

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Оренбургский государственный университет"

Кафедра городского кадастра

О.Ф. КУЗНЕЦОВ

СПОСОБЫ ОТЫСКАНИЯ ОШИБОК ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом государственно-
го образовательного учреждения высшего профессионального образования
"Оренбургский государственный университет"

Оренбург 2003

ББК 38.2я7
К 89
УДК 721.023 (075.8)

Рецензент

доктор сельскохозяйственных наук, профессор А.Ж. Калиев

К 89 Кузнецов О.Ф.
Способы отыскания ошибок геодезических измерений: Методические указания по выполнению учебно-исследовательской работы студентов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. - 19 с.

Методические указания предназначены для студентов по дисциплине "Геодезия" строительных специальностей, а также могут быть рекомендованы к использованию топогеодезическими подразделениями.

К $\frac{33001000000}{6Л9-03}$

ББК 38.2я7

© Кузнецов О.Ф., 2003
© ГОУ ОГУ, 2003

Введение

Исходя из многолетнего опыта развития государственной геодезической сети, специальных геодезических сетей (СГС), сетей сгущения методиками полигонометрии, триангуляции, трилатерации, на основе многократных вычислений выявлены способы отыскания грубых просчетов в геодезических измерениях. Используя данные вычислений и оценки точности геодезических измерений на примере полигонометрического хода протяженностью 16 километров, автор предлагает расчёты, показанные в таблицах 1-5, которые формируют методику вычислений при недопустимых значениях линейной и угловой невязок.

1 Отыскание грубых ошибок в полигонометрических ходах

Наличие грубых просчетов обычно подтверждается недопустимой величиной линейной и угловой невязок. Выявление точек и сторон хода, где допущен грубый просчет, проводится путем дополнительных вычислений. Для обнаружения точки хода, на которой допущена грубая ошибка в измерении угла, вычисляют дирекционные углы и координаты точек хода сначала от исходного пункта I (Урал) к пункту II (Сулак), рисунок 1, а затем от пункта II (Сулак) к пункту I (Урал). Угловая невязка в этом случае не определяется.

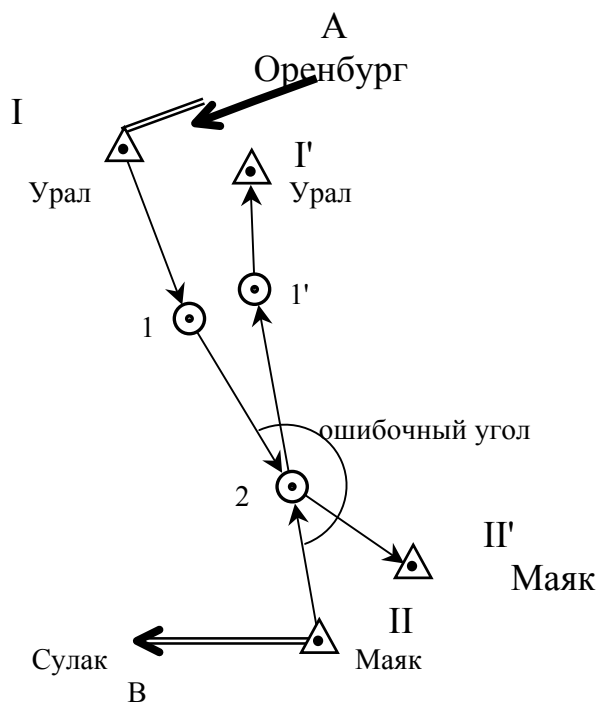


Рисунок 1 - Схема для нахождения ошибки в измерении угла при проложении полигонометрического хода

При таком порядке вычислений координаты всех точек, полученные из "прямого" и "обратного" ходов, будут резко отличаться друг от друга, за исключением точки с ошибочно измеренным углом (значения координат этой точки, полученные из двух вычислений, будут очень близкими друг к другу), что показано в таблицах 1-2. Угловые измерения на этой точке выполняют в полевых условиях заново, значение измерений угла и вычисления показаны в таблице 3. Для контроля измеряют углы и на соседних точках.

Для обнаружения стороны хода, в которой допущен грубый просчет при измерении линии (рисунок 1), вычисления выполняются следующим образом: по уравненным дирекционным углам и измеренным сторонам вычисляются координаты точки II, таблица 4, ошибочно определенные из-за просчета при измерении линий.

