

*Д. И. МАСЛИЧ, канд. техн. наук, В. И. МУХА,
Р. С. СИДОРИК, канд. техн. наук*
Львовский политехнический институт

СГУЩЕНИЕ ПЛАНОВОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ МЕТОДОМ ГИРОПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДОВ

В настоящее время в связи с широким использованием свето- и радиодальномеров для сгущения триангуляции 2 и 3 кл. часто применяют метод полигонометрии. Однако при этом для привязки полигонометрических ходов нужно строить сигналы и ограничивать количество точек поворота. Если ходы прокладывают в закрытой и залесенной местности, то для соблюдения требований инструкций о форме и длинах ходов необходимы дорогостоящие сигналы.

При гироскопическом методе сгущения сетей ориентирование привязочной стороны хода выполняется гиротеодолитом без измерения привязочных углов. Кроме того, можно сократить длины сторон и варьировать формой хода так, что на большинстве пунктов ограничиться строительством простых пирамид. Все это значительно уменьшает расходы на восстановление и строительство наружных знаков на пунктах сгущаемой сети, а значит, существенно снижает стоимость сгущения геодезической основы.

Известно, что точность гирополлигонометрического хода определяют по формуле

$$\frac{M}{[S]} = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \left(\frac{m_s}{S}\right)^2 + \frac{1}{n} \left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2}, \quad (1)$$

где $\frac{M}{[S]}$ — средняя относительная погрешность хода; m_s — средняя квадратическая погрешность измерения длины линий; m_α — средняя квадратическая погрешность измерения дирекционного угла; n — количество сторон хода.

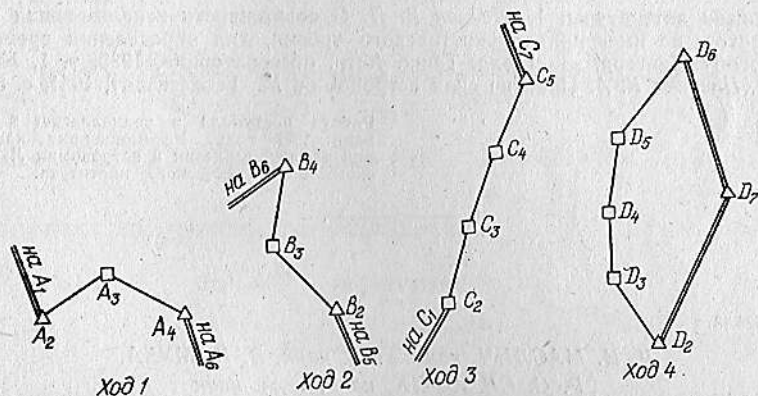


Схема гирополлигонометрических ходов.

Из формулы (1) следует, что для угловых измерений погрешность поперечного сдвига при гирополлигонометрическом методе уменьшается с увеличением числа точек поворота. Это очень важное преимущество гирополлигонометрических ходов. Чтобы выяснить возможность применения этого метода в мае—июле 1975 г. совместно с аэрогеодезическим предприятием ГУГК были выполнены работы на пунктах полигонометрии 3, 4 кл. Обоснованием постановки экспериментов послужили исследования возможности использования современных типов гиротеодолитов для определения азимутов линий с точностью $\pm 5''$ [1], проведенные на кафедре геодезии ЛПИ.

Максимальная длина гирополлигонометрических ходов, показанных на рисунке, составляет 15 км, длина сторон в ходах 2—6 км. Ходы привязывали к пунктам триангуляции 2 и 3 кл. Все измерения производили с земли. Работы выполняли в Лесостепной зоне, где очень трудно вести наблюдения из-за низкого прохождения луча над подстилающей поверхностью и наличия лесозащитных полос.

