

## Обработка ведомости вычисления координат вершин теодолитного хода

•Найдите сумму измеренных правых углов по формуле

$$\sum_{\text{изм}}^n \beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_n .$$

Для разомкнутого хода в эту сумму входят и примычные углы (рис. 4).

•Теоретическую сумму внутренних углов (правых) вычислите по формуле:

$$\sum \beta_{\text{теор}} = \alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{кон}} + 180^\circ \cdot n ,$$

где n – количество углов в полигоне,  $\alpha_{\text{нач}}$  и  $\alpha_{\text{кон}}$  – дирекционные углы начальной и конечной сторон хода.

Если в теодолитном ходе измерены внешние углы (левые), то формула 3 приобретает вид:

$$\sum \beta_{\text{теор}} = \alpha_{\text{кон}} - \alpha_{\text{нач}} + 180^\circ \cdot n .$$

При  $\alpha_{\text{нач}} > \alpha_{\text{кон}}$  из результата вычитают  $360^\circ$ .

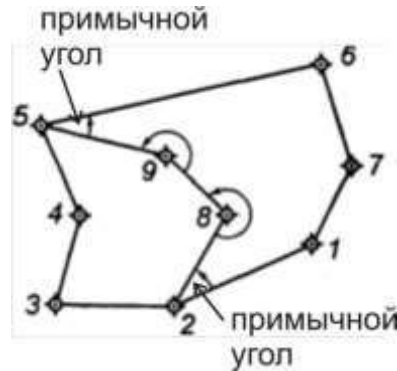


Рис. 4. Разомкнутый ход 2-8-9-5 (углы 1-2-8 и 9-5-6 – примычные)

•Рассчитайте *фактическую угловую невязку*  $f_{\beta \text{ факт}}$  теодолитного хода

•Вычислите *допустимую угловую невязку* для технических теодолитных ходов:

$$f_{\beta \text{ доп}} = 1 \sqrt{n} ,$$

где  $n$  – число измеренных углов<sup>2</sup>.

•Сравните фактическую угловую невязку теодолитного хода с допустимой:

$$f_{\beta \text{ доп}} \geq f_{\beta \text{ факт}}.$$

Если условие выполняется, то распределите эту угловую фактическую невязку с обратным знаком поровну на все углы хода.

Для этого вычислите *угловую поправку*  $\delta_{\beta}$  :

Если невязка  $f_{\beta \text{ факт}}$  не делится без остатка на число углов  $n$ , то несколько большие поправки вводят в углы с короткими сторонами, так как на результатах таких углов в большей степени сказывается неточность центрирования теодолита и визирных знаков (вех). Поправки  $\delta_{\beta}$  с округлением до десятых долей минуты (до секунд) выписывают со своими знаками в ведомость над значениями соответствующих измеренных углов (табл. 3, прил. 1). При этом во всех случаях должно соблюдаться условие

$$\sum \delta_{\beta} = -f_{\beta \text{ факт}},$$

т. е. *сумма поправок должна равняться фактической угловой невязке с обратным знаком*.

Если условие не выполняется, то проверьте все вычисления. Если в вычислениях нет ошибок, повторите измерения углов в полигоне.

**Пример.** Если  $f_{\beta \text{ факт}} = -1.3$ ;  $n = 5$ , то

$$\delta_{\beta} = \frac{-f_{\beta \text{ факт}}}{n} = \frac{+1,3}{5} = +0,2 ; +0,3' ; +0,3' ; +0,3' ; +0,2' .$$

•Вычислите исправленные углы:

$$\beta_{1 \text{ испр}} = \beta_1 \pm \delta_{\beta} ; \beta_{2 \text{ испр}} = \beta_2 \pm \delta_{\beta} \text{ и т.д.}$$

Исправленные углы запишите в соответствующую графу таблицы.

**Пример.** Если  $\beta_1 = 112^{\circ} 35,5$ ;  $\delta_{\beta} = 0,2'$  , то по формуле  $\beta_{1 \text{ испр}} = 112^{\circ} 35,5' + 0,2' = 112^{\circ} 35,7'$  .

