УДК 528.14 : 528.3

Б. П. КВАСНЮК

ОБ УРАВНИВАНИИ СЕТЕЙ ТРИЛАТЕРАЦИИ ПО СПОСОБУ УСЛОВИЙ

Число условных уравнений в сети трилатерации (свободной или несвободной) можно подсчитать по формуле

$$r = S + A - 2k, \tag{1}$$

где r — число условных уравнений; S — число измеренных сторон; A — число дирекционных углов, не заданных исходными координатами; k — число определяемых пунктов.

Если для составления условных уравнений использовать прием, изложенный в работе [2], то возможны уравнения двух видов: 1. Уравнения, соответствующие избыточным сторонам; 2. Уравнения, соответствующие избыточным дирекционным углам.

Уравнения первого вида для небольших систем трилатерации приведены в работах [2] и [3] и даны правила их составления.

Условные уравнения второго вида возможны, когда в сетях, кроме исходного дирекционного угла, заданы дирекционные углы сторон, соединяющих определяемые пункты.

Рассмотрим составление условных уравнений обоих видов в сплошной сети трилатерации.

1. **Условные уравнения, соответствующие избыточным сторонам.**

Пусть в сети (рис. 1) задан исходный пункт A и дирекционный угол α_{AI}. Приближенные координаты пункта I вычисляются по измеренному значению стороны s_1 и дирекционному углу α_{AI}. Если координаты остальных пунктов вычислять по цепям треугольников, указанным стрелками (см. рис. 1), то стороны s_{18}, s_{19}, s_{30}, s_{31} и s_{32} будут избыточными.

Уравнение поправок стороны s_j, соединяющей определяемые пункты i и k, записываем так:

$$v_j = \cos\alpha_{ik}\,\delta x_k + \sin\alpha_{ik}\,\delta y_k - \cos\alpha_{ik}\,\delta x_i - \sin\alpha_{ik}\,\delta y_i + l_j, \tag{2}$$

где v_j — поправка стороны; α_{ik} — приближенное значение дирекционного угла направления; δx_k, δy_k, δx_i, δy_i — поправки координат пунктов k и i; $l_j = s^0_j - s_j$ — свободный член; s^0_j — приближенное значение стороны, соответствующее приближенным координатам пунктов i и k; s_j — измеренное значение стороны.

Если сторона s_j соединяет исходный пункт A с определяемым k, то

$$v_j = \cos\alpha_{Ak}\,\delta x_k + \sin\alpha_{Ak}\,\delta y_k + l_j. \tag{3}$$

Свободные члены уравнений поправок необходимых сторон равны нулю.

Исходному дирекционному углу α_{AI} соответствует уравнение поправок

$$\delta\alpha_{AI} = -\rho'' \frac{\sin\alpha_{AI}}{s_1}\delta x_I + \rho'' \frac{\cos\alpha_{AI}}{s_1}\delta y_I. \tag{4}$$

Считая α_{AI} жестким $(\delta\alpha_{AI}=0)$, имеем

$$-\sin\alpha_{AI}\,\delta x_I + \cos\alpha_{AI}\,\delta y_I = 0. \tag{5}$$

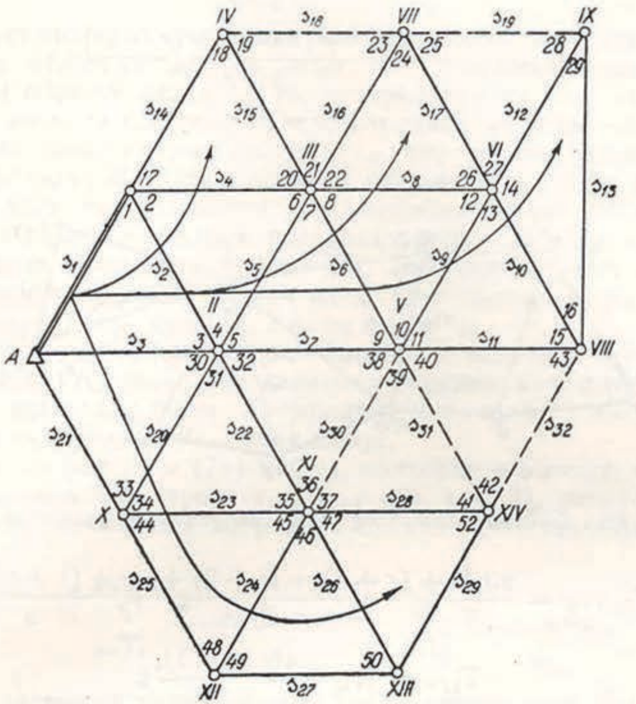

Рис. 1. Схема сети трилатерации.

