

Міністерство науки і освіти України  
Чернігівський державний інститут  
економіки і управління

Р.М.Літнарівч

***Розробка технології створення  
планової геодезичної мережі лінійно  
кутовим методом несучільних  
спостережень***

Навчальний посібник з курсу  
“Основні геодезичні роботи”

ЧАСТИНА XII

Чернігів, 2002

**УДК 378.147.31**

Літнарівч Р.М. Розробка технології створення планової геодезичної мережі лінійно-кутовим методом несучільних спостережень. Навчальний посібник з курсу “Основні геодезичні роботи”. Частина XII. ЧДІЕіУ, Чернігів, 2002.- 67 с.

Затверджена на засіданні Вченої ради ЧДІЕіУ,  
протокол №6 від 27.06.01

Рецензенти: Боровий В.О., д. т. н., професор  
Войтенко С.П., д. т. н., професор  
Канівець В.І., д.с-г. н., професор

В розробку технології створення мережі ввійшли:

1. Побудова моделі дослідження.
2. Розробка польового контролю при розвитку лінійно-кутового ряду несучільних спостережень.
3. Зрівноваження ряду, який опирається на вихідні сторони з вихідними дирекційними кутами.
4. Зрівноваження ряду, прокладеного між двома вихідними пунктами.
5. Зрівноваження невірного ряду.
6. Двогрупове зрівноваження.
7. Оцінка точності за результатами зрівноваження.

© Літнарівч Р.М., 2002

# ЗМІСТ

Введення .....	3
6.1. Побудова моделі дослідження .....	4
6.2. Польовий контроль при розвитку лінійно-кутового ряду несуцільних спостережень .....	6
6.3. Зрівноваження ряду, який опирається на вихідні сторони з вихідними дирекційними кутами .....	13
6.4. Зрівноваження ряду, прокладеного між двома вихідними пунктами з кожної сторони .....	19
6.5. Зрівноваження ряду, прокладеного між двома вихідними пунктами з кожної сторони .....	26
6.6. Двогрупове зрівноваження .....	34
6.7. Оцінка точності по результатам зрівноваження .....	40
6.8. Попередній розрахунок точності елементів лінійно-кутового ряду несучільних спостережень .....	52
Висновки .....	60
Література .....	61
Додатки .....	62

## Введення

Перспективним методом згущення опорних геодезичних мереж є лінійно-кутовий метод.

В даній частині посібника розробляється методика згущення і створення геодезичних мереж лінійно-кутовим методом несучільних спостережень.

Згідно інструкції довжини сторін в триангуляції 3-го класу складають 5-8 км, в триангуляції 4-го класу 2-5 км.

Модель побудована таким чином, щоб була можливість генерувати і вводити середні квадратичні похибки у 2" і 1,5", що відповідає точності вимірювання кутів у триангуляції 4 і 3 класів відповідно.

В окремих випадках модель спотворювалась середніми квадратичними похибками в 3", 1" і 0,7", щоб дослідити поведінку моделі в гранично можливих ситуаціях.

Пункти А, В, С, Д є пункти вищого класу або пункти, спостережені по системі GPS.

В розробку технології створення мережі ввійшли:

1. Побудова моделі дослідження.
2. Розробка польового контролю при розвитку лінійно-кутового ряду несучільних спостережень.
3. Зрівноваження ряду, який опирається на вихідні сторони з вихідними дирекційними кутами.
4. Зрівноваження ряду, прокладеного між двома вихідними пунктами.
5. Зрівноваження невірного ряду.
6. Двогрупове зрівноваження.
7. Оцінка точності за результатами зрівноваження.

## 6.1. Побудова моделі дослідження

Розглядається ряд, досліджений в методі несучільних спостережень триангуляції і в методі парних ланок, засічок. Істинні значення елементів ряду, які належить виміряти, спотворювались середньою квадратичною похибкою вимірювання горизонтальних кутів  $m_{\beta}=2''$ , що відповідає точності вимірювання кутів в триангуляції 4-го класу і середньою квадратичною похибкою вимірювання сторін, рівною  $m_{s}=5\text{мм} + 5\text{ мм на один кілометр лінії}$ .

Приймаючи до уваги, що сторони ряду лежать в межах 5-6 км., істинні значення сторін спотворювались середньою квадратичною похибкою в 4 см.

Ітак, дослідженню підлягає лінійно-кутовий ряд несучільних спостережень.

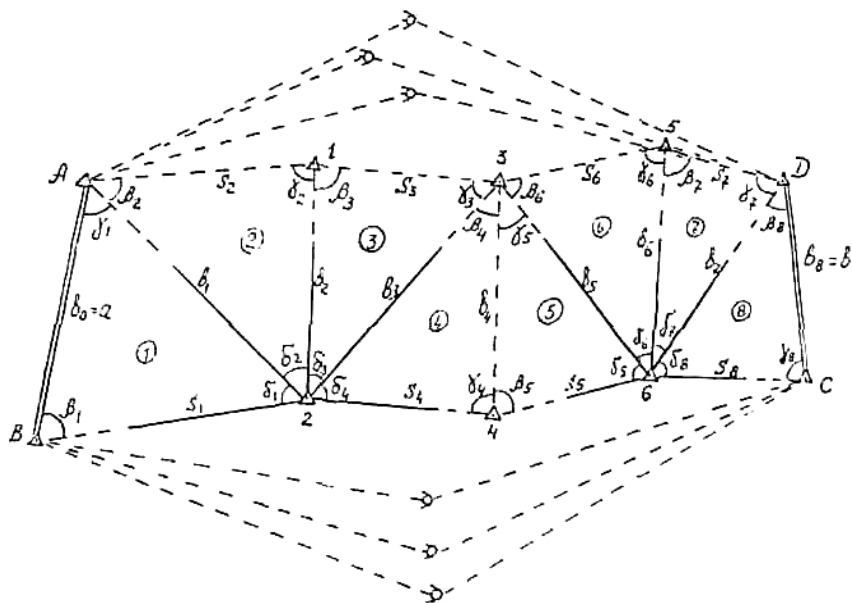


Рис 1. Лінійно-кутовий ряд несучільних спостережень

В даному ряді суцільні лінії, що переходять у пунктирні означають віддалі, виміряні світловідцалеміром. Пунктирними лініями показані невиміряні сторони. Подвійними лініями, що з'єднують пункти старшого класу, позначені вихідні сторони.

Пункти А, В, С, Д є пункти вищого класу, або пункти, спостережені по системі GPS.

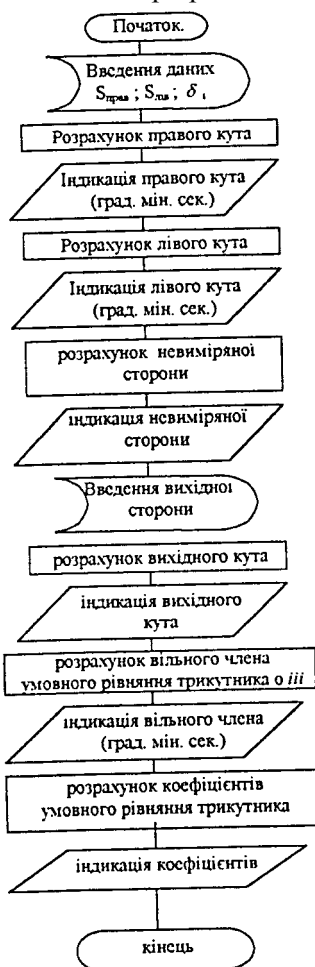
Таблиця 1. Вихідні дані моделі.

Назва Елем.	Істинні Значення	Δ мм.сск	Спотвор. значення	координати		Дирекційні кути	Сторони	На пункт
				X	Y			
А				5934,594	2297,186	188°54'25,00"	4992,250	в
В				1002,545	1524,235	8°54'25,00"	4992,250	а
С				1311,420	20592,950	1°53'04,32"	3836,965	д
Д				5146,310	20719,130	188°53'04,32"	3836,965	с
$m=40\text{мм}$								
S <sub>1</sub>	5111,536	+17	5111,553					
B <sub>1</sub>	6235,943	+15	6235,958					
B <sub>2</sub>	4803,258	-1	4803,257					
B <sub>3</sub>	5510,656	+40	5510,696					
S <sub>4</sub>	4755,032	+12	4755,044					
S <sub>5</sub>	4524,573	-30	4524,543					
B <sub>5</sub>	5736,928	-10	5736,918					
B <sub>6</sub>	4013,928	+7	4013,921					
B <sub>7</sub>	6095,747	-29	6095,718					
S <sub>8</sub>	4959,534	+35	4959,569					
$m_{\beta}=2''$								
δ <sub>1</sub>	51°01'53,44"	+0,86	51°01'54,30"					
δ <sub>2</sub>	48°58'15,10"	+0,73	48°58'15,83"					
δ <sub>3</sub>	45°30'07,82"	-0,07	45°30'07,75"					
δ <sub>4</sub>	50°02'08,50"	+2,00	50°02'10,50"					
δ <sub>5</sub>	48°59'12,83'	+0,59	48°59'13,42"					
δ <sub>6</sub>	59°03'02,15"	-1,47	59°03'00,68"					
δ <sub>7</sub>	53°31'07,21 "	-0,52	53°31'06,69"					
δ <sub>8</sub>	38°56'04,98"	+0,35	38°56'05,33"					

## 6.2. Польовий контроль при розвитку лінійно-кутового ряду несучільних спостережень.

Провівши польові виміри і маючи виміряні кути  $\delta$  і сторони, виміряні з пунктів 2 і 5, розраховують невиміряну сторону і два кути в кожному трикутнику на кожному пункті спостережень по розробленій автором програмі.

Блок - схема програми.



При наявності вихідної сторони, розраховується в трикутнику кут і порівнюється з виміряним, що і буде польовим контролем в умовних рівняннях трикутників.

При наявності умовних рівнянь чотирикутників по даній програмі двічі з двох трикутників розраховується діагональна сторона, наприклад  $S_{34}$ .

Таким чином, розраховуються невиміряні елементи трикутників і вільні члени умовних рівнянь фігур (трикутників і чотирикутників).

Програма № 1. Розрахунку невиміряних елементів в лінійно-кутових рядах несучільних спостережень і вільних членів умовних рівнянь фігур.

ФПРГ	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	ХП4	С/П	ХП5	:	ХП1	С/П	Ko <sup>***</sup> →	ХП2	Fsin
10	ХТ3	:	ПХ2	Ftg	Fl/x	ХП6	--	Fl/x	Ftg <sup>-1</sup>	ХП7
20	Ko <sup>***</sup> ←	С/П	ПХ1	Fl/x	ПХ3	:	ПХ6	--	Fl/x	Ftg <sup>-1</sup>
30	ХП8	Ko <sup>***</sup> ←	С/П	ПХ5	FX <sup>2</sup>	ПХ4	FX <sup>2</sup>	+	ХПе	ПХ5
40	ПХ4	X	2	X	ХПО	ПХ2	Fcos	X	ХПе	--
50	/-/	F√	С/П	FX <sup>2</sup>	ХПе	--	/-/	ХПО	:	Fcos <sup>-1</sup>
60	ХПа	Ko <sup>***</sup> ←	С/П	ХПа	Пх2	--	Ko <sup>***</sup> ←	С/П	2	0
70	6	0-	2	6	5	ХПв	ПХ5	:	ХПс	ПХ8
80	Ftg	Fl/x	X	/-/	С/П	ПХв	ПХ4	:	xга	ПХ7
90	Ftg	Fl/x	X	/-/	С/П	1	/-/	С/П	F	АВТ

Протокол № 1. Розрахунок трикутника АВ2

№ п/п	Введення даних	результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П			8	1992,250 С/П		a <sub>вих</sub>
2	62635,958 С/П		V <sub>1 прав.</sub>	9		51°01'52.92"С/П	δ <sub>1</sub>
3	5111,553 С/П		S <sub>1 лів.</sub>	10		1,39* 10 <sup>-4</sup> С/П	W <sup>0m</sup>
4	51°01'54.30"С/П		δ <sub>1</sub>	11		-0,0099 С/П	-(g/S <sub>1</sub> )ctgβ <sub>1</sub>
5		52°45'23,05" С/П	γ <sub>1 прав.</sub>	12		-0,0251 С/П	-(g/b <sub>1</sub> )ctgγ <sub>1</sub>
6		76°12'42,67"С/П	β <sub>1 лів.</sub>	13		-1	При(δ <sub>1</sub> )
7		4992,283	A				

Протокол № 2 . Розрахунку трикутника СД6

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/ОС/П			8	3836,965 С/П		$b_{\text{вих}}$
2	4959,569 С/П		$S_8$	9		$38^{\circ}56'05,45''$ С/П	$\delta_8$
3	6095,718 С/П		$b_3$	10		$1,26 \cdot 10^{-5}$ С/П	$W_b$
4	$38^{\circ}56'05,33''$ С/П		$\delta_4$	11		-0,0243 С/П	$-(g/S_1) \text{ctg} \beta_8$
5		$86^{\circ}44'37,59''$ С/П	$\gamma_8$	12		-0,0024 С/П	$-(g/b_1) \text{ctg} \gamma_8$
6		$54^{\circ}19'17,12''$ С/П	$\beta_8$	13		-1	При ( $\delta_8$ )
7		3836,962	$b_8$				

Протокол №3. Розрахунку трикутника 2346

№ п/п	Введення даних	результат	Пспна чення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/ОС/П			1	В/ОС/П		
2	4755,044 С/П		$S_4$	2	5736,918 С/П		$b_4$
3	5510,696 С/П		$B_3$	3	4524,543" С/П		$S_5$
4	$50^{\circ}02'10,50''$ С/П		$\delta_4$	4	$48^{\circ}59'13,42''$ С/П		$\delta_5$
5		$73^{\circ}56'42,07''$ С/П	$\gamma_4$	5		$50^{\circ}58'05,49''$ С/П	$\gamma_5$
6		$56^{\circ}01'07,49''$ С/П	$\beta_4$	6		$80^{\circ}02'41,13''$ С/П	$\beta_5$
7		4395,102	$b_4$	7		4395,032	$b_4$

$$W_3 = b_4 - b_4' = -0,070 \text{ м.}$$

Протокол № 4. Розрахунку трикутника А12і123

№ п/п	Введення даних	результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П			1	В/О С/П		
2	4803,257 С/П		$b_2$	2	5510,696 С/П		$b_3$
3	6235,958 С/П		$B_1$	3	4803,257 С/П		$B_2$
4	$48^{\circ}58'15,83''$ С/П		$\delta_2$	4	$45^{\circ}30'07,75''$ С/П		$\delta_3$
5		$81^{\circ}15'14,21''$ С/П	$\gamma_2$	5		$57^{\circ}57'35,36''$ С/П	$\gamma_3$
6		$43^{\circ}36'30,05''$ С/П	$\beta_2$	6		$76^{\circ}32'16,92''$ С/П	$\beta_3$
7		4757,506	$S_2$	7		4041,699	$S_3$

Протокол № 5. Розрахунку трикутника 356 і Д56

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	Ка п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П			1	В/О С/П		
2	4013,921 С/П		$b_6$	2	6095,718 С/П		$b_7$
3	5736,918 С/П		$b_5$	3	4013,921 С/П		$b_6$
4	$59^{\circ}03'00,68''$ С/П		$\delta_6$	4	$53^{\circ}31'06,69''$ С/П		$\delta_7$
5		$77^{\circ}48'10,49''$	$\gamma_6$	5		$41^{\circ}01'35,29''$ С/П	$\gamma_7$
6		$43^{\circ}08'48,86''$	$\beta_6$	6		$85^{\circ}27'17,05''$ С/П	$\beta_7$
7		5033,712	$S_6$	7		4916,720	$S_7$

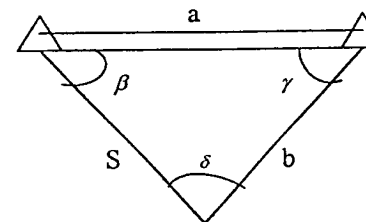


Рис 2. Трикутник лінійно-кутового ряду несучільних спостережень.

Робочі формули розрахунку по програмі № 1

$$ctg\gamma = \frac{b}{S * \sin \delta} - ctg\delta \quad (6.2.1)$$

$$ctg\beta = \frac{S}{b * \sin \delta} - ctg\delta \quad \dots \quad (6.2.2)$$

$$a^2 = S^2 + b^2 - 2S b \cos \delta \quad \dots \dots (6.2.3)$$

$$\delta' = \arccos \frac{S^2 + b^2 - a^2}{2Sb} \quad (6.2.4)$$

$$W_\delta = \delta' - \delta \quad (6.2.5)$$

Умовне рівняння трикутника має вигляд

$$-(\delta) - \frac{\rho}{S} ctg\beta(S) - \frac{\rho}{b} ctg\gamma(b) + W_\delta = 0 \dots \dots (6.2.6)$$

Коефіцієнт умовного рівняння трикутника, які виводяться на екран дисплею, розраховуються за формулами

$$a_1 = -\frac{\rho}{S} ctg\beta \quad (6.2.7)$$

$$a_2 = -\frac{\rho}{b} ctg\gamma \quad \dots \dots (6.2.8)$$

де  $(\delta)$ - поправка в кут  $\delta$ ;  
 $(S)$ ,  $(b)$  - поправки у відповідні сторони.

Кінцевий контроль виконується розрахунком вільних членів умовних рівнянь дирекційних кутів, абсцис і ординат.

Таблиця 2. Відомість розрахунку попередніх координат.

Назви Вершин	Назви Кутів	Куги Передачі	Дирекційні кути	Сторони	$\Delta x$	$\Delta y$	X	Y
A			188° 54'25,00"					
B	$\beta_1$	76°12'42,67"	85°07'07,67"	5111,553	+434,942	+5093,015	1002,545	1524,235
2	$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4$	195°32'28,38"	100°39'36,05"	4755,044	-879,591	+4672,982	1437,487	6617,250
4	$\gamma\beta$	153°59'23,20"	74°38'59,25"	4524,Я3	+ 1197,729	+4363,134	557,896	11290,232
6	$\delta_5 + \delta_6 + \delta_7 + \delta_8$	200°29'26,12"	95°08'25,37"	4959,569	-444,358	+4939,623	1755,625	15653,366
C	$\gamma_8$	86°44'37,59"	1° 53'02,96"				1311,267	20592,989
Д			1°53'04,316"		$\Sigma$ 308,722	$\Sigma$ 19068,754	1311,420	20592,950
			$W_\alpha = -1,356"$		$\Sigma$ ,308,875	$\Sigma$ ,19068,715	$W_x = -0,153$	$W_y = 0,039$

Дирекційні кути розраховуються в ручному рахунку, а прирости координат і суми приростів координат по слідуєчій програмі.