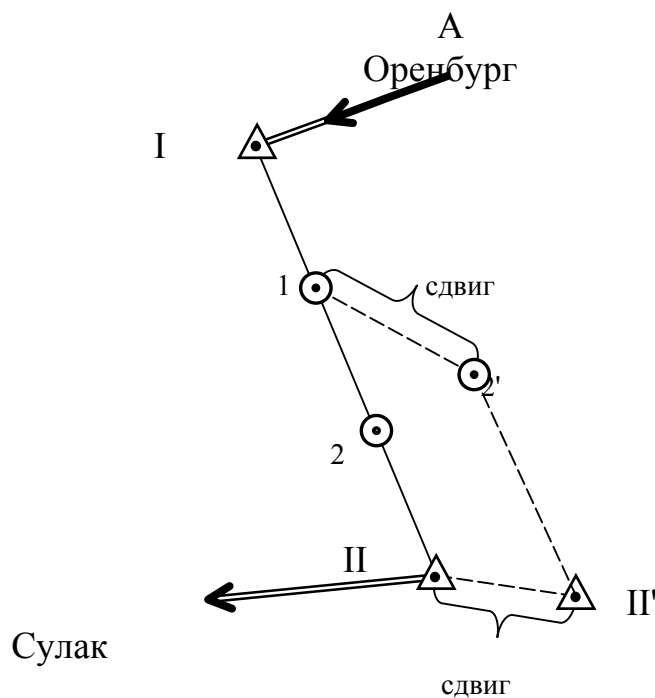


Рисунок 2 - Схема для нахождения ошибки в измерении сторон при проложении полигонометрического хода

Из решения обратной геодезической задачи по координатам точки II' и пункта II находят величину сдвига и дирекционный угол сдвига II-II'. Вычисленный дирекционный угол сдвига II-II' будет близок (с точностью 1-5°) к дирекционному углу той стороны, в которой допущен просчет при измерении линии. Величина сдвига указывает величину ошибки. Вычисленные дирекционный угол и сдвиг показаны в таблице 5.

Ошибочно определенная сторона снова измеряется на местности. При наличии нескольких сторон с близкими значениями дирекционных углов проводятся повторные измерения длин всех линий.

Отыскание ошибок указанными способами возможно при условии, что в полигонометрическом каре допущен только один грубый просчет в измерении угла или линии. При наличии двух и более просчетов ошибки вычислениями не выявляются, и все полевые измерения повторяются заново.

2 Порядок вычислений разомкнутого полигонометрического хода

Сначала в измеренные углы вводят поправки за угловую невязку и вычисляют дирекционные углы сторон хода. Пользуясь дирекционными углами и измеренными длинами сторон, получают приращения координат по сторонам хода и вычисляют невязки координат W_x и W_y . Далее, полученные невязки распределяют с обратным знаком в приращение координат пропорционально длинам сторон, и, наконец, получают координаты определяемых пунктов. Вычисления производят в ведомости, таблица 3, соблюдая следующий порядок:

В графе 1 обозначают точки поворота и исходные направления. В графу 2 вписывают приведенные к центрам и на плоскость углы β , лежащие влево по ходу. Внизу под чертой помещают сумму углов $\sum \beta$, а под ней – величину $180^\circ \cdot n$, где n – число точек поворота в ходе.

Далее вычисляют невязку W_α по формуле:

$$W_\alpha = \alpha''_{\text{выч}} - \alpha''_{\text{исх}}, \quad (2.1)$$

$$\text{где } \alpha''_{\text{выч}} = \sum_{i=1}^n \beta_i - 180^\circ \times n + \alpha''_{\text{исх}}. \quad (2.2)$$

В примере:

$$\alpha''_{\text{выч}} = 742^\circ 48' 58'' - 720^\circ + 247^\circ 09' 58'' = 269^\circ 58' 56''$$

$$\alpha''_{\text{исх}} = 269^\circ 59' 03''$$

$$W_\alpha = -01$$

Угловую невязку распределяют с обратным знаком поровну на углы хода. В таблице 3 поправки даны над значениями углов.

