ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 124 1964

КОНТРОЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРИ УРАВНИВАНИИ ВСТАВОК НОВЫХ ТОЧЕК В ТВЕРДУЮ ТРИАНГУЛЯЦИОННУЮ СЕТЬ ПО МЕТОДУ ПОСРЕДСТВЕННЫХ (КОСВЕННЫХ) ИЗМЕРЕНИЙ

В. И. АКУЛОВ

(Представлено научным семинаром кафедр маркшейдерского дела и геодезии).

Развитие рудничной триангуляционной сети, а также ее реконструкция в связи с подработкой отдельных пунктов, как правило, производится путем вставки одного или нескольких пунктов в твердую сеть.

Уравнивание вставок новых точек в твердую рудничную триангуляционную сеть, учитывая оценку точности координат новых пунктов, обычно выполняется по методу посредственных наблюдений.

Уравнивание вставок точек по методу посредственных наблюдений состоит из следующих основных этапов вычислений:

1) вычисление для вставляемых пунктов приближенных значений координат;

2) составление уравнений погрешностей и нормальных уравнений;

3) решение нормальных уравнений;

4) вычисление уравненных координат определяемых пунктов.

Ответственным этапом уравнительной обработки является составление уравнений погрешностей.

Вид уравнений погрешностей определяется схемой угловых измерений на пунктах триангуляции (твердых и вставляемых).

Так при вставке одного пункта уравнения погрешностей имеют вид:

а) при измерении углов

$$\varepsilon_i = (a_{i+1} - a_i)\delta x + (b_{i+1} - b_i)\delta y + v_i, \tag{1}$$

б) при измерении направлений

$$\varepsilon_i = -\delta z + a_i\delta x + b_i\delta y + v_i, \tag{2}$$

где ε — поправка к измеренному углу (направлению);
δx, δy — поправки к приближенным координатам;
δz — ориентирная поправка;
a, b — коэффициенты при неизвестных поправках δx и δy;
v — свободный член уравнения;
$i+1$, i — номер последующего и предыдущего направлений, заключающих угол с номером i.

В геодезической и маркшейдерской практике в настоящее время на пунктах рудничной триангуляции (твердых и вставляемых) измеряются направления. Поэтому вставки точек в рудничную триангуляционную сеть уравниваются по направлениям, используя уравнение погрешностей (2).

Количество неизвестных (ориентирных поправок δz и поправок δx и δy к приближенным координатам вставляемых пунктов) при уравнивании по направлениям определяется по формуле

$$N = n + 2к, \tag{3}$$

где n — количество пунктов (твердых и вставляемых), на которых измерялись направления;

$к$ — число вставляемых пунктов.

Если исходить из уравнений погрешностей (2), то для определения всех N неизвестных необходимо составить N нормальных уравнений, вытекающих из решения системы уравнений погрешностей (2) под условием $[P\varepsilon^2] = \min$, где P — вес измеренного направления.

Для уменьшения количества нормальных уравнений система уравнений погрешностей (2) обычно преобразуется по правилам Шрейбера. В результате преобразования уравнений погрешностей количество нормальных уравнений сокращается с $(n + 2к)$ до $2к$.

Преобразование уравнений погрешностей (2) по правилам Шрейбера требует аккуратности и большой внимательности.

Ошибка, допущенная при преобразовании уравнений погрешностей, не вскрывается известными в литературе контролями уравнительной обработки.

Известный в литературе текущий контроль уравнительной обработки по методу посредственных измерений

$$[P\varepsilon\varepsilon] - [Pvv] = [Pav]\,\delta x + [Pbv]\,\delta y, \tag{4}$$ [1]

по мнению проф. В. А. Романова, „В задаче на вставку точки... ...не имеет места, так как уравнения ошибок (погрешностей — автор) подвергаются преобразованию"[2]).

Наши исследования показали, что контроль (4) имеет место при преобразовании уравнений погрешностей (2) по правилам Шрейбера и является надежным контролем правильности их преобразования.

Докажем справедливость наших положений на вставке пункта 3 (рис. 1).

На схеме (рис. 1) пункты 1, 2, 4, 5 и 6 твердые, пункт 3 — вставляемый.