Програма № 2. Розрахунку приростів координат рішення прямої геодезичної задачі.

Fnpr	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	Cx	XП3	XП4	C/П	K	XП1	C/П	xre	ПХ1	Fcos
10	X	C/П	ПХ3	+	XТО	ПХ1	Fsin	ПХ2	X	C/П
20	ПХ4	+	XП4	БП	O3	F	АВТ			

Протокол № 6 розрахунку приростів координат.

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П			10	74°38'59.25"С/П		$\alpha_{46}$
2	85°07'07,67"С/П		$\alpha_{b2}$	11	4524,543 С/П		$S_{46}$
3	5111,553 С/П		$S_{b2}$	12		+1197,729 С/П	$\Delta X_{46}$
4		+434,942 С/П	$\Delta X_{b4}$	13		+4363,134 С/П	$\Delta Y_{46}$
5		+5093,015С/П	$\Delta Y_{b4}$	14	95°05'25,37" С/П		$\alpha_{46}$
6	100°39'36,0"С/П		$\alpha_{24}$	15	4959,569 С/П		$S_{46}$
7	4755,044 С/П		$S_{24}$	16		-444,358 С/П	$\Delta X_{6c}$
8		-879,591 С/П	$\Delta X_{24}$	17		+4939,623 С/П	$\Delta Y_{6c}$
9		+4672,982С/П	$\Delta Y_{24}$	18		+19068,754	$\Sigma \Delta Y$
				19	ПХЗ	+308,722	$\Sigma \Delta X$

Так як всі виміряні кути  $\delta$  приймають участь в передачі дирекційних кутів і координат, то їх виміри надійно контролюються умовними рівняннями дирекційних кутів і координат.

В даному ряді не контролюються лише виміряні сторони  $b_2$  і  $b_1$ , тому їх вимірювання необхідно проводити двічі з контролем, або проводити додаткові кутові виміри для контролю цих сторін.

Вказаний недолік усувається у здвоєних рядах несучільних спостережень, тому що в них додатково виникають умовні рівняння чотирикутників, однією із сторін яких і будуть дані сторони.

Допустимість одержаної величини вільних членів умовних рівнянь розраховують по формулі:

$$\text{доп. } \omega = 2m'' \sqrt{[aa]} \quad (6.2.9)$$

де  $m''$ - середня квадратична похибка вимірювання кута в мережі;  
 $[aa]$  — квадратичний коефіцієнт рівняння.

### 6.3. Зрівноваження ряду, який опирається на вихідні сторони з вихідними дирекційними кутами

Зрівноваження виконано по кутам. Таблиця коефіцієнтів умовних рівнянь трикутників АВ2, ДС6, чотирикутника 2346 і умовного рівняння дирекційних кутів приводиться нижче.

Таблиця № 3. Елементи формул для розрахунку коефіцієнтів умовних рівнянь

Назва Поправки	Елементи формул умовних рівнянь.			
	$\Delta AB2$	$\Delta DC6$	$\square 2346$	Дирекційних кутів
(S <sub>1</sub> )	$-(\rho/S_1)\text{ctg}\beta_1$	0	0	$-(\rho/a)\sin\beta_1$
(b <sub>1</sub> )	$-(\rho/b_1)\text{ctg}\gamma_1$	0	0	$(\rho/a)\sin\gamma_1$
(b <sub>2</sub> )	0	0	$\cos\gamma_4$	$(\rho/b_4)\sin\beta_4$
(S <sub>4</sub> )	0	0	$\cos\gamma_4$	$-(\rho/b_4)\sin\gamma_4$
(S <sub>5</sub> )	0	0	$-\cos\gamma_5$	$-(\rho/b_5)\sin\beta_5$
(b <sub>5</sub> )	0	0	$-\cos\gamma_5$	$(\rho/b_5)\sin\gamma_5$
(b <sub>7</sub> )	0	$-(\rho/b_8)\text{ctg}\beta_8$	0	$(\rho/b_8)\sin\beta_8$
(S <sub>8</sub> )	0	$-(\rho/S_8)\text{ctg}\gamma_8$	0	$-(\rho/b_8)\sin\gamma_8$
( $\delta_1$ )	-1	0	0	$-(b_1/a)\cos\gamma_1+1$
( $\delta_2$ )	0	0	0	+1
( $\delta_3$ )	0	0	0	+1
( $\delta_4$ )	0	0	$(S_4//7)\sin\gamma_4'$	$-(b_3/b_4)\cos\beta_4+1$
( $\delta_5$ )	0	0	$-(\sqrt{7})\sin\gamma_4'$	$-(b_5/b_4)\cos\gamma_4+1$
( $\delta_6$ )	0	0	0	+1
( $\delta_7$ )	0	0	0	+1
( $\delta_8$ )	0	-1	0	$-(b_7/b)\cos\beta_8+1$
W	$\delta_1-\delta_1$	$\delta_8-\delta_8$	$b_4-b_4$	$\alpha_{cd}-\alpha_{cd}$

Коефіцієнти умовних рівнянь трикутників були розраховані раніше по програмі, приведений в попередньому параграфі.

Коефіцієнти умовного рівняння чотирикутника і умовного рівняння дирекційних кутів розраховуються по наступній програмі.

### Програма № 3. Розрахунку коефіцієнтів умовних рівнянь

Фпрг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	(W
00	5	XП4	8	XПО	С/П	k oiii	Fsin	KXП4	FLO	04
10	ПХ8	Fsin <sup>-1</sup>	Fcos	XП5	С/П	ПХ9	Fsin <sup>-1</sup>	Fcos	С/П	ПХа
20	Fsin <sup>-1</sup>	Fcos	/-/	С/П	ПХв	Fsin <sup>-1</sup>	Fcos	XП4	/-/	С/П
30	ПХе	:	ПХ9	X	С/П	ПХе	:	ПХа	X	/-/
40	С/П	ПХе	:	F 1/e	XП2	ПХ6	X	/-/	С/П	ПХ3
50	ПХ7	X	С/П	ПХе	:	F 1/x	XП2	ПХ8	X	С/П
60	ПХ2	ПХ9	X	/-/	С/П	ПХ2	ПХа	X	/-/	С/П
70	ПХ1	ПХв	X	С/П	ПХе	:	F1/x	XП1	ПХС	X
80	С/П	ПХ1	ПХd	X	/-/	С/П	ПХ3	X	ПХе	:
90	ПХ7	Fsin <sup>-1</sup>	Fcos	XПО	X	/-/	1	+	С/П	ПХ2
100	X	ПХс	:	ПХ5	С/П	F	АВТ			

Кінцеві обчислення виконують в ручному рахунку, натискуючи клавіші, вказані в програмі.

### Протокол № 7 розрахунку коефіцієнтів умовних рівнянь чотирикутника і дирекційних кутів

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	20,6265 XПe			21	4,395 С/П		b <sub>4</sub> (км)
2	В/О С/П			22		3,891 5 С/П	(ρ/b <sub>4</sub> )sinβ <sub>1</sub>
3	76°12'42,67" С/П		β <sub>1</sub> -6пер	23		-3,7360 С/П	-(ρ/b <sub>4</sub> )sinγ <sub>1</sub>
4	53°45'23,05" С/П		γ <sub>1</sub> -7пер	24		-4,6224 С/П	-(ρ/b <sub>4</sub> )sinβ <sub>5</sub>
5	56°01'07,49" С/П		β <sub>4</sub> -8пер	25		3,6455	(ρ/b <sub>4</sub> )sinγ <sub>5</sub>
6	73°56'42,07" С/П		γ <sub>4</sub> -9пер	26	3,837 С/П		b <sub>max</sub>
7	80°02'41,13" С/П		β <sub>5</sub> -α <sub>3</sub>	27		4,3667 С/П	(ρ/b <sub>4</sub> )sinβ <sub>8</sub>
8	50°58'05,49" С/П		γ <sub>5</sub> - b <sub>p</sub>	28		-5,3670	-(ρ/b <sub>4</sub> )sinγ <sub>8</sub>
9	54°19'17,12" С/П		β <sub>8</sub> -C <sub>p</sub>	29	6,235 С/П		b <sub>1</sub>
10	86°44'37,59" С/П		γ <sub>8</sub> - d <sub>p</sub>	30		0,2440	-(b <sub>1</sub> /α)sinγ <sub>1</sub> +1
11		0,55892166 С/П	cosβ <sub>4</sub>	31	5,5 11 С/П		b <sub>3</sub>
12		0,27655973 С/П	cosγ <sub>4</sub>	32		0,5589	
13		-0,17287884 С/П	-cosβ <sub>5</sub>	33	x <sub>5</sub> /-/, 1,+	0,2992	-(b <sub>3</sub> /b <sub>4</sub> )sinγ <sub>1</sub> +1
14		-0,62975171 С/П	-cosγ <sub>5</sub>	34		5,737	b <sub>5</sub>
15	4,755 С/П		S <sub>4</sub> (км)	35	ПХ2,x,ПХс		
16		+0,2215	(S <sub>2</sub> /ρ) sinγ <sub>4</sub>	36	;ПХ4,x /-,1,+	0,1780	-(b <sub>3</sub> /b <sub>4</sub> )sinγ <sub>5</sub> +11
17	4,524 С/П	-0,216	(S <sub>2</sub> /ρ) sinβ <sub>5</sub>	37		6,096	b <sub>7</sub>
18	4,992 С/П	a(ум. дир. кут)		38	ПХ1,x,ПХе;		
19		-4,0126 С/П	(ρ/a) sinβ <sub>1</sub>	39	ПХс,Fsin <sup>-1</sup> ,Fcos		
20		+3,2891	(ρ/a) sinγ <sub>1</sub>	40	x, /-/, 1,+	0,0734	-(b <sub>7</sub> /b)sinβ <sub>8</sub> +1

Таблиця № 4. Коефіцієнти умовних рівнянь без врахування ваг

Назва Поправки	ΔAB2	ΔDC6	□2346	Дирекційних кутів
(S <sub>1</sub> )	-0,0099	0	0	4013
(b <sub>1</sub> )	-0,0251	0	0	+3,289
(b <sub>2</sub> )	0	0	+0,559	+3.S91
(S <sub>4</sub> )	0	0	+0,276	-4,510
(S <sub>5</sub> )	0	0	-0,173	-1,622
(b <sub>5</sub> )	0	0	-0,630	+3,645
(b <sub>7</sub> )	0	-0,0243	0	+4,367
(S <sub>8</sub> )	0	0,0024	0	-5,367
(δ <sub>1</sub> )	-1	0	0	+0,244
(δ <sub>2</sub> )	0	0	0	+1
(δ <sub>3</sub> )	0	0	0	+1
(δ <sub>4</sub> )	0	0	+0,222	+0,299
(δ <sub>5</sub> )	0	0	-0,216	+0,178
(δ <sub>6</sub> )	0	0	0	+1
(δ <sub>7</sub> )	0	0	0	+1
(δ <sub>8</sub> )	0	-1	0	+0,073

При виборі ваг кутових і лінійних вимірів прийнято виконати

$$\text{умову } \frac{m_{\beta}}{\rho} = \frac{m_s}{S}, \quad (6.3.1)$$

що обумовлює однакову лінійну величину зміщення кутів вздовж напрямків і по перпендикулярах в кінці напрямків, тобто деформація мережі під впливом похибок вимірів буде більш рівномірною по всім напрямкам [Н.Н.Лебедев, Д.П.Барков. Уравнение линейно-угловых сетей инженерно-геодезического обоснования, с.-9].

$$\text{При зрівноваженні по кутам прийнято } P_{\beta}=1; P_s = \frac{m_{\beta}^2}{m_s^2} \quad (6.3.2)$$

$$\text{При зрівноваженні по напрямкам } P_{напр} = \frac{m_{напр}^2}{m_s^2} \quad (6.3.3)$$

І в нашому випадку отримаємо

$$P_{\beta}=1; P_s = \frac{(2'')^2}{(0,4\text{дм})^2} = \frac{4}{0,16} = 25$$



$$\text{тоді } \frac{1}{\sqrt{P_s}} = 0,2 \text{сек}/\text{дм} \text{ або } P_s = \frac{(2'')^2}{(40\text{мм})^2} = \frac{4}{1600} = 0,0025.$$

При зрівноваженні ж по напрямках

$$P_H=1; \quad m = 2''; \quad m_{\text{напр}} = 2''/\sqrt{2};$$

$$P_s = \frac{4}{2 * 0,4^2} = \frac{4}{2 * 0,08} = 12,5$$

$$\text{і } \frac{1}{\sqrt{P_s}} = 0,283 \text{сек}/\text{дм},$$

$$\text{або } P_s = \frac{4\text{сек}}{2 * 40^2 \text{мм}^2} = \frac{2}{1600} = 0,00125$$

Хоча вага і безрозмірна величина, розмірність проставляється тому, що в деяких рівняннях вільні члени виражаються в міліметрах, а в других в дециметрах, що відповідно вплине і на ваги.

Таблиця № 5. Коефіцієнти умовних рівнянь, поправки і значення зрівноважених величин

Назви Поправок	P	$\frac{\Delta AB2}{\sqrt{P}} = 20$	$\frac{\Delta DC6}{\sqrt{P}} = 20$	$\frac{\square 2346}{\sqrt{P}} = 0,2$	$\frac{\alpha}{\sqrt{P}} = 0,2$	Виміряні значення	v'	Зрівноважені значення
(S <sub>1</sub> )	0,0025	-0,198	0	0	-0,803	5111,553	-7мм	5111,546
(b <sub>1</sub> )	0,0025	-0,502	0	0	+0,658	6235,958	-9	6235,949
(b <sub>2</sub> )	0,0025	0	0	+0,112	+0,778	5510,696	-9	5510,687
(S <sub>4</sub> )	0,0025	0	0	+0,055	-0,902	4755,044	-9	4755,035
(S <sub>5</sub> )	0,0025	0	0	-0,035	-0,924	4524,543	0	4524,543
(b <sub>5</sub> )	0,0025	0	0	-0,126	+0,729	5736,918	+16	5736,934
(b <sub>7</sub> )	0,0025	0	-0,486	0	+0,873	6095,718	+4	6095,722
(S <sub>8</sub> )	0,0025	0	-0,048	0	-1,073	4959,569	-t	4959,565
(δ <sub>1</sub> )	1	-1	0	0	+0,244	51°10'54,30"	-1,09'	51°01'53,21"
(δ <sub>2</sub> )	1	0	0	0	+1	48°58'15,83"	+0,18	48°58'16,01"
(δ <sub>3</sub> )	1	0	0	0	+1	45°30'07,75"	+0,18	45°30'07,93"
(δ <sub>4</sub> )	1	0	0	+0,222	+0,299	50°02'10,50"	-1,15	50°02'09,35"
(δ <sub>5</sub> )	1	0	0	-0,216	+0,178	48°59'13,42"	+1,21	48°59'14,63"
(δ <sub>6</sub> )	1	0	0	0	+1	59°03'00,68"	+0,18	59°03'00,86"
(δ <sub>7</sub> )	1	0	0	0	+1	53°31'06,69"	+0,18	53°31'06,87"
(δ <sub>8</sub> )	1	0	-1	0	+0,073	38°56'05,33"	+0,04	38°56'05,37"
W		-1,39"	+0,12"	+0,70 дм	-1,356"	IPV <sup>2</sup> =18,606		

Коефіцієнти нормальних рівнянь розраховуються по приведених в попередніх розділах програмах, рішення нормальних рівнянь виконується, також по приведених у попередніх розділах програмах.

Таблиця № 6. Коефіцієнти нормальних рівнянь

	$\frac{a}{\sqrt{p}}$	$\frac{b}{\sqrt{p}}$	$\frac{c}{\sqrt{p}}$	$\frac{d}{\sqrt{p}}$	=W
$[\frac{a}{\sqrt{p}}]$	1,291	0	0	-0,415	+1,39
$[\frac{ab}{\sqrt{p}}]$		1,238	0	-0,446	-0,12
$[\frac{c}{\sqrt{p}}]$			0,129	+0,006	-0,70
$[\frac{d}{\sqrt{p}}]$				9,981	+1,356
K	+1,136158	-0,030278	-5,434962	+0,185013	

Поправки у виміряні величини розраховуються по приведеній у попередніх розділах програмі, множачи кожне значення  $V_i$  на  $1/\sqrt{p}$  в ручному розрахунку  $G_i = \frac{a_i}{p} K_1 + \frac{b_i}{p} K_2 + \frac{bc_i}{p} K_3 + \frac{d_i}{p} K_4$  (6.3.4)

Протокол № 8. Розрахунку невиміряних елементів в ΔAB2 і дсоб по зрівноваженим кутам і сторонам.