Условное уравнение, полученное для избыточной стороны s_{18} путем перехода от уравнений погрешностей, имеет такой вид:

$$-a_{18}v_{18} - a_{17}v_{17} + a_{16}v_{16} - a_9 v_9 + a_8 v_8 - a_7 v_7 + a_6 v_6 + a_{15}v_{15} -$$
$$- a_{14}v_{14} + (-a_5^{\text{VII}} + a_5^{\text{IV}})\,v_5 + (a_4^{\text{VII}} - a_4^{\text{IV}})\,v_4 + (-a_3^{\text{VII}} + a_3^{\text{IV}})\,v_3 +$$
$$+ (a_2^{\text{VII}} - a_2^{\text{IV}})\,v_2 - [(a_2^{\text{VII}} - a_2^{\text{IV}})\cos 1 + (a_4^{\text{VII}} - a_4^{\text{IV}})\cos(1+2) -$$
$$- a_{14}\cos(1+2+17)]\,v_1 + l_{18} = 0. \tag{6}$$

Коэффициенты вычисляются:

$a_{18}=1;$

$a_{17}=T_{17-18}a_{18};$ $\qquad$ $a_{16}=T_{16-18}a_{18};$

$a_9=T_{9-17}a_{17};$ $\qquad$ $a_8=T_{8-17}a_{17};$

$a_7=T_{7-9}a_9;$ $\qquad$ $a_6=T_{6-9}a_9;$ $\qquad$ (7a)

$a^{\text{VII}}{}_5=T_{5-6}a_6+T_{5-8}a_8+T_{5-16}a_{16};$ $\qquad$ $a^{\text{VII}}{}_4=T_{4-6}a_6+T_{4-8}a_8+T_{4-16}a_{16};$

$a^{\text{VII}}{}_3=T_{3-5}a^{\text{VII}}{}_5+T_{3-7}a_7;$ $\qquad$ $a^{\text{VII}}{}_2=T_{2-5}a^{\text{VII}}{}_5+T_{2-7}a_7.$

$$a_{15}=T_{15-18}a_{18}; \qquad a_{14}=T_{14-18}a_{18};$$
$$a^{IV}_5=T_{5-15}a_{15}; \qquad a^{IV}_4=T_{4-15}a_{15}; \qquad (7б)$$
$$a^{IV}_3=T_{3-5}a^{IV}_5; \qquad a^{IV}_2=T_{2-5}a^{IV}_5.$$

Величины T_{j-m} и $T_{(j-1)-m}$, нужные для получения значений коэффициентов при поправках сторон s_j и s_{j-1}, необходимых для вычисления приближенных координат пункта K (рис. 2), определяются формулами:

$$T_{j-(j+1)}=\frac{\sin[r+(r+1)]}{\sin r};$$

$$T_{j-(j+2)}=\frac{\sin[r+(r+1)+(r+2)]}{\sin r}; \qquad (8а)$$

. . . .

. . . .

. . . .

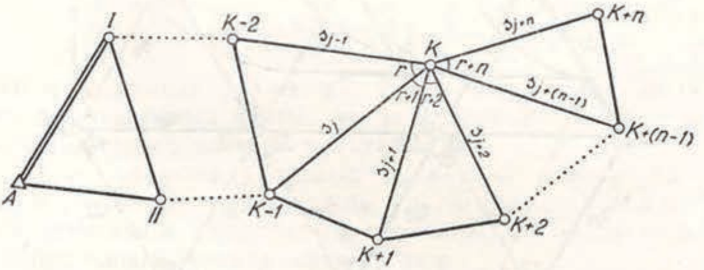

Рис. 2. Вычисление коэффициентов условных уравнений.

$$T_{j-(j+n)}=\frac{\sin[r+(r+1)+(r+2)+\cdots+(r+n)]}{\sin r};$$

$$T_{(j-1)-(j+1)}=\frac{\sin(r+1);}{\sin r};$$

$$T_{(j-1)-(j+2)}=\frac{\sin[(r+1)+(r+2)]}{\sin r};$$

. . . . (8б)

$$T_{(j-1)-(j+n)}=\frac{\sin[(r+1)+(r+2)+\cdots+(r+n)]}{\sin r}.$$

Чтобы установить правила, которые позволили бы механически (без вывода) записать условное уравнение и формулы для вычисления коэффициентов, проанализируем уравнение (6) и формулы (7а), (7б).