• Для контроля просуммируйте исправленные углы и убедитесь, что сумма исправленных углов равна теоретической сумме углов, а именно

$$\sum \beta_{\text{испр}} = \sum \beta_{\text{теор}} .$$

•По известному дирекционному углу начальной стороны и исправленным внутренним углам  $\beta_{\text{испр}}$  вершин теодолитного хода вычислите *дирекционные углы* последовательно для всех сторон полигона следующим образом (дирекционный угол последующей стороны равен

дирекционному углу предыдущей стороны плюс  $180^\circ$  и минус угол между ними лежащий):

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_{2 \text{ испр}};$$

$$\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_{3 \text{ испр}};$$

и т.д.

Если в полигоне измерены левые по ходу углы, то формулы приобретают вид

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} - 180^\circ + \beta_{2 \text{ испр}};$$

$$\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} - 180^\circ + \beta_{3 \text{ испр}}; \text{ и т.д.}$$

В результате вычислений вы можете получить дирекционный угол больше  $360^\circ$ , тогда его нужно уменьшить на  $360^\circ$ , а если сумма  $\alpha_{n-1} + 180^\circ$  меньше вычитаемого угла, то её нужно сначала увеличить на  $360^\circ$ .

**Пример.** Если  $\alpha_{\text{ПЗ15-ПЗ14}} = 282^\circ 40' 12''$ ,  $\beta_{\text{ПЗ14 испр}} = 112^\circ 35.7'$ , то  $\alpha_{\text{ПЗ14-1}} = \alpha_{\text{ПЗ15-ПЗ14}} + 180^\circ - \beta_{\text{ПЗ14 испр}} = 282^\circ 40,2' + 180^\circ - 112^\circ 35,7' = 350^\circ 04'$ .

•Контролем вычисления дирекционных углов для разомкнутого хода служит повторное получение уже известного значения дирекционного угла конечной стороны. Для замкнутого хода – дирекционного угла начальной стороны.

•Переведите полученные дирекционные углы в румбы, пользуясь схемой взаимосвязи дирекционных углов и румбов (прил. 2). Подобная схема приведена в любом учебнике по геодезии.

**Пример.** Если  $\alpha_{\text{ПЗ14-1}} = 350^\circ 04'$ , то линия проходит в четвёртой четверти. Для четвёртой четверти связь дирекционных углов и румбов выражается формулой  $r = 360^\circ - \alpha$ , поэтому  $r_{\text{ПЗ14-1}} = \text{СЗ} : 9^\circ 56'$ .

•Вычислите *приращения координат* каждой стороны по формулам прямой геодезической задачи:

$$\Delta x_1 = d_1 \cos r_{1-2} \text{ и } \Delta y_1 = d_1 \sin r_{1-2}; \quad (13, 14) \quad \Delta x_2 = d_2 \cos r_{2-3} \text{ и } \Delta y_2 = d_2 \sin r_{2-3} \text{ и т.д.}$$

Знаки приращений установите по их румбам (Прил. 3).

**Пример.** Если  $r_{\text{ПЗ14-1}} = \text{СР} : 9^\circ 56'$ , то по формулам 13, 14 имеем  $\Delta x_{\text{ПЗ14-1}} = d_{\text{ПЗ14-1}} \cdot \cos r_{\text{ПЗ14-1}} = 124,08 \cdot \cos 9^\circ 56' = +122,22 \text{ м}$ .  $\Delta y_{\text{ПЗ14-1}} = d_{\text{ПЗ14-1}} \cdot \sin r_{\text{ПЗ14-1}} = 124,08 \cdot \sin 9^\circ 56' = -21,39 \text{ м}$ .

$\Delta x = d \cos r$  и  $\Delta y = d \sin r$ ; в этих формулах вместо румбов можно использовать значения дирекционных углов

•Вычислите сумму приращений всех сторон полигона по оси X ( $\sum \Delta x$ ) и по оси Y ( $\sum \Delta y$ ).

