

Пункты 1, 13 являются жесткими. Среднеквадратическая погрешность измерения линии равна 1 см. Необходимо, чтобы погрешность уравненных координат пунктов не превышала 1,5 см.

Определив положение каждого пункта линейной засечкой из исходных, получим минимальное количество линий (в данном случае 16), позволяющих предвычислить точность сети. Все остальные измерения будут избыточными.

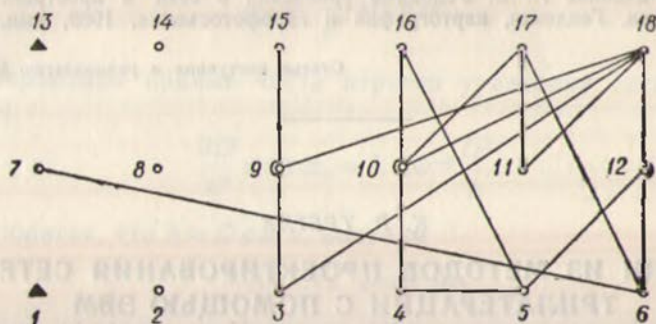


Рис. 1. Схема избыточных измерений в сети трилатерации.

Составим матрицу уравнения погрешностей линейных засечек F .

Корреляционная матрица

$$Q = (F^T P F)^{-1}, \quad (1)$$

где P — весовая матрица, которая не учитывается ввиду равнозначности измерений.

Ковариационная матрица

$$K = \mu^2 Q, \quad (2)$$

где μ — среднеквадратическая погрешность единицы веса.

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n - k}}, \quad (3)$$

где $n - k$ — число избыточных измерений.

В данном случае среднеквадратическую погрешность единицы веса можно приравнять к среднеквадратической погрешности измерений

$$\mu = m_0 = 1,0 \text{ см.} \quad (4)$$

Корреляционная матрица положения одного пункта будет иметь вид

$$Q_n = \begin{vmatrix} Q_{x_n x_n} & Q_{x_n y_n} \\ Q_{x_n y_n} & Q_{y_n y_n} \end{vmatrix}. \quad (5)$$

В геометрическом смысле точность положения любого определяемого пункта характеризуется эллипсом погрешностей с параметрами

$$\left. \begin{aligned} A^2 &= \mu^2 \frac{1}{2} (Q_{xx} + Q_{yy} + \sqrt{(Q_{xx} - Q_{yy})^2 + 4Q_{xy}^2}); \\ B^2 &= \mu^2 \frac{1}{2} (Q_{xx} + Q_{yy} - \sqrt{(Q_{xx} - Q_{yy})^2 + 4Q_{xy}^2}); \\ \Theta &= \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2Q_{xy}}{Q_{xx} - Q_{yy}}; \\ \text{В случае } Q_{yy} > Q_{xx}; \\ \Theta &= \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{2Q_{xy}}{Q_{xx} - Q_{yy}} \right) + 90^\circ, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где A — большая полуось эллипса; B — малая полуось эллипса; Θ — дирекционный угол большой полуоси эллипса. Следуя поставленным условиям, большая полуось не должна превышать 1,5 см.

Таблица 1. Параметры эллипсов погрешностей, полученные в результате выполнения линейных засечек

Номер пункта	2	3	4	5	6	7	8	9
A , см	1,4	1,8	2,4	3,1	3,8	70,7	1,0	1,6
B , см	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	0,8
Θ	32°	22°	17°	13°	11°	90°	0°	0°
Номер пункта	10	11	12	14	15	16	17	18
A , см	2,2	2,9	3,6	1,3	1,8	2,4	3,1	3,7
B , см	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
Θ	0°	0°	0°	148°	158°	163°	167°	169°

В табл. 1 представлены параметры эллипсов погрешностей, полученные в результате выполнения линейных засечек.

Для определения эллипса погрешностей на пункте 7 пришлось произвести смещение пункта по оси y на $0,01 S$, где S — длина стороны квадрата. Из табл. 1 видно, что на многих пунктах, $A > 1,5$ см.

Дальнейший отбор измерений будем производить по следующему правилу: измерения проводятся между двумя пунктами, у которых A являются наибольшими. В данном случае измеряется линия 7—6. Составим уравнение погрешностей этой линии и получим его нормальную матрицу N_{7-6} .