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П			1	В/О С/П		
2	6235,949 С/П		b <sub>1</sub>	2	4959,565 С/П		S <sub>8</sub>
3	5111,546 С/П		S <sub>1</sub>	3	6095,722 С/П		b <sub>7</sub>
4	51°01'53,21" С/П		δ <sub>1</sub>	4	38°56'05,37" С/П		δ <sub>8</sub>
5		52°45'23,33" С/	γ <sub>1</sub>	5		86°44'37,94" С/	γ <sub>8</sub>
6		76°12'43,49" С/	β <sub>1</sub>	6		54°19'16,74" С/	β <sub>8</sub>
7		4992,250	a	7		3836,965	B <sub>8</sub>
		4992,250	a <sub>вих</sub>			3836,965	B <sub>8вих</sub>

Протокол № 9. Розрахунку невимірних елементів в □ 2346 по зрівноваженим кутом і сторонам

№ П/П	Введення даних	Результат	Позна-чення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позна-чення
1	В/ОС/П			1	В/ОС/П		
2	4755,035 С/П		S <sub>4</sub>	2	5736,934 С/П		B <sub>5</sub>
3	5510,687 С/П		b <sub>3</sub>	3	4524,543 С/П		S <sub>5</sub>
4	50°02'09,35" С/П		δ <sub>4</sub>	4	48°59'14,63"С/П		δ <sub>5</sub>
5		73°56'42,92" С/П	γ <sub>4</sub>	5		50°58'04,69"С/П	γ <sub>5</sub>
6		56°01'07,78" С/П	β <sub>4</sub>	6		80°02'40,69"С/П	β <sub>5</sub>
7		4395,068	b <sub>4</sub>	7		4395,068	b' <sub>4</sub>
					W' <sub>3</sub> =b <sub>4</sub> -b' <sub>4</sub> =0		

Таблиця № 7. Відомість розрахунку зрівноважених координат

Назви Зерош	Назви Кутів	Кути Передачі	Дирекційні кути	Сторони	Δx	Δy	X	Y
А			188°54'25,00"					
В	β <sub>1</sub>	76°12'43,49"	85°07'08,49"	5111,546	+434,921	+5093,010	1002,545	1524,235
2	δ <sub>1</sub> +δ <sub>2</sub> +δ <sub>3</sub> +δ <sub>4</sub>	195°32'26,50"	100°39'34,99"	4755,035	-879,565	+4672,978	1437,466	6617,245
4	γ <sub>4</sub> +β <sub>5</sub>	183°59'23,61"	74°38'58,60"	4524,543	+1197,743	+4363,130	557,901	11290,223
6	δ <sub>1</sub> +δ <sub>2</sub> +δ <sub>3</sub> +δ <sub>4</sub>	200°29'27,73"	95°08'26,33"	4959,569	-444,381	+4939,617	1755,644	15653,353
С	γ <sub>4</sub>	86°44'37,94"	1°53'04,27"				1311,263	20592,970
Д			1°53'04,316"		Σ 2308,7 18	Σ 9068,735		
			W' <sub>α</sub> = -0,046"					

Таблиця № 8. Порівняльна таблиця істинних і попередніх координат

Назва Пункта	X <sub>попер</sub> (м)	X <sub>іст.</sub> (м)	ΔX(м.м)	Y <sub>попер</sub> (м)	Y <sub>іст.</sub> (м)	ΔY(м.м)
1	6221,554	6221,543	+6	7046,015	7046,007	+8
2	1437,487	1437,462	-25	6617,250	6617,235	+15
3	4933,528	4933,588	-60	10876,999	10876,947	+52
4	557,896	557,932	-36	11290,232	11290,212	+20
5	5765,163	5765,233	-70	15841,577	15841,507	+70
6	1755,625	1755,716	-91	15653,366	15653,358	+8
С	1311,267	1311,420	-153	20592,989	20592,950	+39

Таблиця № 9. Порівняльна таблиця істинних і зрівноважених координат.

Назва Пункта	X <sub>зрів</sub> (м)	X <sub>іст.</sub> (м)	ΔX(м.м)	Y <sub>зрів</sub> (м)	Y <sub>іст.</sub> (м)	ΔY(м.м)
1		6221,548			7046,007	
2	1437,466	1437,462	+4	6617,245	6617,235	+10
3		4933,588			10876,947	
4	557,901	557,932	-31	11290,223	11290,212	+11
5		5765,233			15841,507	
6	1755,644	1755,716	-72	15653,353	15653,358	-5
С	1311,263	1311,420	-157	20592,970	20592,950	+20

Середня квадратична похибка одиниці ваги або визначення значення зрівноваженого кута:

$$\mu = \sqrt{\frac{pV^2}{r}} = \sqrt{\frac{18,6}{4}} = 2,16''$$

Середня квадратична похибка зрівноваження сторін:

$$m_s = \mu \sqrt{\frac{1}{p_s}} = 2,16 \sqrt{400} = 43 \text{ мм}$$

Розглянемо лінійно-кутовий ряд несучільних спостережень, прокладений між вихідними пунктами А, В, С.

Зрівноваження виконане по кутам. Таблиця коефіцієнтів умовних рівнянь трикутника АВ1, чотирикутника 2345, абсцис і ординат приводиться нижче.

Таблиця № 10. Елементи формул для розрахунку коефіцієнтів умовних рівнянь.

Назви Поправок	Елементи формул			
	ΔAB2	□2345	Абсциси	Ординати
(S1)	$-(\rho/s_1)\text{ctg}\beta_1$	0	$\cos\alpha_{B2} + \frac{Y_B - Y_C}{a} \sin\beta_1$	$\cos\alpha_{B2} - \frac{X_C - X_B}{a} \sin\beta_1$
(b1)	$-(\rho/b_1)\text{ctg}\gamma_1$	0	$-\sin\gamma_1(Y_C - Y_B)/a$	$\sin\gamma_1(X_C - X_B)/a$
(b3)	0	$\cos\beta_4$	$-\sin\beta_4(Y_C - Y_4)/b_4$	$\sin\beta_4(X_C - X_4)/b_4$
(S4)	0	$\cos\gamma_4$	$\cos\alpha_{24} + \sin\gamma_4(Y_C - Y_B)/b_4$	$\cos\alpha_{24} - \sin\gamma_4(X_C - X_B)/b_4$
(S5)	0	$-\cos\beta_5$	$\cos\alpha_{46} + \sin\beta_4(Y_C - Y_4)/b_4$	$\sin\alpha_{46} - \sin\beta_4(X_C - X_4)/b_4$
(b5)	0	$-\cos\gamma_5$	$-\sin\gamma_5(Y_C - Y)/b_4$	$\sin\gamma_5(X_C - X)/b_4$
(S8)	0	0	$\cos\alpha_{6C}$	$\sin\gamma_{6C}$
(δ1)	-1	0	$b_1 \cos\lambda_1(Y_C - Y_B)/\alpha\rho - (Y_C - Y_2)/\rho$	$-b_1(X_C - X_B)\cos\gamma_1/\alpha\rho - (X_C - Y_2)/\rho$
(δ2)	0	0	$-(Y_C - Y_2)/\rho$	$(X_C - X_2)/\rho$
(δ3)	0	0	$-(Y_C - Y_2)/\rho$	$(X_C - X_2)/\rho$
(δ4)	0	$(S_4/\rho)\sin\gamma_4$	$b_3(Y_C - Y_4)\cos\beta_4/b_4\rho - (Y_C - Y_2)/\rho$	$-b_3\cos\beta_4(X_C - X_4)/b_4\rho + (X_C - X_2)/\rho$
(δ5)	0	$-(S_5/\rho)\sin\beta_4$	$b_5\cos\lambda_5(Y_C - Y_4)/b_4\rho - (Y_C - Y_B)/\rho$	$-b_5\cos\gamma_5(X_C - X_4)/b_4\rho + (X_C - X_6)/\rho$
(δ6)	0	0	$-(Y_C - Y_6)/\rho$	$(X_C - X_6)/\rho$
(δ7)	0	0	$-(Y_C - Y_6)/\rho$	$(X_C - X_6)/\rho$
(δ8)	0	0	$-(Y_C - Y_6)/\rho$	$(X_C - X_6)/\rho$
W	$\delta_1 - \delta_1$	$b_4 - b_4$	$X_C - X_C$	$Y_C - Y_C$

Коефіцієнти координатних умовних рівнянь розраховуються по програмам № 4 і 5, які є продовженням програми № 3. При цьому результати Введення вихідних даних зберігаються у своїх регістрах, а перехід до набору нової програми виконується натиском клавіші **БП** **ОО** **С/П**.

Програма № 4. Розрахунку коефіцієнтів координатних умовних рівнянь.

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	ХПd	С/П	-	ХП1	ПХ6	x	ПХ3	ПХe	:
10	ХПЗ	X	С/П	K <sub>0iii</sub>	Fcos	+	С/П	ПХ1	ПХ3	X
20	ПХ7	X	/-/	С/П	ПХC		ХП1	ПХ6	X	ПХ3
30	X	С/П	koiiii	Fsin	+	С/П	ПХ1	ПХ7	X	ПХ3
40	X	/-/	С/П	ПХd	-	ХП1	ПХ2	ПХe	:	ХП2
50	ПХ1	X	ПХ8	X	С/П	koiiii	ХП6	Fcos	ПХ1	/-/
60	ПХ2	X	ПХ9	X	+	С/П	koiiii	ХП7	Fcos	ПХ1
70	ПХ2	X	ПХа	X	-	С/П	ПХ1	ПХ2	X	ПХb
80	X	С/П	ПХC	-	ХП1	ПХ2	X	ПХ8	X	/-/
90	С/П	ПХ6	Fsin	ПХ1	ПХ2	X	ПХ9	X	+	С/П
100	ПХ7	Fsin	ПХ1	ПХ2	X	F	АВТ			

Закінчення розрахунку виконують в ручному рахунку, натиснувши клавіші, вказані в протоколі.

Протокол № 10. Розрахунку коефіцієнтів координатних умовних рівнянь.

№ п/п	Введення Даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	1,3 11420 С/П		Xc(км)	18	74°38'59,25"С/П		α <sub>46</sub>
2	В/О С/П			19		+2,349 С/П	-sinβ <sub>5</sub> (Y <sub>C</sub> - Y <sub>4</sub> )/b <sub>4</sub>
3	20,593 С/П		Y <sub>C</sub>	20		-1,644 С/П	-sinγ <sub>5</sub> (Y <sub>C</sub> - Y <sub>4</sub> )/b <sub>4</sub>
4	1,524 С/П		Y <sub>B</sub>	21	0,558 С/П		X <sub>4</sub>
5		+3,709		22		+0,142 С/П	sinβ <sub>4</sub> (X <sub>C</sub> - X <sub>4</sub> )/b <sub>4</sub>
6	85°07'07,67"С/П		α <sub>B2</sub>	23		+0,818 С/П	sinα <sub>24</sub> - $\frac{1}{\rho}(X_C - X_4)\sin\beta_4$
7		+3,795 С/П	$\cos\alpha_{B2} + \frac{Y_C - Y_B}{a} \sin\beta_1$		ПХа,Х+,	+0,795	sinα <sub>46</sub> - sinβ <sub>5</sub> (X <sub>C</sub> - X <sub>4</sub> )
8		-3,041 С/П	sinγ <sub>1</sub> (Y <sub>C</sub> - Y <sub>B</sub> )/α		ПХ1,ПХ2		
9	1,002 С/П		X <sub>B</sub>		X,ПХb		
10		-0,060	-(X <sub>C</sub> - X <sub>B</sub> )/α		X, /- /	+0,133	sinγ <sub>5</sub> (X <sub>C</sub> - X <sub>4</sub> )/b <sub>4</sub>
11	85°07'07,67" С/П		α <sub>B2</sub>		Примітка: при початку рахунку з даної програми необхідно ввести: ρ/α <sup>13</sup> ; ρ/b <sub>4</sub> ; Хп2;20,6265ХПe; cosγ <sub>1</sub> ХП0;cosγ <sub>5</sub> ХП4;cosβ <sub>4</sub> ХП5; sinβ <sub>1</sub> ХП6;sinγ <sub>4</sub> ХП7;sinβ <sub>4</sub> ХП8; sinγ <sub>4</sub> ХП9; sinβ <sub>5</sub> ХПa; sinγ <sub>4</sub> ХПb.		
12		+0,936 С/П	sinα <sub>B2</sub>				
13		+0,049	sinγ <sub>1</sub> (X <sub>C</sub> - X <sub>B</sub> )/α				
14	11, 290 С/П		Y <sub>4</sub>				
15		-1,755	-sinβ <sub>4</sub> (Y <sub>C</sub> - Y <sub>B</sub> )/b <sub>4</sub>				
16	100°39'36,05" С/П		α <sub>24</sub>				
17		+1,849	sinγ <sub>4</sub> (Y <sub>C</sub> - Y <sub>B</sub> )/α				

Програма № 5. Продовження розрахунку коефіцієнтів координатних умовних рівнянь БП ОО ФПРГ

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	k α <sub>и</sub>	ХП6	Fcos	С/П	ПХ6	Fsin	С/П	nXd	-
10	/-/	ПХ0	Х	ХП1	С/П	ПХе	:	ХП2	ПХ1	Х
20	С/П	ПХd	-	ПХе	:	ХП6	С/П	+	С/П	ПХС
30	-	ПХ2	Х	ПХ0	Х	С/П	ПХС	-	1-1	ПХе
40	:	ХП3	С/П	+	С/П	ПХе	:	ХП2	С/П	ПХd
50	-	/-/	ХП1	ПХ2	Х	ПХ8	Fsin <sup>-1</sup>	Fcos	ХП8	Х
60	ПХ6	+	С/П	ПХС	-	ХП5	ПХ2	Х	ПХ8	Х
70	ПХ3	+	С/П	ПХd	-	ПХе	:	ХП3	С/П	ПХе
80	:	ХП2	ПХ1	Х	ПХ4	Х	ПХ3	+	С/П	ПХС
90	-	/-/	ПХе	:	ХП1	С/П	ПХ5	ПХ2	Х	ПХ4
100	Х	+	С/П	F	АВТ					

Таблиця №11. Коефіцієнти умовних рівнянь без врахування ваг вимірів.

Назви поправок	ΔAB2	□2345	Х	Y
(S <sub>1</sub> )	-0,0099	0	+3,795	+0,936
(b <sub>1</sub> )	-0,0251	0	-3,041	+0,049
(b <sub>3</sub> )	0	+0,559	-1,755	+0,142
(S <sub>4</sub> )	0	+0,276	+1,849	+0,81S
(S <sub>5</sub> )	0	-0,173	+2,349	+0,795
(b <sub>5</sub> )	0	-0,630	-1,644	+0,133
(S <sub>8</sub> )	0	0	-0,090	+0,996
(δ <sub>1</sub> )	-1	0	+0,021	-0,017
(δ <sub>2</sub> )	0	0	-0,678	-0,006
(δ <sub>3</sub> )	0	0	-0,678	-0,006
(δ <sub>4</sub> )	0	+0,222	-0,362	-0,032
(δ <sub>5</sub> )	0	-0,216	+0,132	-0,052
(δ <sub>6</sub> )	0	0	-0,239	-0,022
(δ <sub>7</sub> )	0	0	-0,239	-0,022
(δ <sub>8</sub> )	0	0	-0,239	-0,022

Протокол № 11. Проведення розрахунку коефіцієнтів координатних умовних рівнянь

№ п/п	Введений Дати	Результат	Позначення	№ п/п	Введений даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П			18		+0,267	b <sub>3</sub> /ρb <sub>4</sub>
2	95°08'25,37" С/П		α <sub>6C</sub>	19	11,290 С/П		Y <sub>4</sub>
3		-0,0806 С/П	cos α <sub>6C</sub>	20		-0,361	b <sub>3</sub> cosβ <sub>4</sub> (Y <sub>C</sub> -Y <sub>4</sub> )/b <sub>4</sub> ρ-(Y <sub>C</sub> -Y <sub>4</sub> )/ρ
4		+0,9960	sinα <sub>6C</sub>	21	0,558 С/П		X <sub>4</sub>
5	1,524 С/П		Y <sub>B(ком)}</sub>	22		-0,032	-b <sub>3</sub> cosβ <sub>4</sub> (X <sub>C</sub> -X <sub>4</sub> )/b <sub>4</sub> ρ+(X <sub>C</sub> -X <sub>4</sub> )/ρ
6		11,540	(Y <sub>C</sub> -Y <sub>B</sub> )cosγ <sub>1</sub>	23	15,653 С/П		Y <sub>6</sub>
7	1,249 С/П		B <sub>1</sub> /a	24		-0,239	(Y <sub>6</sub> -Y <sub>C</sub> )/ρ
8		+0,699	b <sub>1</sub> cosγ <sub>1</sub> (Y <sub>C</sub> -Y <sub>B</sub> )/a	25	1,305 С/П		b <sub>5</sub> /b <sub>4</sub>
9	6,617 С/П		Y <sub>2</sub>	26		+0,134	b <sub>5</sub> cosγ <sub>5</sub> (Y <sub>C</sub> -Y <sub>4</sub> )/b <sub>4</sub> ρ-(Y <sub>C</sub> -Y <sub>4</sub> )/ρ
10		-0,678 С/П	(Y <sub>2</sub> -Y <sub>C</sub> )/ρ	27	1,756 С/П	0	X <sub>6</sub>
11		+0,021	b <sub>1</sub> cosγ <sub>1</sub> (Y <sub>C</sub> -Y <sub>B</sub> )/α-(Y <sub>C</sub> -Y <sub>B</sub> )/α	28		-0,022 С/П	(X <sub>C</sub> -X <sub>6</sub> )/ρ
12	1,002 С/П		X <sub>B</sub>	29		-0,052	-b <sub>5</sub> cosγ <sub>5</sub> (X <sub>C</sub> -X <sub>4</sub> )/b <sub>4</sub> ρ+(X <sub>C</sub> -X <sub>4</sub> )/ρ
13		-0,011	b <sub>1</sub> cosγ <sub>1</sub> (X <sub>B</sub> -X <sub>C</sub> )/ρ				
14	1,437 С/П		X <sub>2</sub>				
15		-0,006 С/П	(X <sub>C</sub> -X <sub>B</sub> )/ρ				
16		-0,017	-b <sub>1</sub> cosγ <sub>1</sub> (X <sub>C</sub> -X <sub>B</sub> )/αρ+ +(X <sub>C</sub> -X <sub>2</sub> )/ρ				
17	1,254 С/П	+1,849	b <sub>3</sub> /b <sub>4</sub>				

Таблиця № 12. Коефіцієнти умовних рівнянь, поправки і значення зрівноважених величин.

Назви поправок	P	$\Delta AB2a/\sqrt{p}$ 1/ $\sqrt{p}=20$	$\square 2345$ 1/ $\sqrt{p}=0,2$	$X^{b/\sqrt{p}}$ 1/ $\sqrt{p}=0,2$	$Y^{d/\sqrt{p}}$ 1/ $\sqrt{p}=0,2$	Вимірні значення	v	Зрівноважені значення
(S <sub>1</sub> )	0,0025	-0,198	0	+0,759	+0,187	5111,553	-8мм	5111,545
(b <sub>1</sub> )	0,0025	-0,502	0	-0,608	+0,010	6235,958	-19	6235,939
(b <sub>3</sub> )	0,0025	0	+0,112	-0,351	+0,028	5510,696	-18	5510,678
(S <sub>4</sub> )	0,0025	0	+0,055	+0,370	+0,164	4755,044	-13	4755,031
(S <sub>5</sub> )	0,0025	0	-0035	+0,470	+0,159	4524,543	-3	4524,540
(b <sub>5</sub> )	0,0025	0	-0,126	-0,329	+0,027	5736,918	+5	5736,923
(S <sub>8</sub> )	0,0025	0	0	-0,018	+0,199	4959,569	-16	4959,553
(δ <sub>1</sub> )	1	-1	0	+0,021	-0,017	51°01'54,30"	-0,84"	51°01'53,46"
(δ <sub>2</sub> )	1	0	0	-0,678	-0,006	48°58'15,83"	-0,48"	48°58'15,35"
(δ <sub>3</sub> )	1	0	0	-0,678	-0,006	45°30'07,75с	-0,48"	45°30'07,27"
(δ <sub>4</sub> )	1	0	+0,222	-0,362	-0,032	50°02'10,50"	-1,16"	50°02'09,34"
(δ <sub>5</sub> )	1	0	-0,216	+0,132	-0,052	48°59' 13,42"	+ 1,3"	48°59'14,72"
(δ <sub>6</sub> )	1	0	0	-0,239	-0,022	59°03'00,68"	-0,09"	59°03'00,59"
(δ <sub>7</sub> )	1	0	0	-0,239	-0,022	53°31'06,69"	-0,09"	53°31'06,60"
(δ <sub>8</sub> )	1	0	0	-0,239	-0,022	38°56'05,33"	-0,09"	38°56'05,24"
W		-1,39"	+0,70 дм	-1,53 дм	+0,39дм			
ΣpV <sup>2</sup> =9,926								

Таблиця № 13. Коефіцієнти нормальних рівнянь.