Далее, пользуясь исправленными углами $\beta^{(1)}$, вычисляют в графе 3, дирекционные углы сторон хода по формуле:

$$\alpha_{k, k+1} = \alpha_{k, k-1} \pm 180^\circ - \beta_{\alpha}^{(1)} \quad (2.3)$$

где k – порядковый номер точки поворота.

Правильность вычислений в графе 2 и 3 контролируется полученными значениями исходного дирекционного угла в конце хода. В графу 4 вписывают приведенные к центрам, на уровень моря и на плоскость расстояния D между пунктами; в графы 5 и 6 – приращения координат между пунктами $\Delta x = D \cdot \cos \alpha$ и $\Delta y = D \cdot \sin \alpha$, тщательно проверяя знаки приращений, определяемые знаком $\cos \alpha$ или $\sin \alpha$, и применяя контрольное равенство: $D = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$.

В тригонометрических функциях при этом достаточно сохранять 5 десятичных знаков. Внизу граф 5 и 6 записывают суммы $[\Delta x]$ и $[\Delta y]$.

Прибавляя к суммам приращений координаты начального исходного пункта x_1, y_1 , получают вычисленные координаты конечного исходного пункта $x_{II}^{(1)}$ и $y_{II}^{(1)}$ и невязки координат

$$W_x = x_{II}^{(1)} - x_{II}, \quad W_y = y_{II}^{(1)} - y_{II} \quad (2.4)$$

где x_{II} и y_{II} – исходные координаты пункта II

В замкнутом ходе: $W_x = [\Delta x]$ и $W_y = [\Delta y]$.

Получив значения W_x и W_y , вычисляют линейную невязку хода

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

и относительную линейную невязку $\frac{W}{\sum D}$.

Относительная линейная невязка не должна превышать значения, указанные в таблице 7.

Таблица 1 - Допустимые относительные невязки полигонометрического хода

Относительная средняя квадратичная погрешность измерения сторон хода	Допустимая относительная невязка разомкнутого хода или звена системы ходов
1:10000	1:5000
1:1000	1:1000

Полученные невязки W_x и W_y распределяют с обратным знаком в приращения координат пропорционально длинам сторон. Соответствующие поправки вписаны над значениями приращений.

Пользуясь исправленными приращениями, получают уравненные координаты определяемых пунктов. Контролем является равенство вычисленных и заданных координат конечного исходного пункта.

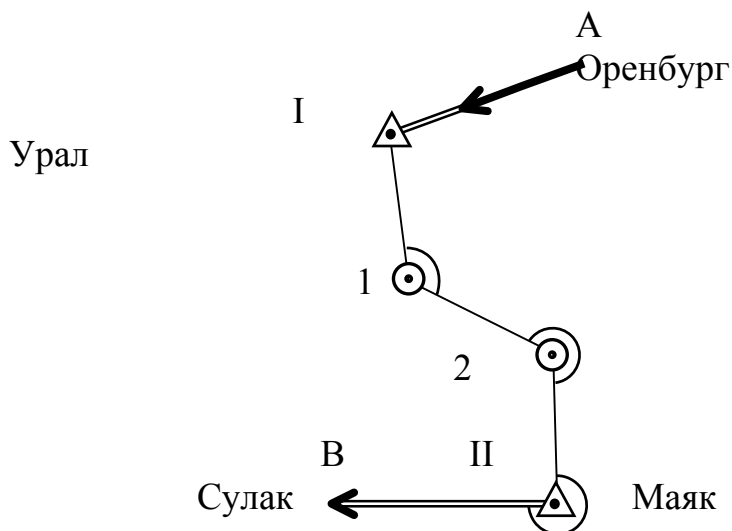


Рисунок 3 - Схема разомкнутого полигонометрического хода

Таблица 2 - Вычисление полигонометрического хода

Пункты	Измеренные углы β	Дирекционные углы α	Горизонтальные проложен. $D, м$	$\Delta x, м$	$\Delta y, м$	$X, м$	$Y, м$
1	2	3	4	5	6	7	8
A ↓ I	105°34'46"	<u>247°09'58"</u>				<u>4624007,2</u>	<u>8622003,1</u>
№1	107°57'18"	172°44'44"	5 544,5	-5500,1	+700,1	4618506,9	8622703,2
№2	259°18'50"	100°42'02"	5 393,5	-1001,4	+5299,7	4622505,7	8628002,9
II ↓ B	269°59'04"	180°00'52"	5 500,1	-5 500,1	-1,4	<u>4612006,9</u>	<u>8628002,9</u>
		<u>269°59'03"</u>					
$\sum \beta =$ - $\alpha'_{исх.}$ +	742°49'58" 720 22°49'58" 249°09'58"	$\sum D =$	16438,1	$W_x = -$	$W_y = -$		

