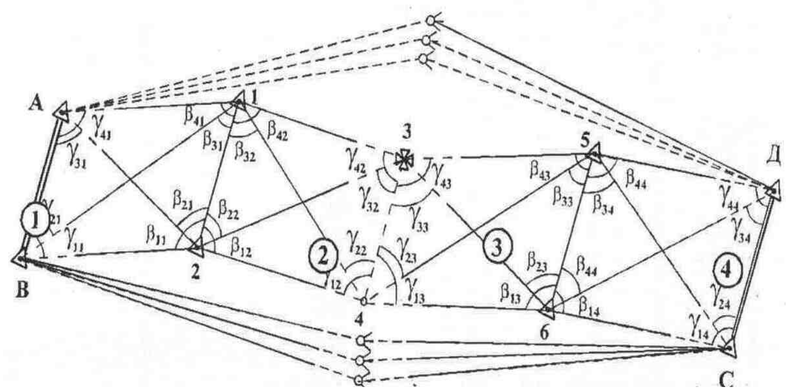
Міністерство освіти і науки України
Чернігівський державний інститут
економіки і управління

Р.М. Літнарович

Розробка технології створення планової геодезичної мережі методом парних ланок засічок

Навчальний посібник
з курсу "Основні геодезичні роботи"
Частина VII



Чернігів. 2001 р.

ПРОТОКОЛ №9 розрахунку коефіцієнтів при замиканні прямого ходу на 3 пункт.

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	в/о с/п			11	+0.8041 с/п		Р2
2	+3,3081 с/п		P_4 на 2 п.	12	+0.1959 с/п		Р3
3	+38,7372с/п		$P_{5\ прав.}$	13		-1.5210 с/п	$для X3(\gamma_{41})$
4	-22,9820с/п		P_6	14		-44.0853 с/п	(γ_{21})
5	+22,0773с/п		P_7	15		+32.3467 с/п	(γ_{31})
6	+24,6822с/п		P_4 на 1 п.	16		+13.5637с/п	(γ_{11})
7	+26,1126с/п		$P_{5\ лів}$	17		+41.1946 с/п	$для Y3(\gamma_{41})$
8	+3,4646с/п		P_6	18		+48.8929 с/п	(γ_{21})
9	+57,2787с/п		P_7	19		+4.8816 с/п	(γ_{31})
10	+0,8183с/п		P_1 на 4 п.	20		+23.1311 с/п	(γ_{11})

Протокол №8 розрахунку коефіцієнтів при замиканні зустрічного ходу на 4 пункт.

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	в/о с/п			11	+0.2650 с/п		Р2
2	+6,7708 с/п		P_4 на 2 п.	12	+0.7350 с/п		Р3
3	-53,384с/п		$P_{5\ прав.}$	13		+33.3313 с/п	$для X3(\gamma_{14})$
4	+27,7837с/п		P_6	14		+58.5225 с/п	(γ_{34})
5	-29,6421с/п		P_7	15		-60.4620 с/п	(γ_{24})
6	-21,2792с/п		$P_{4\ лів}$ на 6 п.	16		-15.9143с/п	(γ_{44})
7	-31,7917с/п		P_5	17		-34.5088с/п	$для Y3(\gamma_{14})$
8	+4,2098с/п		P_6	18		-7.2502с/п	(γ_{34})
9	-46,8322с/п		P_7	19		-47.5372с/п	(γ_{24})
10	+1,2258с/п		P_1 на 4 п.	20		-55,8442с/п	(γ_{44})

На основі виконаних розрахунків умова абсцис для пункту 3 запишеться у вигляді

Літнарович Р.М. Розробка технології створення планової геодезичної мережі методом парних ланок засічок. Навчальний посібник з курсу: “Основні геодезичні роботи”. ЧДІЕіУ. Чернігів. 2001. 34с.

Зміст

Протокол №6 розрахунку коефіцієнтів координатних умовних рівнянь для чотирикутника 3465.

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	
1	в/о с/п			
2	1755,623с/п		$X_{6\ лів.}$	
3	15653,419с/п		$Y_{6\ лів.}$	
4	5765,040с/п		$X_{5\ пр.}$	
5	15841.420с/п		$Y_{5\ пр.}$	
6	558,065с/п		X_4	
7	11290.141с/п		Y_4	
8	108^{0}02'14,0с/п		$\angle\beta_{13}$	
9	38^0 28'00,0с/п		$\angle\beta_{33}$	
10		+1,0718с/п	для X_3 P1(-Y_6),(Y_5)	для Y_3 P1(X_6),(-X_5)
11		+1,3490с/п	P2(X_6)	(Y_6)
12		-0,3490с/п	P3(X_5)	(Y_5)
13		-29,9192с/п	$P4(\beta_{13})$	
14		-26,1528с/п		$P4(\beta_{13})$
15		-16,0760с/п	$P6(\beta_{33})$	
16		-58,5763с/п		$P7(\beta_{33})$
17	4933,510с/п		X_3	
18	10876.988с/п		Y_3	
19	59^0 03'02,6"с/п		$\angle\beta_{23лів.}$	
20	77^0 48'08,0с/п		$\angle\beta_{43пр..}$	
21		+1,2258с/п	для X_3 P1(Y_5),(-Y_6)	для Y_3 P1(X_6),(-X_5)
22		+0,2650с/п	P2(X_6)	(Y_6)
23		+0,7350с/п	P3(X_5)	(Y_5)
24		-6,7164с/п	$P4(\beta_{23})$	
25		-40,1044с/п		$P4(\beta_{23})$
26		+19,7651с/п	$P6(\beta_{43})$	
27		-29,7040с/п		$P7(\beta_{43})$

Програма №4 координати другої фігури через поправки в координати першої фігури.

Fпрг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	9	ХП0	С/П	КХП4	FL0	04	С/П	ХП2
10	С/П	ХП3	ПХа	ПХ2	Х	ХП4	ПХС	ПХ2	Х	ХП5
20	ПХ6	ПХ3	Х	ХП0	ПХ8	ПХ3	Х	ХП1	ПХ6	ПХе

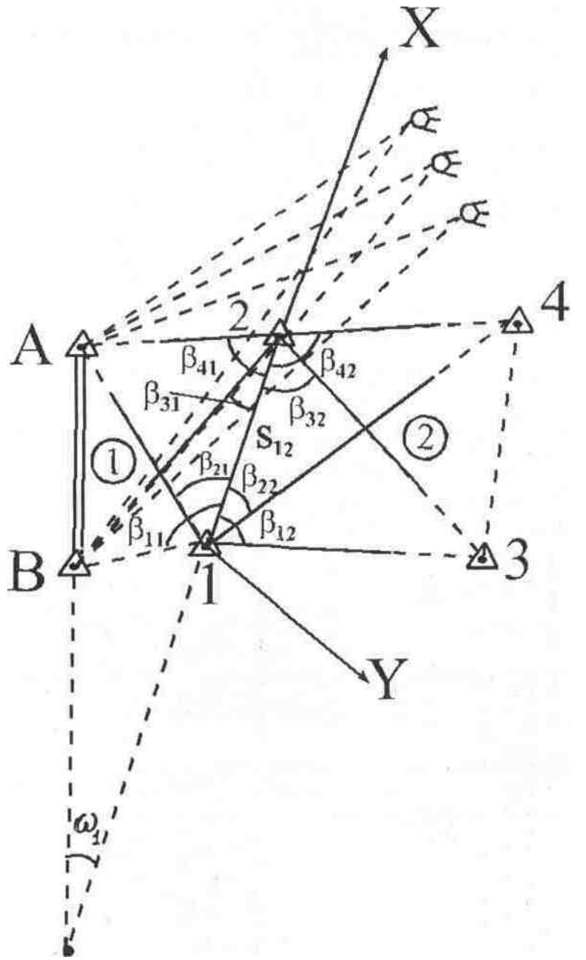


Рис. І. Типові фігури метода парних ланок засічок (МЛЛЗ)

Протокол №3 розрахунку коефіцієнтів в координатних умовних рівняннях для чотирикутника АВ21.

№ п/	Введення даних	Результат	Позна-чення	№ п/	Введення даних	Результат	Позначення
1	в/о с/п			15		-22.9820с/п	P6(γ_{11})Y_2
2	5934,594с/п		$X_{A\,лів.}$	16		+22,0773с/п	P7(γ_{11})Y_2
3	2297,186с/п		$Y_{A\,лів.}$	17	6221,583с/п		X_1
4	1002,545с/п		$X_{B\,пр.}$	18	7045,986с/п		Y_1
5	1524,235с/п		$Y_{B\,пр.}$	19	102°21'55,3с/п		$\angle\gamma_{41\,лів.}$
6	1437.486с/п		X_2	20	37°42'26,7с/п		$\angle\gamma_{21\,лів.}$
7	6617,248с/п		Y_2	21		+0.9308с/п	P1
8	52°45'23,86с/п		$\angle\gamma_{31\,лів.}$	22		+1,2041с/п	P2
9	76°12'42,70с/п		$\angle\gamma_{11\,пр.}$	23		-0,2041с/п	P3
10		+0,9943с/п	P1	24		+24,6822с/п	P4(γ_{41})X_1
11		+0,2440с/п	P2	25		+26,1126с/п	P5(γ_{41})Y_1
12		+0,7559с/п	P3	26		+3,4646с/п	P6(γ_{21})X_1
13		+3,308 Ic/п	P4(γ_{31})X_2	27		+57,2787с/п	P7(γ_{21})Y_2
14		+38,737с/п	P5(γ_{31})Y_2				

Протокол №4 розрахунку коефіцієнтів координатних умовних рівнянь для чотирикутника 1234.

№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення	
1	в/о с/п			
2	6221,583с/п		$X_{1\,лів.}$	
3	7045,986с/п		$Y_{1\,лів.}$	
4	1437,486с/п		$X_{2\,пр.}$	
5	6617,248с/п		$Y_{2\,пр.}$	
6	558,065с/п		X_4	
7	11290,14Iс/п		Y_4	
8	41°58'06,2"с/п		$\angle\beta_{32лів.}$	
9	95°32'13,8с/п		$\angle\beta_{12пр.}$	
10		+0,9853с/п	для X_4 P1($-Y_1$), (Y_2)	для Y_4 P1(X_1),($-X_2$)
11		-0,0955с/п	P2(X_1)	(Y_1)
12		+1,0955с/п	P3(X_2)	(Y_2)
13		-9,3925с/п	P4(β_{32})	
14		+49,9083с/п		P5(β_{32})
15		-27,3032с/п	P6(β_{12})	

$$Y_4 = \frac{S_{12}}{ctg\,\beta_{32} + ctg\,\beta_{12}} \quad (1.16)$$

Позначивши дирекційний кут сторони S_{AB} через $\omega_1^{(омега)}$, а дирекційний кут сторони S_{34} через ω_2, в прийнятій системі координат одержимо:

$$tg\,\omega_1 = \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B} \quad (1.17)$$

$$tg\,\omega_2 = \frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3} \quad (1.18)$$

Підставляючи у вираз (1.17) їх значення із (1.9-1.12), одержимо:

$$tg\,\omega_1 = \frac{\dfrac{S_{12}}{ctg\,\beta_{41} + ctg\,\beta_{21}} - \dfrac{S_{12}}{ctg\,\beta_{31} + ctg\,\beta_{11}}}{\dfrac{S_{12}\,ctg\,\beta_{21}}{ctg\,\beta_{41} + ctg\,\beta_{21}} - \dfrac{S_{12}\,ctg\,\beta_{21}}{ctg\,\beta_{31} + ctg\,\beta_{11}}},$$

або

$$tg\omega_1 = \frac{\dfrac{S_{12}(ctg\beta_{31} + ctg\beta_{11}) - S_{12}(ctg\beta_{41} + ctg\beta_{21})}{(ctg\beta_{41} + ctg\beta_{21})\cdot(ctg\beta_{31} + ctg\beta_{11})}}{\dfrac{S_{12}\left[ctg\beta_{21}ctg\beta_{31} + ctg\beta_{21}ctg\beta_{11}\right] - S_{12}\left[ctg\beta_{11}ctg\beta_{41} + ctg\beta_{11}ctg\beta_{21}\right]}{\left(ctg\beta_{41} + ctg\beta_{21}\right)\left(ctg\beta_{31} + ctg\beta_{11}\right)}},$$

і

$$tg\omega_1 = \frac{\left(ctg\beta_{31} + ctg\beta_{11}\right) - \left(ctg\beta_{41} + ctg\beta_{21}\right)}{ctg\beta_{21}ctg\beta_{31} - ctg\beta_{11}ctg\beta_{41}}. \quad (1.19)$$

По аналогії запишемо

$$tg\,\omega_2 = \frac{\left(ctg\,\beta_{12} + ctg\,\beta_{32}\right) - \left(ctg\,\beta_{22} + ctg\,\beta_{42}\right)}{ctg\,\beta_{22}\,ctg\,\beta_{32} - ctg\,\beta_{12}\,ctg\,\beta_{42}}. \quad (1.20)$$

І в загальному вигляді для і-го чотирикутника, одержимо

$$tg\,\omega_1 = \frac{\left(ctg\,\beta_{1i} + ctg\,\beta_{3i}\right) - \left(ctg\,\beta_{2i} + ctg\,\beta_{4i}\right)}{ctg\,\beta_{2i}\,ctg\,\beta_{3i} - ctg\,\beta_{1i}\,ctg\,\beta_{4i}}. \quad (1.21)$$

Формула (1.21)і буде робочою формулою визначення дирекційних кутів зв”язуючих сторін в ряді, який розвивається МПЛЗ.

