Продовження протоколу №16. Зустрічне обчислення координат.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	О ХПе В/О С/П	:4		26	38°28'02.95"		β ₃₃
2	85°27'16.70"		β ₄₄	27	К ₀ Ш ХПе		
3	К ₀ Ш ХПа С/П			28	108°02'14.51"		β ₁₃
4	49°32'18.60"		β ₃₄	29	В ↑ 180 + /-/		
5	К ₀ Ш ХПв С/П			30	К ₀ Ш ХPd		
6	53°31'07.61"		β ₂₄	31	15653,323 С/П		У _{6лів}
7	К ₀ Ш ХПе С/П			32	15841,468 С/П		У _{5пр}
8	92°27'11.85"		β ₁₄	33	1755,738 С/П		Х _{6лів}
9	К ₀ Ш ХPd С/П			34	5765,268 С/П		Х _{5пр}
10	С/П	-0,80207766°	ω ₁	35		4933,504 С/П	Х _{3пр}
11	20592,95 С/П		У _{Слів}	36		10876,884 С/П	У _{3пр}
12	20719,13 С/П		У _{Дпр}	37		557,963 С/П	Х _{4лів}
13	1311,42 С/П		Х _{Слів}	38		11290,183	У _{4пр}
14	5146,31 С/П		Х _{Дпр}	39	БП 29 С/П	413,299 С/П	ΔУ ₃₄
15		5765,268 С/П	Х _{5пр}	40		-4375,541 С/П	ΔХ ₃₄
16		15841,468 С/П	У _{5пр}	41		-5,395959°	г ₄₃
17		1755,738 С/П	Х _{6лів}	42	К ₀ Ш	-5°23'45.452"	г ₄₃
18		15653,323	У _{6лів}		W _α =	+0,35"	
19	БП 29 С/П				S _{34пр} =	4395,023	
20	ОХПЕ				S _{34об} =	4395,017	
21	77°48'08.73"		β ₄₃		W _S	+5ММ	
22	/-/ К ₀ Ш ХПа				W _{x4}	-3ММ	
23	59°03'02.79"		β ₂₃		W _{y4}	-9ММ	
24	В ↑ 180 +				W _{x3}	+2ММ	
25	К ₀ Ш ХПв				W _{y3}	-17ММ	

Протокол №17. Розрахунок зрівноважених координат.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	В/О С/П			26	45°30'06.44"		β_{22}
2	100°00'09.43"		β_{11}	27	К0III ХПе		
3	К0III ХПа С/П			28	76°32'15.10"		β_{43}
4	48°58'15.33"		β_{21}	29	В ↑ 180 + /-		
5	К0III ХПв С/П			30	К0III ХPd		
6	41°29'36.18"		β_{31}	31	7045,990 С/П		У _{1лів}
7	К0III ХПе С/П			32	6617,229 С/П		У _{2пр}
8	81°25'15.57"		β_{41}	33	6221,521 С/П		Х _{1лів}
9	К0III ХPd С/П			34	1437,490 С/П		Х _{2пр}
10	С/П	-3,785603°	ω_1	35		557,958 С/П	Х _{4пр}
11	2297,186 С/П		У _{Алів}	36		11290,173 С/П	У _{4пр}
12	1524,235 С/П		У _{Впр}	37		4933,498 С/П	Х _{3лів}
13	5934,594 С/П		Х _{Алів}	38		10876,845 С/П	У _{3пр}
14	1002,545 С/П		Х _{Впр}	39	БП 4 С/П	-413,328	ΔY_{34}
15		1437,490	Х _{2пр}	40	С/П	4375,540	ΔX_{34}
16	С/П	6617,229	У _{2пр}	41	С/П	-5°39'6337	r_{43}
17	С/П	6221,521	Х _{1лів}	42	К0III	-5°23'46.813"	r_{43}
18	С/П	7045,990	У _{1лів}				
19	БП 29 С/П						
20	ОХПЕ						
21	95°32'16.90"		β_{12}				
22	/-/ К0III ХПе						
23	41°58'07.15"		β_{32}				
24	В ↑ 180 +						
25	К0III ХПв						

Продовження протоколу №17. Зустрічне обчислення координат.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	О ХПе В/О С/П	:4		26	38°28'02.86"		β_{33}
2	85°27'16.53"		β_{44}	27	К0П ХПе		
3	К0П ХПа С/П			28	108°02'14.25"		β_{13}
4	49°32'18.80"		β_{34}	29	В ↑ 180 + /-/		
5	К0П ХПв С/П			30	К0П ХPd		
6	53°31'07.85"		β_{24}	31	15653,306 С/П		У _{6лів}
7	К0П ХПе С/П			32	15841,450 С/П		У _{5пр}
8	92°27'11.63"		β_{14}	33	1755,730 С/П		Х _{6лів}
9	К0П ХPd С/П			34	5765,270 С/П		Х _{5пр}
10	С/П	-0,80203417°	ω_1	35		4933,495 С/П	Х _{3пр}
11	20592,95 С/П		У _{Слів}	36		10876,847 С/П	У _{3пр}
12	20719,13 С/П		У _{Дпр}	37		557,962 С/П	Х _{4лів}
13	1311,42 С/П		Х _{Слів}	38		11290,169	У _{4пр}
14	5146,31 С/П		Х _{Дпр}	39	БП 29 С/П	413,322	ΔY_{34}
15		5765,27 С/П	Х _{5пр}	40	С/П	-4375,534	ΔX_{34}
16		15841,45 С/П	У _{5пр}	41	С/П	-5,396267°	Γ_{43}
17		1755,730 С/П	Х _{6лів}	42	К0П	-5°23'46.563"	Γ_{43}
18		15659,306	У _{6лів}		W _{α} =	+0,25"	
19	БП 29 С/П				S _{34пр} =	4395,019	
20	ОХПЕ				S _{34об} =	4395,012	
21	77°48'08.50"		β_{43}		W _S	+7мм	
22	/-/ К0П ХПа				W _{x4}	-4мм	
23	59°03'03.15"		β_{23}		W _{y4}	+4мм	
24	В ↑ 180 +				W _{x3}	+3мм	
25	К0П ХПв				W _{y3}	-2мм	