Положим, что на твердых пунктах (1, 2) и вставляемом — (3) неравноточно измерены направления с весами соответственно P_1, P_2, P_3.

Уравнения погрешностей для отдельных пунктов имеют вид:

а) для пункта 1

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= -\delta z_1 + v_1, \\ \varepsilon_2 &= -\delta z_1 + v_2, \\ \varepsilon_3 &= -\delta z_1 + a_3\delta x + b_3\delta y + v_3; \end{aligned} \tag{5}$$

б) для пункта 2

$$\begin{aligned} \varepsilon_4 &= -\delta z_2 + v_4, \\ \varepsilon_5 &= -\delta z_2 + a_5\delta x + b_5\delta y + v_5; \end{aligned} \tag{6}$$

---

[1]) Контроль написан для вставки одного пункта.

[2]) В. А. Романов. Теория ошибок и способ наименьших квадратов. Углетехиздат, стр. 231, 1952.

в) для пункта 3

$$
\begin{aligned}
\varepsilon_6 &= -\delta z_3 + a_6\delta x + b_6\delta y + v_6, \\
\varepsilon_7 &= -\delta z_3 + a_7\delta x + b_7\delta y + v_7, \\
\varepsilon_8 &= -\delta z_3 + a_8\delta x + b_8\delta y + v_8,
\end{aligned} \tag{7}
$$

где δz_1, δz_2, δz_3 — ориентирные поправки для пунктов 1, 2 и 3 соответственно.

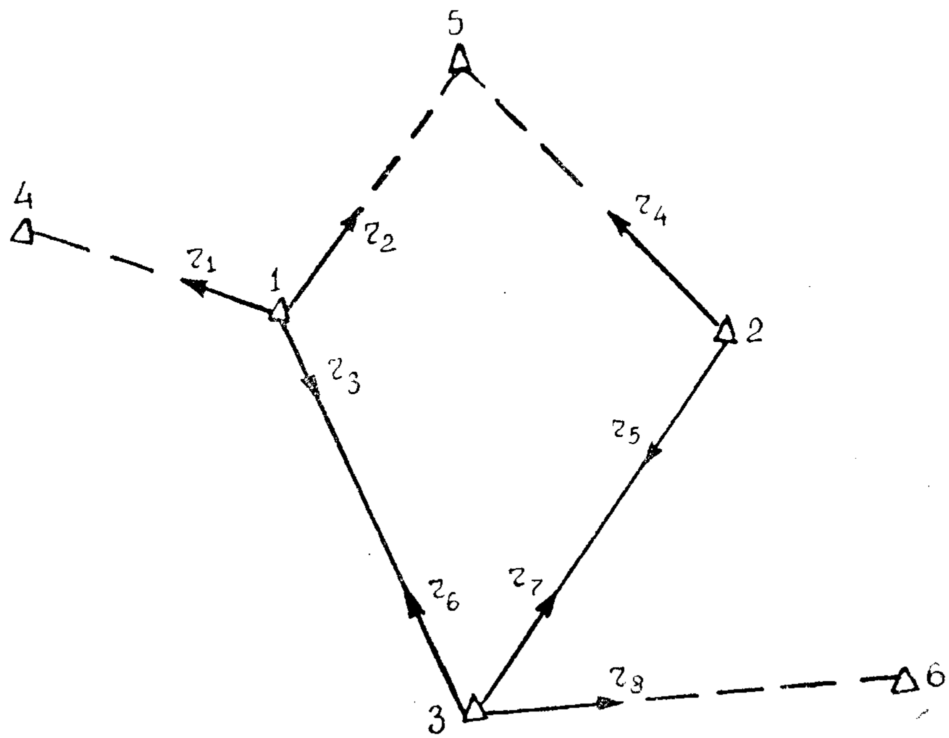

Рис. 1. Схема вставки пункта в триангуляционную сеть.