В уравнение (6), соответствующее избыточной стороне s_{18}, входит поправка этой стороны и поправки сторон, необходимые для вычисления приближенных координат пунктов *IV* и *VII*, то есть пунктов, между которыми расположена избыточная сторона. Приближенные координаты пункта *IV* вычислялись по цепи треугольников со сторонами s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_{14} и s_{15}, а пункта *VII* — по s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8, s_9, s_{16} и s_{17}.

Коэффициенты при поправках необходимых сторон (7а), (7б) и их знаки в уравнении (6) образуются отдельно по каждой цепи треугольников. Поэтому коэффициенты при поправках v_2, v_3, v_4 и v_5 состоят из двух частей: a^{IV}_j и a^{VII}_j (верхние индексы указывают номер конечного пункта цепи треугольников).

Знаки коэффициентов легко проставить, пользуясь правилами, установленными в работе [2]. Эти правила следующие.

Коэффициент при поправке избыточной стороны всегда равен единице со знаком минус. Знаки коэффициентов при поправках трех сторон, идущих с конечного пункта цепи треугольников, проставляются по правилу: знаки при поправках двух крайних сторон (s_{14} и s_{18} — пункт IV и s_{17} и s_{18} — пункт VII) — всегда отрицательные; знак при поправке средней стороны (s_{15} — пункт IV и s_{16} — пункт VII) — положительный. Полученные знаки при поправках двух конечных необходимых сторон каждой цепи треугольников определяют знаки коэффициентов при поправках каждой пары необходимых сторон во всей цепи. Приведем примеры.

Выше установлено, что знаки коэффициентов при поправках сторон s_{14} и s_{15}, необходимых для вычисления приближенных координат пункта IV и образующих угол 18, распределяются так: при поправке стороны s_{14}, которая образует правое направление угла,— знак отрицательный; знак при поправке стороны s_{15}, образующей левое направление,— положительный. Этому правилу подчиняются знаки при поправках сторон цепи треугольников, соединяющей пункт IV с исходным дирекционным углом. Так, при поправках сторон s_4 и s_5, необходимых для вычисления координат пункта III, коэффициент $a^{IV}{}_4$ имеет знак минус, а коэффициент $a^{IV}{}_5$ — знак плюс. При поправках V_2 и V_3 знаки распределяются: минус при $a^{IV}{}_2$ и плюс при $a^{IV}{}_3$.

В цепи треугольников, которая соединяет исходный дирекционный угол с пунктом VII, знаки определяются знаками коэффициентов a_{16} и a_{17}. Поэтому знак плюс имеют коэффициенты a_8, a_6, $a^{VII}{}_4$ и $a^{VII}{}_2$, а коэффициенты a_9, a_7, $a^{VII}{}_5$ и $a^{VII}{}_3$ — знак минус.

Анализируя формулы (7а) и (7б), приходим к выводу, что коэффициенты при поправках сторон s_j и s_{j-1} (см. рис. 2), необходимых для вычисления приближенных координат пункта K, вычисляются по формулам:

$$a_j = \sum_{m=j+1}^{m=j+n} T_{j-m}\, a_m;\; a_{j-1} = \sum_{m=j+1}^{m=j+n} T_{(j-1)-m}\, a_m. \tag{9}$$

Число слагаемых равно общему числу сторон этой цепи треугольников, идущих с пункта K, без двух. Так, например, в цепи треугольников, которая соединяет пункт VII с исходным дирекционным углом, с пункта V идут стороны s_7, s_6 и s_9. Коэффициенты a_7 и a_6 равны произведению коэффициента a_9 на T_{7-9} и T_{6-9} соответственно.