$$\alpha''_{выч.} = 269^{\circ}59'56''$$

$$\alpha''_{исх.} = \underline{269^{\circ}59'03''}$$

$$W_{\alpha} = + 53$$

$$(W_{\alpha})_{доп.} = \pm 24''$$

Абсолютная линейная невязка хода $W = -$

Относительная невязка $= -$

Допустимая относительная невязка $= -$

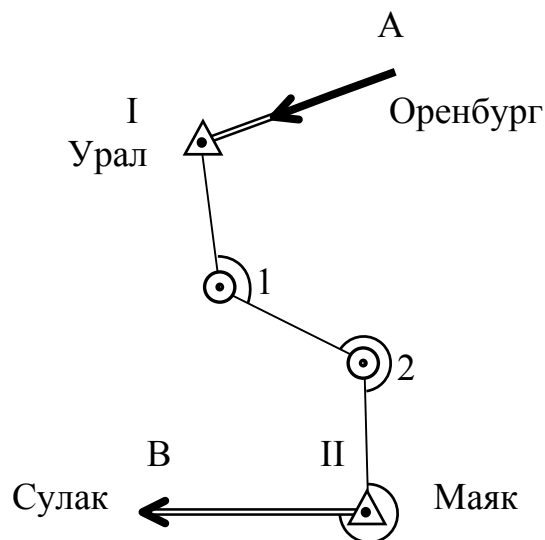


Рисунок 4 - Схема разомкнутого полигонометрического хода

Таблица 3 - Вычисление полигонометрического хода

Пункты	Измеренные углы β	Дирекционные углы α	Горизонтальные проложен. $D, м$	$\Delta x, м$	$\Delta y, м$	$X, м$	$Y, м$
1	2	3	4	5	6	7	8
В ↓ II	90°00'56"	<u>89°59'03"</u>				<u>4612006,9</u>	<u>8628002,9</u>
№2	100°41'10"	0°00'52"	5 500,1	+5500,1	+1,4	4618506,9	8622703,2
№1	252°02'42"	280°42'02"	5 393,5	+1001,4	-5299,7	4622505,7	8628002,9
I ↓ А	254°25'44"	352°44'44"	5 544,5	+5 500,1	700,1	<u>4624007,2</u>	<u>8622003,1</u>
$\sum \beta =$	—						
$\alpha'_{исх}$	—	$\sum D =$	—	$W_x = -$	$W_y = -$		