Составляем, исходя из систем уравнений погрешностей 5, 6 и 7, нормальные уравнения для каждого пункта, получим

а) для пункта 1

$$
\begin{aligned}
\underline{P_1 n_1 \delta z_1} - P_1[a]_1\delta x - P_1[b]_1\delta y - P_1[v]_1 &= 0, \\
\underline{[Paa]_1\delta x} + [Pab]_1\delta y + [Pav]_1 &= 0, \\
\underline{[Pbb]_1\delta y} + [Pbv]_1 &= 0;
\end{aligned} \tag{8}
$$

б) для пункта 2

$$
\begin{aligned}
\underline{P_2 n_2 \delta z_2} - P_2[a]_2\delta x - P_2[b]_2\delta y - P_2[v]_2 &= 0, \\
\underline{[Paa]_2\delta x} + [Pab]_2\delta y + [Pav]_2 &= 0, \\
[Pbb]_2\delta y + [Pbv]_2 &= 0;
\end{aligned} \tag{9}
$$

в) для пункта 3

$$
\begin{aligned}
\underline{P_3 n_3 \delta z_3} - P_3[a]_3\delta x - P_3[b]_3\delta y - P_3[v]_3 &= 0, \\
\underline{[Paa]_3\delta x} + [Pab]_3\delta y + [Pav]_3 &= 0, \\
\underline{[Pbb]_3\delta y} + [Pbv]_3 &= 0,
\end{aligned} \tag{10}
$$

где n_1, n_2, n_3 — количество измеренных направлений на пунктах 1, 2 и 3.

Суммируя коэффициенты уравнений (8, 9 и 10) при одноименных неизвестных поправках, получим общую систему нормальных уравнений вида

$$
\begin{aligned}
&P_1 n_1 \delta z_1 - o \cdot \delta z_2 - o \cdot \delta z_3 - P_1 [a]_1 \delta x - P_1 [b]_1 \delta y - P_1 [v]_1 = 0, \\
&o \cdot \delta z_1 + P_2 n_2 \delta z_2 - o \cdot \delta z_3 - P_2 [a]_2 \delta x - P_2 [b]_2 \delta y - P_2 [v]_2 = 0, \\
&o \cdot \delta z_1 + o \cdot \delta z_2 + P_3 n_3 \delta z_3 - P_3 [a]_3 \delta x - P_3 [b]_3 \delta y - P_3 [v]_3 = 0, \qquad (11) \\
&- P_1 [a]_1 \delta z_1 - P_2 [a]_2 \delta z_2 - P_3 [a]_3 \delta z_3 + [Paa] \delta_x + [Pab] \delta y + [Pav] = 0, \\
&- P_1 [b]_1 \delta z_1 - P_2 [b]_2 \delta z_2 - P_3 [b]_3 \delta z_3 + [Pab] \delta x + [Pbb] \delta y + [Pbv] = 0,
\end{aligned}
$$

где

$$
\begin{aligned}
&[Paa] = [Paa]_1 + [Paa]_2 + [Paa]_3, \\
&[Pbb] = [Pbb]_2 + [Pbb]_2 + [Pbb]_3, \qquad (12) \\
&[Pav] = [Pav]_1 + [Pav]_2 + [Pav]_3, \\
&[Pbv] = [Pbv]_1 + [Pbv]_2 + [Pbv]_3.
\end{aligned}
$$

Из первых трех нормальных уравнений системы (11), имеем

$$\delta z_1 = \frac{[a]_1}{n_1} \delta x + \frac{[b]_1}{n_1} \delta y + \frac{[v]_1}{n_1}, \qquad (13)$$

$$\delta z_2 = \frac{[a]_2}{n_2} \delta x + \frac{[b]_2}{n_2} \delta y + \frac{[v]_2}{n_2}, \qquad (14)$$

$$\delta z_3 = \frac{[a]_3}{n_3} \delta x + \frac{[b]_3}{n_3} \delta y + \frac{[v]_3}{n_3}. \qquad (15)$$

Подставляя ориентирные поправки δz_1, δz_2 и δz_3 из (13, 14 и 15) в два последних нормальных уравнения системы (11), получим

$$
\begin{aligned}
&[PAA] \delta x + [PAB] \delta y + [PAv] = 0, \\
&[PAB] \delta x + [PBB] \delta y + [PBv] = 0,
\end{aligned} \qquad (16)
$$