Особо следует остановиться на образовании коэффициента при поправке стороны s_1, имеющей исходный дирекционный угол. Он вычисляется как алгебраическая сумма произведений коэффициентов при поправках сторон s_2, s_4 и s_{14}, которые идут с пункта I, на косинусы углов между сторонами s_2, s_4, s_{14} и стороной s_1. Знаки слагаемых противоположны знакам коэффициентов при поправках v_2, v_4 и v_{14}.

Для избыточной стороны s_{19} условное уравнение записываем:

$$\begin{gathered} -v_{19} - b_{13}v_{13} + b_{12}v_{12} - b_{11}v_{11} + b_{10}v_{10} - b_{16}v_{16} + b_{17}v_{17} + \\ + (-b_9^{IX} + b_9^{VII})v_9 + (b_8^{IX} - b_8^{VII})v_8 + (-b_7^{IX} + b_7^{VII})v_7 + (b_6^{IX} - b_6^{VII})v_6 + \\ + (-b_5^{IX} + b_5^{VII})v_5 + (b_4^{IX} - b_4^{VII})v_4 + (-b_3^{IX} + b_3^{VII})v_3 + (b_2^{IX} - b_2^{VII})v_2 - \\ - [(b_2^{IX} - b_2^{VII})\cos 1 + (b_4^{IX} - b_4^{VII})\cos(1+2)]v_1 + l_{19} = 0. \end{gathered} \tag{10}$$

Коэффициенты по аналогии с (9) вычисляются по формулам:

$$b_j = \sum_{m=j+1}^{m=j+n} T_{j-m}\, b_m;\; b_{j-1} = \sum_{m=j+1}^{m=j+n} T_{(j-1)-m}\, b_m. \tag{11}$$

Коэффициент при поправке v_1 равен сумме произведений коэффициентов при поправках v_2 и v_4 на косинусы углов между сторонами s_2, s_4 и стороной s_1. Знаки произведений противоположны знакам коэффициентов при поправках v_2 и v_4.

Сравнивая коэффициенты при поправке v_1 в уравнениях (6) и (10), приходим к выводу, что коэффициент при поправке стороны, имеющей исходный дирекционный угол, в каждом условном уравнении вычисляется как алгебраическая сумма произведений коэффициентов при поправках всех сторон, идущих с определяемого пункта I (пункта, который расположен на конце стороны с исходным дирекционным углом), в том же условном уравнении на косинусы соответствующих углов. Знак произведения $a_j \cos r$ всегда противоположен знаку a_j в уравнении.

Приводим также условные уравнения, соответствующие избыточным сторонам s_{30}, s_{31} и s_{32}:

$$-v_{30}+c_7v_7-c_6v_6+c_5v_5-c_4v_4-c_{23}v_{23}+c_{22}v_{22}-c_{21}v_{21}+c_{20}v_{20}+ \\ +(c_3^{\mathrm{XI}}+c_3^{\mathrm{V}})v_3+(c_2^{\mathrm{XI}}-c_2^{\mathrm{V}})v_2-[(c_2^{\mathrm{XI}}-c_2^{\mathrm{V}})\cos 1- \\ -c_4\cos(1+2)]v_1+l_{30}=0; \qquad (12)$$

$$-v_{31}+d_7v_7-d_6v_6+d_5v_5-d_4v_4-d_{29}v_{29}+d_{28}v_{28}-d_{27}v_{27}+d_{26}v_{26}- \\ -d_{25}v_{25}+d_{24}v_{24}-d_{23}v_{23}+d_{22}v_{22}-d_{21}v_{21}+d_{20}v_{20}+(-d_3^{\mathrm{XIV}}+d_3^{\mathrm{V}})v_3+ \\ +(d_2^{\mathrm{XIV}}-d_2^{\mathrm{V}})v_2-[(d_2^{\mathrm{XIV}}-d_2^{\mathrm{V}})\cos 1-d_4\cos(1+2)]v_1+l_{31}=0; \qquad (13)$$

$$-v_{32}+l_{11}v_{11}-l_{10}v_{10}+l_9v_9-l_8v_8+l_7v_7-l_6v_6+l_5v_5-l_4v_4- \\ -l_{29}v_{29}+l_{28}v_{28}-l_{27}v_{27}+l_{26}v_{26}-l_{25}v_{25}+l_{24}v_{24}-l_{23}v_{23}+ \\ +l_{22}v_{22}-l_{21}v_{21}+l_{20}v_{20}+(-l_3^{\mathrm{XIV}}+l_3^{\mathrm{VIII}})v_3+(l_2^{\mathrm{XIV}}-l_2^{\mathrm{VIII}})v_2- \\ -[(l_2^{\mathrm{XIV}}-l_2^{\mathrm{VIII}})\cos 1-l_4\cos(1+2)]v_1+l_{32}=0. \qquad (14)$$