$\alpha''_{выч.} =$

$\alpha''_{исх.} =$

$W_\alpha = -$

$(W_\alpha)_{доп.} = \pm 24''$

Абсолютная линейная невязка хода $W = -$

Относительная невязка $= -$

Допустимая относительная невязка $= -$

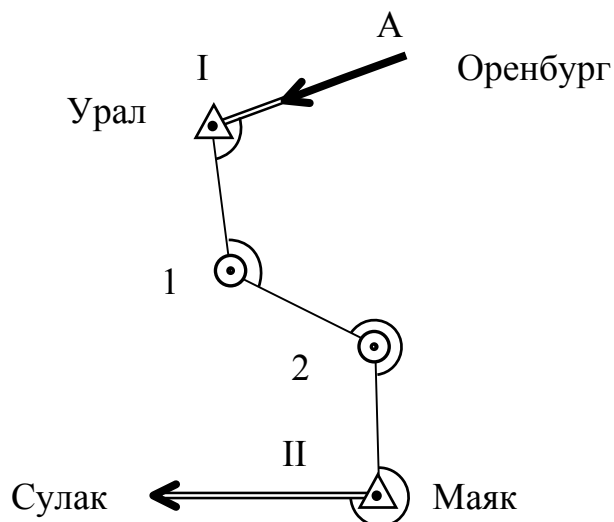


Рисунок 5 - Схема разомкнутого полигонометрического хода

Таблица 4 - Вычисление полигонометрического хода

Пункты	Измеренные углы β	Дирекционные углы α	Горизонтальные проложен. $D, м$	$\Delta x, м$	$\Delta y, м$	$X, м$	$Y, м$
1	2	3	4	5	6	7	8
A ↓ I	+1 105°34'46"	<u>247°09'58"</u>		-0,1 -5500,1	-0,2 +700,1	<u>4624007,2</u>	<u>8622003,1</u>
№1	+2 107°56'18"	172°44'45"	5 544,5		-0,1 +5300,0	4618507,0	8622703,0
№2	+2 259°18'50"	100°41'05"	5 393,5	-1000,0		4622505,7	8628002,9
II ↓ B	+2 269°59'04"	179°59'57"	5 500,1	-5 500,1	+0,1	<u>4612006,9</u>	<u>8628002,9</u>
		<u>269°59'03"</u>					
$\sum \beta =$	742°48'58"			-12000,2	+6000,2		
-	720			4624007,2	8622003,1		
	22°48'58"			4612007,0	8628003,3		
$\alpha'_{исх.}$	247°09'58"	$\sum D =$	16438	$W_x = +0,1$	$W_y = +0,4$		

$$\alpha''_{выч.} = 269°58'56''$$

$$\alpha''_{исх.} = -269°59'03''$$

$$W_\alpha = -07''$$

$$(W_\alpha)_{доп.} = \pm 24''$$

для СГС-15:

$$(W_\alpha)_{доп.} = 12'' \sqrt{n}$$

Абсолютная линейная невязка хода $W = 0,4 м$

Относительная невязка = 1/41000

Допустимая относительная невязка = 1/5000

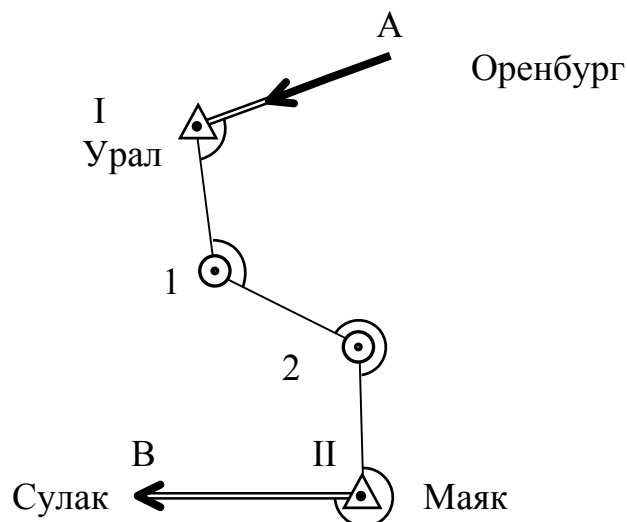


Рисунок 6 - Схема разомкнутого полигонометрического хода

Таблица 5 - Вычисление полигонометрического хода

Пункты	Измеренные углы β	Дирекционные углы α	Горизонтальные проложения $D, м$	$\Delta x, м$	$\Delta y, м$	$X, м$	$Y, м$
1	2	3	4	5	6	7	8
A							
↓	+1	<u>247°09'58"</u>					
I	105°34'46"					<u>4624007,2</u>	<u>8622003,1</u>
	+2	172°44'45"	5 544,5	-5500,1	+700,1		
№1	107°56'18"				-0,1	4618507,1	8622703,2
	+2	100°41'05"	5 393,5	-981,4	+5201,7		
№2	259°18'50"					4617525,7	8627904,9
	+2	179°59'57"	5 500,1	-5 500,1	+0,1		
II	269°59'04"					<u>4612006,9</u>	<u>8628002,9</u>
↓		<u>269°59'03"</u>					
B II'						4612025,6	8627905,0
$\sum \beta =$	742°48'58"			-11981,6	+5901,9		
-	720			4624007,2	8622003,1		
	22°48'58"			4612025,6	8627905,0		
$\alpha'_{исх}$	247°09'58"	$\sum D =$	16438	$W_x =$ +18,7	$W_y =$ -97,9		