	$\frac{a}{\sqrt{p}}$	$\frac{c}{\sqrt{p}}$	$\frac{e}{\sqrt{p}}$	$\frac{d}{\sqrt{p}}$	=W
$[\frac{a}{\sqrt{p}}]$	1,291	0	+0,134	-0,025	+ 1,39
$[\frac{c}{\sqrt{p}}]$		0,129	-0,103	-0,007	-0,70
$[\frac{e}{\sqrt{p}}]$			2,775	+0,277	+1,53
$[\frac{d}{\sqrt{p}}]$				+0,134	-0,39
	+0,922394	-0,620132	+0,736560	-4,019600	

Поправки у виміряні величини розраховуються по приведеній у попередніх розділах програмі, множачи одержані значення на 1/ $\sqrt{p}$  в ручному рахунку

$$v_i = \frac{a_i}{p} K_1 + \frac{c_i}{p} K_2 + \frac{e_i}{p} K_3 + \frac{b_i}{p} K_4 \quad (6.4.1)$$

Протокол № 12. Розрахунку невимірних елементів в ΔAB2 і □ 2346 по зрівноваженим кутам і сторонам по програмі № 1.

№ п/п	Введення	Результат	"Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
δ	ΔAB2 В/О С/П			4	50°02'09,34" С/П		δ <sub>4</sub>
γ	6235,939 С/П		b <sub>1</sub>	5		73'56'42,77"С/П	γ <sub>4</sub>
β	511 1,545 С/П		S <sub>1</sub>	6		50°01'07,94' С/П	β <sub>4</sub>
4	51°01' 53,46" С/П		δ <sub>1</sub>	7		4395,062	b <sub>4</sub>
5		52°45'23,57" С/П	γ <sub>1</sub>	1	Δ346 В/О С/П		
6		76°12'43,03" С/П	β <sub>1</sub>	2	5736,923 С/П		b <sub>5</sub>
7		4992,249	a	3	4524,540 С/П		S <sub>5</sub>
δ		4992,250	a <sub>вих.</sub>	4	43°59'14,72" С/П		δ
γ		f̄ = -1мм		5		50°58'04,94" С/П	γ
β	Δ234 В/О С/П			6		80°02'40,37" С/П	β
2	4755,031 С/П		S <sub>4</sub>	7		4395,0627	b <sub>4</sub>
3	5510,678 С/П		b <sub>3</sub>			f̄ = -0,7мм	

Таблиця № 14. Відомість розрахунку зрівноважених координат.

Назви Зерши	Назви кутів	Кути Передачі	Дирекційні к>ти	Сторони	Дх	ДУ	X	y
A			188°54'25,00"				1002,545	1524,235
B	$\beta_1$	76°12'43,03"	85°07'08,03"	5111,545	-434,933	+5093,008	1437,478	6617,243
2	$\delta_1+\delta_2+\delta_3+\delta_4$	195°32'25,42"	100°39'33,45"	4755,031	-879,528	+4672,981	557,950	11290,224
4	$\gamma_4+\beta_3$	153°59'23,14"	74°38'59,59"	4524,540	+1197,784	+4363,115	1755,734	15653,339
6	$\delta_5+\delta_6+\delta_7+\delta_8$	200°29'27,15"	95°08'23,74"	4959,553	-444,318	+4939,610	1311,416	20592,949
C	$\gamma_8$	86°44'37,59"					1311,420	20592,950
д					$\Sigma 308,871$	$\Sigma 19068,714$		
					$\Sigma 308,875$	$\Sigma 19068,715$		
					$f_x = -4\text{мм.}$	$F_y = -1\text{мм.}$		

Залишкові значення нев'язки в координатах визвані впливом похибок заокруглень і ними можна нехтувати.

Середня квадратична похибка одиниці ваги:

$$\mu = \sqrt{\frac{[pV]}{r}} = \sqrt{\frac{9,926}{4}} = 1,58''$$

### 6.5. Зрівноваження ряду, прокладеного між двома вихідними пунктами з кожної сторони А,В і С, Д.

Зрівноваження виконаємо по напрямкам. Приймаючи до уваги, що кожний кут розраховується як різниця правого і лівого напрямків, таблиця коефіцієнтів умовних рівнянь без врахування ваг буде.

Таблиця № 15. Коефіцієнти умовних рівнянь без врахування ваг.

Назв и попр авок	$\Delta AB2$	$\Delta DC6$	$\square 2346$	$\alpha$	X	Y
(S <sub>1</sub> )	-0,0099	0	0	-4,013	+3,795	+0,936
(b <sub>1</sub> )	-0,0251	0	0	+3,289	-3,041	+0,049
(b <sub>3</sub> )	0	0	+0,559	+3,892	-1,755	+0,142
(S <sub>4</sub> )	0	0	+0,276	-4,510	+1,849	+0,818
(S <sub>5</sub> )	0	0	-0,173	-4,622	+2,349	+0,795
(b <sub>5</sub> )	0	0	-0,630	+3,645	-1,644	+0,133
(b <sub>7</sub> )	0	-0,688	0	+4,367	0	0
(S <sub>8</sub> )	0	-0,068	0	-5,367	-0,090	+0,996
(2 - A)	-1	0	0	+0,244 $\frac{-1}{-0,756}$	+0,021 $\frac{+0,678}{+0,699}$	-0,017 $\frac{+0,006}{-0,011}$
(2 - )	+1	0	0	-0,244	-0,021	+0,017
(2 - 1)	0	0	0	+1-1=0	-0,678 $\frac{+0,678}{0}$	-0,006 $\frac{+0,006}{0}$
(2 - 3)	0	0	-0,222	1- 0,299=+0,7 01	-0,678 $\frac{+0,362}{-0,316}$	-0,006 $\frac{+0,032}{+0,026}$
(2 - )	0	0	+0,222	+0,299	-0,362	-0,032
(6-3)	0	0	-0,216	+0,178-1= 0,822	+0,132 $\frac{+0,239}{+0,371}$	-0,052 $\frac{+0,022}{-0,030}$
(6 - )	0	0	+0,216	-0,178	-0,132	+0,052
(6 - Д)	0	+1	0	1- 0,073=0,9 27	-0,239 $\frac{+0,239}{0}$	-0,022 $\frac{+0,022}{0}$
(6 - 5)	0	0	0	+1-1=0	-0,239 $\frac{-0,239}{0}$	-0,022 $\frac{+0,022}{0}$
(6 - С)	0	-1	0	+0,073	-0,239	-0,022

Таблиця № 16. Коефіцієнти умовних рівнянь і поправки.

Назви поправок	P	$\frac{\Delta AB2}{\sqrt{P}}$ 1: $\sqrt{P}=28,3$	$\frac{\Delta DC6}{\sqrt{P}}$ 1: $\sqrt{P}=0,283$	$\frac{\square 2346}{\sqrt{P}}$ 1: $\sqrt{P}=0,283$	$\frac{\alpha}{\sqrt{P}}$ 1: $\sqrt{P}=0,283$	$\frac{X}{\sqrt{P}}$ 1: $\sqrt{P}=0,283$	$\frac{Y}{\sqrt{P}}$ 1: $\sqrt{P}=0,283$	v	pV
(S1)	0,00125	-0,28	0	0	-1,136	1,074	0,265	6мм	0,045
(b1)	0,00125	-0,71	0	0	0,931	-0,861	0,014	-32	1,280
(b3)	0,00125	0	0	0,158	1,101	-0,497	0,04	-14	0,245
(S4)	0,00125	0	0	0,078	-1,276	0,523	0,231	-12	0,180
(b3)	0,00125	0	0	-0,049	-1,308	0,665	0,225	0	0,000
(b3)	0,00125	0	0	-0,178	1,032	-0,465	0,038	6	0,045
(b3)	0,00125	0	-0,668	0	1,236	0	0	19	0,451
(b3)	0,00125	0	-0,068	0	-1,519	-0,025	0,282	-31	1,201
(b3)	1	-1	0	0	-0,756	0,699	-0,011	0,15"	0,023
(b3)	1	1	0	0	-0,244	-0,021	0,017	0,51"	0,260
(b3)	1	0	0	0	0	0	0	0	0,000
(b3)	1	0	0	-0,222	0,701	-0,316	0,026	0,38"	0,144
	1	0	0	0,222	0,299	-0,362	-0,032	-0,74"	0,548
	1	0	0	-0,216	-0,822	0,371	-0,03	0,59"	0,348
	1	0	0	0,216	-0,178	-0,132	0,052	-0,78"	0,608
	1	0	1	0	0,927	0	0	0,23"	0,053
	1	0	0	0	0	0	0	0	0,000
	1	0	-1	0	0,073	-0,239	0,072	-0,04"	0,002
		-1,39"	+0,12"	+0,70дм	-1,356"	-1,53дм	+0,39дм		$\Sigma$ 5,433

Таблиця № 17. Коефіцієнти нормальних рівнянь і корелати.

	$\frac{a}{\sqrt{P}}$	$\frac{b}{\sqrt{P}}$	$\frac{c}{\sqrt{P}}$	$\frac{d}{\sqrt{P}}$	$\frac{e}{\sqrt{P}}$	$\frac{g}{\sqrt{P}}$	=W
$[\frac{a}{\sqrt{P}}]$	2,582	0	0	+0,163	-0,409	-0,056	+1,39"
$[\frac{b}{\sqrt{P}}]$		2,478	0	+0,107	+0,241	+0,003	-0,12"
$[\frac{c}{\sqrt{P}}]$			0,257	+0,005	-0,107	+0,011	-0,70 дм
$[\frac{d}{\sqrt{P}}]$				14,407	-5,700	+1,196	+1,356"
$[\frac{e}{\sqrt{P}}]$					4,006	+0,431	+1,53 дм
$[\frac{g}{\sqrt{P}}]$						+0,263	-0,39 дм
K	+0,6714	-0,1842	-2,1664	+0,4513	+1,2139	-1,417170	

Коефіцієнти перших чотирьох нормальних рівнянь визначаються по розробленій у попередніх розділах програмі. Коефіцієнти п'ятого і шостого нормальних рівнянь визначаються по наступній програмі.

Програма № 6. Розрахунку внутрішніх блоків розміром 2x4 коефіцієнтів нормальних рівнянь.

Рпрг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	8	ХПО	Сх	КХП4	FLO	04	С/П	ХПО
10	С/П	ХП1	С/П	ХП2	С/П	ХТО	С/П	ХП4	С/П	ХП5
20	Х	ПХ9	+	ХП9	С/П	ХПе	ПХ4	Х	ПХd	+
30	ХПd	ПХе	ПХ3	Х	ПХс	+	ХПс	ПХе	ПХ2	Х
40	ПХв	+	ХПв	ПХ1	ПХе	Х	ПХа	+	ХПа	ПХ3
50	ПХ5	Х	ПХ8	+	ХП8	ПХ2	ПХ5	Х	ПХ7	+
60	ХП7	ПХ1	ПХ5	Х	ПХ6	+	ХП6	FLO	10	ПХ6
70	5	ХП4	8	ХПО	КПХ4	С/П	FLO	74	БП	00
80	F	АВТ								

Після натиску клавіш В/О С/П вводиться число поправок і послідовно по рядкам коефіцієнти a, b, c, d, e, g. Ввівши останній коефіцієнт, на екрані дисплея висвічується через натиск клавіші С/П коефіцієнти [ae], [be], [ce], [de], [af], [bf], [cf], [df].

Принцип розрахунку коефіцієнтів ілюструє наступна таблиця.

Таблиця № 18. Коефіцієнти нормальних рівнянь.

По приведеній програмі № 10				По програмі № 6		По програмі № 6	
[aa]	[ab]	[ac]	[ad]	[ae]	[af]	[ag]	[ah]
	[bb]	[bc]	[bd]	[be]	[bf]	[bg]	[bh]
		[cc]	[cd]	[ce]	[cf]	[cg]	[ch]
			[dd]	[de]	[df]	[dg]	[dh]
				[ee]	[ef]	[eg]	[eh]
					[ff]	[fg]	[fh]
						[gg]	[gh]
							[hh]

По приведеній програмі № 10 додатку № 2

Для введення двох стовбців по програмі № 10 необхідна коректировка програми: БП 31 ФПРГ БП 73 F АВТ

На жаль, більше п'яти нормальних рівнянь не можна вирішити в автоматичному режимі на програмованих мікрокалькуляторах МК-52 і МК-61. Рішення можна виконати в напівавтоматичному режимі з введенням проміжних записів. Нижче дається рішення нормальних рівнянь по традиційній методиці.

Таблиця № 19. Рішення нормальних рівнянь.

Поздч	Ka	Kb	Kc	Kd	Ke	Kg	W	Σ
N <sub>1</sub>	2,582	0	0	+0,163	-0,409	-0,056	-1,39	+0,890
E <sub>1</sub>	-1	0	0	-0,0631	+0,1584	+0,0217	+0,5383	-0,3447
N <sub>2</sub>		2,478	0	+0,107	+0,241	+0,003	+0,12	+2,949
E <sub>1</sub> N <sub>1</sub>		0	0	0	0	0	0	0
N <sub>2</sub>		2,478	0	+0,107	+0,241	+0,003	+0,12	+2,949
E <sub>2</sub>		-1	0	-0,0432	-0,0972	-0,0012	-0,0484	-1,1901
N <sub>3</sub>			0,257	+0,005	-0,107	+0,011	+0,70	+0,866
E <sub>1</sub> N <sub>1</sub>			0	0	0	0	0	0
E <sub>2</sub> N <sub>2</sub>			0	0	0	0	0	0
X' <sub>3</sub>			+0,257	+0,005	-0,107	+0,011	+0,70	+0,866
E <sub>3</sub>			-1	-0,0194	+0,4163	-0,0428	-2,7237	-3,3696
N <sub>4</sub>				14,407	-5,700	-1,196	-1,356	+6,430
E <sub>1</sub> N <sub>1</sub>				-0,010	+0,026	+0,004	+0,088	-0,056
E <sub>2</sub> N <sub>2</sub>				-0,005	0,010	0	-0,005	-0,127
E <sub>3</sub> N <sub>3</sub>				0	+0,002	0	-0,014	-0,017
N <sub>4</sub>				14,392	-5,682	-1,192	-1,287	+6,230
E <sub>4</sub>				-1	+0,3948	+0,0828	+0,0894	-0,4329
N <sub>5</sub>					4,006	+0,481	-1,53	-3,018
E <sub>1</sub> N <sub>1</sub>					-0,065	-0,009	-0,220	+0,141
E <sub>2</sub> N <sub>2</sub>					-0,023	0	-0,012	-0,287
E <sub>3</sub> N <sub>3</sub>					-0,044	+0,004	+0,291	+0,360
E <sub>4</sub> N <sub>4</sub>					-2,243	-0,470	-0,508	+2,460
N <sub>5</sub>					+1,631	+0,006	-1,979	-0,342
E <sub>5</sub>					-1	-0,0037	+1,2134	0,2097
N <sub>6</sub>						+0,263	+0,39	-0,104
E <sub>1</sub> N <sub>1</sub>						-0,001	-0,030	+0,019
E <sub>2</sub> N <sub>2</sub>						0	0	-0,004
E <sub>3</sub> N <sub>3</sub>						0	-0,030	-0,037
E <sub>4</sub> N <sub>4</sub>						-0,099	-0,106	+0,516
E <sub>5</sub> N <sub>5</sub>						0	+0,007	+0,001
N <sub>6</sub>						+0,163	+0,231	+0,394
E <sub>6</sub>						-1	-1,417178	-2,417178
K	+0,6714	-0,1842	-2,1664	+0,4513	+1,2139	-1,41717		

В кінці розрахунку кожної поправки необхідно результат в ручному рахунку помножити на величину  $1/\sqrt{p}$ .



Перехід від поправок в напрямки до поправок в кути виконують в ручному рахунку.

Таблиця № 20. Зрівноважених значень.

№ п/п	Назви поправок	Елементи формул	Виміряні значення, м	v	Зрівноважені величини
1	(S <sub>1</sub> )		5111,553	+6 мм	5111,559
2	(b <sub>1</sub> )		6235,958	-32	6235,926
3	(b <sub>2</sub> )		5510,696	-14	5510,682
4	(S <sub>1</sub> )		4755,044	-12	4755,032
5	(S <sub>2</sub> )		4524,543	0	4524,543
6	(b <sub>5</sub> )		5736,918	+6	5736,924
7	(b <sub>6</sub> )		6095,718	+19	6095,737
8	(S <sub>8</sub> )		4959,569	-31	4959,538
9	(δ <sub>1</sub> )	(2-A)-(2-B)	51°01'54,30"	-0,66"	51°01'53,64"
10	(δ <sub>2</sub> )	(2-1)-(2-A)	48°58'15,83"	+0,15"	48°58'15,98"
11	(δ <sub>3</sub> )	(2-3)-(2-1)	45°30'07,75"	+0,38"	45°30'03,13"
12	(δ <sub>4</sub> )	(2-4)-(2-3)	50°02'10,50"	-1,12"	50°02'09,38"
13	(δ <sub>5</sub> )	(6-3)-(6-1)	48°59'13,42"	+1,37"	48°59'14,79"
14	(δ <sub>6</sub> )	(6-5)-(6-3)	59°03'00,68"	-0,59"	59°03'00,09"
15	(δ <sub>7</sub> )	(6-D)-(6-5)	53°31'06,69"	40,23"	53°31'06,92"
16	(δ <sub>8</sub> )	(6-C)-(6-D)	38°56'05,33"	-0,27"	38°56'05,06"

Протокол № 13. Розрахунку невимірних елементів в ДАВ2 і ДСД6 по результатам зрівноваження.