Коэффициенты уравнений (12)—(14) при поправках каждой пары необходимых сторон вычисляются следующим образом:

$$f_j=\sum_{m=j+1}^{m=j+n} T_{j-m}f_m; \quad f_{j-1}=\sum_{m=j+1}^{m=j+n} T_{(j-1)-m}f_m. \qquad (15)$$

2. Условные уравнения, соответствующие избыточным дирекционным углам. Если в сети трилатерации заданы дирекционные углы сторон, расположенных между определяемыми пунктами, то каждому такому дирекционному углу соответствует условное уравнение.

Уравнение поправок жесткого дирекционного угла α_{ik} (пункты i и k определяемые) имеет такой вид:

$$-\sin\alpha_{ik}\,\delta x_k+\cos\alpha_{ik}\,\delta y_k+\sin\alpha_{ik}\,\delta x_i-\cos\alpha_{ik}\,\delta y_i+\frac{s_j}{\rho''}l_{ik}=0, \qquad (16)$$

где s_j — измеренное значение стороны, соединяющей пункты i и k; $l_{ik}=\alpha^0_{ik}-\alpha_{ik}$; α^0_{ik} — приближенное значение дирекционного угла, соответствующее приближенным координатам пунктов i и k; α_{ik} — заданное значение дирекционного угла.

Условное уравнение получим, если в (16) подставим значения δx_k, δy_k, δx_i, δy_i, определенные из последовательного решения уравнений поправок исходного дирекционного угла и сторон, необходимых для вычисления приближенных координат пунктов i и k.

Рассмотрим конкретные случаи:

а) в сети (см. рис. 1) задан дирекционный угол $\alpha_{\mathrm{XI-XIII}}$ необходимой стороны s_{26}. Соответствующее ему условное уравнение записываем:

$$-g_{27}v_{27}+g_{26}v_{26}+g_{25}v_{25}+g_{24}v_{24}-g_{23}v_{23}+g_{22}v_{22}-g_{21}v_{21}+$$

$$+g_{20}v_{20}-g_3v_3+g_2v_2-g_2\cos 1\cdot v_1-\frac{s_{26}}{\rho''}l_{\text{XI-XIII}}=0. \qquad (17)$$

Коэффициенты уравнения вычисляются:

$$g_{27}=\operatorname{cosec}50; \qquad g_{26}=\operatorname{ctg}50;$$

$$g_{25}=T_{25-27}g_{27}; \qquad g_{24}=T_{24-27}g_{27};$$

$$g_{23}=T_{23-24}g_{24}+T_{23-26}g_{26}=\frac{\cos(35+45+46)}{\sin 35};$$

$$g_{22}=T_{22-24}g_{24}+T_{22-26}g_{26}+\frac{\cos(45+46)}{\sin 35}; \qquad (18)$$

$$g_{21}=T_{21-23}g_{23}+T_{21-25}g_{25}; \quad g_{20}=T_{20-23}g_{23}+T_{20-25}g_{25};$$

$$g_3=T_{3-20}g_{20}+T_{3-22}g_{22}; \quad g_2=T_{2-20}g_{20}+T_{2-22}g_{22}.$$

Величины T вычисляются согласно (8а), (8б).