$$\alpha''_{выч} = 269°58'56''$$

$$\alpha''_{исх} = -269°59'03''$$

$$W_{\alpha} = -07''$$

$$(W_{\alpha})_{доп} = \pm 24''$$

$$\text{Абсолютная линейная невязка хода } W =$$

$$\text{Относительная невязка} = W/\sum D = 9934,1/16438 \approx 1/2$$

$$\text{Допустимая относительная невязка} = 1/5000$$

Таблица 6 - Вычисление обратной геодезической задачи

Элементы формул	Величина
y_2	8627905,0
y_1	8628002,9
Δy	- 97,9
x_2	4612025,6
x_1	4612006,9
Δx	+18,7
$\operatorname{tg} \alpha_{1,2}$	- 5,235294
$\alpha_{1,2}$	100°48'50"
$\sin \alpha_{1,2}$	+0,982242
$\cos \alpha_{1,2}$	- 0,187619
S_1	99,8
S_2	99,7
S_{cp}	99,8

$$\operatorname{tg} \alpha_{1,2} = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad ; \quad S = \frac{x_2 - x_1}{\cos \alpha_{1,2}} = \frac{y_1 - y_2}{\sin \alpha_{1,2}} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

3 Порядок вычислений системы полигонометрических ходов

Система полигонометрических ходов с двумя и более узловыми точками уравнивается способом последовательных приближений. При уравнивании системы с одной узловой точкой используют принцип весового среднего.

Уравнивание системы полигонометрических ходов выполняют в два этапа: сначала уравнивают дирекционные углы, а затем координаты, причем отдельно абсциссы и ординаты.

Вычисления дирекционных углов, и затем, абсцисс и ординат подразделяют, в свою очередь, на два этапа: сначала получают уравненные значения на узловых пунктах, а после этого – в звеньях ходов, принимая координаты узловых пунктов и дирекционные углы связующих направлений на них за исходные.

При вычислении дирекционных углов и координат в звеньях соблюдают допуски, указанные в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 - Предельные значения невязки разомкнутого углового хода

Средняя квадратичная погрешность определения дирекционного угла	3"	5"	10"	15"	30"	60"
Предельное значение невязки	$4'' \sqrt{n}$	$5'' \sqrt{n}$	$8'' \sqrt{n}$	$12'' \sqrt{n}$	$25'' \sqrt{n}$	$40'' \sqrt{n}$

Таблица 8 - Допустимые относительные линейные невязки полигонометрического хода

Относительная средняя квадратичная погрешность измерения сторон хода	Допустимая относительная невязка разомкнутого хода звена системы ходов
1:10000	1:5000
1:1000	1:1000

Общий порядок вычислений показан на примере уравнивания системы полигонометрических ходов с двумя узловыми точками.

На схему, рисунок 3, выписывают дирекционные углы исходных сторон и координаты исходных пунктов, намечают пунктиром замыкающие звеньев, а стрелками – связующие направления. Для каждого звена составляют ведомость вычислений, таблица 3, в которой заполняют графы 1,2 и 4. В графах 3,7 и 8 вписывают исходные данные, а в конце графы 2 под чертой – значение: $\sum \beta \cdot 180^\circ$, которое вписывают (в скобках) и на чертеж сети.

¹⁾ n – число углов поворота в ходе

В таблице 8 получают дирекционные углы связующих направлений, которые вписывают в ведомости вычислений отдельных звеньев в качестве ис-

ходных данных. Затем в звеньях получают дирекционные углы всех сторон, графы 3 таблицы 3, и заполняют графы 5 и 6, в конце которых под чертой записывают значения $[\Delta x]$ и $[\Delta y]$.

Величины $[\Delta x]$ и $[\Delta y]$ вписывают на чертеж сети, пользуясь которыми выполняют уравнивание в таблицах 9 и 10 и получают координаты узловых пунктов; их помещают в графы 7 и 8 ведомостей вычисления звеньев, таблица 3, в качестве данных.

Получают и распределяют невязки W_x и W_y во всех звеньях, после чего вычисляют координаты всех не узловых определяемых пунктов в сети.

При уравнивании дирекционных углов связующих направлений α и координат X и Y последовательно выполняют следующие действия.

1) Для узловых пунктов устанавливается единая система весов, вычисляемая по формуле:

$$p_i = \frac{10}{n_i}$$

где n_i – число пунктов, включая исходные и узловые, в звене.