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П			1	В/О С/П		
2	6235,926 С/П		b <sub>1</sub>	2	4959,538 С/П		S <sub>8</sub>
3	5111,559 С/П		S <sub>1</sub>	3	6095,737 С/П		b <sub>7</sub>
4	51°01'53,64" С/П		δ <sub>1</sub>	4	38°56'05,06" С/П		δ <sub>8</sub>
5		52°45'24,51" С/П	γ <sub>1</sub>	5		86°44'40,33" С/П	γ <sub>8</sub>
6		76°12'41,87" С/П	β <sub>1</sub>	6		54°19'14,66" С/П	β <sub>8</sub>
7		4992,249	a	7		3836,965	b <sub>8</sub>
8	4992,250 С/П		δ' <sub>1</sub>	8	3836,965 С/П		b <sub>вих</sub>
9		51°01'53,68"	a <sub>вих</sub>	9		38°56'05,05"	δ' <sub>8</sub>
		-0,04"	W <sub>1</sub>			+0,01"	W'

Протокол № 14. Розрахунку невимірних елементів в чотирикутнику 2346 по результатам зрівноваження.

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/ОС/П			1	В/ОС/П		
2	4755,032 С/П		S <sub>4</sub>	2	5736,924 С/П		b <sub>5</sub>
3	5510,682 С/П		b <sub>3</sub>	3	4524,543 С/П		S <sub>5</sub>
4	50°02'09,33" С/П		δ <sub>4</sub>	4	48°59'14,79" С/П		δ <sub>5</sub>
5		73°56'42,84" С/П	γ <sub>4</sub>	5		50°58'05,04" С/П	γ <sub>5</sub>
6		56°01'07,82" С/П	β <sub>4</sub>	6		80°02'40,23" С/П	β <sub>5</sub>
7		4395,066	b <sub>4</sub>	7		4395,066	b' <sub>4</sub>
W=b <sub>4</sub> -b' <sub>4</sub> =0							

Таблиця № 21. Відомість розрахунку зрівноважених координат.

Назви вершин	Назви кутів	Кути передачі	Дирекційні кути	Сторони	Δx	Δy	X	Y
A			185°54'25,00"					
B	β <sub>1</sub>	76°12'41,87"	85°07'06,87"	5111,559	+434,962	+5093,020	1002,545	1524,235
2	δ <sub>1</sub> +δ <sub>2</sub> +δ <sub>3</sub> +δ <sub>4</sub>	195°32'27,13"	100°39'34,00"	4755,032	-879,541	+4672,979	1437,507	6617,255
4	γ <sub>4</sub> +β <sub>5</sub>	153°59'23,07"	74°38'57,07"	4524,543	+1197,775	+4363,121	557,966	11250,234
6	δ <sub>5</sub> +δ <sub>6</sub> +δ <sub>7</sub> +δ <sub>8</sub>	200°29'26,86"	95°08'23,93"	4959,538	-444,321	+4939,595	1755,741	15653,355
C	γ <sub>8</sub>	86°44'40,33"	1°53'04,26"		Σ 308,875	Σ19068,715	1311,420	20592,950
D			1°53'04,316"		Σ 303,875	Σ19068,715	1311,420	20592,950
			W' <sub>α</sub> = +0,056"		W' <sub>x</sub> = 0	W' <sub>y</sub> = 0		

Протокол № 15. Розрахунку зрівноважених координат пунктів 1, 3, 5 по програмі № 9 додатку № 1.

№ п/п	Введення Даних	Результат	Позна Чснл	j4° п/п	Введення Даних	Результат	Позна Чсня
1	В/О С/П			17	В/О С/П		
2	1437,507 С/П		X <sub>2</sub>	18	1755,741 С/П		X <sub>6</sub>
3	6617,255 С/П		Y <sub>2</sub>	19	15653,355 С/П		Y <sub>6</sub>
4	265°07'06,87" С/П		α <sub>2В</sub>	20	95°08'23,93" С/П		α <sub>6С</sub>
5	51°01'53,64" С/П		δ	21	38°56'05,06" +/- С/П		-δ <sub>8</sub>
6	6235,926 С/П		b <sub>1</sub>	22	6095,737 С/П		b <sub>7</sub>
7		5934,593 С/П	X <sub>A</sub>	23		5146,310 С/П	X <sub>Д</sub>
8		2297,186 С/П	Y <sub>A</sub>	24		20719, 128 С/П	Y <sub>Д</sub>
9	48°58'15,98" С/П		δ <sub>2</sub>	25	53°31'06,92" +/- С/П		-δ <sub>7</sub>
10	4303,257 С/П		b <sub>2</sub>	26	4013,921 С/П		b <sub>6</sub>
11		6221,590 С/П	X <sub>1</sub>	27		5765,250 С/П	X <sub>5</sub>
12		7046,011 С/П	Y <sub>2</sub>	28		15841,503 С/П	Y <sub>5</sub>
13	45°30'08,13" С/П		δ <sub>3</sub>	29	59°03'00,09" +/- С/П		-δ <sub>6</sub>
14	5510,682 С/П		b <sub>3</sub>	30	5736,924 С/П		b <sub>5</sub>
15		44933,558 С/П	X <sub>3</sub>	31		4933,560 С/П	X <sub>3</sub>
16		10876,970 С/П	Y <sub>3</sub>	32		10876,980	Y <sub>3</sub>

### 6.6. Двогрупове зрівноваження.

В першу групу віднесемо умовні рівняння, не зв'язані між собою загальними поправками. Такими в лінійно-кутових рядах несущільних спостережень є умовні рівняння фігур, тобто умови трикутників і чотирикутників.

У другу групу віднесемо умови дирекційних кутів, абсцис і ординат.

В нашому конкретному випадку є можливість в автоматичному режимі рішати зразу чотири нормальні рівняння, тому віднесемо в першу групу тільки умови трикутників.

Використовуючи можливості програмованого мікрокалькулятора, виконаємо зрівноваження по іншому принципу, ніж відомий спосіб Крюгера -Урмаєва.

Спочатку вводимо коефіцієнти трикутника АВ2. Натиском клавіші БП 75 С/П на екран дисплею послідовно виводяться коефіцієнти нормальних рівнянь, які враховують тільки умову трикутника АВ2.

Таблиця № 22. Коефіцієнти нормальних рівнянь для трикутника АВ2.

	ΔAB2	α	X	Y	=W
	+2,58	+0,169	-0,409	-0,056	+1,39
		2,788	-2,545	-0,284	
			2,384	+0,264	
				0,0708	

При цьому один рядок пропускається для запису елімінаційного рівняння.

Натиском клавіші БП 13 С/П переходять до набору коефіцієнтів другого трикутника порядкове зі всіма другими коефіцієнтами. Після набору натиском клавіші БП 75 С/П виводять:

Таблиця № 23. Врахувань коефіцієнтів другого трикутника.

	5,060	+0,276	-0,169	-0,053	
		7,488	-2,524	-0,714	
			2,442	+0,263	
				0,151	

Зверху таблиці залишають два рядки для подальших обчислень.

Натиском клавіш БП 13 С/П переходять до набору коефіцієнтів чотирикутника.

Після набору, натиском клавіш БП 75 С/П .виводять:

Таблиця № 24. Результати набору коефіцієнтів чотирикутника.

					=W
	5,317	+0,281	-0,275	-0,042	
		14,392	-5,700	-1,196	+ 1,356
			4,006	+0,481	+ 1,53
				0,263	-0,39

Віднімаючи із коефіцієнтів першого сумарного рівняння другого визначення коефіцієнти першого рівняння першого визначення, одержують коефіцієнти другого рівняння.

Таблиця № 25. Коефіцієнти другого рівняння.

	5,060	+0,276	-0,169	-0,053	
	-2,582	-0,169	+0,409	+0,056	
	+2,478	+0,107	+0,240	+0,003	

Аналогічно отримують коефіцієнти третього рівняння.

Таблиця № 26. Коефіцієнти трього нормального рівняння.

	+5,317	+0,281	-0,275	-0,042	
	-5,060	-0,276	+0,169	+0,053	
	+0,257	+0,005	-0,106	+0,011	

Коефіцієнти нормальних рівнянь вписують в пропущені рядки і знаходять елімінаційні рівняння.

Перетворюють коефіцієнти і вільні члени нормальних рівнянь дирекційних кутів і координат по формулі:

$$A_i = a_i + [E_i N'_i] \quad (6.6.1)$$

де  $A_i$ - перетворений коефіцієнт;

$a_i$ - неперетворений коефіцієнт;

$[E_i N'_i]$  — сума добутків відповідних коефіцієнтів елімінаційного і перетвореного рівнянь. Так, наприклад, в нашому

випадку, одержимо:

$$14,392 + [0,169(-0,0631) + 0,107(-0,0432)] = 14,377$$

$$-5,700 + [0,169 * 0,1584 + 0,107(-0,0972)] = -5,684$$

$$0,263 + [(-0,056 * 0,0217) + 0,003(-0,0612)] = +0,257$$

перетворення коефіцієнтів виконують по програмі, приведеній у попередніх розділах.

Протокол № 16. Перетворення коефіцієнтів нормальних рівнянь

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П			5	0,1584 С/П		
2	3 С/П		n+1	6	0,0972 /- С/П		
3	0,169 С/П			7	4,006+		b <sub>1</sub>
4	0,107 С/П			8		+3,918	B <sub>1</sub>
5	0,0654 /- С/П			9	0,0217 С/П		
6	0,0432 /- С/П			10	0,0012 /- С/П		
7	14,392+		a <sub>1</sub>	11	0,481+		b <sub>2</sub>
8		14,377 С/П	A <sub>1</sub>	12		+0,472	B <sub>2</sub>
9	0,1584 С/П			13	0,5383 /- С/П		
10	0,0972 /- С/П			14	0,0484 С/П		
11	5,700-		a <sub>2</sub>	15	1,53+		w <sub>3</sub>
12		-5,684 С/П	A <sub>2</sub>	16		+1,762	W <sub>3</sub>
13	0,0217 С/П			17	В/О С/П		
14	0,0012 /- С/П			18	3 С/П		
15	1,196 -		a <sub>3</sub>	19	0,056 /- С/П		
16		-1,192 С/П	A <sub>3</sub>	20	0,003 С/П		
17	0,5383 /- С/П			21	0,0217 С/П		
18	0,0484 С/П			22	0,06121 /- С/П		
19	1,356+		w <sub>1</sub>	23	0,263+		c <sub>1</sub>
20		+1,270	W <sub>1</sub>	24		+0,2616	C <sub>1</sub>
1	В/О С/П			25	0,5383 /- С/П		
2	3 С/П		n+1	26	0,0484 С/П		
3	0,409 /-			27	0,39-		w <sub>3</sub>
4	0,240 С/П			28		+0,3597	W <sub>3</sub>

Корелати  $K_3, K_4, K_5, K_6$ , знайдені із рівняння системи чотирьох нормальних рівнянь. Корелати  $K_1$  і  $K_2$  рішення окремо.

### Протокол № 17. Розрахунку корелатів $K_1$ і $K_2$

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П			8	0,0217 С/П		
2	4 С/П		n+1	9	0,5383 +		
3	0,454 С/П		$K_4$	10		+0,672 С/П	$K_1$
4	1,220 С/П		$K_5$	11	0,0432 /- /С/П		
5	-1,416 С/П		$K_6$	12	0,0972 /- /С/П		
6	-0,0631 С/П			13	0,0012 /- /С/П		
7	+0,1584 С/П			14	0,0484 -		
				15		-0,184	$K_2$

Як бачимо, корелати з точністю до трьох значущих цифр в межах похибок заокруглень співпадають з корелатами сумісного рішення системи шести нормальних рівнянь.

Розраховані по даним корелатам поправки точно співпадають з поправками, отриманими із рішенням шести нормальних рівнянь сумісно.

Розроблена методика зрівноваження дає можливість любе число умовних рівнянь в лінійно-кутових рядах несучільних спостережень звести до рішення чотирьох рівнянь в автоматичному режимі, забезпечуючи строге рішення.

Таблиця № 27. Відомість рішення нормальних рівнянь двогруповим методом.

		За умовою фігур		X	Y	=W	$\Sigma$
$N_1$		+2,582	+0,169	-0,409	-0,056	1,39	
$E_1$		-1	-0,0654	0,1584	0,0217	-0,5383	
			2,788	-2,545	-0,284		
				2,384	0,264		
					0,0708		
$N_2$		2,478	+0,107	0,24	0,003	0,12	
$E_2$		-1	-0,0432	-0,0972	-0,0012	0,0484	
		5,060	+0,276	-0,169	-0,053		
			7,488	-2,524	-0,714		
				2,442	0,263		
					0,151		
$N_3$		+0,257	+0,005	-0,106	0,011	-0,7	-0,533
$E_3$		-1	-0,0194	0,4163	-0,0428	2,7237	2,0739
$N'_1+N'_2+N'_3$		5,317	+0,281	-0,275	-0,042		
$N_4$			14,392	-5,7	-1,196	1,356	8,857
$N_5$				4,006	0,263	1,53	-0,064
$N_6$						-0,39	-0,873
Перетворені коефіцієнти							
$N'_3=N_3$		+0,257	+0,005	-0,106	0,011	-0,7	
$N_4$			14,377	-5,684	-1,192	1,27	
$N_5$				3,918	0,472	1,762	
$N_6$					0,2616	-0,3597	
K		$K_3=-2,168$	$K_4=-2,168$	$K_5=+1,1220$	$K_6=-1,416$		
		$K_2=-0,184$	$K_1=-0,184$				

## 6.7. Оцінка точності по результатам зрівноваження

Дамо оцінку точності визначення дирекційного кута  $\alpha_{43}$  сторони  $b_4$  по результатам зрівноваження.

Передаючи дирекційні кути по виміряним зовнішнім сторонам ряду, отримаємо

$$F\alpha = \alpha_{43} = \alpha_{BA} + \beta_1 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \gamma_4 \quad (6.7.1)$$

Для обчислення оберненої ваги цієї функції знайдемо її прирости

$\Delta F = f_\alpha$ . Взявши частинні похідні від F по кожному виміряному куту і переходячи до кінцевих приростів, отримуємо

$$f = \Delta\alpha_{43} = \beta_1 + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \gamma_4 \quad (6.7.2)$$

Переходячи від кутів до напрямків, отримаємо

$$f_\alpha = \frac{\rho}{\alpha} \left[ \sin \gamma_1 (b_1) - \sin \beta_1 (S_1) - b_1 \cos \gamma_1 \frac{(2-A) - 2 - B}{\rho} \right] + \\ + (2-A) - (2-B) + (2-1) - (2-A) + (2-3) - (2-1) + (2-4) - (2-3) + \\ + \frac{\rho}{b_4} \left[ \sin \beta_4 (b_3) - \sin \gamma_4 (S_4) - b_3 \cos \beta_4 \frac{(2-4) - (2-3)}{\rho} \right] \quad (6.7.3)$$

З врахуванням даних, приведених в таблиці № 15, вагова функція набуде вигляду

$$f_\alpha = -4,013(S_1) + 3,892(b_1) + 3,892(b_1) - 4,510(S_4) - 0,756(2-A) - \\ - 0,244(2-B) + 0,701(2-3) + 0,299(2-4). \quad (6.7.4)$$

Беручи до уваги ваги вимірів, формула (6.7.4) буде

$$f_\alpha = -1,136(S_1) + 0,931(b_1) + 1,101(b_3) - 1,276(S_4) - 0,756(2-A) - \\ - 0,244(2-B) + 0,701(2-3) + 0,299(2-4). \quad (6.7.5)$$

Визначимо обернену вагу невиміряної сторони  $b_4$

$$b_4^2 = b_3^2 + S_4^2 - 2b_3 S_4 \cos \delta_4 \quad (6.7.6)$$

Диференціюючи і переходячи до поправок, вагова функція набуде вигляду

$$f_s = \cos \beta_4 (b_3) + \cos \gamma_4 (S_4) + \frac{S_4}{\rho} \sin \gamma_4 [(2-4) - (2-3)] \quad (6.7.7)$$

З врахуванням даних, приведених в таблиці № 15, вагова функція сторони  $b_4$  набуде вигляду

$$f_s = 0,559(b_3) + 0,276(S_4) + 0,222(2-4) - 0,222(2-3). \quad (6.7.7)$$

Приймаючи до уваги ваги вимірів, отримаємо

$$f_s = 0,158(b_3) + 0,078(S_4) + 0,222(2-4) - 0,22(2-3). \quad (6.7.8)$$

Оцінимо точність визначення координат пункту 4. Вагова функція абсцис буде

$$f_x = [\cos \gamma_{B2} + \sin \beta_1 (Y_4 - Y_B) / a](b_1) + [\sin \gamma_1 (Y_4 - Y_B) / a](b_1) + \\ + \cos \alpha_{24} (S_4) + [b_1 \cos \gamma_1 (Y_4 - Y_B) / a\rho - (Y_4 - Y_2) / \rho](\delta_1) - \\ - [(Y_4 - Y_2) / \rho](\delta_2) - [(Y_4 - Y_2) / \rho](\delta_3) - [(Y_4 - Y_2) / \rho](\delta_4) \quad (6.7.9)$$

Вагова функція ординат

$$f_y = [\cos \alpha_{B2} + \sin \beta_1 (X_4 - X_B) / a](S_1) - [\sin \gamma_1 (X_4 - X_B) / a](b_1) + \\ + \cos \alpha_{24} (S_4) + [b_1 \cos \gamma_1 (X_4 - X_B) / a\rho - (X_4 - X_2) / \rho](\delta_1) - \\ - [(X_4 - X_2) / \rho](\delta_2) - [(X_4 - X_2) / \rho](\delta_3) - [(X_4 - X_2) / \rho](\delta_4). \quad (6.7.10)$$

З врахуванням даних таблиці № 15, вагові функції абсцис і ординат будуть

$$f_x = +1,985(S_1) - 1,557(b_1) - 0,185(S_4) + 0,357(2-A) - \\ - 0,400(2-B) + 0,043(2-4)$$

(6.7.11)

$$f_{Y4} = +1,083(S_1) + 0,071(b_1) + 0,983(S_4) - 0,436(2-A) + 0,210(2-B) + 0,226(2-4). \quad (6.7.12)$$

Або, з врахуванням ваг вимірів

$$f_{X4} = +0,397(S_1) - 0,311(b_1) - 0,037(S_4) + 0,357(2-A) - 0,400(2-B) + 0,043(2-4). \quad (6.7.13)$$

$$f_{Y4} = +0,217(S_1) + 0,014(b_1) + 0,200(S_4) - 0,436(2-A) + 0,210(2-B) + 0,226(2-4). \quad (6.7.12)$$

Таблиця № 28. Коефіцієнти умовних рівнянь і вагових функцій.