Протокол №18. Розрахунок зрівноважених координат при $m_b=2''$.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	В/О С/П			26	45°30'05.99"		β_{22}
2	100°00'09.70"		β_{11}	27	К0III ХПс		
3	К0III ХПа С/П			28	76°32'15.14"		β_{43}
4	48°58'15.41"		β_{21}	29	В ↑ 180 + /-		
5	К0III ХПв С/П			30	К0III ХПd		
6	41°29'36.30"		β_{31}	31	7045,984 С/П		У _{1лів}
7	К0III ХПс С/П			32	6617,227 С/П		У _{2пр}
8	81°25'16.01"		β_{41}	33	6221,512 С/П		Х _{1лів}
9	К0III ХПd С/П			34	1437,467 С/П		Х _{2пр}
10	С/П	-3,785611°	ω_1	35		557,965	Х _{4пр}
11	2297,186 С/П		У _{Алів}	36	С/П	11290,159	У _{4пр}
12	1524,235 С/П		У _{Впр}	37	С/П	4933,500	Х _{3лів}
13	5934,594 С/П		Х _{Алів}	38	С/П	10876,814	У _{3пр}
14	1002,545 С/П		Х _{Впр}	39	БП 4 С/П	-413,345	ΔY_3 4
15		1437,497	Х _{2пр}	40	С/П	4375,534	ΔX_3 4
16	С/П	6617,227	У _{2пр}	41	С/П	-5°39'6565	Γ_{43}
17	С/П	6221,512	Х _{1лів}	42	К0III	-5°23'47.634"	Γ_{43}
18	С/П	7045,984	У _{1лів}				
19	БП 29 С/П						
20	ОХПЕ						
21	95°32'17.10"		β_{12}				
22	/-/ К0III ХПе						
23	41°58'07.16"		β_{32}				
24	В ↑ 180 +						
25	К0III ХПв						

Продовження протоколу №18. Зустрічне обчислення координат.

№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.	№ п/п	Введення даних	Результат	Поз нач.
1	О ХПе В/О С/П	:4		26	38°28'02.76"		β ₃₃
2	85°27'16.48"		β ₄₄	27	К _{0П} ХПе		
3	К _{0П} ХПа С/П			28	108°02'13.98"		β ₁₃
4	49°32'19.04"		β ₃₄	29	В ↑ 180 + /-		
5	К _{0П} ХПв С/П			30	К _{0П} ХПд		
6	53°31'08.07"		β ₂₄	31	15653,291 С/П		У _{6лів}
7	К _{0П} ХПе С/П			32	15841,433 С/П		У _{5пр}
8	92°27'11.45"		β ₁₄	33	1755,725 С/П		Х _{6лів}
9	К _{0П} ХПд С/П			34	5765,272 С/П		Х _{5пр}
10	С/П	-0,8020136°	ω ₁	35		4933,486	Х _{3пр}
11	20592,95 С/П		У _{Слів}	36	С/П	10876,817	У _{3пр}
12	20719,13 С/П		У _{Дпр}	37	С/П	557,960	Х _{4лів}
13	1311,42 С/П		Х _{Слів}	38	С/П	11290,159	У _{4пр}
14	5146,31 С/П		Х _{Дпр}	39	БП 29 С/П	413,342	ΔУ ₃₄
15		5765,272	Х _{5пр}	40	С/П	-4375,526	ΔХ ₃₄
16	С/П	15841,433	У _{5пр}	41	С/П	-5,396536°	γ ₄₃
17	С/П	1755,725	Х _{6лів}	42	К _{0П}	-5°23'47.53"	γ ₄₃
18	С/П	15653,291	У _{6лів}		W _α =	-0,10"	
19	БП 29 С/П				S _{34пр} =	4395,014	
20	ОХПЕ				S _{34об} =	4395,006	
21	77°48'08.27"		β ₄₃		W _S	+8мм	
22	/-/ К _{0П} ХПа				W _{x4}	+5мм	
23	59°03'03.49"		β ₂₃		W _{y4}	0	
24	В ↑ 180 +				W _{x3}	+14мм	
25	К _{0П} ХПв				W _{y3}	-3мм	

**Руслан Миколайович Літнарівч,
доцент, кандидат технічних наук**

**СТВОРЕННЯ ПЛАНОВОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ
МЕТОДОМ ПАРНИХ ЛАНОК ЗАСІЧОК**

Навчальний посібник з курсу

“ОСНОВНІ ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ”

Частина VIII

**Комп’ютерний набір і редагування тексту у видавничому редакторі
Windows Дорошенко Ігор Володимирович, Захарченко Сергій Вікторович**

Word for

**ЧЕРНІГІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ
ЕКОНОМІКИ І УПРАВЛІННЯ**

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