где

$$[PAA] = [Paa] - \frac{P_1 [a]_1^2}{n_1} - \frac{P_2 [a]_2^2}{n_2} - \frac{P_3 [a]_3^2}{n_3}, \qquad (17)$$

$$[PBB] = [Pbb] - \frac{P_1 [b]_1^2}{n_1} - \frac{P_2 [b]_2^2}{n_2} - \frac{P_3 [b]_3^2}{n_3}, \qquad (18)$$

$$[PAB] = [Pab] - \frac{P_1 [a]_1 [b]_1}{n_1} - \frac{P_2 [a]_2 [b]_2}{n_2} - \frac{P_3 [a]_3 [b_3]}{n_3}, \qquad (19)$$

$$[PAV] = [Pav] - \frac{P_1 [a]_1 [v]_1}{n_1} - \frac{P_2 [a]_2 [v]_2}{n_2} - \frac{P_3 [a]_3 [v]_3}{n_3}, \qquad (20)$$

$$[PBV] = [Pbv] - \frac{P_1 [b]_1 [v]_1}{n_1} - \frac{P_2 [b]_2 [v]_2}{n_2} - \frac{P_3 [b]_3 [v]_3}{n_3}, \qquad (21)$$

Нормальные уравнения (16) называются редуцированными.

При составлении нормальных уравнений, исходя из преобразованной системы уравнений погрешностей по правилам Шрейбера, также получим систему редуцированных нормальных уравнений (16).

Действительно, преобразовывая системы уравнений погрешностей (5, 6, 7) по первому правилу Шрейбера, получим

а) для пункта 1

$$\begin{aligned} \varepsilon_3' &= a_3\delta x + b_3\delta y + v_3 \text{ с весом } P_1, \\ \varepsilon_{1_\text{ф}} &= P_1[a]_1\delta x + P_1[b]_1\delta y + P_1[v]_1 \text{ с весом } -\frac{1}{n_1P_1}; \end{aligned} \tag{5а}$$

б) для пункта 2

$$\begin{aligned} \varepsilon_5' &= a_5\delta x + b_5\delta y + v_5 \text{ с весом } P_2, \\ \varepsilon_{2_\text{ф}} &= P_2[a]_2\delta x + P_2[b]_2\delta y + P_2[v]_2 \text{ с весом } -\frac{1}{n_2P_2}; \end{aligned} \tag{6а}$$

в) для пункта 3

$$\begin{aligned} \varepsilon_6' &= a_6\delta x + b_6\delta y + v_6 \text{ с весом } P_3, \\ \varepsilon_7' &= a_7\delta x + b_7\delta y + v_7 \text{ с весом } P_3, \\ \varepsilon_8' &= a_8\delta x + b_8\delta y + v_8 \text{ с весом } P_3, \\ \varepsilon_{3_\text{ф}} &= P_3[a]_3\delta x + P_3[b]_3\delta y + P_3[v]_3 \text{ с весом } -\frac{1}{n_3P_3}. \end{aligned} \tag{7а}$$

Из преобразованных систем уравнений погрешностей (5а, 6а и 7а) непосредственно получим редуцированную систему нормальных уравнений (16).

Вероятнейшие поправки δx и δy к приближенным значениям координат вставляемого пункта определяются из системы редуцированных нормальных уравнений (16).

Напишем для общей системы нормальных уравнений (11) контроль (4), получим

$$[P\varepsilon\varepsilon] - [Pvv] = -P_1[v]_1\delta z_1 - P_2[v]_2\delta z_2 - P_3[v]_3\delta z_3 + [Pav]\delta x + [Pbv]\delta y, \tag{22}$$

где $[P\varepsilon\varepsilon]$ — сумма произведений квадратов вероятнейших поправок на соответствующие веса для всех измеренных направлений в сети;

$[Pvv]$ — сумма произведений квадратов свободных членов непреобразованной системы уравнений погрешностей на соответствующие веса для всех измеренных направлений в сети;

$[v]_1$ — сумма свободных членов системы уравнений погрешностей (5) для пункта 1;

$[v]_2$ — сумма свободных членов системы уравнений погрешностей (6) для пункта 2;

$[v]_3$ — сумма свободных членов системы уравнений погрешностей (7) для пункта 3.