Назви Поправок	Сумарні Умови фігур	$\alpha$	X	Y	$f_a$	$f_s$	$f_x$	$f_y$
(S <sub>1</sub> )	-0,280	-1,136	+1,074	+0,265	-1,136	0	+0,397	+0,217
(b <sub>1</sub> )	-0,710	+0,931	-0,861	+0,014	+0,931	0	-0,311	-0,014
(b <sub>2</sub> )	+0,158	+1,101	-0,497	+0,040	+1,101	+0,158	0	0
(S <sub>4</sub> )	+0,078	-1,276	+0,523	+0,231	-1,276	+0,078	-0,037	+0,200
(S <sub>5</sub> )	-0,049	-1,308	+0,665	+0,225	0	0	0	0
(b <sub>5</sub> )	-0,178	+1,032	-0,465	+0,038	0	0	0	0
(b <sub>7</sub> )	-0,688	+1,236	0	0	0	0	0	0
(S <sub>8</sub> )	-0,068	-1,519	-0,025	+0,282	0	0	0	0
(2-A)	-1	-0,756	+0,699	-0,011	-0,756	0	+0,357	-0,436
(2-B)	+1	-0,244	-0,021	+0,017	-0,244	0	-0,400	+0,210
(2-3)	-0,222	+0,701	-0,316	+0,026	+0,701	-0,222	0	0
(2-4)	+0,222	+0,299	-0,362	-0,032	+0,299	+0,222	+0,043	+0,226
(6-3)	-0,216	-0,822	+0,371	-0,030	0	0	0	0
(6-4)	+0,216	-0,178	-0,132	+0,052	0	0	0	0
(6-Д)	+1	+0,927	0	0	0	0	0	0
(6-С)	-1	+0,073	-0,239	-0,022	0	0	0	0

Розрахунок коефіцієнтів вагових функцій  $f_a$ ,  $f_s$  виконаємо по приведеній вище програмі. Як і в двогруповому зрівноваженні, спочатку введемо коефіцієнти, які відносяться до трикутника АВ2. З початку рахунку введемо число рядків 4.

На екран дисплея послідовно виводяться коефіцієнти вагових функцій  $f_a$ ,  $f_s$ .

Таблиця № 24. Коефіцієнти вагових функцій  $f_a$ ,  $f_s$  з врахуванням умови трикутника АВ2.

	$\Delta AB2$	$\alpha$	X	Y	c	$f_s$		
					+0,169	0		
					+2,788	0		
					-2,545	0		
					-0,284	0		

Набором команд БП 08 С/П 4 С/П продовжуємо вводити коефіцієнти чотирьох рядків, які враховують умови чотирикутника.

Таблиця № 25. Коефіцієнти сумарної умови.

$f_a$	$f_s$	$a$	X	Y	$f_a$	$f_s$		
					+0,154	+0,130		
					+6,210	-0,015		
					-4,089	-0,048		
					-0,526	+0,011		

По аналогії одержуємо вагові коефіцієнти координатних умовних рівнянь.

Таблиця № 26. Вагові коефіцієнти координатних умовних рівнянь.

	$a$	X	Y	$f_a$	$f_s$	$f_{XA}$	$f_{YA}$
						-0,647	+0,595
						-0,913	+0,019
						+0,952	-0,064
						+0,090	+0,066

Для контролю повторно набирають всі коефіцієнти і отримують сумарні коефіцієнти  $f_{X\Sigma}$ ,  $f_{Y\Sigma}$ .

Таблиця № 27 сумарні коефіцієнти  $f_{X\Sigma}$ ,  $f_{Y\Sigma}$ .

	$\alpha$	X	Y	$f_{X\alpha}$	$f_{Y\alpha}$	$f_{X\Sigma}$	$f_{Y\Sigma}$
				-0,647	+0,595	-0,641	+0,661
				-0,913	+0,019	-0,853	-0,169
				+0,952	-0,064	+0,917	-0,041
				+0,090	+0,066	+0,080	+0,105

Таблиця № 28. Перетворення коефіцієнтів вагових функцій.

	За умови фігур	$\alpha$	X	Y	$f_{\alpha}$	$F_S$	$f_X$	$f_Y$	W
$N_1$	+2,582	+0,169	-0,409	-0,056	+0,169	0	-0,647	+0,595	-1,39
$E_1$	-1	-0,0654	+0,1584	+0,0217	-0,0654	0	+0,2506	-0,2304	+0,5383
$N_2$	+2,478	+0,107	+0,24	+0,003	0	0	0	0	-0,12
$E_2$	-1	-0,0432	-0,0969	-0,0012	0	0	0	0	+0,0484
$N_3$	+0,257	+0,005	-0,106	+0,011	-0,015	+0,130	+0,006	+0,066	+0,70
$E_3$	-1	-0,0194	+0,4124	-0,0428	+0,0584	-0,5058	-0,0233	-0,2568	
$\Sigma$	5,317	+0,281	-0,275	-0,042	+0,154	+0,130	+0,641	+0,661	
$N_4$		+14,392	-5,700	-1,196	+6,210	-0,015	-0,853	-0,169	-1,356
$N_5$			+4,006	+0,481	-4,089	-0,048	+0,917	-0,041	-1,53
$N_6$				+0,263	-0,526	+0,011	+0,080	+0,105	+0,39
$[f_i f_i]$					+6,210	+0,130	+0,545	+0,372	0

Таблиця №29. Перетворені коефіцієнти.

$N_3=N_3$	+0,257	+0,005	-0,106	+0,011	-0,015	+0,130	+0,006	+0,066	+0,70
$N_4$		14,377	-5,684	-1,192	+6,199	-0,015	-0,811	-0,208	-1,27
$N_5$			+3,918	+0,472	-4,062	-0,048	+0,814	+0,053	-1,762
$N_6$				+0,2616	-0,522	+0,011	+0,060	+0,118	-0,36
$[f_i f_i]$					+6,199				
$t_{ii}$	+1,607				+0,105	0	-0,403	+0,370	
$t_{3i}$	0,5069	+0,0099	-0,2091	+0,0217	-0,0296	+0,2564	+0,0118	+0,1302	+1,3808
$t_{4i}$		+3,7917	-1,4985	-0,3144	+1,6350	-0,046	-0,2139	-0,0552	-0,3385
$t_{5i}$			+1,2762	+0,0042	-1,2679	-0,0010	+0,3386	-0,0020	-1,5518
$t_{6i}$				+0,4028	-0,0052	+0,0099	-0,0078	+0,2428	+0,5713
$\sqrt{\frac{1}{p_{\alpha}}} = 1,3846$ $\sqrt{\frac{1}{p_x}} = 0,253$ $\sqrt{\frac{1}{p_y}} = 0,430$ $\sqrt{\frac{1}{p_w}} = 0,395$									

Програма № 7. Розрахунку елімінаційних рядків  $E_i$ , добутку  $E_i$ ,  $N_i$  і квадратичних коефіцієнтів.

$F_{npr}$	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	ХП1	С/П	ПХ1	:	/-	С/П	БП	02	С/П
10	ХП1	ПХ1	С/П	Х	С/П	БП	11	Сх	ХП5	С/П
20	$Fx^2$	ПХ5	+	ХП5	БП	19	F	АВТ		

Примітка. Перехід на програму розрахунку  $E_i \dots N_i$ ; виконується командою БП 09 С/П, для розрахунку квадратичних коефіцієнтів БП 17 С/П.

Протокол № 18. Розрахунку  $E_i f_i$ .

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	$16$ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	В/О С/П			1	-0,409 С/П		
2	2,582 С/П		$\left[\frac{aa}{p}\right]$	2		+0,1584 С/П	
3	0,169 С/П			3	-0,056 С/П		
4		-0,0654 С/П	Див. Табл. 28	4		+0,02169 С/П	

Протокол № 9. Розрахунку квадратичних і перетворених коефіцієнтів.

№ п/п	Введення Даних	Результат	Позна Ченя	№ п/п	Введення Даних	Результат	Позна Ченя
1	БП 17 С/П			8		-0.8 11 С/П	N'4X
2	0,158 С/П			9	-02304 С/П		
3	0,078 С/П			10	0,169-		
4	-0,222 С/П			11		-0,208	N'4Y
5	+0,222 С/П			1	В/О С/П		
6		0,1296	[f <sub>s</sub> f <sub>s</sub> ]	2	-0,4090 С/П		
				3	-0,0654 С/П		
1	БП 09 С/П			4	4,089 -		
2	0,169 С/П			5		-4,062 С/П	N'5α
3	-0,0654 С/П			6	0,2506 С/П		
4	6,210 +		[f <sub>α</sub> f <sub>α</sub> ]	7	0,917 +		
5		+6,199 С/П	[F <sub>α</sub> F <sub>α</sub> ]	8		0,3 14 С/П	N'5X
				9	-0,2304 С/П		
1	В/О С/П			10	0,041-		
2	+0,169 С/П			11		+0,053	N'5Y
3	-0,0654 С/П			1	В/О С/П		
4	6,210 +			2	-0,056 С/П		
5		+6,199 С/П	N'4α	3	-0,0654 С/П		
6	+0,2506 С/П			4	0,526 -		
7	0,853 -			5		-0.522 С/П	N'6α

Розрахунок вагових функцій і рішення нормальних рівнянь раціонально виконувати способом Краков'янів або квадратних коренів Холецкого.

Таблиця № 30. Коефіцієнти нормального рівняння і вагових функцій.

N <sub>11</sub>	N <sub>12</sub>	N <sub>13</sub>	N <sub>14</sub>	F <sub>15</sub>	L <sub>11</sub>	S <sub>11</sub>
	N <sub>22</sub>	N <sub>23</sub>	N <sub>24</sub>	F <sub>25</sub>	L <sub>22</sub>	S <sub>22</sub>
		N <sub>33</sub>	N <sub>34</sub>	F <sub>35</sub>	L <sub>33</sub>	S <sub>33</sub>
			N <sub>44</sub>	F <sub>45</sub>	L <sub>44</sub>	S <sub>44</sub>
				F <sub>55</sub>	0	S <sub>55</sub>

Таблиця № 31. Рішення нормальних рівнянь і вагових функцій.

1	2	3	4	5
$t_{11} = \sqrt{N_{11}}$	$t_{12} = \frac{N_{12}}{t_{11}}$	$t_{13} = \frac{N_{13}}{t_{11}}$	$t_{14} = \frac{N_{13}}{t_{11}}$	$f_{14} = \frac{F_{15}}{t_{11}}$
	$t_{22} = \sqrt{N_{22} - t_{12}^2}$	$\frac{N_{23} - t_{12}t_{14}}{t_{22}}$	$\frac{N_{24} - t_{12}t_{14}}{t_{22}}$	$\frac{F_{25} - t_{12}f_{15}}{t_{22}}$
		$t_{33} = \sqrt{N_{33} - t_{13}^2 - t_{23}^2}$	$\frac{N_{24} - t_{13}t_{14} - t_{23}t_{24}}{t_{33}}$	$\frac{F_{35} - t_{13}f_{15} - t_{23}f_{25}}{t_{33}}$
			$t_{44} = \sqrt{N_{44} - t_{14}^2 - t_{24}^2 - t_{34}^2}$	$\frac{F_{45} - t_{14}f_{15} - t_{24}f_{25} - t_{34}f_{35}}{t_{44}}$
			$\sqrt{\frac{1}{p}} = \sqrt{F_{55} - f_{15}^2 - f_{25}^2 - f_{35}^2 - f_{45}^2}$	
6	7			
$l_{11} = \frac{L_{11}}{t_{11}}$	$S_{11} = \frac{S_{11}}{t_{11}}$			
$\frac{L_{22} - t_{12}l_{11}}{t_{22}}$	$\frac{S_{22} - t_{12}S_{11}}{t_{22}}$			
$\frac{L_{33} - t_{13}l_{11} - t_{23}l_{22}}{t_{33}}$	$\frac{S_{33} - t_{13}S_{11} - t_{23}S_{22}}{t_{33}}$			
$\frac{L_{44} - t_{14}l_{11} - t_{24}l_{22} - t_{34}l_{33}}{t_{44}}$	$\frac{S_{44} - t_{14}S_{11} - t_{24}S_{22} - t_{34}S_{33}}{t_{44}}$			
	$\frac{S_{55} - t_{15}S_{11} - t_{25}S_{22} - t_{35}S_{33} - t_{45}S_{44}}{t_{55}}$			

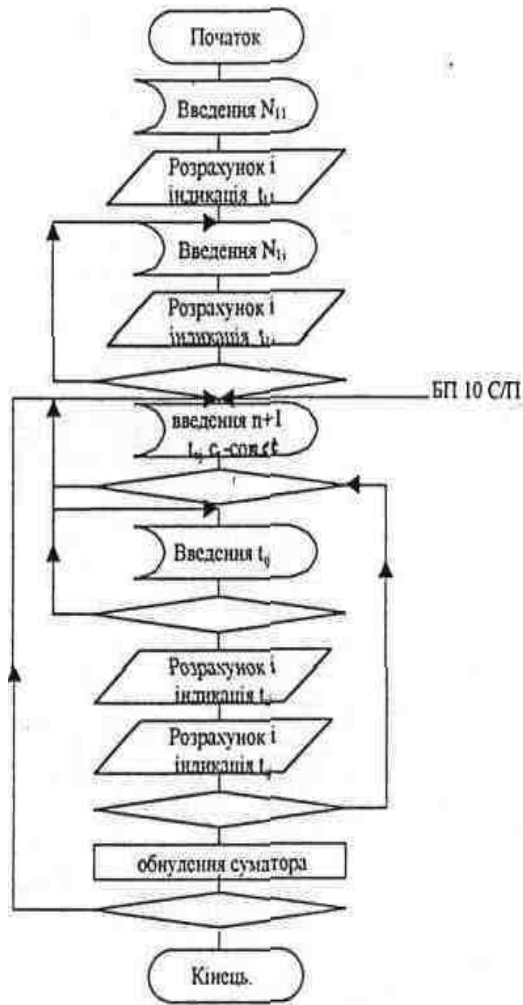
Програма № 8. Рішення нормальних рівнянь і вагових функцій способом Краков'янів або квадратних коренів

F <sub>пгр</sub>	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	F√	С/П	ХПС	С/П	ПХС	:	С/П	БП	04
10	Сх	ХПе	1	ХПС	С/П	Хнд	Хнд	0	С/П	КХПО
20	ПХ0	1	-	Fх=0	18	ХП0	ХП0	КПХ0	С/П	Х
30	ПХе	+	ХПе	П/0	1	-	Fх=0	27	ПХе	С/П
40	-	/-/	ПХС	:	ХПе	ПХС	1	-	Fх≠0	53
50	ПХе	БП	56	ПХе	F√	ХПС	С/П	Сх	ХПе	БП
60	25	F	АВТ							



### 6.4. Зрівноваження ряду прокладеного між двома вихідними пунктами.

Блок-схема програми



N	Введення Даних	результат	По з	№ п/	Введення даних	результат	Іозн	№ п/п	Введення даних	результат	позн
1	В/О С/П			47	-1,27 С/П	Початок	W <sub>2</sub>	100	В↑ С/П		
2	0,257 С/П		N <sub>11</sub>	48		-0,3385	t <sub>29</sub>	101	В↑ С/П		
3	+0,5069		t <sub>11</sub>	49	2,079 С/П	Введення N <sub>11</sub>	t <sub>110</sub>	102	В↑ С/П		
4	+0,005		N <sub>12</sub>	50	11,401 С/П	Розрахунок і індикація t <sub>1</sub>	Σ <sub>1</sub>	103	0,2616 С/П		
5	+0,0099		t <sub>12</sub>	51		0,014	t <sub>2,10</sub>	104		0,4028 С/П	144
6	-0,106 С/П		N <sub>13</sub>	52	БП 10 С/П		:	105	-0,0296		
7		-0,2091	t <sub>13</sub>	53	3 С/П	Початок	n+1	106	+1,6350		
8	+0,011		N <sub>14</sub>	54	-0,2091		t <sub>13</sub>	107	-1,2444		
9		+0,02 17	t <sub>14</sub>	55	-1,4985	Введення N <sub>11</sub>	t <sub>23</sub>	108	-0,522 С/П		
10	-0,0 15		F <sub>15</sub>	56	В↑ С/П		t <sub>13</sub> <sup>2</sup>	109		-0,0052	«45
11		-0,0296	t <sub>15</sub>	57	В↑ С/П	Розрахунок і індикація t <sub>1</sub>	t <sub>23</sub> <sup>2</sup>	110	+0,2564		
12	+0,130		F <sub>16</sub>	58	3,918 С/П	Введення N <sub>11</sub>	N <sub>33</sub>	111	-0,0046		
13		+0,2564	t <sub>16</sub>	59		+1,2762	t <sub>33</sub>	112	-0,00 10		
14	+0,006		F <sub>17</sub>	60	+0,02 17	Початок		113	+0,01 1 С/П		
15		+0,01 18	t <sub>17</sub>	61	-0,3144	Введення N <sub>11</sub>		114		+0,0099	t <sub>46</sub>
16	+0,066		F <sub>18</sub>	62	+0,472 С/П			115	+0,01 18		
17		+0,1302	t <sub>18</sub>	63		0,0042	t <sub>34</sub>	116	-0,2 139		
18	+0,70 С/П		W <sub>1</sub>	64	-0,0296	індикація t <sub>1</sub>		117	+0,3885		
19		+1,3808	t <sub>19</sub>	65	+1,6350	Введення N <sub>11</sub>		118	+0,0066		
20	+1,054		Σ <sub>1</sub>	66	-4,062 С/П			119		-0,0078	t <sub>41</sub>
21		+2,079	t <sub>110</sub>	67		Розрахунок і індикація t <sub>1</sub>	t <sub>35</sub>	120	+0,132 С/П		
22	БП 10 С/П	:		68		+0,2564		121	-0,0552		
23	2 С/П	:0	n+1	69	-0,0046			122	БП 10 С/П		
24	+0,0099		t <sub>12</sub>	70	-0,048 С/П	Введення n+1		123	+0,1 18		
25	В↑ С/П		F <sub>X<sup>2</sup></sub>	71		0,0010	t <sub>36</sub>	124		+0,2428	t <sub>48</sub>
26	14,377		N <sub>22</sub>	72	+0,0118			125	+1,3808		
27		+3,7917	T <sub>22</sub>	73	-0,2 139	Введення t <sub>0</sub>		126	-0,3385		
28	-0,2091		t <sub>13</sub>	74	+0,814 С/П			127	-1,55 18		
29	-5,684 С/П		N <sub>23</sub>	75		+0,3886	t <sub>37</sub>	128	+0,36 С/П		
30		-1,4985	t <sub>23</sub>	76	+0,1302	Розрахунок і індикація t <sub>1</sub>		129		+0,5713	t <sub>49</sub>
31	+0,0217		t <sub>14</sub>	77	-0,0552	індикація t <sub>1</sub>		130	+2,079 С/П		
32	-1,192 С/П		N <sub>24</sub>	78	+0,053 С/П	Розрахунок і індикація t <sub>1</sub>		131	+3,0014		
33		-0,3 144	t <sub>24</sub>	79		0,0020	t <sub>38</sub>	132	-1,204 С/П		
34	-0,0296		t <sub>15</sub>	80	+1,3808			133	-0,414 С/П		
35	+6, 199		F <sub>25</sub>	81	-0,3385			134		+1,214	t <sub>4 10</sub>
36		+1,6350	t <sub>23</sub>	82	-1,762 С/П	Введення суматора		135	БП 10 С/П,	5 С/П	
37	+0,2564		t <sub>16</sub>	83		-1,55 18	t <sub>39</sub>	136	+0,105 С/П		
38	-0,0 15		F <sub>16</sub>	84	+2,079 С/П			137	0,0296 С/П		
39		-0,0046	t <sub>26</sub>	85	+3,0014	Кінець.		138	1,635 С/П		
40	+0,01 18		t <sub>17</sub>	86	-6,405 С/П			139	-1,2679		
41	+0,814		F <sub>27</sub>	87		-1,201	t <sub>3 10</sub>	140	-0,0052		
42		-0,2 139	t <sub>27</sub>	88	БП 10 С/П			141	В↑ С/П		

43	+0,1302С/П		t <sub>18</sub>	89	4 С/П			142	В↑ С/П		
44	-0,208 С/П		F <sub>28</sub>	90	0,0217 С/П			143	В↑ С/П		
45		-0,0552 С/П	t <sub>28</sub>	91	-0,3 144С/П			144	В↑ С/П		
46	+1,3808 С/П		t <sub>9</sub>	92	+0,0042С/П			145	6,2 10 С/П	+1,3846	v <sub>u</sub>

Продовження протоколу № 20.