Переходячи до старої системи координат, отримаємо

$$\alpha_{12} = \alpha_{BA} + \omega_1, \quad (1.22)$$

$$\alpha_{34} = \alpha_{BA} + \omega_2, \quad (1.22.1)$$

або $$\alpha_{34} = \alpha_{BA} + \omega_1 + \omega_2, \quad (1.23)$$

де α_{BA}, α_{12}, α_{34} – дирекційні кути відповідних сторін.

$$Y_4 = \frac{Y_6 ctg\beta_{13} + Y_5 ctg\beta_{13} + X_6 - X_5}{ctg\beta_{13} + ctg\beta_{33}}, \qquad (1.7.36)$$

Взявши повний диференціал по незалежним змінним, і перейшовши до поправок, з врахуванням безпомилковості координат вихідних пунктів С і Д, запишемо

$$(X_5) = \frac{(X_5 - X_Д)(1 + ctg^2\gamma_{24})}{\rho(ctg\gamma_{24} + ctg\gamma_{44})}(\gamma_{24}) + \frac{(X_5 - X_C)(1 + ctg^2\gamma_{44})}{\rho(ctg\gamma_{24} + ctg\gamma_{44})}(\gamma_{44}), \qquad (1.7.37)$$

$$(Y_5) = \frac{(Y_5 - Y_Д)(1 + ctg^2\gamma_{24})}{\rho(ctg\gamma_{24} + ctg\gamma_{44})}(\gamma_{24}) + \frac{(Y_5 - Y_C)(1 + ctg^2\gamma_{44})}{\rho(ctg\gamma_{24} + ctg\gamma_{44})}(\gamma_{44}), \qquad (1.7.38)$$

$$(X_6) = \frac{(X_6 - X_Д)(1 + ctg^2\gamma_{14})}{\rho(ctg\gamma_{14} + ctg\gamma_{34})}(\gamma_{14}) + \frac{(X_6 - X_C)(1 + ctg^2\gamma_{34})}{\rho(ctg\gamma_{14} + ctg\gamma_{34})}(\gamma_{34}), \qquad (1.7.39)$$

$$(Y_6) = \frac{(Y_6 - Y_Д)(1 + ctg^2\gamma_{14})}{\rho(ctg\gamma_{14} + ctg\gamma_{334})}(\gamma_{14}) + \frac{(Y_6 - Y_C)(1 + ctg^2\gamma_{34})}{\rho(ctg\gamma_{14} + ctg\gamma_{34})}(\gamma_{34}), \qquad (1.7.40)$$

$$(X_4)' = \frac{ctg\beta_{33}}{ctg\beta_{13} + ctg\beta_{33}}(X_6) + \frac{ctg\beta_{13}}{ctg\beta_{13} + ctg\beta_{33}}(X_5) -$$

$$- \frac{1}{ctg\beta_{13} + ctg\beta_{33}}(Y_6) + \frac{1}{ctg\beta_{13} + ctg\beta_{33}}(Y_5) +$$

$$+ \frac{(X_4 - X_5)(ctg^2\beta_{13} + 1)}{\rho(ctg\beta_{13} + ctg\beta_{33})}(\beta_{13}) + \frac{(X_4 - X_6)(ctg^2\beta_{33} + 1)}{\rho(ctg\beta_{13} + ctg\beta_{33})}(\beta_{33}), \qquad (1.7.41)$$

$$(Y_4)' = \frac{ctg\beta_{33}}{ctg\beta_{13} + ctg\beta_{33}}(Y_6) + \frac{ctg\beta_{13}}{ctg\beta_{13} + ctg\beta_{33}}(Y_5) +$$

$$+ \frac{1}{ctg\beta_{13} + ctg\beta_{33}}(X_6) + \frac{1}{ctg\beta_{13} + ctg\beta_{33}}(X_5) +$$

$$+ \frac{(Y_4 - Y_5)(ctg^2\beta_{13} + 1)}{\rho(ctg\beta_{13} + ctg\beta_{33})}(\beta_{13}) + \frac{(Y_4 - Y_6)(ctg^2\beta_{33} + 1)}{\rho(ctg\beta_{13} + ctg\beta_{33})}(\beta_{33}), \qquad (1.7.42)$$

$$(X_3)' = \frac{ctg\beta_{43}}{ctg\beta_{23} + ctg\beta_{43}}(X_6) + \frac{ctg\beta_{23}}{ctg\beta_{23} + ctg\beta_{43}}(X_5) -$$

$$- \frac{1}{ctg\beta_{23} + ctg\beta_{43}}(Y_6) + \frac{1}{ctg\beta_{23} + ctg\beta_{43}}(Y_5) +$$

$$+ \frac{(X_3 - X_5)(ctg^2\beta_{23} + 1)}{\rho(ctg\beta_{23} + ctg\beta_{43})}(\beta_{23}) + \frac{(X_3 - X_5)(ctg^2\beta_3 + 1)}{\rho(ctg\beta_{23} + ctg\beta_{43})}(\beta_{43}), \qquad (1.7.43)$$

27

$$(Y_3)' = \frac{ctg\beta_{43}}{ctg\beta_{23} + ctg\beta_{43}}(Y_6) + \frac{ctg\beta_{23}}{ctg\beta_{23} + ctg\beta_{43}}(Y_5) +$$

$$+ \frac{1}{ctg\beta_{23} + ctg\beta_{43}}(X_6) - \frac{1}{ctg\beta_{23} + ctg\beta_{43}}(X_5) +$$

Диференціюючи формулу (1.25) по змінній $\beta_{4`}$, одержимо

$$\frac{\partial\omega_i}{\partial\omega_{4i}} = \frac{\dfrac{-\dfrac{1}{\sin^2\beta_{4i}}(ctg\beta_{2i}ctg\beta_{3i} - ctg\beta_{1i}ctg\beta_{4i}) - [(ctg\beta_{1i} + ctg\beta_{3i}) - (ctg\beta_{2i} + ctg\beta_{4i})]\dfrac{ctg\beta_{1i}}{\sin^2\beta_{4i}}}{(ctg\beta_{2i}ctg\beta_{3i} - ctg\beta_{1i}ctg\beta_{4i})^2}}{1 + \left[\dfrac{(ctg\beta_{1i} + ctg\beta_{3i}) - (ctg\beta_{2i} + ctg\beta_{4i})}{ctg\beta_{2i}ctg\beta_{3i} - ctg\beta_{1i}ctg\beta_{4i}}\right]^2}$$

З врахуванням формули (1.21) частинні похідні представимо у вигляді

$$\frac{\partial\omega_i}{\partial\omega_{1i}} = \frac{1}{1 + tg^2\omega_i}\left[\frac{-\dfrac{1}{\sin^2\beta_{1i}}}{A} - \frac{Bctg\,\beta_{4i}\dfrac{1}{\sin^2\beta_{1i}}}{A^2}\right],$$

$$\frac{\partial\omega_i}{\partial\omega_{2i}} = \frac{1}{1 + tg^2\omega_i}\left[\frac{\dfrac{1}{\sin^2\beta_{2i}}}{A} + \frac{Bctg\,\beta_{3i}\dfrac{1}{\sin^2\beta_{2i}}}{A^2}\right],$$

$$\frac{\partial\omega_i}{\partial\omega_{3i}} = \frac{1}{1 + tg^2\omega_i}\left[\frac{-\dfrac{1}{\sin^2\beta_{3i}}}{A} + \frac{Bctg\,\beta_{2i}\dfrac{1}{\sin^2\beta_{3i}}}{A^2}\right],$$

$$\frac{\partial\omega_i}{\partial\omega_{4i}} = \frac{1}{1 + tg^2\omega_i}\left[\frac{\dfrac{1}{\sin^2\beta_{4i}}}{A} - \frac{Bctg\,\beta_{1i}\dfrac{1}{\sin^2\beta_{4i}}}{A^2}\right],$$

де

$$\left.\begin{aligned} A &= ctg\,\beta_{2i}ctg\,\beta_{3i} - ctg\,\beta_{1i}ctg\,\beta_{4i}, \\ B &= (ctg\beta_{1i} + ctg\beta_{3i}) - (ctg\beta_{2i} + ctg\beta_{41}) \end{aligned}\right\}$$

Запишемо вираз повного диференціалу

$$d\omega_i = \frac{\partial\omega_i}{\partial\beta_{1i}}d\beta_{1i} + \frac{\partial\omega_i}{\partial\beta_{2i}}d\beta_{2i} + \frac{\partial\omega_i}{\partial\beta_{3i}}d\beta_{3i} + \frac{\partial\omega_i}{\partial\beta_{4i}}d\beta_{4i}$$

І в нашому випадку

$$d\omega_i = \frac{1}{A(1 + tg^2\omega_i)}\Big[-\csc^2\beta_{1i}d\beta_{1i}(1 - tg\,\omega_i ctg\,\beta_{4i}) +$$

$$+ \csc^2\beta_{2i}d\beta_{2i}(1 + tg\,\omega_i ctg\,\beta_{3i}) -$$

$$- \csc^2\beta_{3i}d\beta_{3i}(1 + tg\,\omega_i ctg\,\beta_{2i}) +$$

$$+ \csc^2 d\beta_{4i}(1 - tg\,\omega_1 ctg\,\beta_{1i})\Big]$$

$$dY_1=\frac{ctg\gamma_{21}dY_A+ctg\gamma_{41}dY_B+dX_A-dX_B}{ctg\gamma_{41}+ctg\gamma_{21}}+$$
$$+\frac{(Y_1-Y_B)\left(1+ctg^2\gamma_{41}\right)d\gamma_{41}+(Y_1-Y_A)\left(ctg^2\gamma_{21}\right)d\gamma_{21}}{\rho\left(ctg\gamma_{41}+ctg\gamma_{21}\right)}. \qquad (1.7.18)$$

По аналогії для формул (1.7.3) і (1.7.4) запишемо

$$dX_2=\frac{ctg\gamma_{11}dX_A+ctg\gamma_{31}dX_B-dY_A+dY_B}{ctg\gamma_{11}+ctg\gamma_{31}}+ \qquad (1.7.19)$$
$$+\frac{(X_2-X_B)\left(ctg^2\gamma_{31}+1\right)d\gamma_{31}+(X_2-X_A)\left(ctg^2\gamma_{11}+1\right)d\gamma_{11}}{\rho\left(ctg\gamma_{11}+ctg\gamma_{31}\right)},$$

$$dY_2=\frac{ctg\gamma_{11}dY_A+ctg\gamma_{31}dX_B+dX_A-dX_B}{ctg\gamma_{11}+ctg\gamma_{31}}+ \qquad (1.7.20)$$
$$+\frac{(Y_2-Y_B)\left(1+ctg^2\gamma_{31}\right)d\gamma_{31}+(Y_2-Y_A)\left(ctg^2\gamma_{11}+1\right)d\gamma_{11}}{\rho\left(ctg\gamma_{11}+ctg\gamma_{31}\right)},$$