б) задан дирекционный угол $\alpha_{\text{VIII-IX}}$ необходимой стороны s_{13}. Условное уравнение и формулы для вычисления коэффициентов имеют такой вид:

$$-p_{13}v_{13}+p_{12}v_{12}-p_{11}v_{11}+p_{10}v_{10}-p_9v_9+p_8p_8-p_7v_7+p_6v_6-$$

$$-p_5v_5+p_4v_4-p_3v_3+p_2v_2-[p_2\cos 1+p_4\cos(1+2)]v_1+\frac{s_{13}}{\rho''}l_{\text{VIII-IX}}=0 \qquad (19)$$

$$p_{13}=\operatorname{ctg}29; \quad p_{12}=\operatorname{cosec}29;$$

$$p_{11}=T_{11-13}p_{13}+\frac{\cos 16}{\sin 15}; \quad p_{10}=T_{10-13}p_{13}+\frac{\cos(15+16)}{\sin 15}. \qquad (20)$$

При поправках остальных четырех пар необходимых сторон коэффициенты вычисляются по формулам:

$$p_j=T_{j-(j+2)}p_{j+2}+T_{j-(j+4)}p_{j+4};$$

$$p_{j-1}=T_{(j-1)-(j+2)}p_{j+2}+T_{(j-1)-(j+4)}p_{j-4}. \qquad (21)$$

в) задан дирекционный угол $\alpha_{\text{V-XIV}}$ избыточной стороны s_{31}. Условные уравнение можно записать:

$$-q_7v_7+q_6v_6-q_5v_5+q_4q_4-q_{29}v_{29}+q_{28}v_{28}-q_{27}v_{27}+q_{26}v_{26}-$$

$$-q_{25}v_{25}+q_{24}v_{24}-q_{23}v_{23}+q_{22}v_{22}-q_{21}v_{21}+q_{20}v_{20}-(q_3^{\text{XIV}}+q_3^{\text{V}})v_3+$$

$$+(q_2^{\text{XIV}}+q_2^{\text{V}})v_2-[(q_2^{\text{XIV}}+q_2^{\text{V}})\cos 1+q_4\cos(1+2)]v_1+\frac{s_{31}}{\rho''}l_{\text{V-XIX}}=0. \qquad (22)$$

Коэффициенты определяются:

$$q_7=\frac{\cos(0+38+39)}{\sin 9}; \qquad q_6=\frac{\cos(38+39)}{\sin 9}; \qquad (23а)$$

$$q_5=T_{5-6}q_6; \qquad q_4=T_{4-6}q_6;$$

$$q_3^{\text{V}}=T_{3-5}+T_{3-7}q_7; \qquad q_2^{\text{V}}=T_{2-5}q_5+T_{2-7}q_7;$$

$$q_{29}=\frac{\cos 41}{\sin 52}; \qquad q_{28}=\frac{\cos(41+52)}{\sin 52}; \tag{23б}$$

$$q_{27}=T_{27-29}q_{29}; \qquad q_{26}=T_{26-29}q_{29};$$

$$q_{25}=T_{25-27}q_{27}; \qquad q_{24}=T_{24-27}q_{27};$$

$$q_{23}=T_{23-24}q_{24}+T_{23-26}q_{26}+T_{23-28}q_{28}; \qquad q_{22}=T_{22-24}q_{24}+T_{22-26}q_{26}+T_{22-28}q_{28};$$

$$q_{21}=T_{21-23}q_{23}+T_{21-25}q_{25}; \qquad q_{20}=T_{20-23}q_{23}+T_{20-25}q_{25};$$

$$q_3^{\mathrm{XIV}}=T_{3-20}q_{20}+T_{3-22}q_{22}; \qquad q_2^{\mathrm{XIV}}=T_{2-20}q_{20}+T_{2-22}q_{22}.$$

В каждое уравнение (17), (19) и (22) входят поправки сторон, необходимых для вычисления приближенных координат пунктов, расположенных на концах стороны, которая имеет избыточный дирекционный угол.

Знаки коэффициентов при поправках двух сторон, необходимых для вычисления координат пункта K и образующих угол r, распределяются так: знак коэффициента при поправке стороны, образующей правое направление угла, — всегда положительный, а при поправке стороны, образующей левое направление, — отрицательный.

Коэффициент при поправке стороны s_1, имеющей исходный дирекционный угол, образуется по правилам, которые установлены выше для коэффициента при поправке v_1 в уравнениях (6), (10), (12)—(14).