При

$$[v]_1 = [v]_2 = [v]_3 = 0 \tag{23}$$

контроль (22) будет иметь вид

$$[P\varepsilon\varepsilon] - [Pvv] = [Pav]\delta x + [Pbv]\delta y, \tag{24}$$

Для случая, когда сумма свободных членов систем уравнений погрешностей для каждого пункта равна нулю, т. е. когда имеет место равенство (23), свободные члены редуцированной системы нормальных уравнений (16), исходя из (20, 21), будут равны

$$[PAV] = [Pav],$$

$$[pBV] = [Pbv]. \qquad (25)$$

Поэтому

$$[P\varepsilon\varepsilon] - [Pvv] = [PAV]\,\delta x + [PBV]\,\delta y. \qquad (26)$$

При равноточных наблюдениях контроль (26) имеет вид

$$[\varepsilon\varepsilon] - [vv] = [AV]\,\delta x + [BV]\,\delta y, \qquad (26a)$$

где $[AV]$ и $[BV]$ — свободные члены редуцированной системы нормальных уравнений.

Таким образом, контроль (4) имеет место при преобразовании уравнений погрешностей по правилу Шрейбера для случая, когда на каждом пункте сумма свободных членов систем уравнений погрешностей равна нулю.

Сумма свободных членов системы уравнений погрешностей для пункта равна нулю, когда за приближенное значение дирекционного угла начального направления принимается его среднее арифметическое значение.

Действительно, например, для пункта 3 (рис. 1), имеем

$$\begin{aligned}(z_1)_3 &= (\alpha_6) - r_6,\\ (z_2)_3 &= (\alpha_7) - r_7,\\ (z_3)_3 &= (\alpha_8) - r_8,\end{aligned} \qquad (27)$$

где (α_6), (α_7), (α_8) — приближенные точно вычисленные дирекционные углы направлений 3—1, 3—2 и 3—6;
r_6, r_7, r_8 — измеренные направления;
$(z_1)_3$, $(z_2)_3$, $(z_3)_3$ — приближенные значения дирекционного угла начального направления для пункта 3.

Принимая за приближенное значение дирекционного угла начального направления для пункта 3 среднее арифметическое, получим

$$(z)_3 = \frac{(z_1)_3 + (z_2)_3 + (z_3)_3}{3}. \qquad (28)$$

Свободные члены уравнений погрешностей для пункта 3 равны

$$\begin{aligned}v_6 &= (r_6) - r_6,\\ v_7 &= (r_7) - r_7,\\ v_8 &= (r_8) - r_8,\end{aligned} \qquad (29)$$

где (r_6), (r_7), (r_8) — вычисленные значения направлений.

Так как

$$\begin{aligned}(z_6) &= (\alpha_6) - (z)_3,\\ (z_7) &= (\alpha_7) - (z)_3,\\ (z_8) &= (\alpha_8) - (z)_3,\end{aligned} \qquad (30)$$

то

$$\begin{aligned}v_6 &= (\alpha_6) - r_6 - (z)_3,\\ v_7 &= (\alpha_7) - r_7 - (z)_3,\\ v_8 &= (\alpha_8) - r_8 - (z)_3.\end{aligned} \qquad (29a)$$

Учитывая (27), получим

$$
\begin{aligned}
v_6 &= (z_1)_3 - (z)_3,\\
v_7 &= (z_2)_3 - (z)_3,\\
v_8 &= (z_3)_3 - (z)_3.
\end{aligned}
\tag{29б}
$$

Отсюда

$$v_6 + v_7 + v_8 = (z_1)_3 + (z_2)_3 + (z_3)_3 - 3\,(z)_3.$$

Учитывая (28), имеем

$$v_6 + v_7 + v_8 = 0. \tag{31}$$

Методика вычисления свободных членов уравнений погрешностей по формулам (29б) рекомендуется проф. В. А. Романовым, поэтому его заключение о неприемлемости контроля (26) при преобразовании уравнений погрешностей по правилам Шрейбера, не соответствует действительности.

При преобразовании уравнений погрешностей по правилам Шрейбера, когда свободные члены v вычисляются по формулам (29б), контроль (26) является обязательным.

Контроль (26) контролирует:

а) правильность преобразования системы уравнений погрешностей по правилам Шрейбера;

б) правильность составления коэффициентов редуцированной системы нормальных уравнений;

в) правильность решения редуцированной системы нормальных уравнений;

г) правильность вычисления вероятнейших поправок к измеренным направлениям;

д) правильность вычисления сумм $[P\varepsilon\varepsilon]$ и $[Pvv]$.