Прийнявши координати вихідних пунктів А і В безпомилковими і перешовши до поправок, одержим

$$(X_1)=\frac{(X_1-X_B)\left(1+ctg^2\gamma_{41}\right)}{\rho\left(ctg\gamma_{41}+ctg\gamma_{21}\right)}(\gamma_{41})+\frac{(X_1-X_A)\left(1+ctg^2\gamma_{21}\right)}{\rho\left(ctg\gamma_{41}+ctg\gamma_{21}\right)}(\gamma_{21}), \qquad (1.7.21)$$

$$(Y_1)=\frac{(Y_1-X_B)\left(1+ctg^2\gamma_{41}\right)}{\rho\left(ctg\gamma_{41}+ctg\gamma_{21}\right)}(\gamma_{41})+\frac{(Y_1-Y_A)\left(1+ctg^2\gamma_{21}\right)}{\rho\left(ctg\gamma_{41}+ctg\gamma_{21}\right)}(\gamma_{21}), \qquad (1.7.22)$$

$$(X_2)=\frac{(X_2-X_B)\left(1+ctg^2\gamma_{31}\right)}{\rho\left(ctg\gamma_{31}+ctg\gamma_{11}\right)}(\gamma_{31})+\frac{(X_2-X_A)\left(1+ctg^2\gamma_{11}\right)}{\rho\left(ctg\gamma_{31}+ctg\gamma_{11}\right)}(\gamma_{11}), \qquad (1.7.23)$$

$$(Y_2)=\frac{(Y_1-Y_B)\left(1+ctg^2\gamma_{31}\right)}{\rho\left(ctg\gamma_{31}+ctg\gamma_{11}\right)}(\gamma_{31})+\frac{(Y_2-Y_A)\left(1+ctg^2\gamma_{11}\right)}{\rho\left(ctg\gamma_{31}+ctg\gamma_{11}\right)}(\gamma_{11}), \qquad (1.7.24)$$

Визначивши прямокутні координати пунктів 1 і 2, в дальнійшому визначають координати пунктів 3 і 4 за формулами (1.7.1) – (1.7.4). Взявши повні диференціали, одержимо

$$(X_4)=\frac{ctg\beta_{12}}{ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}}(X_1)+\frac{ctg\beta_{32}}{ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}}(X_2)-$$
$$-\frac{1}{ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}}(Y_1)+\frac{1}{ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}}(Y_2)+$$
$$+\frac{(X_4-X_2)\left(ctg^2\beta_{32}+1\right)}{\rho\left(ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}\right)}(\beta_{32})+\frac{(X_4-X_1)\left(ctg^2\beta_{12}+1\right)}{\rho\left(ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}\right)}(\beta_{12}), \qquad (1.7.25)$$

$$(Y_4)=\frac{ctg\beta_{12}}{ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}}(Y_1)+\frac{ctg\beta_{32}}{ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}}(Y_2)+$$

де m_{ω_i} -середня квадратична похибка передачі дирекційного кута зв”язуючої сторони ряду МПЛЗ;

$m\beta_i$ -средня квадратична похибка вимірювання відповідного кута.

З врахуванням похиьки вихідного дирекційного кута $m_{\alpha AB}$, отримаємо

$$m_{\alpha_{12}}=\sqrt{m^2_{\alpha_{FD}}+m_{\beta_1}}, \qquad (1.32)$$

$$m_{\alpha_{34}}=\sqrt{m^2_{\alpha_{AB}}+m^2_{\omega_1}+m^2_{\omega_2}}. \qquad (1.33)$$

Для незрівноваженого ряду найбільшу похибку буде мати дирекційний кут сторони найбільш віддаленої від вихідної.

Виміряючи горизонтальні кути з однаковою точністю, тобто при $m_{\beta 1i}=m_{\beta 2i}=m_{\beta 3i}=m_{\beta 4i}=m_\beta$, формула (1.34) набуде вигляду

$$m_{\omega_i}=\frac{1}{A\left(1+tg^2\omega_i\right)}\sqrt{\left[(1+tg\omega_i ctg\beta_{3i})(1+ctg^2\beta_{2i}\right]^2+\left[(1-tg\omega_i ctg\beta_{4i})(1+ctg^2\beta_{1i})\right]^2+\left[(1+tg\omega_i ctg\beta_{2i})(1+ctg^2\beta_{3i})\right]^2+\left[(1-tg\omega_i ctg\beta_{1i})(1+ctg^2\beta_{4i})\right]^2+} \qquad (1.34)$$

За формулою (1.34) складена програма, яка дає можливість розраховувати середню квадратичну похибку передачі дирекційного кута зв”язуючої сторони ряду МПЛЗ.

Розвиваючи ряди у вигляді квадратів будівельної координатної сітки, одержимо $\omega_i=0^0;\beta_{1i}=90^0;\beta_2=45^0;\beta_3=90^0;ctg90^0=0;tg0^0=0;ctg45^0=1,$ і формула (1.34) набуде вигляду

$$m_{\omega_i}=3.16m_{\beta_i}. \qquad (1.35)$$

За формулою (1.35)визначають середню квадратичну похибку дирекційного кута сторони квадрату, протилежну до вихідної.

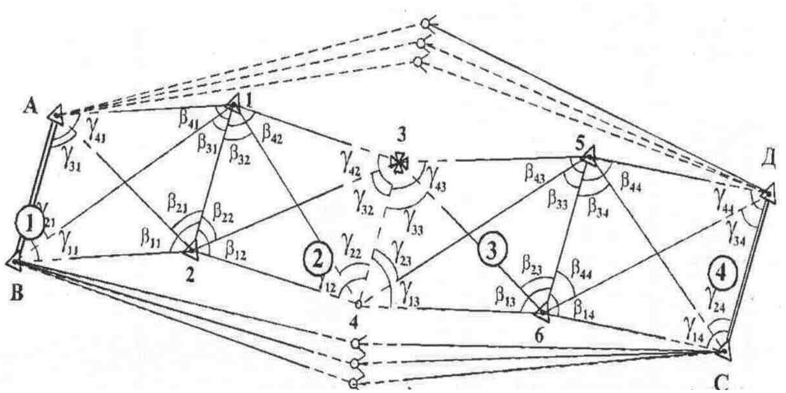
Похибка визначення дирекційних кутів всіх других напрямків розраховують по формулі

$$m_\alpha=3{,}32m_\beta. \qquad (1.36)$$

Задаючись похибкою передачі дирекційного кута m_ω можна розрахувати точність кутових вимірів по формулі

$$m_\beta=\sqrt{\frac{m_\omega}{3.16}}. \qquad (1.37)$$

Рис.2. Нксперименталиннй ряд, який розвивається методом парних ланок засічок (МПЛЗ). К<»орднпаги вихідних пунктів отримані по системі OP8



Як буде видно нижче, середня квадратична похибка слабого елемента зрівноваженого ряду за умову дирекційних кутів буде меньше.

Окреслимо границі дії наближеної формули (1.35) для розрахунку середньої квадратичної похибки передачі дирекційних кутів, коли фігури геодезичного чотирикутника відрізняється від квадрату. Виходячі з того, що кути трикутників не повинні бути меншими 30^0, розглянемо максимальне відхилення кута ω від 0^0, рівне $\pm 15^0$.

При цьому, кути чотирикутника будуть рівні $\beta_2 = 52^0; \beta_3 = 30^0; \beta_1 = 107^0; \beta_4 = 75^0$.

Розраховуючи середню квадратичну похибку визначення дирекційного кута m_ω по строгій формулі (1.34), отримаємо $m_\omega = 2{,}80 m_\beta$.

Розрахунок по наближеній формулі (1.35) для одного чотирикутника дає $m_\omega = 3{,}16 m_\beta$.

Таким чином, розходження від строгої формули складає 0,36, тобто 12,8 %.

Тому, при кутах $\omega \le \pm 15^0$, для розрахунку середньої квадратичної похибки передачі дирекційних кутів розглядаємого ряду цілком можна використовувати спрощену формулу (1.40) замість строгої формули (1.31) на стадії попереднього розрахунку при проектуванні мереж.

Замітимо, що формула (1.40) дає запас точності, тобто більшу похибку, ніж строга формула (1.31).

1.4. Теорія передачі сторін в рядах МПЛЗ.

Виразимо довжину вихідної сторони АВ через її відомі координати

$$S_{AB}^2 = (X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2. \qquad (1.47)$$

З врахуванням формул (1.9) – (1.12) запишемо

$$S_{AB}^2 = S_{12}^2 \Bigg[\left(\frac{ctg\beta_{21}}{ctg\beta_{41} + ctg\beta_{21}} - \frac{ctg\beta_{11}}{ctg\beta_{31} + ctg\beta_{11}} \right)^2 + \left(\frac{1}{ctg\beta_{41} + ctg\beta_{21}} - \frac{1}{ctg\beta_{31} + ctg\beta_{11}} \right)^2 \Bigg]. \qquad (1.48)$$

Звідки

$$S_{12}^2 = \frac{S_{AB}^2}{\left[\left(\frac{ctg\beta_{21}}{ctg\beta_{41} + ctg\beta_{21}} - \frac{ctg\beta_{11}}{ctg\beta_{31} + ctg\beta_{11}} \right)^2 + \right.}$$

Протокол №2 розрахунку коефіцієнтів умовного рівняння дирекційних кутів досліджувальної моделі

№ п/п	Введення даних	Результат	Позна-чення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позна-чення
1	в/о с/п	4		21		4	
2	100⁰00'08,0"с/п		β_{11}	22	108⁰02'14,0"с/п		β_{13}
3	48°58'14,5"с/п		β_{21}	23	59°03'02,6"с/п		β_{23}
4	41°29'36,1"с/п		β_{31}	24	38°28'00,0"с/п		β_{33}
5	81°25'14,1"с/п		β_{41}	25	77°48'08,0"с/п		β_{43}
6		-1.006с/п	a_{11}	26		-1.354с/п	a_{13}
7		-2.374с/п	a_{31}	27		-2.808с/п	a_{33}
8		+1.602с/п	a_{21}	28		+1.904с/п	a_{23}
9		+0.996с/п	a_{41}	29		+1.301с/п	a_{43}
10		10.206с/п	$\left(1/p\varpi\right)^2$	30		15.038с/п	$\left(1/p\varpi\right)^2$
11		4		31		4	
12	95°32'13,8"с/п		β_{12}	32	92⁰27'14,7"с/п		β_{14}
13	45°30' 10,1"с/п		β_{22}	33	53⁰31'09.8"с/п		β_{24}
14	41°58'06,2"с/п		β_{32}	34	49°32'17,7"с/п		β_{34}
15	76°32'13,9"с/п		β_{42}	35	85°27'19,2"с/п		β_{44}
16		-0.836с/п	a_{12}	36		-1.578с/п	a_{14}
17		-2.291с/п	a_{32}	37		-2.752с/п	a_{34}
18		+1.352с/п	a_{22}	38		+2.410с/п	a_{24}
19		+0.900с/п	a_{42}	39		+1.586с/п	a_{44}
20		8.582с/п	$\left(1/p\varpi\right)^2$	40		18.385	$\left(1/p\varpi\right)^2$

Таким чином, одержали

$$\frac{1}{P_{\omega}} = 52,211.$$

Середня квадратична похибка передачі дирекційного кута при $m_{\beta_0} = 1^{//}$ буде

$$m_{\beta} = \sqrt{52,21} = 7,22^{//}.$$

На основі проведених розрахунків одержали умовне рівняння дирекційних кутів

$$\begin{aligned}
&-1,006(\beta_{11}) + 1,602(\beta_{21}) - 2,374(\beta_{31}) + 0,996(\beta_{41}) - \\
&-0,836(\beta_{12}) + 1,352(\beta_{22}) - 2,291(\beta_{32}) + 0,900(\beta_{42}) - \\
&-1,354(\beta_{13}) + 1,904(\beta_{23}) - 2,808(\beta_{33}) + 1,301(\beta_{43}) - \\
&-1,578(\beta_{14}) + 2,410(\beta_{24}) - 2,752(\beta_{34}) + 1,586(\beta_{44}) + 21,07^{//} = 0,
\end{aligned} \qquad (1.101)$$

де $\rho = 206265^{//}$ – число секунд в одному радіані.