Для сравнения точности и анализа измерений по материалам ранее выполненной полигонометрии были вычислены (табл. 1):

Точность полигонометрических ходов

Номер хода	Точка поворота	Длина линии, км	α_T	Невязки (u, t, m) $f_{\beta c}$	Точность хода $f_s, m \frac{f_s}{[S]}$
1	A ₁	1,735	148°50'50,9"	$f_{\beta} = +2,1''$ $u = -0,019$ $t = +0,021$	$f_s = \pm 0,028$ $\frac{f_s}{[S]} = 1:160000$
	A ₂		62 55 42,0		
	A ₃	2,760	102 51 50,8		
	A ₄		157 28 03,8		
	A ₆				
2	B ₅	2,451	337 28 03,8	$f_{\beta} = -1,6''$ $u = +0,014$ $t = -0,180$	$f_s = \pm 0,180$ $\frac{f_s}{[S]} = 1:32000$
	B ₂		323 11 46,9		
	B ₃	3,279	336 17 49,5		
	B ₄		235 09 44,4		
	B ₆				
3	C ₁	2,222	55 09 44,4	$f_{\beta} = +5,8''$ $u = -0,042$ $t = +0,008$	$f_s = \pm 0,043$ $\frac{f_s}{[S]} = 1:174000$
	C ₂		35 31 58,1		
	C ₃	2,499	46 30 55,4		
	C ₄		22 07 10,9		
	C ₅		352 32 49,8		
	C ₇				
4	D ₁	6,378	117 11 54,7	$f_{\beta} = -5,4''$ $u = +0,110$ $t = +0,618$	$f_s = \pm 0,620$ $\frac{f_s}{[S]} = 1:25000$
	D ₂		314 32 19,7		
	D ₃	2,010	10 54 32,1		
	D ₄		40 36 04,1		
	D ₅		59 28 06,8		
	D ₆		181 02 41,3		
	D ₇				

а) дирекционные углы линий α_T , принимаемые за теоретические, по измеренным оптическим теодолитам ОТ-02 горизонтальным углам;

б) относительные и абсолютные погрешности, продольные и поперечные сдвиги по ходам (по формулам из работы [2]):

$$f_s = \pm \sqrt{f_x^2 + f_y^2}; \quad (2) \quad u = \frac{f_y [\Delta x] - f_x [\Delta y]}{L}; \quad (3)$$

$$t = \frac{f_x [\Delta x] + f_y [\Delta y]}{L}, \quad (4)$$

где f_s — абсолютная невязка хода; f_x, f_y — невязка по осям координат; u — поперечный сдвиг; t — продольный сдвиг; $[\Delta x], [\Delta y]$ — суммы приращения координат; L — длина замыкающей хода.

Гирополугонометрические ходы прокладывали по следующей программе. На пункте полигонометрии азимут определяли из 6 приемов. Каждый прием состоял из таких этапов:

- 1) наблюдение направлений на пункты полигонометрии;
- 2) определение нуля-пункта по четырем точкам реверсии;

3) пуск гиromотора и определение положения равновесия чувствительного элемента гиromотора по четырем точкам реверсии;

4) определение нуль-пункта после торможения гиromотора;

5) наблюдения направлений на пункты полигонометрии.

При этом соблюдались такие допуски:

а) расхождение нуль-пункта, определенного до и после пуска гиromотора, — одно деление, а величина нуль-пункта — три деления;

б) максимальное расхождение значений гироскопического азимута в одном приеме по трем и четырем точкам реверсии — $8''$;

в) расхождение значений гироскопического азимута в приемах — $\pm 15''$.

При измерении направлений на пункты полигонометрии визирную ось трубы наводили на визирные цилиндры простых пирамид, установленных над ними. Трубу на визирный цилиндр наводили дважды при КП и дважды при КЛ. Штрихи при помощи барабана оптического микрометра тоже совмещали дважды при каждом наведении трубы на визирный цилиндр. Наблюдения вели только в период хорошей видимости: утром — 2—3 пуска и вечером — 3—4 пуска, чтобы в сумме было 6 пусков.

При измерении направлений на пункты полигонометрии соблюдали следующие допуски:

а) расхождение значений направлений в начале и в конце пуска, а также между пусками — $6''$;

б) колебание значений двойной коллимационной ошибки — $8''$.

Когда измерения превышали указанные выше допуски, пуски повторяли.

Перед началом наблюдений каждого полигонометрического хода на привязочной стороне триангуляции 2, 3 кл. определяли постоянную поправку гиroteодолита Δ :

$$\Delta = \alpha - \alpha_{\text{гир}} + \gamma - \delta_A - \delta - c - r, \quad (5)$$

где α — дирекционный угол исходной стороны; $\alpha_{\text{гир}}$ — гироскопический азимут стороны; γ — сближение меридианов; δ_A — поправка за уклонение отвесной линии; δ — поправка за приведение на плоскость проекции Гаусса; c, r — поправки за центрировку и редукцию. Поправку за уклонение отвесной линии по малости не вводили. Поправку Δ находили из 9 пусков. Между полученными значениями допускалось расхождение $\pm 15''$. Средняя квадратическая погрешность измерения гироскопического азимута при определении поправки не превышала $\pm 2''$.