№ п/п	Введення Даних	результат	Позн	№ п/п	Введення даних	результат	Позн
1	БП10 С/П			8	В↑ С/П		
2	5 С/П		n+1	9	В↑ С/П		
3	ОС/П			10	В↑ С/П		
4	+0,2564 С/П			11	В↑ С/П		
5	-0,0046 С/П			12	+0,13 С/П		
6	$\sqrt{\frac{1}{P_s}}$ 0,0010 С/П			13		+0,2532	
7	+0,0099 С/П			14			

Виконаємо контрольний розрахунок корелат із рішення нормальних рівнянь способом квадратних коренів.

$$K_6 = -\frac{l_{44}}{t_{44}} = -\frac{0,5713}{0,4028} = -1,4183;$$

$$K_5 = -\frac{K_6 t_{34} + l_{33}}{t_{33}} = -\frac{1,4183 * 0,0042 - 1,5518}{1,2762} = +1,2206;$$

$$K_4 = -\frac{K_6 t_{24} + K_5 t_{23} + l_{22}}{t_{22}} =$$

$$= -\frac{[-1,4183(-0,3144) + 1,2206(-1,4985) - 0,3385]}{3,7917} = +0,454$$

$$K_3 = -\frac{K_6 t_{14} + K_5 t_{13} + K_4 t_{12} + l_{11}}{t_{11}} =$$

$$= -\frac{-1,4183 * 0,0217 + 1,2206(-0,2091) + 0,454 * 0,0099 + 1,3808}{0,5069} =$$

$$= -2,1686$$

### Протокол № 20. Рішення нормальних рівнянь способом Краков'янів і визначення вагових функцій.

$$K_2 = K_6 E_{2Y} + K_5 E_{2X} + K_4 E_{2X} + K_3 0 + E_2 L_{\Delta D6C} =$$

$$= -1,4183(-0,0012) + 1,2206(-0,0969) + 0,454(-0,0432) -$$

$$- 0,0484 = -0,1846$$

Таким чином, в межах похибок заокруглень корелати, визначені із рішення нормальних рівнянь способом квадратних коренів і традиційного способу співпадають.

Середня квадратична похибка одиниці ваги або визначення значень зрівноваженого напрямку.

$$\mu = \sqrt{\frac{PV^2}{r}} = \sqrt{\frac{5.432}{6}} = 0.95''$$

Середня квадратична похибка визначення дирекційного кута по результатам зрівноваження.

$$m_{\alpha_{43}} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{\alpha}}} = 0,95 * 1,38 = 1,31''$$

Середня квадратична похибка зрівноваженої сторони.

$$m_{S_{43}} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{\alpha}}} = 0,95 * 0,13 = 0,12 \text{ дм} = 12 \text{ мм}$$

Середня квадратична похибка зрівноважених координат пункта 4.

$$m_{x_4} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_x}} = 0,95 * 0,43 = 0,41 \text{ дм} = 41 \text{ мм}$$

$$m_{y_4} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_y}} = 0,95 * 0,40 = 0,38 \text{ дм} = 38 \text{ мм}$$

Таблиця № 32. Порівняльний аналіз істинних і зрівноважених координат.

Назва Пункта	Хзрів(м)	Хіст(м)	ΔX(м.м)	Үзрів(м)	Үіст(м)	ΔY(м.м)
1	6221,590	6221,548	+42	7046,011	7046,007	+4
2	1437,507	1437,462	+45	6617,255	6617,235	+20
3	4933,559	4933,588	+29	10876,975	10876,947	+48
4	557,966	557,932	+34	11290,234	11290,212	+22
5	5765,250	5765,233	+17	15841,503	15841,507	-4
6	1755,741	1755,716	+25	15653,355	15653,358	-3

### 6.8. Попередній розрахунок точності елементів лінійно-кутового ряду несучільних спостережень.

Запроектувавши пункти на карті крупного масштабу і визначивши графічно координати пунктів із рішення обернених геодезичних задач, знаходять кути і сторони, які спотворюють генерованими середніми квадратичними похибками.

При розвитку ряду від двох вихідних пунктів А, В необхідно виміяти сторону СД.

В даному випадку вагова функція дирекційного кута сторони СД розраховується по формулі:

$$f_{\alpha_{сд}} = \Delta\alpha_{сд} = -(\rho/\alpha)\sin\beta_1(S_1) + (\rho/\alpha)\sin\gamma_1(b_1) + (\rho/b_4)\sin\beta_4(b_3) - (\rho/b_4)\sin\gamma_4(S_4) - (\rho/b_4)\sin\beta_5(S_5) + (\rho/b_4)\sin\gamma_5(b_5) + (\rho/b)\sin\beta_3(b_7) - (\rho/b)\sin\gamma_8(S_8) - [(b_1/\alpha)\cos\gamma_1 - 1](\delta_1) + (\delta) + (\delta_3) - [(b_3/b_4)\cos\beta_4 + 1](\delta_4) - [(b_5/b_4)\cos\gamma_5 - 1](\delta_5) + (\delta_6) + (\delta_7) - [(b_7/b)\cos\beta_7 - 1](\delta_8) \quad (6.8.1)$$

Якщо ряд опирається на дві вихідні сторони з відомими дирекційними кутами, слабкий елемент буде в його середині. В даному випадку вагова функція дирекційного кута сторони b b<sub>7</sub>/b розраховується по формулі:

$$f_{\alpha_{b4}} = \Delta\alpha_{b4} = -(\rho/\alpha)\sin\beta_1(S_1) + (\rho/\alpha)\sin\gamma_1(b_1) + (\alpha/b_4)\sin\beta_4(b_4) - (\rho/b_4)\sin\gamma_4(S_4) - [(b_3/b_4)\cos\beta_4 - 1](\delta_4) - [(b_4/\alpha)\cos\gamma_1 - 1](\delta_1) + (\delta_2) + (\delta_3) \quad (6-8.2)$$

Вагова функція сторони 04 визначається із виразу

$$f_{b_4} = \Delta b_4 = \cos\beta_4(b_3) + \cos\gamma_4(S_4) + (S_4/\rho)\sin\gamma_4(\delta_4). \quad (6.8.3)$$

Складається таблиця коефіцієнтів умовних рівнянь і вагових функцій.

Таблиця № 33. Коефіцієнти умовних рівнянь і вагових функцій.

Назви поправок	ρ	ΔAB2a/√ρ 1/√ρ = 20	ΔDC6b/√ρ 1/√ρ = 20	□2345 c/√ρ 1/√ρ = 0,2	α 1/√ρ = 0,2	F <sub>в</sub> /√ρ	F <sub>аб4</sub> /√ρ
(S <sub>1</sub> )	0,0025	-0,198	0	0	-0,803	0	-0,803
(b <sub>1</sub> )	0,0025	-0,502	0	0	+0,658	0	+0,658
(b <sub>2</sub> )	0,0025	0	0	+0,112	+0,778	+0,112	+0,778
(S <sub>4</sub> )	0,0025	0	0	+0,055	-0,902	+0,055	-0,902
(S <sub>5</sub> )	0,0025	0	0	-0,035	-0,924		
(b <sub>5</sub> )	0,0025	0	0	-0,126	+0,729		
(b <sub>7</sub> )	0,0025	0	-0,486	0	+0,873		
(S <sub>8</sub> )	0,0025	0	-0,048	0	-1,073		
(δ <sub>1</sub> )	1	-1	0	0	+0,244	0	+0,244
(δ <sub>2</sub> )	1	0	0	0	+1	0	+1
(δ <sub>3</sub> )	1	0	0	0	+1	0	+1
(δ <sub>4</sub> )	1	0	0	+0,222	+0,299	+0,222	+0,0299
(δ <sub>5</sub> )	1	0	0	-0,216	+0,178		
(δ <sub>6</sub> )	1	0	0	0	+1		
(δ <sub>7</sub> )	1	0	0	0	+1		
(δ <sub>8</sub> )	1	0	-1	0	+0,073		
W		-1,39"	40,12'	+0,70 дм	-1,356"		

Таблиця № 34. Коефіцієнти нормальних рівнянь і вагових функцій.

	$\frac{a}{\sqrt{p}}$	$\frac{b}{\sqrt{p}}$	$\frac{c}{\sqrt{p}}$	$\frac{d}{\sqrt{p}}$	$\frac{f_{d4}}{\sqrt{p}}$	$\frac{f_{ab4}}{\sqrt{p}}$	=W	S
$[\frac{a}{\sqrt{p}}]$	1,291	0	0	-0,415	0	-0,415	-1,39	-0,929
$[\frac{b}{\sqrt{p}}]$		1,238	0	-0,446	0	0	+0,12	+0,912
$[\frac{c}{\sqrt{p}}]$			0,129	+0,006	+0,065	+0,104	+0,70	+1,004
$[\frac{d}{\sqrt{p}}]$				9,981	+0,104	+4,646	-1,356	+12,534
[f]					+0,065	+4,646		

Таблиця № 35. Рішення нормальних рівнянь і вагових функцій.

	1	2	3	4	5	6	7	8
$t_{1i}$	1,136	0	0	-0,365	0	-0,365	-1,223	-0,818
$t_{2i}$		1,113	0	-0,401	0	0	+0,108	+0,820
$t_{3i}$			0,359	+0,017	+0,181	+0,290	+1,949	+2,795
$t_{4i}$				3,112	+0,032	+1,448	-0,576	+4,022
$K \sqrt{\frac{1}{p}}$	+1,1360	-0,0303	-5,4377	+0,18502	$\sqrt{\frac{1}{p_{b4}}} = 0,177$	$\sqrt{\frac{1}{p_a}} = 1,527$	ПХЗ: -0,18502= =K <sub>4</sub>	

При середній квадратичній похибці одиниці ваги у 2'' середня квадратична похибка зрівноваженої сторони  $b_4$ .

$$m_{b4} = 2'' \sqrt{\frac{1}{p_{b4}}} = 0,37 \text{ дм} = 37 \text{ мм}$$

$$f_{\text{відн}} = \frac{0,037}{4395,102} = \frac{1}{118000}$$

при допустимій середній квадратичній похибці визначення, слабій сторони в триангуляції 4 класу 1:70000 і точності виміру кутів 2''.

Середня квадратична похибка зрівноваженого дирекційного кута  $m_{ab4}$ .

$$m_{ab4} = 2'' \sqrt{\frac{2}{P_{ab4}}} = 2'' * 1,53 = 3,06''$$

Вагові функції визначення координат кінцевого пункту ряду мають вигляд

- Попередній зсув для зорієнтованого ряду

$$F_4 = F_{xc} = \Delta X_C = [\cos \alpha_{b2} + (Y_c - Y_B) \sin \beta_1 / a](S_1) - (\sin \gamma_1 (Y_c - Y_B) / (b_1) - [\sin \beta_4 (Y_c - Y_4) / b_4](b_3) + [\cos \alpha_{24} + \sin \gamma_4 (Y_c - Y_4) / b_4](S_4) + [\cos \alpha_{46} + \sin \beta_5 (Y_c - Y_4) / b_4](S_5) - [\sin \gamma_5 (Y_c - Y_4) / (b_5) + \cos \alpha_{6c}(S_8) + [b_1 \cos \gamma_1 (Y_c - Y_B) / a \rho - (Y_c - Y_2) / \rho](\delta_1) - [(Y_c - Y_2) / \rho](\delta_2) - [(Y_c - Y_2) / \rho](\delta_3) + [b_3 (Y_c - Y_4) \cos \beta_4 / b_4 - (Y_c - Y_2) / \rho](\delta_4) + [b_5 \cos \gamma_5 (Y_c - Y_4) / b_4 \rho - (Y_c - Y_6) / \rho](\delta_5) - [(Y_c - Y_6) / \rho](\delta_6) - [(Y_c - Y_6) / \rho](\delta_7) - [(Y_c - Y_6) / \rho](\delta_8) \quad (6.8.4)$$

- Поздовжній зсув для зорієнтованого ряду

$$F_L = F_Y = \Delta Y_C = [\sin \alpha_{b2} - \sin \beta_1 (X_C - X_B) / a](S_1) + [\sin \gamma_1 (X_C - X_B) / (b_1) + [\sin \beta_4 (Y_c - Y_4) / (b_4)](b_3) + [\sin \alpha_{24} - \sin \gamma_4 (X_c - X_4) / b_4](S_4) + [\sin \alpha_{46} - \sin \beta_5 (X_c - X_4) / b_4](S_5) + [\sin \gamma_5 (X_c - X_4) / b_4](b_5) + \sin \alpha_{6c}(S_8) - [b_1 (X_c - X_B) \cos \gamma_1 / a \rho + (X_c - X_2) / \rho](\delta) + [(X_c - X_2) / \rho](\delta_2) + [(X_c - X_2) / \rho](\delta_3) - [b_3 \cos \beta_4 (X_c - X_4) / b_4 \rho + (X_c - X_2) / \rho](\delta_4) - [b_5 \cos \gamma_5 (X_c - X_4) / b_4 \rho + (X_c - X_6) / \rho](\delta_5) + [(X_c - X_6) / \rho](\delta_6) + [(X_c - X_6) / \rho](\delta_7) + [(X_c - X_6) / \rho](\delta_8). \quad (6.8.5)$$

для зорієнтованого ряду, який опирається на два вихідні пункти А і С слабим пунктом буде пункт 4 в середині ряду. Тоді, вагова

функція поперечного зсуву ряду

$$F_q = F_{X4} = [\cos\alpha_{B2} + \sin\beta_1(Y_4 - Y_B)/\alpha](S_1) - [\sin\gamma_1(Y_4 - Y_B)/\alpha](b_1) + \\ + [\cos\alpha_{24}](S_4) + [b_1 \cos\gamma_1(Y_4 - Y_B)/\alpha\rho - (Y_4 - Y_2)/\rho](\delta_1) - \\ - [(Y_4 - Y_2)/\rho](\delta_2) - [(Y_4 - Y_2)/\rho](\delta_3) - [(Y_4 - Y_2)/\rho](\delta_4) \quad (6.8.6)$$

поздовжнього зсуву ряду

$$F_L = F_{Y4} = [\sin\alpha_{B2} - \sin\beta_1(X_4 - X_B)/\alpha](S_1) - [\sin\gamma_1(X_4 - X_B)/\alpha](b_1) + \\ + [\sin\alpha_{24}](S_4) - [b_1 \cos\gamma_1(X_4 - X_B)/\alpha\rho + (X_4 - X_2)/\rho](\delta_1) + \\ + [(X_4 - X_2)/\rho](\delta_2) + [(X_4 - X_2)/\rho](\delta_3) + [(Y_4 - Y_2)/\rho](\delta_4) \quad (6.8.7)$$

Результати рхунку по цим формулам зводяться в таблицю № 36.

Таблиця № 36. Коефіцієнти умовних рівнянь і вагових функцій.

Назви поправок	Вага P	$\Delta AB2$	$\square 2346$	$e/\sqrt{P} X$	$g/\sqrt{P} Y$	$F_{X4}/\sqrt{P}$	$F_{Y4}/\sqrt{P}$
		$\frac{1}{\sqrt{P}} = 0,2$	$\frac{1}{\sqrt{P}} = 0,2$	$\frac{1}{\sqrt{P}} = 0,2$	$\frac{1}{\sqrt{P}} = 0,2$		
(S <sub>1</sub> )	0,0025	-0,198	0	+0,759	+0,187	+0,397	+0,217
(b <sub>1</sub> )	0,0025	-0,502	0	-0,608	+0,010	-0,311	-0,014
(b <sub>3</sub> )	0,0025	0	+0,112	-0,351	+0,028		
(S <sub>4</sub> )	0,0025	0	+0,055	+0,370	+0,164	-0,037	+0,200
(S <sub>5</sub> )	0,0025	0	-0,035	+0,470	+0,159		
(b <sub>5</sub> )	0,0025	0	-0,126	-0,329	+0,027		
(S <sub>8</sub> )	0,0025	0	0	-0,018	+0,199		
(δ <sub>1</sub> )	1	-1	0	+0,021	-0,017	+0,400	-0,210
(δ <sub>2</sub> )	1	0	0	-0,678	-0,006	+0,043	+0,226
(δ <sub>3</sub> )	1	0	0	-0,678	-0,006	+0,043	+0,226
(δ <sub>4</sub> )	1	0	+0,222	-0,362	-0,032	+0,043	+0,226
(δ <sub>5</sub> )	1	0	-0,216	+0,132	-0,052		
(δ <sub>6</sub> )	1	0	0	-0,239	-0,022		
(δ <sub>7</sub> )	1	0	0	-0,239	-0,022		
(δ <sub>8</sub> )	1	0	0	-0,239	-0,022		
W		-1,39"	+0,702 дм	-1,53 дм	+0,39, дм		

Таблиця № 37. Коефіцієнти нормальних рівнянь і вагових функцій.