Из формул (18), (21), (23а) и (23б) видно, что коэффициенты вычисляются по формулам, аналогичным (9), (11) и (15). Исключением являются коэффициенты при поправках двух пар сторон, необходимых для вычисления приближенных координат пунктов, расположенных на концах стороны, которая имеет избыточный дирекционный угол. Такими коэффициентами являются: g_{27}, g_{26} и g_{23}, g_{22}; p_{13}, p_{12} и p_{11}, p_{10}; q_7, q_6 и q_{29}, q_{28}. Однако при получении этих коэффициентов также наблюдается закономерность. Так коэффициенты при поправках стороны, имеющей избыточный дирекционный угол, и парной с ней необходимой стороны образуются: первый (q_{26} и p_{13}) всегда равен котангенсу, а второй (g_{27} и p_{12}) — косекансу угла между этими сторонами.

Чтобы записать в общем виде формулы для вычисления g_{23} и g_{22}, p_{11} и p_{10}, q_7 и q_6, q_{29} и q_{28}, обратимся к рис. 2. Коэффициенты при поправках сторон s_j и s_{j-1}, необходимых для вычисления приближенных координат пункта K, расположенного на конце стороны s_{j+n} с заданным дирекционным углом $\alpha_{K-(K+n)}$, вычисляются:

$$t_j=\sum_{m=j+n}^{m=j+n} T_{j-m}t_m+\frac{\cos[r+(r+1)+(r+2)+\cdots+(r+n)]}{\sin r};$$

$$t_{j-1}=\sum_{m=j+1}^{m=j+n} T_{(j-1)-m}t_m+\frac{\cos[(r+1)+(r+2)+\cdots+(r+n)]}{\sin r}. \tag{24}$$

3. **Вычисление поправок координат.** После составления и решения нормальных уравнений и вычисления поправок сторон можно вычислить поправки приближенных координат определяемых пунктов, пользуясь готовыми формулами.

Поправки координат определяемого пункта i, расположенного на конце стороны s_j, которая имеет исходный дирекционный угол α_{Ji} (пункт J исходный), определяются:

$$\delta x_i=\cos\alpha_{Ji}v_j;$$

$$\delta y_i=\sin\alpha_{Ji}v_j. \tag{25}$$

Поправки координат всех остальных пунктов вычисляются последовательно по цепочкам треугольников, образованным необходимыми сторонами. Для пункта ряда K (см. рис. 2) δx_K и δy_K вычисляются:

$$\delta x_K = \frac{\sin\alpha_{(K-2)-K}(v_j + \cos\alpha_{(K-1)-K}\,\delta x_{K-1} + \sin\alpha_{(K-1)-K}\,\delta y_{K-1}) - \\ - \sin\alpha_{(K-1)-K}(v_{j-1} + \cos\alpha_{(K-2)-K}\,\delta x_{K-2} + \sin\alpha_{(K-2)-K}\,\delta y_{K-2})}{\sin r};$$

$$\delta y_K = \frac{-\cos\alpha_{(K-2)-K}(v_j + \cos\alpha_{(K-1)-K}\,\delta x_{K-1} + \sin\alpha_{(K-1)-K}\,\delta y_{K-1}) + \\ + \cos\alpha_{(K-1)-K}(v_{j-1} + \cos\alpha_{(K-2)-K}\,\delta x_{K-2} + \sin\alpha_{(K-2)-K}\,\delta y_{K-2})}{\sin r}. \qquad (26)$$

В заключение отмечаем, что если бы жесткими были пункты A и I (см. рис. 1), тогда в уравнениях (6), (10), (12)—(14), (17), (19) и (22) отсутствовал бы член с поправкой стороны s_1 ($v_1 = 0$), а поправки координат всех определяемых пунктов вычислялись бы по формулам (26).

Таким образом, чтобы уравнять любую сеть трилатерации, необходимо: выбрать избыточные стороны; пользуясь установленными правилами, написать условные уравнения для избыточных сторон и дирекционных углов, а также формулы коэффициентов; получив поправки сторон, по готовым формулам найти поправки приближенных координат определяемых пунктов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никифоров Б. И., Терпугов К. Н. Вычисление коэффициентов условных уравнений трилатерации. — «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1968, вып. 2.

2. Терпугов К. Н., Гордеев Ю. А. Уравнивание линейных триангуляций по методу условий с использованием типового условного уравнения и механических правил. — «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1961, вып. 4.

3. Терпугов К. Н. Об уравнивании свободных фигур трилатерации.— «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1967, вып. 1.

Работа поступила в редколлегию 31 мая 1973 г. Рекомендована кафедрой инженерной геодезии Львовского политехнического института.