После окончания наблюдений каждого гиropолигонометрического хода вновь определяли поправку гиroteодолита Δ на той же привязочной стороне триангуляции.

Точность гиropoлигонометрических ходов

Но- мер хода	Точка поворота	$\alpha_{\text{ср}}$	Невязки (u, t, m)	Точность хода (f_s, m) $\frac{f_s}{[S]}$
1	A_2 A_3 A_4	$62^{\circ}55'44,0''$ 102 51 52,2	$u=0$ $t = \pm 0,040$	$f_s = \pm 0,040$ $\frac{f_s}{[S]} = 1:112000$
2	B_2 B_3 B_4	323 11 45,2 336 17 48,3	$u = -0,026$ $t = -0,169$	$f_s = \pm 0,171$ $\frac{f_s}{[S]} = 1:33700$
3	C_2 C_3 C_4 C_5	35 31 59,3 46 31 00,0 22 07 16,5	$u = \pm 0,092$ $t = +0,026$	$f_s = \pm 0,095$ $\frac{f_s}{[S]} = 1:78600$
4	D_2 D_3 D_4 D_5 D_6	314 32 17,2 10 54 31,7 40 36 07,8 59 28 08,5	$u = \pm 0,172$ $t = -0,482$	$f_s = \pm 0,512$ $\frac{f_s}{[S]} = 1:29800$

Для вычисления дирекционных углов по измеренным гироскопическим азимутам использовали значения поправок, полученные путем интерполирования на момент наблюдений. После введения всех поправок в измеренные гироскопические азимуты и получения дирекционных углов направлений по формулам (2), (3), (4) вычисляли относительные и абсолютные погрешности, продольные и поперечные сдвиги по ходам (табл. 2).

Сравнивая основные характеристики полигонометрических ходов, в которых дирекционные углы определены обычным и гироскопическим способами (табл. 1 и 2), видим, что большая часть погрешностей приходится на продольный сдвиг t , особенно в 4-м ходе. Это свидетельствует о том, что линии были определены менее точно, чем дирекционные углы. Зная поперечные сдвиги ходов u , можно выделить и сравнить влияние погрешностей при нахождении дирекционных углов обычным и гироскопическим методами. Сравнение этих значений для всех ходов показывает, что в обоих случаях они примерно одинаковы. Следовательно, предлагаемый метод обладает необходимой точностью и надежностью. Это подтверждают вычисленные абсолютные f_s и относительные $\frac{f_s}{[S]}$ погрешности (табл. 1 и 2). Значения относительных погрешностей могли бы быть значительно меньше, если бы линейные измерения были выполнены более точно.

Для выяснения вопроса о точности и эффективности предложенного метода оценивали точность определения гироскопиче-

ских азимутов и полученные значения дирекционных углов сравнивали с результатами полигонометрии, проложенной ранее обычным способом (табл. 3). Точность определения гироскопического азимута оценивалась тремя способами:

а) вычисляли среднюю квадратическую погрешность гироскопического азимута по внутренней сходимости на каждом пункте (табл. 3) по формуле

$$m_{\alpha} = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}}, \quad (6)$$

где V — уклонение гироскопического азимута, определенного из одного пуска, от его среднего значения на пункте; n — количество пусков на пункте.

Таблица 3

Результаты обработки полевых материалов

Номер хода	Точка поворота	$\alpha_{пр}$	Количество пусков	m_{α}	$\alpha_{обр}$	Количество пусков	m_{α}	d	δ
1	A_2	62°55'40,7"	8	±2,5"	48,4"	6	±5,3"	-7,7"	+2,0"
	A_3	102 51 56,7	6	3,5	49,2	9	6,0	+7,5	+1,4
	A_4								
2	B_2	328 11 45,0	9	6,2	45,5	6	3,4	-0,5	-1,7
	B_3	336 17 47,6	6	3,3	48,8	8	6,4	-1,2	-1,2
	B_4								
3	C_2	35 31 55,8	6	6,8	32 02,3	7	4,6	-6,5	+1,2
	C_3	46 31 01,7	7	4,8	30 58,1	6	3,2	+3,6	-4,6
	C_4	22 07 13,9	6	2,9	19,1	6	4,5	-5,2	+5,6
	C_5								
4	D_2	314 32 17,7	10	3,4	16,6	7	6,2	+1,1	-2,5
	D_3	10 54 29,0	7	8,3	34,8	8	5,0	-5,8	-0,4
	D_4	40 36 07,7	7	6,2	08,8	7	5,6	-0,3	+3,7
	D_5	59 28 10,6	7	6,9	07,1	11	2,9	+3,5	+1,7
	D_6								