Як правило, похибкою вихідного базису нехтують, виміряючи його на порядок вищою точністю, ніж всі другі виміри. При $\frac{dS_0}{S_0} = 0$ і вираз (1.64) набуде вигляду

$$\frac{dt_1}{\rho t_1} + \frac{dt_2}{\rho t_2} + \frac{dt_3}{\rho t_3} - \frac{dt_1^{/}}{\rho t_1^{/}} - \frac{dt_2^{/}}{\rho t_2^{/}} - \frac{dt_3^{/}}{\rho t_3^{/}} - 2\frac{dS_n}{S_n} = 0\,, \qquad (1.65)$$

або

$$\frac{10^6}{2}\left[\frac{dt_1}{\rho t_1} + \frac{dt_2}{\rho t_2} + \frac{dt_3}{\rho t_3} - \frac{dt_1^{/}}{\rho t_1^{/}} - \frac{dt_2^{/}}{\rho t_2^{/}} - \frac{dt_3^{/}}{\rho t_3^{/}}\right] + W_{баз.} = 0, \qquad (1.66)$$

де
$$W_{баз.} = \frac{S_{кінц.розр.} - S_{кінц.вимір.}}{S_{кінц.вимір.}} 10^6. \qquad (1.67)$$

В загальному вигляді умовне рівняння сторони

$$\frac{S_n}{2\rho}\left[\sum_{i=1}^{n}\frac{(t_i)}{t_i} - \sum_{i=1}^{n}\frac{(t_i^{/})}{t_i^{/}}\right] + W_s = 0, \qquad (1.68)$$

де
$$W_s = S_{кінц.вимір.} - S_{кінц.вимір.};$$

$(t_i), (t_i^{/})$ - коефіцієнти поправок у виміряні кути.

Для експериментального ряду, який складається із чотирьох чотирикутників одержимо

$$-\frac{S_{21}}{2\rho t_1}(t_1) + \frac{S_{43}}{2\rho t_2}(t_2) - \frac{S_{65}}{2\rho t_3}(t_3) + \frac{S_{CD}}{2\rho t_4}(t_4) + W_5 = 0. \qquad (1.70)$$

Знаки змінюються на протилежні при визначенні сторони із рішення задачі Ганзена. Знаки не змінюються при визначенні сторони прямими кутовими засічками. При зустрічному розрахунку сторони знаки в коефіцієнтах, також змінюються на протилежний.

Так, наприклад, при зустрічному вирахуванні сторін, формула (1.70) буде

$$-\frac{S_{21}}{2\rho t_1}(t_1) + \frac{S_{43}}{2\rho t_2}(t_2) + \frac{S_{65}}{2\rho t_4}(t_4) - \frac{S_{43}}{2\rho t_3}(t_3) + W_5 = 0. \qquad (1.71)$$

Диференціюючи формулу (1.62), отримаємо

$$\begin{aligned}
dt_i = (t_i) = {} & \frac{2(1 + ctg^2\beta_{1i})}{(ctg\beta_{1i} + ctg\beta_{3i})^2}\left[\tau_i + q_i ctg\beta_{3i}\right](\beta_{1i}) + \\
& + \frac{2(1 + ctg^2\beta_{2i})}{(ctg\beta_{2i} + ctg\beta_{4i})^2}\left[-\tau_i + q ctg\beta_{4i}\right](\beta_{2i}) +
\end{aligned}$$

$$\frac{W}{868600} \le \frac{1}{T}, \qquad (1.91)$$

де Т –знаменник граничної відносної нев”язки для даного класу аьо розряду мережі.

В нашому випадку одержали

$$\frac{W_{S34}}{S_{34}} = \frac{0,088}{4394,911} = \frac{1}{50000}.$$

1.6. Розробка умовного рівняння дирекційних кутів в ряді ПЛЗ.

Умовне рівняння поправок дирекційних кутів для ряду із чотирьох чотирикутників, прийме вид

$$(\omega_1)+(\omega_2)+(\omega_3)+(\omega_4)+W_\alpha = 0, \qquad (1.92)$$

де вільний член

$$W_\alpha = \alpha_{СДвирах.} - \alpha_{СДвим.}, \qquad (1.93)$$

Поправки $(\omega_i) = d\omega_i$ розраховують по формулі (1.29) для кожного чотирикутника. Представляючи формулу (1.92) через поправки в виміряні кути, одержимо

$$\begin{aligned}
&\frac{1}{A\left(1+tg^2\omega_i\right)}[\left(1+tg\omega_1 ctg\beta_{31}\right)\left(1+ctg^2\beta_{21}\right)(\beta_{21})-\\
&\quad-\left(1+tg\omega_1 ctg\beta_{41}\right)\left(1+ctg^2\beta_{11}\right)(\beta_{11})-\\
&\quad-\left(1-tg\omega_1 ctg\beta_{21}\right)\left(1+ctg^2\beta_{31}\right)(\beta_{31})+\\
&\quad+\left(1-tg\omega_1 ctg\beta_{11}\right)\left(1+ctg^2\beta_{41}\right)(\beta_{41})]+\\
&+\frac{1}{A^{/}\left(1+tg^2\omega_2\right)}[\left(1+tg\omega_2 ctg\beta_{32}\right)\left(1+ctg^2\beta_{22}\right)(\beta_{22})-\\
&\quad-\left(1+tg\omega_2 ctg\beta_{42}\right)\left(1+ctg^2\beta_{12}\right)(\beta_{12})-\\
&\quad-\left(1-tg\omega_2 ctg\beta_{22}\right)\left(1+ctg^2\beta_{32}\right)(\beta_{32})+\\
&\quad+\left(1-tg\omega_2 ctg\beta_{12}\right)\left(1+ctg^2\beta_{42}\right)(\beta_{42})]+\\
&+\frac{1}{A^{//}\left(1+tg^2\omega_3\right)}[\left(1+tg\omega_3 ctg\beta_{33}\right)\left(1+ctg^2\beta_{23}\right)(\beta_{23})-\\
&\quad-\left(1+tg\omega_3 ctg\beta_{43}\right)\left(1+ctg^2\beta_{13}\right)(\beta_{13})-\\
&\quad-\left(1-tg\omega_3 ctg\beta_{23}\right)\left(1+ctg^2\beta_{33}\right)(\beta_{33})+\\
&\quad+\left(1-tg\omega_3 ctg\beta_{13}\right)\left(1+ctg^2\beta_{43}\right)(\beta_{43})]+
\end{aligned}$$

$$\overline{+\left(\frac{ctg\beta_{2i}}{ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}}-\frac{ctg\beta_{1i}}{ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}}\right)^2}\;]. \qquad (1.77)$$

$$b_{3i} = \frac{S_{2i}\dfrac{2\left(1+ctg^2\beta_{3i}\right)}{\left(ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}\right)^2}\left[\tau - qctg\beta_{1i}\right](\beta_{3i})}{2\rho[\left(\dfrac{1}{ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}}-\dfrac{1}{ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}}\right)^2+}$$

$$\overline{+\left(\frac{ctg\beta_{2i}}{ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}}-\frac{ctg\beta_{1i}}{ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}}\right)^2}\;]. \qquad (1.78)$$

$$b_{4i} = \frac{S_{2i}\dfrac{2\left(1+ctg^2\beta_{4i}\right)}{\left(ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}\right)^2}\left[-\tau + qctg\beta_{2i}\right](\beta_{4i})}{2\rho[\left(\dfrac{1}{ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}}-\dfrac{1}{ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}}\right)^2+}$$

$$\overline{+\left(\frac{ctg\beta_{2i}}{ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}}-\frac{ctg\beta_{1i}}{ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}}\right)^2}\;]. \qquad (1.79)$$

При розрахунку по програмі одержують коефіцієнти поправок в виміряні кути $b_{1i}, b_{2i}, b_{3i}, b_{4i}$ за формулами

$$b_{1i} = b_{1i}^{/}\frac{S_i}{2\rho t_i}, \qquad (1.80)$$

$$b_{2i} = b_{2i}^{/}\frac{S_i}{2\rho t_i}, \qquad (1.81)$$

$$b_{3i} = b_{3i}^{/}\frac{S_i}{2\rho t_i}, \qquad (1.82)$$

$$b_{4i} = b_{4i}^{/}\frac{S_i}{2\rho t_i}, \qquad (1.83)$$

Крім цього, по програмі визначають суму квадратів коефіцієнтів

$$\sum\left(b_i^{/}\right)^2 = \left(b_{1i}^{/}\right)^2 + \left(b_{2i}^{/}\right)^2 + \left(b_{3i}^{/}\right)^2 + \left(b_{4i}^{/}\right)^2. \qquad (1.84)$$

Значення величини оберненої ваги визначають по формулі

$$\frac{1}{P_s} = \sum\frac{S_i}{2\rho t_i}\left(b_i^{/}\right)^2, \qquad (1.85)$$

а середню квадратичну похибку визначення зв’язуючої сторони ряду

$$m_s = \mu\sqrt{\frac{1}{P_s}}, \tag{1.86}$$

де μ - середня квадратична похибка одиниці ваги.

Протокол №1 розрахунку по програмі №1

№ п/п	Введення даних	Результат	Позна-чення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позна-чення
1	в/о с/п	4		21	59^{0}03'02,6"с/п		β_{23}
2	100^{0}00'08,0"с/п		β_{11}	22	38°28'00,0"с/п		β_{33}
3	48°58'14,5"с/п		β_{21}	23	77°48'08,0"с/п		β_{43}
4	41°29'36,1"с/п		β_{31}	24		+3,076с/п	b'_{13}
5	81°25'14,1"с/п		β_{41}	25		+1,182с/п	b'_{33}
6		+2,811с/п	b'_{11}	26		-0,328с/п	b'_{23}
7		+1,259с/п	b'_{31}	27		+2,529с/п	b'_{43}
8		-0,759с/п	b'_{21}	28		17,360с/п	$(b'_3)^2$
9		+1,636с/п	b'_{31}	29	92^{0}27'14,7"с/п		β_{14}
10		12,739с/п	b'_{41}	30	53^{0}31'09.8"с/п		β_{24}
11	95°32'13,8"с/п		β_{12}	31	49°32'17,7"с/п		β_{34}
12	45°30' 10,1"с/п		β_{22}	32	85°27'19,2"с/п		β_{44}
13	41°58'06,2"с/п		β_{32}	33		+2,530с/п	b'_{14}
14	76°32'13,9"с/п		β_{42}	34		-0,286с/п	b'_{34}
15		+2,288с/п	b'_{12}	35		-0,412с/п	b'_{24}
16		+1,104с/п	b'_{32}	36		+2,08 Iс/п	b'_{44}
17		-1,006с/п	b'_{22}	37		10,984	$(b'_4)^2$
18		+1,015с/п	b'_{42}	38			
19		8,496с/п	$(b'_2)^2$				
20	108°02'14,0"с/п		β_{13}				

На основі приведених даних і з врахуванням значень $\frac{S}{2\rho t_i}$ одержано

$$\frac{1}{P_s} = 5532{,}05.$$

Це значить, що при середній квадратичній похибці 1” точність передачі сторін незрівноваженого ряду буде

$$m_s = \sqrt{\frac{1}{P_s}} = 74{,}37\,мм.$$

Як буде показано нижче, нев”язка сторони склала 88мм при середніх квадратичних похибках вимірювання кутів до 3”.

Зі сторін АВ і СД одержано слідуюче умовне рівняння сторони

$$-\frac{S_{12}}{2\rho t_1^{/}}\left[+2{,}811(\beta_{11})-0{,}759(\beta_{21})+1{,}259(\beta_{31})+1{,}636(\beta_{41})\right]+$$
$$+\frac{S_{34}}{2\rho t_2}\left[+2{,}288(\beta_{12})-1{,}006(\beta_{22})+1{,}104(\beta_{32})+1{,}015(\beta_{42})\right]+$$
$$+\frac{S_{56}}{2\rho t_4}\left[+2{,}530(\beta_{14})-0{,}412(\beta_{24})+0{,}286(\beta_{34})+2{,}081(\beta_{44})\right]-$$
$$-\frac{S_{34}}{2\rho t_3}\left[+3{,}076(\beta_{13})-0{,}328(\beta_{23})+1{,}182(\beta_{33})+2{,}529(\beta_{43})\right]+88мм=0,$$

де коефіцієнти $t_1^{/}$ і $t_4^{/}$ визначені для розрахунку сторони в задачі Ганзена, а коефіцієнти t_2 і t_3 -для розрахунку сторони із прямих кутових засічок.