Контроль (26) не контролирует:

а) правильность вычисления коэффициентов a и b при неизвестных (δx, δy);

б) правильность определения свободных членов уравнений погрешностей.

Перед контролем (26) необходимо выполнить контроль правильности решения редуцированной системы нормальных уравнений (16) по формуле

$$[PAV]\,\delta x + [PBV]\,\delta y = -\frac{[PAV]^2}{[PAA]} - \frac{[PBV\cdot 1]}{[PBB\cdot 1]}. \tag{32}$$

При вставке двух пунктов в твердую триангуляционную сеть редуцированная система нормальных уравнений (16) имеет вид

$$
\begin{aligned}
\underline{[PAA]\,\delta x_1} + [PAB]\,\delta y_1 + [PAC]\,\delta x_2 + [PAD]\,\delta y_2 + [PAV] &= 0,\\
\underline{[PBB]\,\delta y_1} + [PBC]\,\delta x_2 + [PBD]\,\delta y_2 + [PBV] &= 0,\\
\underline{[PCC]\,\delta x_2} + [PCD]\,\delta y_2 + [PCV] &= 0,\\
\underline{[PDD]\,\delta y_2} + [PDV] &= 0,
\end{aligned}
\tag{33}
$$

где δx_1, δy_1, δx_2, δy_2 — вероятнейшие поправки к приближенным значениям координат вставляемых пунктов.

Контроли (32) и (26) запишутся так:

$$[PAV]\,\delta x_1 + [PBV]\,\delta y_1 + [PCV]\,\delta x_2 + [PDV]\,\delta y_2 =$$

$$= -\frac{[PAV]^2}{[PAA]} - \frac{[PBV\cdot 1]^2}{[PBB\cdot 1]} - \frac{[PCV\cdot 2]^2}{[PCC\cdot 2]} - \frac{[PDV\cdot 3]^2}{[PDD\cdot 3]}. \tag{34}$$

и

$$[P\varepsilon\varepsilon] - [Pvv] = [PAV]\,\delta x_1 + [pBV]\,\delta y_1 + [pCV]\,\delta x_2 + [PDV]\,\delta y_2. \tag{35}$$

Заключительный контроль уравнительной обработки производится по формулам

$$r^\circ = r + \varepsilon; \tag{36}$$

$$r^\circ = \alpha - z, \tag{37}$$

где r, r° — измеренное и уравненное значения направления;
α — уравненный дирекционный угол направления, вычисленный по уравненным координатам вставляемых пунктов;
z — уравненный дирекционный угол начального направления для пункта.

Значение z для пункта определяется по формуле

$$z = (z) + \delta z, \tag{38}$$

где (z) — приближенный дирекционный угол начального направления;
δz — вероятнейшая поправка к дирекционному углу начального направления.

Равенство уравненных значений измеренных направлений, вычисленных по формулам (36) и (37), есть заключительный контроль правильности уравнительной обработки.

Необходимо отметить, что заключительный контроль при правильно вычисленных коэффициентах a и b и свободных членах уравнений погрешностей сойдется при произвольных значениях поправок δx и δy.

Поэтому контроль (26), контролирующий уравнительную обработку, должен предшествовать заключительному контролю.

В заключение для подтверждения всех наших выводов, проверим контроль (26) на двух примерах, рассмотренных проф. В. А. Романовым в учебном пособии „Теория ошибок и способ наименьших квадратов". Углетехиздат, стр. 231 и 251, 1952.

Пример 1. Вставка одной точки (стр. 231).

Для указанного примера имеем (стр. 239)

$$[PAV]\,\delta x + [PBV]\,\delta y = -1184{,}5, \tag{I}$$

$$-\frac{[PAV]^2}{[PAA]} - \frac{[PBV\cdot 1]^2}{[PBB\cdot 1]} = -1184{,}5, \tag{II}$$

$$[P\varepsilon\varepsilon] = 118{,}0,$$

$[Pvv] = 1302{,}7$ (вычислено автором, исходя из вертикального столбца 7, табл. 49).