2) В процессе приближений используют приведенные веса p' , вычисляемые по формуле:

$$p_i' = \frac{p_i}{[p]}$$

контролируя их по формуле $[p'] = 1$

3) В приближениях очередные значения неизвестных α , x , y , которые обозначим через t , вычисляют по формуле:

$$t^{(k)} = t_0 + [p' \delta t_i^{(k)}], \quad (3.1)$$

где t_0 – округленное в меньшую сторону наименьшее вычисленное значение неизвестного;

k – номер приближения

$$\delta t_i^{(k)} = t_i^{(k)} - t_0$$

Значение t_0 вписывают внизу, под чертой.

В первой серии приближений, когда значения неизвестных получены еще не всех соседних узловых пунктов, их получают только от исходных пунктов.

Например, для дирекционного угла α_{12-13} в первом приближении получено:

$$\alpha_{12-13}^{(I)} = 351^\circ 15' 30'' + 108^\circ 15' 12'' = 99^\circ 30' 42'' \text{ – через звено I – 12}$$

$$\alpha_{12-13}^{(II)} = 171^\circ 15' 30'' + 288^\circ 15' 00'' = 99^\circ 30' 30'' \text{ – через звено II – 12}$$

Значения неизвестных, полученные от исходных данных, во всех приближениях остаются неизменными. Изменяются только значения, переданные от соседних узловых пунктов.

4) При наличии только одной узловой точки графы 3, 7, 8, 9 в таблице 8 и графы 5, 6 в таблицах 9-10 не заполняют. Отпадает надобность и в вычислении приведенных весов p' , так как значение t получают сразу по формуле среднего весового:

$$t = t_0 + \frac{[p\delta t]}{[p]}$$

В этом случае в графу 2 таблиц 9-10 вписывают величину p .

5) В предпоследней графе вычисляют значения W , а в графе 11 контролируют результаты, уравнивая по формуле $[p'W] = 0$