В дальнійшому одержані значення коефіцієнтів

$$-11{,}203\left[+2{,}811(\beta_{11})-0{,}759(\beta_{21})+1{,}259(\beta_{31})+1{,}636(\beta_{41})\right]+$$
$$+11{,}643\left[+2{,}288(\beta_{12})-1{,}006(\beta_{22})+1{,}104(\beta_{32})+1{,}015(\beta_{42})\right]+$$
$$+10{,}178\left[+2{,}530(\beta_{14})-0{,}412(\beta_{24})+0{,}286(\beta_{34})+2{,}081(\beta_{44})\right]+$$
$$-9{,}730\left[+3{,}076(\beta_{13})-0{,}328(\beta_{23})+1{,}182(\beta_{33})+2{,}529(\beta_{43})\right]+88=0,$$

І в кінцевому вигляді

$$\begin{aligned}&-31{,}491(\beta_{11})+8{,}503(\beta_{21})-14{,}104(\beta_{31})-18{,}328(\beta_{41})+\\&+26{,}639(\beta_{12})-11{,}713(\beta_{22})+12{,}854(\beta_{32})+11{,}818(\beta_{42})+\\&+25{,}751(\beta_{14})-4{,}193(\beta_{24})+2{,}911(\beta_{34})+21{,}181[\beta_{44}]-\\&-22{,}929(\beta_{13})+3{,}191(\beta_{23})-11{,}501(\beta_{33})-24{,}607(\beta_{43})+88=0.\end{aligned} \tag{1.87}$$

При відомій похибці логарифма сторони розраховують її відносну похибку по формулі

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{m_{\lg s}}{\mu 10^{n}}, \tag{1.88}$$

де $\frac{\Delta S}{S}$ - відносна похибка сторони;

μ - модуль десятичних логарифмів.

Допустиме значення вільного члена базисного умовного рівняння буде

$$|W_B| \le 2m_{\lg s.} \tag{1.89}$$

Приймаючи до уваги (1.89), представим (1.88) у вигляді

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{W_B}{2\mu 10^{n}}. \tag{1.90}$$

Вільний член базисного умовного рівняння при розвитку рядів парними ланками засічок можна вважати допустимими, якщо він буде задовільняти умові

$$+\frac{2\left(1+ctg^2\beta_{3i}\right)}{\left(ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}\right)^2}\left[\tau-q_i ctg\beta_{1i}\right]\left(\beta_{3i}\right)+ \qquad (1.72)$$
$$+\frac{2\left(1+ctg^2\beta_{4i}\right)}{\left(ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}\right)^2}\left[-\tau+q_i ctg\beta_{2i}\right]\left(\beta_{4i}\right),$$

де

$$\tau_i=\frac{1}{ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}}+\frac{1}{ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}}, \qquad (1.73)$$

$$q_i=\frac{1}{ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}}+\frac{1}{ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}}. \qquad (1.74)$$

Програма №1 розрахунку коефіцієнтів поправок (t_i) на МК 61, МК 52

Fпрг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	4	ХПО	С/П	$K_0^{\to}$	Ftg	F 1/x	КХП4	FLO
10	04	ПХ6	ПХ8	+	F 1/x	ХПв	FX^2	ХП5	ПХ7	ПХ9
20	+	F 1/x	Хпа	FX^2	ХП4	ПХв	ПХ6	Х	ХПd	ПХа
30	ПХ7	Х	ХПd	-	ХПе	ПХв	ПХа	-	ХПС	ПХ8
40	ХП3	ПХ6	ХП2	ПП	75	ПХ6	/-/	ХП3	ПХ8	ХП2
50	ПП	75	ПХ9	/-/	ХП3	ПХС	/-/	ХПС	ПХ7	ХП2
60	ПХ4	ХП5	ПП	75	ПХ7	ХП3	ПХ9	ХП2	ПП	75
70	С/П	Сх	ХП1	БП	00	ПХе	ПХ3	Х	ПХС	+
80	ПХ5	Х	2	Х	ПХ2	FX^2	1	+	Х	С/П
90	FX^2	ПХ1	+	ХП1	В/О	F	АВТ			

Примітка: в новому рахунку обнуляти регістр 1.

Представимо коефіцієнти умовного рівняння сторін у вигляді

$$\left(S_i\right)=b_{1i}\left(\beta_{1i}\right)+b_{2i}\left(\beta_{2i}\right)+b_{3i}\left(\beta_{3i}\right)+b_{4i}\left(\beta_{4i}\right), \qquad (1.75)$$

$$b_{1i}=\frac{S_{2i}\dfrac{2\left(1+ctg^2\beta_{1i}\right)}{\left(ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}\right)^2}\left[\tau+qctg\beta_{3i}\right]}{2\rho\left[\left(\dfrac{1}{ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}}-\dfrac{1}{ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}}\right)^2+\left(\dfrac{ctg\beta_{2i}}{ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}}-\dfrac{ctg\beta_{1i}}{ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}}\right)^2\right]}. \qquad (1.76)$$

$$b_{2i}=\frac{S_{2i}\dfrac{2\left(1+ctg^2\beta_{2i}\right)}{\left(ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}\right)^2}\left[-\tau-qctg\beta_{4i}\right]\left(\beta_{2i}\right)}{2\rho\left[\left(\dfrac{1}{ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}}-\dfrac{1}{ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}}\right)^2+\right.}$$

$$+\frac{1}{A^{///}\left(1+tg^2\omega_4\right)}\left[\left(1+tg\omega_4 ctg\beta_{34}\right)\left(1+ctg^2\beta_{33}\right)\left(\beta_{33}\right)-\right.$$
$$-\left(1+tg\omega_4 ctg\beta_{44}\right)\left(1+ctg^2\beta_{14}\right)\left(\beta_{14}\right)-$$
$$-\left(1-tg\omega_4 ctg\beta_{24}\right)\left(1+ctg^2\beta_{43}\right)\left(\beta_{43}\right)+ \qquad (1.94)$$
$$\left.+\left(1-tg\omega_4 ctg\beta_{14}\right)\left(1+ctg^2\beta_{44}\right)\left(\beta_{44}\right)\right]+W_\alpha=0.$$

З метою облегшити процедуру находження коефіцієнтів умовного рівняння дирекційних кутів і попередньої оцінки точності складена програма на мікрокалькуляторі МК52.

Представим коефіцієнти поправок умовного рівняння дирекційних кутів у вигляді

$$\left(\omega_i\right)=\left[a_{1i}\left(\beta_{1i}\right)+a_{2i}\left(\beta_{2i}\right)-a_{3i}\left(\beta_{3i}\right)+a_{4i}\left(\beta_{4i}\right)\right], \qquad (1.95)$$

де

$$a_{1i}=\frac{1}{A\left(1+tg^2\omega_i\right)}\left[\left(1+ctg^2\beta_{1i}\right)\left(1-tg\omega_i ctg\beta_{4i}\right)\left(\beta_{1i}\right)\right], \qquad (1.96)$$

$$a_{2i}=\frac{1}{A\left(1+tg^2\omega_i\right)}\left[\left(1+ctg^2\beta_{2i}\right)\left(1+tg\omega_i ctg\beta_{3i}\right)\left(\beta_{2i}\right)\right], \qquad (1.97)$$

$$a_{3i}=\frac{1}{A\left(1+tg^2\omega_i\right)}\left[\left(1+ctg^2\beta_{3i}\right)\left(1+tg\omega_i ctg\beta_{2i}\right)\left(\beta_{2i}\right)\right], \qquad (1.98)$$

$$a_{4i}=\frac{1}{A\left(1+tg^2\omega_i\right)}\left[\left(1+ctg^2\beta_{4i}\right)\left(1-tg\omega_i ctg\beta_{1i}\right)\left(\beta_{4i}\right)\right]. \qquad (1.99)$$

Крім цього, по програмі розраховується значення

$$\frac{1}{P_\omega}=a_{1i}^2+a_{2i}^2+a_{3i}^2+a_{4i}^2. \qquad (1.100)$$

Програма №2. Розрахунок коефіцієнтів умовного рівняння дирекційних кутів і оберненої ваги передачі дирекційного кута незрівноваженого ряду ПЛЗ.

Fпрг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	5	ХП4	4	ХПО	С/П	$K_0^{\to}$	Ftg	F 1/x	КХП4	FLO
10	04	ПХ7	ПХ8	Х	ПХ6	ПХ9	Х	-	ХП1	ПХ6
20	ПХ8	+	ПХ7	ПХ9	+	-	ПХ1	:	ХПа	FX^2
30	ХПв	1	+	ПХ1	Х	ХПС	ПХ9	ХП2	ПХ6	ХП3
40	ПХС	/-/	ХПС	ПП	73	ПХ7	/-/	ХП2	ПХ8	ХП3
50	ПП	73	ПХ8	ХП2	ПХ7	ХП3	ПХС	/-/	ХПС	ПП
60	73	ПХ6	/-/	ХП2	ПХ9	ХП3	ПП	73	С/П	Сх
70	ХПd	БП	00	1	ПХа	ПХ2	Х	+	ПХС	:
80	1	ПХ3	FX^2	+	Х	С/П	FX^2	ПХd	+	ХПd
90	В/О	F	АВТ							

Примітка: в новому рахунку обнуляти регістр d.

$$+\left(\frac{1}{ctg\beta_{41}+ctg\beta_{21}}-\frac{1}{ctg\beta_{31}+ctg\beta_{11}}\right)^2\Big] \qquad (1.49)$$

По аналогії

$$S_{34}^2=\left(X_4-X_3\right)^2+\left(Y_4-Y_3\right)^2. \qquad (1.50)$$

З врахуванням формули (1.13)-(1.16) одержимо

$$S_{34}^2=S_{12}^2\Big[\left(\frac{ctg\beta_{22}}{ctg\beta_{42}+ctg\beta_{22}}-\frac{ctg\beta_{12}}{ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}}\right)^2+ \qquad (1.51)$$

$$+\left(\frac{1}{ctg\beta_{42}+ctg\beta_{22}}-\frac{1}{ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}}\right)^2\Big]$$

Узагальнюючи, формула передачі сторін в рядах МПЛЗ має вигляд

$$S_n^2=S_0^2\,\frac{t_1t_2t_3..t_n}{t_1^/t_2^/t_3^/...t_n^/}, \qquad (1.61)$$

де

$$t_i=\left(\frac{1}{ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}}-\frac{1}{ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}}\right)^2+ \qquad (1.62)$$

$$+\left(\frac{ctg\beta_{2i}}{ctg\beta_{2i}+ctg\beta_{4i}}-\frac{ctg\beta_{1i}}{ctg\beta_{1i}+ctg\beta_{3i}}\right)^2,$$

індексами і позначаються номери геодезичних чотирикутників, у яких вимі-ряються кути β_{ji};

$t_i^/$ - коефіцієнти, які отримуються при рішенні задачі Ганзена;

t_i - коефіцієнти, які отримуються з рішення прямих кутових засічок.

1.5. Розробка умовного рівняння сторони .

Для виводу умовного рівняння базиса, або вихідної сторони, прологарифмуємо формулу (1.61)

$$2InS_n=2InS_0+Int_1+Int_2+Int_3-Int_1^/-Int_2^/-Int_3^/. \qquad (1.63)$$

Диференціючи (1.63), отримаємо

$$2\frac{dS_n}{S_n}=2\frac{dS_0}{S_0}+\frac{dt_1}{pt_1}+\frac{dt_2}{pt_2}+\frac{dt_3}{pt_3}-\frac{dt_1^/}{pt_1^/}-\frac{dt_2^/}{pt_2^/}-\frac{dt_3^/}{pt_3^/}, \qquad (1.64)$$

де $\left(\omega_{\alpha_1}\right)=-1{,}1006\left(\beta_{11}\right)+1{,}602\left(\beta_{21}\right)-2{,}374\left(\beta_{31}\right)+0{,}996\left(\beta_{41}\right),$ (1.102)

$$\left(\omega_{\alpha_2}\right)=-0{,}836\left(\beta_{12}\right)+1{,}352\left(\beta_{22}\right)-2{,}291\left(\beta_{32}\right)+0{,}900\left(\beta_{42}\right), \qquad (1.103)$$

$$\left(\omega_{\alpha_3}\right)=-1{,}354\left(\beta_{13}\right)+1{,}904\left(\beta_{23}\right)-2{,}808\left(\beta_{33}\right)+1{,}301\left(\beta_{43}\right), \qquad (1.104)$$

$$\left(\omega_{\alpha_4}\right)=-1{,}578\left(\beta_{14}\right)+2{,}410\left(\beta_{24}\right)-2{,}752\left(\beta_{34}\right)+1{,}586\left(\beta_{44}\right). \qquad (1.105)$$

Допустиме значення вільного члена умовного рівняння дирекційних кутів розраховуються по формулі

$$W_{\alpha_{доп.}}\le 2\cdot 3{,}16m_\beta\sqrt{n}, \qquad (1.106)$$

Так, при $m_\beta=2^{//}$ і чотирьох чотирикутниках в ряді (n=4), одержимо $W_{\alpha_{доп.}}=25{,}28^{//}$.