	$\frac{a}{\sqrt{P}}$	$\frac{c}{\sqrt{P}}$	$\frac{e}{\sqrt{P}}$	$\frac{d}{\sqrt{P}}$	F <sub>X</sub>	F <sub>Y</sub>	W	S
$[\frac{a}{\sqrt{P}}]$	1,291	0	+0,134	-0,025	-0,322	+0,174	-1,39	-0,138
$[\frac{c}{\sqrt{P}}]$		0,129	-0,103	-0,007	+0,008	+0,061	-Ю.70	+0,802
$[\frac{e}{\sqrt{P}}]$			2,775	+0,277	+0,411	-0,145	-1,53	+1,819
$[\frac{d}{\sqrt{P}}]$				+0,134	+0,056	+0,067	+0,39	+0,906
[f]					+0,421	+0,245		

Таблиця №38. Рішення нормальних рівнянь і вагових функцій.

	1	2	3	4	5	6	7	8
t <sub>1i</sub>	1,136	0	+0,118	-0,022	-0,283	+0,153	-1,223	-0,121
t <sub>2i</sub>		+0,359	-0,287	+0,019	+0,022	+0,170	+1,949	+2,232
t <sub>3i</sub>			+1,637	+0,174	+0,275	-0,070	-0,505	+1,512
t <sub>4i</sub>				+0,321	+0,005	+0,247	+1,290	+1,864
K,	$\frac{+0,922}{\sqrt{P}}$	-4,627	+0,736	-4,023	$\frac{\sqrt{1}}{\sqrt{P_{X4}}} = 0,514$	$\frac{\sqrt{1}}{\sqrt{P}} = 0,245$	$\frac{ПХ3}{0,245} = -K,$	

При середній квадратичній похибці одиниці ваги в 1,6" середня квадратична похибка координат 4 пункта буде

$$m_q = m_{x4} = 1,6 \sqrt{\frac{1}{P_{X4}}} = 1,6 * 0,51 = 0,816 \text{ дм} = 82 \text{ мм.}$$

$$m_L = m_{Y4} = 1,6 \sqrt{\frac{1}{P_{Y4}}} = 1,6 * 0,36 = 0,576 \text{ дм} = 58 \text{ мм}$$

Як видно, відсутність умовного рівняння дирекційних кутів збільшує поперечний зсув ряду.

Повне врахування умовних рівнянь виконується слідуючим чином.

Таблиця № 39. Коефіцієнти нормальних рівнянь і вагових функцій.

	$\frac{a}{\sqrt{p}}$	$\frac{b}{\sqrt{p}}$	$\frac{c}{\sqrt{p}}$	$\frac{d}{\sqrt{p}}$	$\frac{e}{\sqrt{p}}$	$\frac{g}{\sqrt{p}}$	$F_s$	$F_x$	$F_y$	W	S	
$[\frac{a}{\sqrt{p}}]$	2,582	0	0	+0,163	-0,409	-0,056	+0,169	0	-0,647	+0,595	-1,39	1,007
$[\frac{b}{\sqrt{p}}]$		2,478	0	+0,107	+0,241	+0,003	0	0	0	0	+0,12	2,949
$[\frac{c}{\sqrt{p}}]$			0,257	+0,005	-0,107	+0,011	-0,015	+0,130	+0,086	+0,066	+0,70	1,053
$[\frac{d}{\sqrt{p}}]$				14,407	-5,700	-1,196	+6,210	-0,015	-0,853	-0,169	-1,356	11,606
$[\frac{e}{\sqrt{p}}]$					4,006	+0,481	+4,089	-0,048	+0,917	-0,041	-1,53	-6,279
$[\frac{g}{\sqrt{p}}]$						+0,263	-0,526	+0,011	+0,080	+0,105	+0,39	+0,434
[F]							6,210	+0,130	+0,545	+0,372		

Таблиця № 40. Рішення нормальних рівнянь і вагових функцій.

t <sub>1i</sub>	+1,607	0	0	+0,101	-0,254	-0,035	+0,105	0	-0,403	+0,370	-0,865	0,627
t <sub>2i</sub>		+1,574	0	+0,068	+0,153	+0,022	0	0	0	0	+0,076	1,873
t <sub>3i</sub>			+0,507	+0,010	-0,211	+0,022	-0,030	+0,256	+0,012	+0,130	+1,3X1	2,077
t <sub>5i</sub>				+3,794	-1,498	-0,314	+1,634	-0,005	-0,214	-0,055	-0,339	3,004
t <sub>6i</sub>					+1,276	+0,005	-1,270	-0,001	+0,389	-0,002	-1,549	-1,150
t <sub>7i</sub>						+0,403	-0,006	+0,009	-0,009	+0,242	+0,571	1,209
	+0,6716	-0,184	-2,164	+0,453	+1,219	-1,41695	25 1,38	0,254	0,430	0,396	ПХЗ:	
	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>					1,416952	

Таким чином, при розв'язку лінійно-кутового ряду методом несучільних спостережень при точності вимірювання кутів в 2" і точності вимірювання сторін в 4 см, отримана середня квадратична похибка одиниці ваги виміряного напрямку

$$\mu = \sqrt{\frac{[PV]}{6}} = \sqrt{\frac{5,432}{6}} = 0,95''$$

Середня квадратична похибка сторони b4

$$m_{b4} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{b4}}} = 0,95 * 0,13 = 0,12 \text{ дм} = 12 \text{ мм}$$

Середня квадратична похибка дирекційного кута

$$m_{ab4} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_{ab4}}} = 0,95 * 1,38 = 1,31''$$

Середні квадратичні похибки координат

$$m_q = m_{x4} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_x}} = 0,95 * 0,43 = 0,41 \text{ дм} = 41 \text{ мм}$$

$$m_q = m_{y4} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_y}} = 0,95 * 0,40 = 0,38 \text{ дм} = 38 \text{ мм}$$

Поздовжній і поперечний зсуви зрівноваженого ряду в невеличких рядах, які опираються на вихідні пункти старшого класу, або пункти отримані по системі GPS, однакові.

Гранична істинна похибка визначення координат не перевищила 48 мм.

## В И С Н О В К И

Розроблена технологія створення планової геодезичної мережі лінійно-кутовим методом несучільних спостережень.

В розробку технології ввійшли наступні питання.

1. Запропонована ідея розвитку рядів при одній постановці електронного тахеометра або світловіддалеміра на два геодезичні чотирикутники.
2. Розроблена методика польового контролю в лінійно-кутових рядах несучільних спостережень.
3. Досліджена точність елементів ряду, який опирається на вихідні сторони з вихідними дирекційними кутами.
4. Розроблена методика зрівноваження ряду, прокладеного між двома вихідними пунктами і досліджена точність елементів даного ряду.
5. Розроблена методика зрівноваження ряду, прокладеного між двома вихідними пунктами з кожної сторони і досліджена точність елементів даного ряду.
6. Розроблена методика двогрупового зрівноваження з реалізацією програми на програмованих мікрокалькуляторах МК61, МК52.
7. В результаті проведених досліджень встановлено, що на точність визначення поперечного зсуву зорієнтованого ряду основний вплив надає умовне рівняння трикутника АВ2.  
Це пояснюється тим, що розвиток ряду проходить без вимірювання примикаючих кутів на вихідних пунктах.
8. Другим компонентом по значимості є умовне рівняння координат.
9. Третім по значимості є умовне рівняння дирекційних кутів.
10. Умовні рівняння чотирикутника і ординат незначно впливають на поперечний зсув ряду.

11. На поздовжній зсув ряду основний вплив, також, надає умова трикутника АВ 2. Другим по значимості є умовне рівняння ординат, третім — умовне рівняння чотирикутника 2346. Четвертим по значимості на поздовжній зсув є умовне рівняння дирекційних кутів.
12. Умовне рівняння абсцис незначно впливає на поздовжній зсув ряду.
13. Основний вплив на точність визначення сторони В4 надає умовне рівняння чотирикутника.
14. Умовні рівняння дирекційних кутів і координат незначно впливають на точність визначення сторони В4.
15. На точність передачі дирекційного кута впливає умова дирекційних кутів. Другим по значимості компонентом було умовне рівняння абсцис. Менш значно впливає умовне рівняння трикутника. Деякий вплив надає умова чотирикутника і зовсім незначно впливає умова ординат.
16. На основі проведених досліджень встановлено, що при точності вимірювання кутів в 2" і сторін в 4см, точність визначення координат пунктів в рядах несучільних спостережень не перевищить 5см. Тобто забезпечується точність пунктів для самого крупного масштабу знімання 1: 500.
17. Дана розробка являється фрагментом докторської дисертації автора і впроваджена в топографо-геодезичне виробництво і навчальний процес РДТУ.

## Л І Т Е Р А Т У Р А

1. Литнарович Р.Н. Создание опорных геодезических сетей несплошных наблюдений линейно-угловым методом при изыскании мелиоративных систем с целью их проектирования и строительства. Тез. респ. конф. "Достижения научно-технического прогресса - в мелиорацию и водное хозяйство" Ч. I. Ровно, 1987,- с.54.
2. Литнарович Р. Н. Разработка программы уравнивания геодезических сетей, развиваемых в мелиоративном строительстве, на программируемом калькуляторе Электроника МК 52. Сб. Мелиорация и освоение тяжелых минеральных почв. /Материалы республиканской научно-технической конференции /18-20 декабря 1990 года. г. Ровно, 1990г, -с. 86-87
3. Літнарівч Р. Згущення мережі GPS. Матеріали науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу та студентів УДАВ Г, присвяченої 50-річчю перемоги у Великій Вітчизняній війні. Секція геодезії та землевпорядкування. 27 березня-15 квітня 1995 року. Рівненський філіал інституту Землеустрою УААН. Рівне, 1996 р.- с.33-34.
4. Літнарівч Р.М. Інженерна геодезія. Курс лекцій для студентів будівельного бакалаврату. УДАВГ, Рівне.-131с. Шифр 076-58.
5. Літнарівч Р.М. Основи вищої геодезії. Курс лекцій для студентів денної форми навчання і заочної спеціальності 7.070906-землевпорядкування. м. Рівне, УДАВ Г, 1998, - - 134с.
6. Литнарович Р. Н. Создание опорных геодезических сетей несплошных наблюдений и автоматизированная система их обработки. Информационный листок № 87 - 099. Ровенский МТЦНТН\*1987,-4с.

23. 02. 1999р.

## Д О Д А Т К И

Додаток № 1. Програма № 9. Розрахунок координат полярною засічкою в лінійно - кутовому методі несучільних спостережень.

РПРГ	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	ХП1	С/П	ХП2	С/П	К→a11	ХП3	ПХ3	С/П	К→a11
10	+	ХП3	Fcos	С/П	ХП4	X	ПХ1	+	С/П	ПХ4
20	ПХ3	Fsin	X	ПХ2	+	С/П	БП	07	F	АВТ

Протокол розрахунку по програмі № 15 приведений в параграфі 6.5.

### Програма № 10

Додаток № 2. Розрахунок коефіцієнтів нормальних рівнянь. Формування зовнішніх діагональних блоків при числі рівнянь більшому 4.

РПРГ	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С <sub>x</sub>	ХП2	ХП4	ХП5	ХП7	ХП8	ХП9	ХПв	ХПс	ХПd
10	ХПс	С/П	ХП0	С/П	ХП1	FX <sup>2</sup>	ПХ2	+	ХП2	С/П
20	ХП3	FX <sup>2</sup>	ПХ4	+	ХП4	ПХ1	ПХ3	X	ПХ5	+
30	ХП5	С/П	ХП6	FX <sup>2</sup>	ПХ7	+	ХП7	ХП1	ПХ6	X
40	ПХ8	+	ХП8	ПХ3	ПХ6	X	ПХ9	+	ХП9	С/П
50	ХПа	FX <sup>2</sup>	ПХв	+	ХПв	ХПа	ПХ1	X	ПХс	+
60	ХПс	ПХ3	ХПа	X	ПХd	+	ХПd	ПХв	ХПа	X
70	ПХс	+	ХПЕ	FLO	13	ПХ2	С/П	ПХ5	С/П	ПХ4
80	С/П	ПХ8	С/П	ПХ9	С/П	ПХ7	С/П	ПХс	С/П	ПХd
90	С/П	ПХЕ	С/П	ПХв	С/П	БП	00	F	АВТ	

Після натиску клавіші В/О С/П вводиться число поправок і послідовно по рядах коефіцієнти a<sub>i</sub>, b<sub>i</sub>, c<sub>i</sub>, d<sub>i</sub>. Ввівши останій коефіцієнт, на екрані дисплея висвічуються через натиск клавіші С/П коефіцієнти [aa], [ab], [bb], [ac], [bc], [cc], [ad], [bd], [cd], [dd].

Додаток № 3. Програма № 11. Рішення систем нормальних рівнянь n ≤ 4.

РПРГ	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	ХП4	1	4	ХП2	ПХО	ХП1	С/П	ПХ4	:	КХП2
10	FL1	06	1	4	ХП3	ПХО	ХП1	FL1	23	кнх3
20	С/П	БП	19	Сх	КХП2	FL1	24	КХП2	ПХО	ПХ2
30	+	ХП1	ХП2	ПХ3	-	FX≠0	42	С/П	nn	84
40	БП	28	КПХО	ПХ0	ХП3	С/П	КПХ2	-	ХП4	С/П



50	КПХ2	-	ПХ4	:	КХП1	FL3	49	ПХ1	ПХО	+
60	ХПЗ	1	4	ХП1	ХП2	КПХ1	/-/	пп	84	пхз
70	+	ХПЗ	ПХ1	1	FX=0	65	ПХО	ХП1	кпхз	КХП2
80	FL1	78	БП	12	ПХО	↔	В↑	кпхз	X	КПХ1
90	+	КХП2	FO	FLO	86	FO	хпо	в/о	ПХС	С/П
100	ПХв	С/П	ПХа	С/П	F	АВТ				

Спочатку вводиться число рівнянь пХПЮ. Після [aa] В/О С/П. В подальшому послідовно вводяться всі коефіцієнти з натиском клавіші С/П. Після рішення рівнянь через натиск клавіші С/П виводяться невідомі (корелати у нашому випадку).

### Програма № 12.

Додаток № 4. Розрахунок координат по формулам Юнга рішення прямої кутової засічки.

ПТРГ	00	01	02	03	04	05	06	07.	ОХ	09
00	5	ХП4	4	ХПО	С/П	КХП4	FLO	04	ХПв	С/П
10	Кoiiii	ХПв	Fig	F 1/V	ХП2	ХБС	С/П	Копi	хлс	Fig
20	F I/A'	ХПЗ	+	ХП4	ПХ8	ПХ2	X	ПХ6	гга	X
30	+	ПХ7	-	ПХ9	+	a4		С/П	ПХ7	пхз
40	X	ГТХ9	ПХ2	X	-н	ПХ6	+	ПХ8	-	ПА'4
50	:	С/П	БП	09	F	АВТ				

Набір даних виконується у наступному порядку.

В/О	С/П	X <sub>лів</sub>	С/П	Y <sub>лів</sub>	С/П	X <sub>пр</sub>	С/П	Y <sub>пр</sub>	С/П	β <sub>лів</sub> С/П
β <sub>пр</sub>	С/П	Результат X <sub>c</sub>	С/П	Результат Y <sub>c</sub>	С/П	β <sub>i+1лів</sub>	С/П	β <sub>i+1пр</sub>	С/П	X <sub>сi</sub>
С/П	Y <sub>сi</sub>	С/П								

За допомогою одного базису розраховується довільне число засічок. Кути вводяться в градусах, хвилинах, секундах, і десятих і сотих долях секунди. Градуси відділяються крапкою.

Перемикач радіани, гради, градуси слід поставити в крайнє праве положення.

### Програма № 13.

Додаток № 5. Розрахунок зв'язуючих сторін трикутників триангуляції.

РПРГ	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	ХП1	С/П	Кoiiii	Fsin	С/П	Кoiiii	Fsin	:	ПХ1
10	X	ХП1	С/П	БП	02	F	АВТ			

Порядок введення даних: ВО С/П β<sup>о</sup> проти шуканої зв'язуючої сторони, β<sup>о</sup> проти відомої сторони. На екрані дисплею висвічується шукана зв'язуюча сторона. Натискується клавіша С/П і повторяється набір кутів слідуючого трикутника. Рішається довільне число трикутників.

### Перелік розроблених автором або вдосконалених програм, які приведені у даному посібнику.

1. Програма №1 розрахунку невимірних елементів в лінійно-кутових рядах несущільних спостережень і вільних членів умовних рівнянь фігур.....8
2. Програма №2 розрахунку приростів координат рішення прямої геодезичної задачі... 12
3. Програма №3 розрахунку коефіцієнтів умовних .....15
4. Програма №4 розрахунку коефіцієнтів координатних умовних рівнянь.....22
5. Програма №5. Продовження розрахунку коефіцієнтів координатних умовних рівнянь.....23
6. Програма №6 розрахунку внутрішніх блоків розміром 2x4 коефіцієнтів нормальних рівнянь.....30
7. Програма №7 розрахунку елімінаційних строчок E<sub>i</sub>, добутку E<sub>i</sub> N<sub>i</sub> і квадратичних коефіцієнтів.....46
8. Програма №8 рішення нормальних рівнянь і вагових функцій способом краков'янів або квадратних коренів Холецького....48
9. Програма №9 розрахунок координат полярного засічкою в лінійно-кутовому методі несущільних спостережень.....64
10. Програма №10. Розрахунок коефіцієнтів нормальних рівнянь. Формування зовнішніх діагональних блоків.....64
11. Програма №11. Рішення систем нормальних рівнянь n < 4 .....64
12. Програма №12. Розрахунок координат по формулах

Юнга рішення прямих кутових засічок.....	65
13. Програма №13. Розрахунок зв'язуючих сторін трикутника триангуляції.....	66

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

***Розробка технології створення  
планової геодезичної мережі лінійно  
кутовим методом несучільних  
спостережень***

Навчальний посібник з курсу  
“Основні геодезичні роботи”

**ЧАСТИНА XII**

**Відредагував текст і набрав на комп'ютері в  
редакторі; *Word for Windows '98*  
Гордиський Григорій Олександрович**

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