•Для разомкнутого полигона невязку в приращениях координат  $-fx, fy$  вычислите по формулам:

$$f_x = \sum \Delta x_{\text{выч}} - \sum \Delta x_{\text{теор}}, \quad (15)$$

$$f_y = \sum \Delta y_{\text{выч}} - \sum \Delta y_{\text{теор}}, \quad (16)$$

где  $\sum \Delta x_{\text{теор}} = X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}}$ ,  $\sum \Delta y_{\text{теор}} = Y_{\text{кон}} - Y_{\text{нач}}$ .

**Пример.** Если  $X_{\text{кон}} = X_{\text{ПЗ13}} = 2369,37 \text{ м}$ ,  $X_{\text{нач}} = X_{\text{ПЗ14}} = 1850,00 \text{ м}$ ,  $\sum \Delta x_{\text{выч}} = 519,239 \text{ м}$ , то

$$\sum \Delta x_{\text{теор}} = X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}} = X_{\text{ПЗ13}} - X_{\text{ПЗ14}} = 2369,37 - 1850,00 = 519,37 \text{ м}. f_x = 519,239 - 519,37 = -0,13 \text{ м}.$$

Если  $Y_{\text{кон}} = Y_{\text{ПЗ13}} = 3762,83 \text{ м}$ ,  $Y_{\text{нач}} = Y_{\text{ПЗ14}} = 3750,00 \text{ м}$ ,  $\sum \Delta y_{\text{выч}} = 13,057 \text{ м}$ , то

$$\sum \Delta y_{\text{теор}} = Y_{\text{кон}} - Y_{\text{нач}} = Y_{\text{ПЗ13}} - Y_{\text{ПЗ14}} = 3762,83 - 3750,00 = 12,83 \text{ м}. f_y = 13,057 - 12,83 = 0,23 \text{ м}.$$

•Рассчитайте абсолютную линейную невязку  $f_{\text{абс}}$ , затем относительную линейную невязку  $f_{\text{отн}}^{\text{выч}}$ :

$$f_{\text{абс}} = \pm \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad \text{а } x \quad y \quad (17)$$

$$f_{\text{отн}}^{\text{выч}} = P : f_{\text{абс}} \quad \text{выч} \quad \frac{1}{\text{доп}} \quad (18)$$

•Вычисленную относительную линейную  $f_{\text{отн}}^{\text{выч}}$  невязку сравните с допустимой относительной линейной  $f_{\text{отн}}^{\text{доп}}$  невязкой, при этом должно выполняться условие:

$$f_{\text{отн}}^{\text{выч}} \leq f_{\text{отн}}^{\text{доп}}$$

(19) где  $f_{\text{отн}}$  – допустимая относительная невязка, величина которой уста-навливается соответствующими инструкциями в зависимости от масштаба съемки и условий измерений; принимается в пределах 1:3000 – 1:1000.

•Если вычисленная относительная невязка допустима, т. е. соблюдается условие (19), то допустимы и невязки в приращениях координат  $f_x$  и  $f_y$ ; это дает основание *произвести увязку (уравнение)* приращений координат по абсциссам и ординатам. Невязки  $f_x$  и  $f_y$  распределяют по вычисленным приращениям координат пропорционально длинам сторон с обратным знаком. Весовые поправки в приращения координат определяют по формулам:

$$\delta_{\Delta x_{1-2}} = \frac{-f_x \cdot d_1}{P}; \quad \delta_{\Delta y_{1-2}} = \frac{-f_y \cdot d_1}{P}.$$

$$\delta_{\Delta x_{2-3}} = \frac{-f_x \cdot d_2}{P}; \quad \delta_{\Delta y_{2-3}} = \frac{-f_y \cdot d_2}{P} \text{ и т.д.}$$

Их значения с округлением до сантиметра записывают в ведомости над соответствующими вычисленными приращениями координат (см. Прил. 1). Для контроля вычисляют *суммы поправок*  $\delta_{\Delta x}$  и  $\delta_{\Delta y}$ , которые должны быть равны соответствующим невязкам с обратным знаком, т.