При визначенні коефіцієнтів при (ω_i) знаки їх при поправках в кути не міняються ні в першому ні в другому геодезичному чотирикутнику типової фігури МПЛЗ, яка складається з двох геодезичних чотирикутників. При зустрічному вирахуванні дирекційних кутів знаки в коефіцієнтах визначаються формулою і не змінюються. При визначенні коефіцієнтів a_i по невиміряним кутам γ_i, а не виміряним β_i знаки, також, не міняються.

При зустрічній передачі дирекційних кутів формула умовного рівняння не змінюється.

1.7 Розробка координатних умовних рівнянь.

Для ряду, представленого на рис.2, запишем

$$X_1=\frac{X_Actg\gamma_{21}+X_Bctg\gamma_{41}-Y_A+Y_B}{ctg\gamma_{41}+ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.1)$$

$$Y_1=\frac{Y_Actg\gamma_{21}+Y_Bctg\gamma_{41}+X_A-X_B}{ctg\gamma_{41}+ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.2)$$

$$X_2=\frac{X_Actg\gamma_{11}+X_Bctg\gamma_{31}-Y_A+Y_B}{ctg\gamma_{31}+ctg\gamma_{11}}, \qquad (1.7.3)$$

$$Y_2=\frac{Y_Actg\gamma_{11}+Y_Bctg\gamma_{31}+X_A-X_B}{ctg\gamma_{31}+ctg\gamma_{11}}, \qquad (1.7.4)$$

Візьмемо частинні похідні у формулі (1.7.1) по незалежним змінним

$$\frac{\partial X_1}{\partial X_A}=\frac{ctg\gamma_{21}}{ctg\gamma_{41}+ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.5)$$

$$\frac{\partial X_1}{\partial X_B}=\frac{ctg\gamma_{41}}{ctg\gamma_{41}+ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.6)$$

Розраховуючи в кожному чотирикутнику похибки передачі дирекційного кута по формулі (1.34), похибка визначення дирекційного кута n – ої сторони ряду буде

$$m_{\alpha'_n} = \sqrt{m^2_{\omega_1} + m^2_{\omega_2} + m^2_{\omega_3} + \ldots + m^2_{\omega_n}}. \qquad (1.38)$$

З врахуванням похибки вихідного дирекційного кута, формула (1.38) прийме вигляд

$$m_{\alpha_n} = \sqrt{m^2_{\alpha_{вих.}} + m^2_{\omega_1} + m^2_{\omega_2} + m^2_{\omega_3} + \ldots + m^2_{\omega_n}}. \qquad (1.39)$$

Для ряду, утвореного n квадратами, похибка передачі дирекційного кута зв'язуючої сторони ряду розраховується за формулою

$$m_{\alpha_n} = 3.16 m_\beta \sqrt{n}, \qquad (1.40)$$

а любої другої сторони

$$m_{\alpha'_n} = 3.32 m_\beta \sqrt{n}. \qquad (1.41)$$

З врахуванням похибки вихідного дирекційного кута, формула (1.41) набуде вигляду

$$m_{\alpha_n} = \sqrt{m^2_{\alpha_{вих.}} + 11 n m^2_\beta}. \qquad (1.42)$$

Так, для ряду із чотирьох квадратів, виміряючи горизонтальні кути з похибкою 2", отримаємо по формулі (1.40) $m_\alpha = 12.64''$.

При наявності кінцевого вихідного дирекційного кута слабим елементом буде середня зв'язуюча сторона ряду. В даному випадку похибка визначення вихідного дирекційного кута слабої сторони ряду розраховується за формулою

$$m_\alpha = \sqrt{2m^2_{\alpha_{вих.}} + 5{,}5 m^2_\beta n}, \qquad (1.43)$$

Нехтуючи похибками вихідних даних, отримаємо

$$m_{\alpha_{зр}} = m_\beta \sqrt{5{,}5n},$$

і $$m_\alpha = 2{,}34 m_\beta \sqrt{n}. \qquad (1.44)$$

Зрівноважене значення дирекційного кута зв"язуючої сторони ходу в його середині наближено можна вважати середнім арифметичним значенням із його визначень з двох кінців, тобто

$$m_{\alpha_{зр}} = m_\beta \sqrt{\frac{10n}{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}},$$

$$m_{\alpha_{зр}} = 1{,}58 m_\beta \sqrt{n}. \qquad (1.45)$$

Замітимо, що формули (1.43), (1.44), не враховують взаємного впливу умовних рівнянь на точність передачі дирекційних кутів.

З врахуванням цього впливу похибка передачі дирекційних кутів зв"язуючої сторони ряду буде

$$m_\alpha = 1{,}58 m_\beta \sqrt{n}. \qquad (1.46)$$

$$\frac{\partial X_1}{\partial Y_A} = \frac{1}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.7)$$

$$\frac{\partial X_1}{\partial Y_B} = \frac{1}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.8)$$

$$\frac{\partial X_1}{\partial \gamma_{41}} = \frac{-\frac{X_B}{\sin^2\gamma_{41}} + \frac{X_1}{\sin^2\gamma_{41}}}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}} = \frac{(X_1 - X_B)(ctg^2\gamma_{41} + 1)}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.9)$$

$$\frac{\partial X_1}{\partial \gamma_{21}} = \frac{-\frac{X_A}{\sin^2\gamma_{21}} + \frac{X_1}{\sin^2\gamma_{21}}}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}} = \frac{(X_1 - X_A)(ctg^2\gamma_{21} + 1)}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.10)$$

рівняння повного диференціала набуде вигляду

$$dX_1 = \frac{ctg\gamma_{21} dX_A + ctg\gamma_{41} dX_B - dY_A + dY_B}{ctg\gamma_{21} + ctg\gamma_{41}} + \qquad (1.7.11)$$
$$+ \frac{(X_1 - X_B)(ctg^2\gamma_{41} + 1)d\gamma_{41} + (X_1 - X_B)(ctg^2\gamma_{21} + 1)d\gamma_{21}}{\rho(ctg\gamma_{21} + ctg\gamma_{41})},$$

Диференціюючи (1.7.2) по незалежним змінним, будемо мати

$$\frac{\partial Y_1}{\partial Y_A} = \frac{ctg\gamma_{21}}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.12)$$

$$\frac{\partial Y_1}{\partial Y_B} = \frac{ctg\gamma_{41}}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.13)$$

$$\frac{\partial Y_1}{\partial X_A} = \frac{1}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.14)$$

$$\frac{\partial Y_1}{\partial X_B} = \frac{1}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.15)$$

$$\frac{\partial Y_1}{\partial \gamma_{41}} = \frac{-\frac{Y_B}{\sin^2\gamma_{41}} + \frac{Y_1}{\sin^2\gamma_{41}}}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}} = \frac{(Y_1 - Y_B)(1 + ctg^2\gamma_{41})}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.16)$$

$$\frac{\partial Y_1}{\partial \gamma_{21}} = \frac{-\frac{Y_A}{\sin^2\gamma_{41}} + \frac{Y_1}{\sin^2\gamma_{41}}}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}} = \frac{(Y_1 - Y_A)(1 + ctg^2\gamma_{21})}{ctg\gamma_{41} + ctg\gamma_{21}}, \qquad (1.7.17)$$

рівняння повного диференціала буде

або

$$\partial\omega_i = \frac{1}{A\left(1+tg^2\omega_i\right)}\Big[\left(1+ctg^2\beta_{2i}\right)\left(1+tg\omega_i ctg\beta_{3i}\right)d\beta_{2i} -$$
$$-\left(1+ctg^2\beta_{1i}\right)\left(1-tg\omega_i ctg\beta_{4i}\right)d\beta_{1i} -$$
$$-\left(1+ctg^2\beta_{3i}\right)\left(1+tg\omega_i ctg\beta_{2i}\right)d\beta_{3i} +$$
$$+\left(1+ctg^2\beta_{1i}\right)\left(1-tg\omega_i ctg\beta_{1i}\right)d\beta_{4i}\Big] \qquad (1.29)$$

Формула (1.29) і буде робочою диференціальною формулою передачі дирекційного кута зв”язуючої сторони ряду, розвиваємого МПЛЗ.

В матричному виді формула (1.29) прийме вид

$$d\omega_i = \frac{1}{A\left(1+tg^2\omega_i\right)}\begin{bmatrix} 1-tg\,\omega_i ctg\,\beta_{4i} \\ 1+tg\,\omega_i ctg\,\beta_{3i} \\ 1+tg\,\omega_i ctg\,\beta_{2i} \\ 1-tg\,\omega_i ctg\,\beta_{1i} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} -\left(1+ctg^2\beta_{1i}\right)d\beta_{1i} \\ \left(1+ctg^2\beta_{2i}\right)d\beta_{2i} \\ -\left(1+ctg^2\beta_{3i}\right)d\beta_{3i} \\ \left(1+ctg^2\beta_{4i}\right)d\beta_{4i} \end{bmatrix} \qquad (1.30)$$

деТ-знак транспонування матриці.

Дані формули мають можливість визначити зміни дирекційних кутів зв”язуючих сторін ряду МПЛЗ по відомим змінам виміряних кутів, що актуально при багаторазових спостереженнях за деформаціями і подвижками споруд однієї і тієї ж планової мережі.

Формули будуть вихідними при складанні умовного рівняння дирекційних кутів корелатного способу зрівноваження. За формулою (1.29)складена програма, яка дає можливість в автоматичному режимі визначати необхідні коефіцієнти.

1.3. Середня квадратична похибка передачі дирекційних кутів незрівноваженого ряду.

Переходячи до середніх квадратичних похобок, на основі формули (1.29), отримаємо

$$m_{\omega_i} = \frac{1}{A\left(1+tg^2\omega_i\right)}\sqrt{\begin{aligned}&\left(1+tg\,\omega_i ctg\,\beta_{3i}\right)^2\left(1+ctg^2\beta_{2i}\right)^2 m^2_{\beta_{2i}} + \left(1-tg\,\omega_i ctg\,\beta_{4i}\right)^2\left(1+ctg^2\beta_{1i}\right)^2 m^2_{\beta_{1i}} +\\ &+\left(1+tg\,\omega_i ctg\,\beta_{2i}\right)^2\left(1+ctg^2\beta_{3i}\right)^2 m^2_{\beta_{3i}} + \left(1-tg\,\omega_i ctg\,\beta_{1i}\right)^2\left(1+ctg^2\beta_{4i}\right)^2 m^2_{\beta_{4i}}\end{aligned}}, \qquad (1.31)$$

$$+\frac{1}{ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}}\left(X_1\right)-\frac{1}{ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}}\left(X_2\right)+$$
$$+\frac{\left(Y_4-Y_2\right)\left(ctg^2\beta_{32}+1\right)}{\rho\left(ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}\right)}\left(\beta_{32}\right)+\frac{\left(Y_4-Y_1\right)\left(ctg^2\beta_{12}+1\right)}{\rho\left(ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}\right)}\left(\beta_{12}\right), \qquad (1.7.26)$$

$$\left(X_3\right)=\frac{ctg\beta_{22}}{ctg\beta_{42}+ctg\beta_{22}}\left(X_1\right)+\frac{ctg\beta_{42}}{ctg\beta_{42}+ctg\beta_{32}}\left(X_2\right)-$$
$$-\frac{1}{ctg\beta_{42}+ctg\beta_{22}}\left(Y_1\right)+\frac{1}{ctg\beta_{42}+ctg\beta_{22}}\left(Y_2\right)+$$
$$+\frac{\left(X_3-X_2\right)\left(ctg^2\beta_{42}+1\right)}{\rho\left(ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}\right)}\left(\beta_{42}\right)+\frac{\left(X_3-X_1\right)\left(ctg^2\beta_{22}+1\right)}{\rho\left(ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}\right)}\left(\beta_{22}\right), \qquad (1.7.27)$$

$$\left(Y_3\right)=\frac{ctg\beta_{22}}{ctg\beta_{42}+ctg\beta_{22}}\left(Y_1\right)+\frac{ctg\beta_{42}}{ctg\beta_{42}+ctg\beta_{32}}\left(Y_2\right)+$$
$$+\frac{1}{ctg\beta_{42}+ctg\beta_{22}}\left(X_1\right)-\frac{1}{ctg\beta_{42}+ctg\beta_{22}}\left(X_2\right)+$$
$$+\frac{\left(Y_3-Y_2\right)\left(ctg^2\beta_{42}+1\right)}{\rho\left(ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}\right)}\left(\beta_{42}\right)+\frac{\left(Y_3-Y_1\right)\left(ctg^2\beta_{22}+1\right)}{\rho\left(ctg\beta_{32}+ctg\beta_{12}\right)}\left(\beta_{22}\right), \qquad (1.7.28)$$