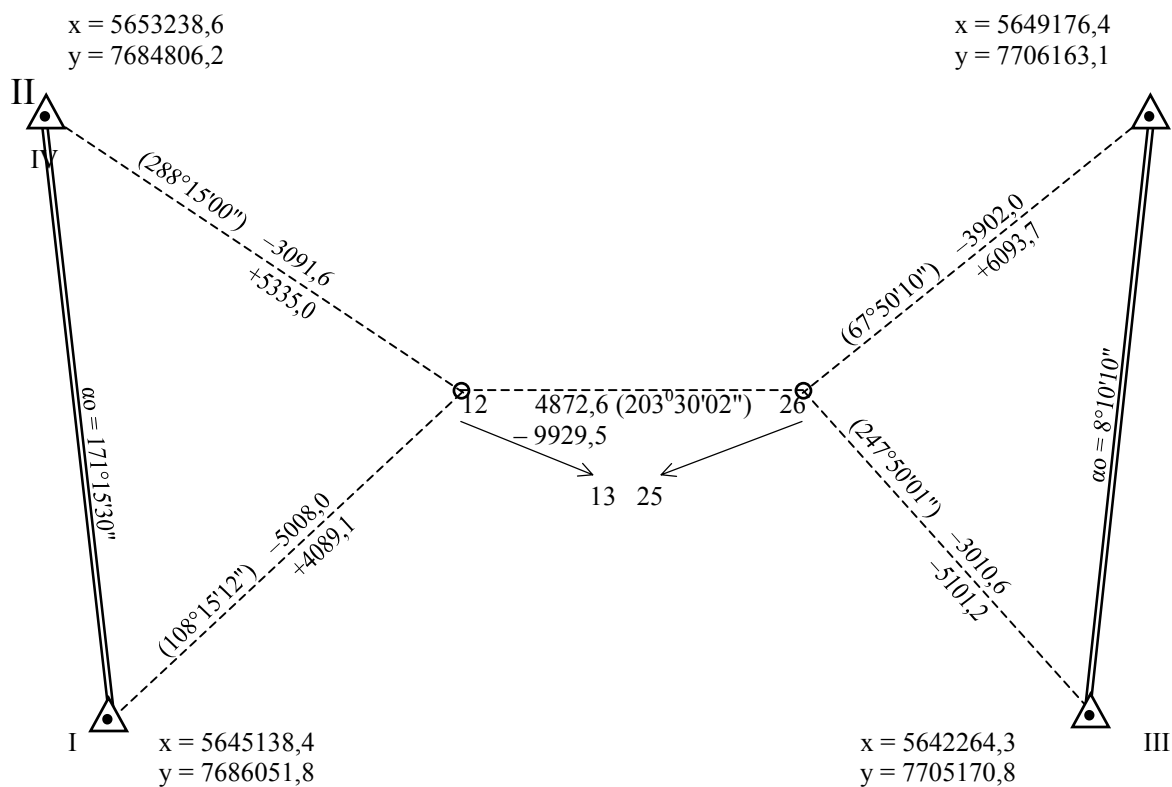


Рисунок 7 - Система полигонометрических ходов

Таблица 9 - Уравнивание системы угловых ходов с двумя связующими направлениями

Название начального пункта хода	Веса		$\alpha_{исх}$	$\sum\beta-180^\circ\cdot n$	Приближения				W	$p' \cdot W$
	p	p'			1	2	3	4		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Пункт 12										
Связующе направление 12-13 $\alpha_{ур} = 99^\circ 30' 31''$										
I	0,8	0,3	171°15'30"	108°15'12"	99°30'42" 30	42"	42"	42"	+11"	+3,3
II	1,0	0,4		288°15'00"		30	30	30	-1	-0,4
26	0,7	0,3		203°30'02"		24	22	22	-9	-2,7
	2,5	1,0	$\alpha_{ср} = 99\ 30\ 36$ $\alpha_o = 99\ 30\ 00$			32	31	31		+0,2
Пункт 26										
Связующее направление 26-25 $\alpha_{ур} = 256^\circ 00' 20''$										
III	1,1	0,4	8 10 10	247 50 01	256 00 11	11	11		-9	-3,6
IV	0,7	0,2		67 50 10		20	20	20	0	0
12	1,2	0,4		156 29 58		34	30	29	+9	+3,6
	3,0	1,0	$\alpha_{ср} = 256\ 00\ 22$ $\alpha_o = 256^\circ\ 00'\ 00''$			20	20			0

Таблица 10 – Вычисление абсцисс узловых пунктов

Звенья	р'	[Δx]	Приближения			W _x
			1	2	3	
1	2	3	4	5	6	7
Пункт 12. x = 5650146,8 м						
I-12	0,3		5 650 146,4	6,4	6,4	-0,4
II-12	0,4		7,0	7,0	7,0	+0,2
26-12	0,3	+4872,6		7,1	7,1	+0,3
			6,7 x ₀ = 5 650 140	6,8	6,8	[p'W _x] = +0,05
Пункт 26. x = 5645274,5 м						
III-26	0,4		5 645 274,9	4,9		+0,4
IV-26	0,2		4,4	4,4		-0,1
12-26	0,4	- 4872,6	4,1	4,2		-0,3
			4,5 x ₀ = 5 645 270	4,5		[p'W _x] = +0,04

Таблица 11 - Вычисление ординат узловых пунктов

Звенья	р'	[Δy]	Приближения			W _y
			1	2	3	
1	2	3	4	5	6	7
Пункт 12. y = 7690140,9 м						
I-12	0,3		7 690 140,9	0,9	0,9	0
II-12	0,4		1,2	1,2	1,2	+0,3
26-12	0,3	- 9929,5		0,5	0,4	-0,5
			1,1 y ₀ = 7 690 140	0,9	0,9	[p'W _y] = -0,03
Пункт 26. y = 7700069,9 м						
III-26	0,4		7 700 069, 6	9,6	9,6	-0,3
IV-26	0,2		9,9	9,4	9,4	-0,5
12-26	0,4	+9929,5	10,6	10,4	10,4	+0,5
			10,0 y ₀ = 7 700 060	9,9	9,9	[p'W _y] = -0,02

Список использованных источников

- 1 Инженерная геодезия / Под редакцией Михалева Д.Ш. – М.: Высшая школа, 2001, - 464 с.
- 2 Федоров В.И., Шилов В.И., Холдобаев И.А. Практикум по инженерной геодезии и аэрогеодезии – М.: Недра, 1987 – 365 с.
- 3 Хейфец Б.С., Данилевич Б.Б. и др. Практикум по инженерной геодезии – М.: Недра, 1987 – 332 с.