$$M'_{\alpha} = \pm \frac{\sum P_i m_{\alpha}}{\sum P_i}, \quad (7)$$

Для всех пусков среднюю квадратическую погрешность определения азимута из одного пуска находили

где за единицу веса принимался один пуск. Полученная по формуле (7) вероятнейшая средняя квадратическая погрешность определения азимута из одного пуска составляет $M'_{\alpha} = \pm 4,8''$;

б) определяли разности d дирекционных углов, измеренные гиротеодолитом в прямом и обратном направлениях (табл. 3):

$$d = \alpha_{пр.} - \alpha_{обр.}; \quad (8)$$

в) вычисляли уклонения δ , полученные как разность между измеренными гироскопическими средними значениями дирекционных углов $\alpha_{\text{ср}}$ и их теоретическими значениями $\alpha_{\text{т}}$:

$$\delta = \alpha_{\text{ср}} - \alpha_{\text{т}}. \quad (9)$$

В формуле (9) $\alpha_{\text{ср}}$ — средневесовое из числа пусков при определениях прямого и обратного дирекционных углов. Используя эти значения, нашли среднюю квадратическую погрешность определения дирекционного угла гироскопическим способом предлагаемым методом по формуле

$$M_{\alpha} = \pm \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{n}} = \pm 2,8'', \quad (10)$$

где n — число сторон, по которым определяли дирекционный угол.

Приведенные результаты вычислений d и m_{α} свидетельствуют о том, что реальная точность измерений выше по сравнению с техническими характеристиками применяемых теодолитов ГИ-Б2. Особо следует отметить высокую точность получения значений δ и M_{α} . Но возможности повышения точности не исчерпаны. Сконструированы новые гиротеодолиты, позволяющие определять направления со средней квадратической погрешностью $\pm 2-3''$ [3, 4]. Применение таких гиротеодолитов позволит еще больше повысить точность определения дирекционных углов в ходах полигонометрии и реально приблизить ее к точности 3 кл.

На основании анализа проведенных экспериментов, расчета точности, сравнения характеристик гирополигонометрических ходов с характеристиками обычных ходов можно сделать следующие выводы:

1. Точность определения дирекционного угла направления гироскопическим методом по предложенной методике не превышает $\pm 5''$, что обеспечивает привязку и проложение полигонометрических ходов 4 кл.

2. Определение сторон в прямом и обратном направлениях является надежным контролем гироскопических определений и повышает их точность.

3. Поправку гиротеодолита для каждого хода следует определять в начале и в конце гироскопических определений на его примычной стороне.

4. При уменьшении длин сторон точность хода повышается (уменьшается величина поперечного сдвига) (табл. 3).

5. Для повышения эффективности работ гироскопические определения азимутов можно производить через точку.

6. Дальнейшее увеличение точности гиротеодолитов (до 1—2'') дает возможность использовать их при проложении полигонометрических ходов более высоких классов.

Список литературы: 1. Сидорик Р. С., Русин М. Н. О точности определения астрономического азимута гиротеодолитом ГИ-Б2. — «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1973, № 1, с. 89—92. 2. Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. Н. Геодезия. Ч. 2. М., Геодезиздат, 1962, 343 с. 3. Halmos F. A jelenleg alkalmazott giroteodolitok és várható fejlődésük. — «Bányási. és kohási. lapok. Bányási.», 1975, N 10, с. 679—685. 4. Halmos F. Einige Probleme der zweckmäßigen Anwendung von Kreiselmessinstrumenten in der Ingenieurgeodäsie. — «Allg. Vermess. — Nachr.», 1974, N 5, с. 179—184.

Работа поступила в редколлегию 27 декабря 1976 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.