Виконуючи зустрічне обчислення координат з пунктів С і Д, одержимо

$$X_5=\frac{X_c ctg\gamma_{44}+X_Д ctg\gamma_{24}-Y_C+Y_Д}{ctg\gamma_{24}+ctg\gamma_{44}}, \qquad (1.7.29)$$

$$Y_5=\frac{Y_c ctg\gamma_{44}+Y_Д ctg\gamma_{24}+X_C-X_Д}{ctg\gamma_{24}+ctg\gamma_{44}}, \qquad (1.7.30)$$

$$X_6=\frac{X_c ctg\gamma_{34}+X_Д ctg\gamma_{14}-Y_C+Y_Д}{ctg\gamma_{14}+ctg\gamma_{34}}, \qquad (1.7.31)$$

$$Y_6=\frac{Y_c ctg\gamma_{34}+Y_Д ctg\gamma_{14}+X_C-X_Д}{ctg\gamma_{14}+ctg\gamma_{34}}, \qquad (1.7.32)$$

$$X_3=\frac{X_6 ctg\beta_{43}+X_5 ctg\beta_{23}-Y_6+Y_5}{ctg\beta_{23}+ctg\beta_{43}}, \qquad (1.7.33)$$

$$Y_3=\frac{Y_6 ctg\beta_{43}+Y_5 ctg\beta_{23}+X_6-X_5}{ctg\beta_{23}+ctg\beta_{43}}, \qquad (1.7.34)$$

$$X_4=\frac{X_6 ctg\beta_{433}+X_5 ctg\beta_{13}-Y_6+Y_5}{ctg\beta_{13}+ctg\beta_{33}}, \qquad (1.7.35)$$

Замітимо, що формула (1.21) строга і справедлива незалежно від вибору координат, тобто в любому випадку по даній формулі визначають дирекційні кути зв"язуючих сторін ряду МПЛЗ.

Дирекційні кути всіх інших напрямків визначити тепер не представляє труда.

З другої сторони, справедливо співвідношення

$$tg\,\omega_i = \frac{(ctg\,\gamma_{1i} + ctg\,\gamma_{3i}) - (ctg\,\gamma_{2i} + ctg\,\gamma_{4i})}{ctg\,\gamma_{2i} ctg\,\gamma_{3i} - ctg\,\gamma_{1i} ctg\,\gamma_{4i}}, \qquad (1.24)$$

де γ_i -невимірні кути гамма в і-му геодезичному чотирикутнику методу парних ланок засічок.

Тому, кут омега ω_i може однозначно визначатись по кутам γ і по кутам бета β в геодезичному чотирикутнику довільної форми.

1.2.Вивід диференціальної формули дирекційного кута зв"язуючої сторони ряду МПЛЗ.

Представимо формулу (1.21) у вигляді

$$\omega_i = arctg\,\frac{(ctg\beta_{1i} + ctg\beta_{3i}) - (ctg\beta_{2i} + ctg\beta_{4i})}{ctg\beta_{2i} ctg\beta_{3i} - ctg\beta_{1i} ctg\beta_{4i}}. \qquad (1.25)$$

Диференціюючи формулу (1.25) по змінній β_1, одержимо

$$\frac{\partial\omega_i}{\partial\beta_{1i}} = \frac{\dfrac{\dfrac{1}{\sin^2\beta_{1i}}(ctg\,\beta_{2i} ctg\,\beta_{3i} - ctg\,\beta_{1i} ctg\,\beta_{4i}) + [(ctg\,\beta_{1i} + ctg\,\beta_{3i}) - (ctg\,\beta_{2i} + ctg\,\beta_{4i})]\dfrac{ctg\,\beta_{3i}}{\sin^2\beta_{1i}}}{(ctg\,\beta_{2i} ctg\,\beta_{3i} - ctg\,\beta_{1i} ctg\,\beta_{4i})^2}}{1 + \left[\dfrac{(ctg\,\beta_{1i} + ctg\,\beta_{3i}) - (ctg\,\beta_{2i} + ctg\,\beta_{4i})}{ctg\,\beta_{2i} ctg\,\beta_{3i} - ctg\,\beta_{1i} ctg\,\beta_{4i}}\right]^2}$$

Диференціюючи формулу (1.25) по змінній β_2, запишемо

$$\frac{\partial\omega_i}{\partial\beta_{2i}} = \frac{\dfrac{-\dfrac{1}{\sin^2\beta_{2i}}(ctg\,\beta_{2i} ctg\,\beta_{3i} - ctg\,\beta_{1i} ctg\,\beta_{4i}) + [(ctg\,\beta_{1i} + ctg\,\beta_{3i}) - (ctg\,\beta_{2i} + ctg\,\beta_{4i})]\dfrac{ctg\,\beta_{2i}}{\sin^2\beta_{3i}}}{(ctg\,\beta_{2i} ctg\,\beta_{3i} - ctg\,\beta_{1i} ctg\,\beta_{4i})^2}}{1 + \left[\dfrac{(ctg\,\beta_{1i} + ctg\,\beta_{3i}) - (ctg\,\beta_{2i} + ctg\,\beta_{4i})}{ctg\,\beta_{2i} ctg\,\beta_{3i} - ctg\,\beta_{1i} ctg\,\beta_{4i}}\right]^2}$$

Диференціюючи формулу (1.25) по змінній β_3, запишемо

$$\frac{\partial\omega_i}{\partial\beta_{3i}} = \frac{\dfrac{-\dfrac{1}{\sin^2\beta_{3i}}(ctg\,\beta_{2i} ctg\,\beta_{3i} - ctg\,\beta_{1i} ctg\,\beta_{4i}) + [(ctg\,\beta_{1i} + ctg\,\beta_{3i}) - (ctg\,\beta_{2i} + ctg\,\beta_{4i})]\dfrac{ctg\,\beta_{2i}}{\sin^2\beta_{3i}}}{(ctg\,\beta_{2i} ctg\,\beta_{3i} - ctg\,\beta_{1i} ctg\,\beta_{4i})^2}}{1 + \left[\dfrac{(ctg\,\beta_{1i} + ctg\,\beta_{3i}) - (ctg\,\beta_{2i} + ctg\,\beta_{4i})}{ctg\,\beta_{2i} ctg\,\beta_{3i} - ctg\,\beta_{1i} ctg\,\beta_{4i}}\right]^2}$$

$$+\frac{(Y_3 - Y_5)(ctg^2\beta_{23} + 1)}{\rho(ctg\beta_{23} + ctg\beta_{43})}(\beta_{23}) + \frac{(Y_3 - Y_5)(ctg^2\beta_{43} + 1)}{\rho(ctg\beta_{23} + ctg\beta_{43})}(\beta_{43}), \qquad (1.7.44)$$

Умовні рівняння координат представимо у вигляді

$$(X_4) - (X_4)' + W_{X_4} = 0, \qquad (1.7.45)$$

$$(Y_4) - (Y_4)' + W_{Y_4} = 0, \qquad (1.7.46)$$

$$(X_3) - (X_3)' + W_{X_3} = 0, \qquad (1.7.47)$$

$$(Y_3) - (Y_3)' + W_{Y_3} = 0, \qquad (1.7.48)$$

По складеній автором програмі визначаються коефіцієнти координатних рівнянь другої фігури МПЛЗ. Згідно порядку виводу коефіцієнтів на дисплей мікрокалькулятора, наприклад, для поправок (X_4) і (Y_4) виводиться

$$(X_4) = P2(X_1) + P3(X_2) - P1(Y_1) + P1(Y_2) + P4(\beta_{32}) + P6(\beta_{12}), \qquad (1.7.49)$$

$$(Y_4) = P2(Y_1) + P3(Y_2) + P1(X_1) - P1(X_2) + P5(\beta_{32}) + P7(\beta_{12}). \qquad (1.7.50)$$

У формулах (1.7.49) і (1.7.50) цифра при букві З означає номер виведення на дисплей калькулятора відповідного коефіцієнту.

Для (X_3) і (Y_3) одержимо відповідно

$$(X_3) = P2(X_1) + P3(X_2) - P1(Y_1) + P1(Y_2) + P4(\beta_{42}) + P6(\beta_{22}), \qquad (1.7.51)$$

$$(Y_3) = P2(Y_1) + P3(Y_2) + P1(X_1) - P1(X_2) + P5(\beta_{42}) + P7(\beta_{22}), \qquad (1.7.52)$$

$$(X_4)' = P2(X_6) + P3(X_5) - P1(Y_6) + P1(Y_5) + P4(\beta_{13}) + P6(\beta_{32}), \qquad (1.7.53)$$

$$(Y_4)' = P2(Y_6) + P3(Y_5) + P1(X_6) - P1(X_5) + P5(\beta_{13}) + P7(\beta_{33}). \qquad (1.7.54)$$

$$(X_3)' = P2(X_6) + P3(X_5) - P1(Y_6) + P1(Y_5) + P4(\beta_{23}) + P6(\beta_{43}), \qquad (1.7.55)$$

$$(Y_3)' = P2(Y_6) + P3(Y_5) + P1(X_6) - P1(X_5) + P5(\beta_{23}) + P7(\beta_{43}). \qquad (1.7.56)$$

Програма №3 розрахунку коефіціэнтів в координатних умовних рівняннях із Рішення прямих кутових засічок типової фігури МПЛЗ.

Fпрг	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
00	С/П	ХП1	С/П	ХП2	С/П	ХП3	С/П	ХП4	С/П	ХПа
10	С/П	ХПв	С/П	$K_0^{\rightarrow}$	Ftg	F 1/x	ХП6	С/П	$K_0^{\rightarrow}$	Ftg
20	F 1/x	ХП7	ПХ6	+	ХП5	F 1/x	С/П	2	0	6
30	.	3	:	ХПС	ПХ7	ПХ5	:	С/П	ПХ6	ПХ5
40	:	С/П	ПХ6	FX^2	1	+	ПХС	Х	ХП8	ПХа
50	ПХ3	-	Х	С/П	ПХ8	ПХв	ПХ4	-	Х	С/П
60	ПХ7	FX^2	1	+	ПХС	Х	ХП9	ПХа	ПХ1	-
70	Х	С/П	ПХ9	ПХв	ПХ2	-	Х	С/П	БП	08

$$X_A = \frac{x_2 ctg\beta_{21} + x_1 ctg\beta_{41} + y_2 - y_1}{ctg\beta_{41} + ctg\beta_{21}} \qquad (1.1)$$

$$Y_A = \frac{y_1 ctg\beta_{41} + y_2 ctg\beta_{21} - x_2 + x_1}{ctg\beta_{41} + ctg\beta_{21}} \qquad (1.2)$$

$$X_B = \frac{x_2 ctg\beta_{11} + x_1 ctg\beta_{31} + y_2 - y_1}{ctg\beta_{31} + ctg\beta_{11}} \qquad (1.3)$$

$$Y_B = \frac{y_1 ctg\beta_{31} + y_2 ctg\beta_{11} - x_2 + x_1}{ctg\beta_{31} + ctg\beta_{11}} \qquad (1.4)$$

Одержимо координати пунктів 4 і 3

$$X_4 = \frac{x_1 ctg\beta_{42} + x_2 ctg\beta_{22} + y_1 - y_2}{ctg\beta_{42} + ctg\beta_{22}} \qquad (1.5)$$

$$Y_4 = \frac{y_2 ctg\beta_{22} + y_1 ctg\beta_{42} + x_2 - x_1}{ctg\beta_{42} + ctg\beta_{22}} \qquad (1.6)$$

$$X_3 = \frac{x_1 ctg\beta_{32} + x_2 ctg\beta_{12} + y_1 - y_2}{ctg\beta_{32} + ctg\beta_{12}} \qquad (1.7)$$

$$Y_3 = \frac{y_2 ctg\beta_{12} + y_1 ctg\beta_{32} + x_2 - x_1}{ctg\beta_{32} + ctg\beta_{12}} \qquad (1.8)$$

В прийнятій нами системі координат $x_1=0$; $y_1=0$ $x_2=S_{12}$; $y_2=0$, і формули (1.1-1.8) будуть мати вигляд:

$$X_A = \frac{S_{12} ctg\beta_{21}}{ctg\beta_{41} + ctg\beta_{21}} \qquad (1.9)$$

$$Y_A = \frac{S_{12}}{ctg\beta_{41} + ctg\beta_{21}} \qquad (1.10)$$

$$X_B = \frac{S_{12} ctg\beta_{11}}{ctg\beta_{31} + ctg\beta_{11}} \qquad (1.11)$$

$$Y_B = \frac{S_{12}}{ctg\beta_{31} + ctg\beta_{11}} \qquad (1.12)$$

$$X_4 = \frac{S_{12} ctg\beta_{22}}{ctg\beta_{42} + ctg\beta_{22}} \qquad (1.13)$$

$$Y_4 = \frac{S_{12}}{ctg\beta_{42} + ctg\beta_{22}} \qquad (1.14)$$

$$X_3 = \frac{S_{12} ctg\beta_{12}}{ctg\beta_{32} + ctg\beta_{12}} \qquad (1.15)$$

16		+20,4611с/п	Р7(β_{12})	
17	4933,510с/п		Хз	
18	10876,988с/п		Yз	
19	76°32'13,9"с/п		$\angle\beta_{42 лів}$	
20	45°30'10,1с/п		$\angle\beta_{22пр}$	
21		+0,8183с/п	для X_3 Р1($-Y_1$), (Y_2)	для Y_3 Р1(X_1),($-X_3$)
22		+0,8041с/п	Р2(X_1)	(Y_1)
23		+0,1959с/п	Р3(X_2)	(Y_2)
24		+14,6625с/п	Р4(β_{42})	
25		+17,8655с/п		Р5(β_{42})
26		-10,0426с/п	Р6(β_{22})	
27		+29,8688с/п		Р7(β_{22})

Протокол №5 розрахунку коефіцієнтів координатних умовних рівнянь для чотирикутника СД56.