Подставляя суммы $[P\varepsilon\varepsilon]$ и $[Pvv]$ в правую часть контроля (26), получим

$$[P\varepsilon\varepsilon] - [Pvv] = 118{,}0 - 1302{,}7 \doteq -1184{,}7. \tag{III}$$

Сравнивая равенства (I) и (III), отмечаем, что контроль (26) удовлетворился в пределах точности вычислений.

Пример 2. Вставка двух точек (стр. 251)

Для приводимого примера имеем (стр. 268)

$$[PAV]\,\delta x_1 + [PBV]\,\delta y_1 + [PCV]\,\delta x_2 + [PDV]\,\delta y_2 = -455{,}6; \tag{IV}$$

$$-\frac{[PAV]^2}{[PAA]}-\frac{[PBV\cdot 1]^2}{[PBB\cdot 1]}-\frac{[PCV\cdot 2]^2}{[PCC\cdot 2]}-\frac{[PDV\cdot 3]^2}{[PDD\cdot 3]}=-455{,}7; \qquad \text{(V)}$$

$$[P\varepsilon\varepsilon]=115{,}6;$$

$[Pvv]=571{,}4$ (вычислено автором, исходя из вертикального столбца (6), табл. 63).

Правая часть контроля (35) равна

$$[P\varepsilon\varepsilon]-[Pvv]=115{,}6-571{,}4=-455{,}8. \qquad \text{(VI)}$$

Сравнивая правую и левую части контроля (35), отмечаем хорошую их сходимость.

Пример 3. Вставка одной точки (стр. 231).

Допустим, что во втором преобразованном уравнении погрешностей (таблица 53, стр. 237) неправильно подсчитали свободный член (вместо $V=-8{,}93$, нашли $V'=+8{,}93$).

При дальнейшем уравнивании, получим

$$[PAV]\,\delta x+[PBV]\,\delta y=-1008{,}8; \qquad \text{(A)}$$

$$-\frac{[PAV]^2}{[PAA]}-\frac{[PBV\cdot 1]^2}{[PBB\cdot 1]}=-1008{,}8; \qquad \text{(B)}$$

$$[P\varepsilon\varepsilon]=514{,}8;$$

$$[Pvv]=1207{,}4;$$

$$[P\varepsilon\varepsilon]-[Pvv]=514{,}8-1207{,}4=-692{,}6; \qquad \text{(C)}$$

$$\delta x'=0{,}067\ \text{м}, \quad \text{вместо } \delta x=-0{,}011\ \text{м},$$

$$\delta y'=-0{,}028\ \text{м}, \text{ вместо } \delta x=-0{,}102\ \text{м}.$$

Заключительный контроль при ошибочных поправках $\delta x'=0{,}067$ *м* и $\delta y'=-0{,}028$ *м* удовлетворяется.

Поэтому, если не делать контроль (26), как это рекомендует проф. В. А. Романов, то уравнивание необходимо считать выполненным правильно.

В действительности же в уравненной обработке имеет место грубая ошибка, что следует из контроля (26), правая часть которого равна $-629{,}6$, а левая $-1008{,}8$. Грубое неудовлетворение контроля (26) указывает на наличие ошибки в уравнительной обработке.

Выводы

1. При уравнивании вставок точек по направлениям с преобразованием уравнений погрешностей по правилам Шрейбера имеют место следующие текущие контроли:

а) первый

$$[PAV]\,\delta x+[PBV]\,\delta y=-\frac{[PAV]^2}{[PAA[}-\frac{[PBV\cdot 1]^2}{[PBB\cdot 1]};$$

б) второй

$$[P\varepsilon\varepsilon]-[Pvv]=[PAV]\,\delta x+[PBV]\,\delta y;$$

в) третий (заключительный)

$$r+\varepsilon=\alpha-z.$$

2. Первый контроль контролирует только правильность решения системы нормальных уравнений.

3. Второй контроль контролирует правильность преобразования систем уравнений погрешностей по правилам Шрейбера, правильность составления коэффициентов нормальных уравнений и их решения.

4. Третий (заключительный) контроль только при выполнении второго контроля контролирует правильность уравнивания вставки пункта по методу посредственных наблюдений.

5. Контроль первый должен предшествовать второму, а второй — третьему (заключительному).