е.

$$\sum \delta_{\Delta x} = -f_x \text{ и } \sum \delta_{\Delta y} = -f_y.$$

**Пример.** Если  $f_x = -0,13$ ,  $P = 624,04$  м,  $d_{ПЗ14-1} = 124,08$  м, то

$$\delta_{\Delta x_{ПЗ14-1}} = \frac{0,13 \text{ м}}{624,04 \text{ м}} \cdot 124,08 \text{ м} = 0,03 \text{ м.}$$

•По вычисленным приращениям координат и поправкам вычислите *исправленные приращения координат*:

$$\Delta y_{1-2 \text{ испр}} = \Delta y_{1-2} \pm \delta_{\Delta y_{1-2}};$$

$$\Delta x_{1-2 \text{ испр}} = \Delta x_{1-2} \pm \delta_{\Delta x_{1-2}}. \quad (23)$$

**Пример.** Если  $\Delta x_{ПЗ14-1} = 122,22$  м,  $\delta_{\Delta x_{ПЗ14-1}} = +0,03$  м,  $\Delta y_{ПЗ14-1} = -21,39$  м,  $\delta_{\Delta y_{ПЗ14-1}} = -0,05$  м, то по формулам 22, 23 вычисляем:

$$\Delta x_{ПЗ14-1 \text{ испр}} = \Delta x_{ПЗ14-1} + \delta_{\Delta x_{ПЗ14-1}} = 122,22 \text{ м} + 0,03 \text{ м} = 122,25 \text{ м.}$$

$$\Delta y_{ПЗ14-1 \text{ испр}} = \Delta y_{ПЗ14-1} + \delta_{\Delta y_{ПЗ14-1}} = -21,39 - 0,05 = -21,44 \text{ м.}$$

Для

контроля найдите суммы исправленных приращений по оси x и по оси y, для разомкнутого хода должно выполняться равенство –  $\sum \Delta x_{\text{испр}} = \sum \Delta x_{\text{теор}} = \sum \Delta y_{\text{испр}}$

$$= \sum \Delta y_{\text{теор}} .$$

По исправленным приращениям и координатам начальной точки последовательно вычислите координаты всех вершин полигона:

$$\begin{aligned} X_2 &= X_1 + \Delta x_{1-2 \text{ испр}} ; Y_2 = Y_1 + \Delta y_{1-2 \text{ испр}} ; \\ X_3 &= X_2 + \Delta x_{2-3 \text{ испр}} ; Y_3 = Y_2 + \Delta y_{2-3 \text{ испр}} \text{ и т.д.} \end{aligned}$$

Пример расчета координат вершин разомкнутого теодолитного хода приведен в ведомости (см. прил. 1).

**Пример.** Если  $X_{\text{ПЗ14}}=1850,00\text{м}$ ;  $Y_{\text{ПЗ14}}=3750,00 \text{ м}$  ;

$$\begin{aligned} \Delta x_{\text{ПЗ14-1испр}} &= 122,25 \text{ м}; \Delta y_{\text{ПЗ14-1испр}} = -21,44 \text{ м}, \text{ то по формулам 24 и 25 находим} \\ X_1 &= X_{\text{ПЗ14}} + \Delta x_{\text{ПЗ14-1испр}} = 1850,00 + 122,25 = 1972,25 \text{ м.} \\ Y_1 &= Y_{\text{ПЗ14}} + \Delta y_{\text{ПЗ14-1испр}} = 3750,00 - 21,44 = 3728,56 \text{ м.} \end{aligned}$$

•Окончательным контролем правильности вычислений координат служит получение координат конечной точки разомкнутого теодолитного хода и получение исходных значений координат для начальной точки в случае замкнутого полигона.