№ І/П	Введення даних	Результат	Позначення	№ І/П	Введення даних	Результат	Позначення
1	в/о с/п			15		+4,2098с/п	(γ_{34})X_6
2	1311,420с/п		$X_{с\ лів.}$	16		-46,8322с/п	(γ_{34})Y_6
3	20592,950с/п		$Y_{С\ ЛІВ.}$	17	5765,040с/п		X_5
4	5146,310с/п		$X_{Д\ ПР.}$	18	15841,42с/п		Y_5
5	20719,130с/п		$Y_{Д\ пр.}$	19	48°44'17,45с/п		$\angle\gamma_{24\ лів}$
6	1755,623с/п		X_6	20	95"20'41,06с/п		$\angle\gamma_{44\ пр}$
7	15653,419с/п		Y_6	21		+1,2758с/п	Р1
8	86°44'45,06"с/п		$\angle\gamma_{14\ лів}$	22		-0,1194с/п	Р2
9	54°19'10,04"с/п		$\angle\gamma_{34\ пр}$	23		+1,1194с/п	Р3
10		+1,2904с/п	Р1	24		+6,7708с/п	Р4(γ_{24})X_5
11		+0,9266с/п	Р2	25		-53,3844с/п	Р5(γ_{24})X_5
12		+0,0733с/п	Р3	26		+27,7837с/	Р6(γ_{44})X_5
13		-21,2972с/п	Р4(γ_{14})X_6	27		-29,6421с/п	Р7(γ_{44})X_5
14		-31,7917с/п	Р5(γ_{14})Y_6				

ВВЕДЕННЯ

Традиційні методи створення планової геодезичної мережі - триангуляція, трилатерація, полігонометрія актуальні у тих випадках, якщо вони можуть конкурувати із методом космічної геодезії СР5. На території міст, коли не завжди можна забезпечити конус видимості у зв'язку з висотною забудовою, у тих випадках, коли наземні методи дають адекватну точність, в маркшейдерії тунелебудівництві і будівництві мостів і т п., наземні методи будуть використовуватись і їх необхідно розвивати і досліджувати.

Ціллю даної роботи є розробка раціонального наземного метода створення планової геодезичної основи - МЕТОДА ПАРНИХ ЛАНОК ЗАСІЧОК (МПЛЗ) примінення якого дає можливість використання конструктивних елементів капітальних споруд на території даного міста (шпилі соборів, антени, громовідводи і т п.) При цьому, спостереження на ряд пунктів не потребує двосторонньої видимості і на ряді пунктів не потрібно встановлювати теодоліт.

Передбачається можливість згущення мережі ОР5 методом парних ланок засічок (МПЛЗ) В даному випадку виникають координатні умови рівняння, що буде надійним контролем польових робіт. Суть проблеми - в розробці і реалізації координатних умовних рівнянь, що являє собою надзвичайно нелегку проблему, таку що не існує аналогій в її рішенні і вона не описана в геодезичній літературі.

1. Теоретичні основи визначення співвідношення елементів типової фігури МПЛЗ.

1.1. Теорія передачі дирекційних кутів в рядах МПЛЗ

Координати пунктів А і В визначені приймачами GPS по сигналам трьох і більше супутників. В пунктах 1 і 2 виміряні кути β_{11}, β_{21}, β_{22}, β_{12}, і β_{41}, β_{31}, β_{32}, β_{42}.

Необхідно по вихідному дирекційному куті α_{AB} визначити дирекційні кути всіх сторін двох геодезичних чотирикутників, якщо виміряні горизонтальні кути β.

Приймемо нову систему координат, зорієнтувавши вісь абсцис по стороні 8ц і помістивши початок координат в точку 1 (рис. 1).

Розрахуємо координати пунктів А і В за формулами Юнга рішення прямих кутових засічок, ніби були відомі координати пунктів 1 і 2.

30	Х	/-/	ПХ4	+	С/П	ПХd	Пхе	Х	/-/	ПХ5
40	+	С/П	ПХ7	ПХе	Х	ПХО	+	С/П	ПХ9	ПХе
50	Х	ПХ1	+	С/П	ПХв	ПХ2	Х	ХП4	ПХd	ПХ2
60	Х	ХП5	ПХ7	ПХ3	Х	ХПО	ПХ9	ПХ3	Х	ХП1
70	ПХа	ПХе	Х	ПХ4	+	С/П	ПХС	ПХе	Х	ПХ5
80	+	С/П	ПХ6	ПХе	Х	/-/	ПХО	+	С/П	ПХ8
90	ПХе	Х	/-/	ПХ1	+	С/П	F	АВТ		

Програма працює при наявності двох вихідних пунктів в першій фігурі

Протокол №7 розрахунку коефіцієнтів при замиканні прямого ходу на 4 пункт.

№ п/п	Введення даних	Резуль тат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	в/о с/п			11	-0,0955 с/п		Р2
2	+3,3081 с/п		P_4 на 2 п.	12	+1,0955 с/п		Р3
3	+38,7372с/п		$P_{5\ прав.}$	13		-28,0859 с/п	$для X4(\gamma_{41})$
4	-22,9820с/п		P_6	14		-56,7675 с/п	(γ_{21})
5	+22,0773с/п		P_7	15		+41,7918 с/п	(γ_{31})
6	+24,6822с/п		P_4 на 1 п.	16		-3,4240 с/п	(γ_{11})
7	+26,1126с/п		$P_{5\ лів}$	17		+21,8256 с/п	$для Y4(\gamma_{41})$
8	+3,4646с/п		P_6	18		-2,0564 с/п	(γ_{21})
9	+57,2787с/п		P_7	19		+39,1771 с/п	(γ_{31})
10	+0,9853с/п		P_1 на 4 п.	20		+46,8298 с/п	(γ_{11})

Протокол №8 розрахунку коефіцієнтів при замиканні зустрічного ходу на 4 пункт.

№ п/п	Введення даних	Резуль тат	Позначення	№ п/п	Введення даних	Результат	Позначення
1	в/о с/п			11	+1,3490 с/п		Р2
2	+6,7708 с/п		P_4 на 2 п.	12	-0,3490 с/п		Р3
3	-53,384с/п		$P_{5\ прав.}$	13		+5,3687 с/п	$для X4(\gamma_{14})$
4	+27,7837с/п		P_6	14		+55,8738 с/п	(γ_{34})
5	-29,6421с/п		P_7	15		-59,5804 с/п	(γ_{24})
6	-21,2792с/п		$P_{4\ лів}$ на 6 п.	16		-41,4669с/п	(γ_{44})
7	-31,7917с/п		P_5	17		-65,6940с/п	$для Y4(\gamma_{14})$
8	+4,2098с/п		P_6	18		-58,6646с/п	(γ_{34})
9	-46,8322с/п		P_7	19		+11,3742с/п	(γ_{24})
10	+1,0718с/п		P_1 на 4 п.	20		-19,4335с/п	(γ_{44})

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

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

$$+13{,}564\left(\gamma_{11}\right)-44{,}085\left(\gamma_{21}\right)+32{,}347\left(\gamma_{31}\right)-1{,}521\left(\gamma_{41}\right)+$$
$$+0\left(\beta_{12}\right)-10{,}043\left(\beta_{22}\right)+0\left(\beta_{32}\right)+14{,}662\left(\beta_{42}\right)-$$
$$-33{,}331\left(\gamma_{14}\right)+60{,}462\left(\gamma_{24}\right)-58{,}522\left(\gamma_{34}\right)+15{,}914\left(\gamma_{44}\right)+$$
$$+0\left(\beta_{13}\right)-6{,}716\left(\beta_{23}\right)+0\left(\beta_{33}\right)+19{,}765\left(\beta_{43}\right)+398\text{мм}=0. \quad (1.7.57)$$

Координатне умовне рівняння ординат для пункту 3 буде

$$+23{,}131\left(\gamma_{11}\right)+48{,}893\left(\gamma_{21}\right)+4{,}882\left(\gamma_{31}\right)+41{,}195\left(\gamma_{41}\right)+$$
$$+0\left(\beta_{12}\right)+29{,}869\left(\beta_{22}\right)+0\left(\beta_{32}\right)+17{,}866\left(\beta_{42}\right)+$$
$$+34{,}509\left(\gamma_{14}\right)+47{,}537\left(\gamma_{24}\right)+7{,}250\left(\gamma_{34}\right)+55{,}844\left(\gamma_{44}\right)+$$
$$+0\left(\beta_{13}\right)-40{,}104\left(\beta_{23}\right)+0\left(\beta_{33}\right)-29{,}704\left(\beta_{43}\right)-55\text{мм}=0. \quad (1.7.58)$$

При цьому слід зауважити, що в зустрічному рахунку знаки змінюються на обернені.

ВИСНОВКИ.

1. Запропонована ідея створення планових опорних геодезичних мереж побудовою рядів геодезичних чотирикутників з виміром горизонтальних кутів з пунктів, які фіксують суміжні сторони парних геодезичних чотирикутників.
2. Передбачаються згущення мереж GPS запропонованим методом парних ланок засічок (МПЛЗ).
3. Розроблена теорія передачі дирекційних кутів і сторін в рядах ПЛЗ.
4. Одержані диференціальні формули передачі дирекційних кутів і зв”язуючих сторін в рядах ПЛЗ.
5. Розроблені умовні рівняння дирекційних кутів, сторін і координат.
6. Складені програми, які дають можливість на протязі декількох хвилин визначити коефіцієнти умовних рівнянь і обернені ваги функцій виміряних величин для паопередньої оцінки точності і визначення допустимих значень вільних членів умовних рівнянь.
7. Приведені формули оцінки точності передачі дирекційних кутів в рядах ПЛЗ.
8. Отримані формули оцінки точності передачі сторін в рядах ПЛЗ.
9. Побудований необхідний математичний апарат для обробки мереж згущення методом парних ланок засічок (МПЛЗ).

ЛІТЕРАТУРА.

1. Літнарович Р.М. Проект і дослідження геодезичної основи міста Рівне методом несуцільних спостережень тріангуляції. Навчальний посібник з курсу “Методи наукових досліджень”. Частина ІІІ РДТУ, м. Рівне,1998,-14с.
2. Літнарович Р.М. Проектування і дослідження тридатерації міста Рівне методом статистичних випробувань Монте Карло. Навчальний посібник з курсу “Методи наукових досліджень”. Частина ІV РДТУ, м. Рівне,1998,-16с.
3. Літнарович Р.М. Проект і дослідження геодезичної основи міста Рівне методом методомпарних ланок засічок. Навчальний посібник з курсу “Методи наукових досліджень”. Частина VІ РДТУ, м. Рівне,1998,-31с.

Комп”ютерний набір:Дорошенко Ігор Володимирович, Захарченко Сергій Вікторович