Новая полная корреляционная матрица будет равна

$$Q_H = (F^T F + N_{7-6})^{-1}. \quad (7)$$

По формулам (6) вычисляем новые параметры эллипсов. В данном случае они могут измениться только на пунктах 7, 6

$$A_7 = 1,3, B_7 = 0,7, \Theta_7 = -5^\circ;$$

$$A_6 = 3,8, B_6 = 0,7, \Theta_6 = 11^\circ.$$

Как видно, на пункте 6 параметры эллипса не изменились.

В дальнейшем продолжаем процесс подбора измеряемых линий, пока не достигнем необходимых параметров для всех эллипсов.

В процессе подбора линий необходимо следить, чтобы линии не повторялись. При повторении необходимо оставлять пункт, на котором A больше, а второй пункт заменить на третий по максимальной величины A .

Нами составлена программа для ЭВМ ЕС-1020 на языке Фортран-4, которая позволяет делать полный отбор измерений. В результате решения рассмотренной задачи оказалось, что необходимо измерить только 16 избыточных линий. Это линии 7—6, 6—18, 12—5, 17—11, 12—6, 4—16, 10—17, 18—12, 6—17, 3—15, 4—5, 16—5, 18—9, 18—10, 18—11, 18—3 (рис. 1).

Окончательные параметры эллипсов на пунктах представлены в табл. 2.

Таблица 2. Окончательные параметры эллипсов погрешностей

Номер пункта	2	3	4	5	6	7	8	9
A , см	1,4	1,0	1,4	1,4	1,5	1,3	1,0	1,5
B , см	0,8	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	1,0	0,7
Θ	32°	10°	14°	10°	16°	85°	0°	173°
Номер пункта	10	11	12	14	15	16	17	18
A , см	1,5	1,3	1,4	1,3	1,3	1,2	1,3	1,5
B , см	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,5
Θ	167°	173°	176°	148°	150°	164°	163°	161°

Таким образом, проектирование плановых сетей изложенным методом с помощью ЭВМ позволяет делать целенаправленный отбор измерений, сокращая при этом объем полевых работ.

Действительно, при проектировании этой же сети обычным путем наиболее вероятно предположить, что она будет представлять собой сдвоенный ряд геодезических четырехугольников (рис. 2).

Как видим, в этом случае необходимо выполнить измерение 47 линий, вместо 32 в предложенном способе.

Кроме того, как показали расчеты, большие полуоси эллипсов погрешностей положения пунктов достигают 4,7 см (пункты 6 и 18) вместо 1,5 см.

Как известно, погрешность положение пунктов линейно зависит от ошибки единицы веса. Следовательно, чтобы удовлетворить требуемые условия, необходимо повысить точность измерения линий до 0,3 см вместо 1 см.

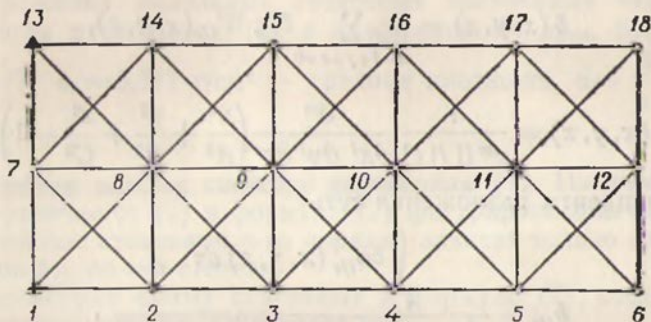


Рис. 2. Схема сети из геодезических четырехугольников.

Суммируя, можно сказать, что изложенный метод проектирования сетей уменьшает объем полевых работ и дает более широкие возможности в выборе дальномеров.

Список литературы: 1. Бурмистров Г. А. Основы способа наименьших квадратов. — М.: Госгеолтехиздат, 1963. 2. Зданович В. Г., Белоликов А. Н., Гусев Н. А., Звонарев К. А. Высшая геодезия. — М.: Недра, 1970. 3. Машимов М. М. Уравнивание геодезических сетей. — М.: Недра, 1979. 4. Тамутис З. П. Оптимальные методы проектирования геодезических сетей. — М.: Недра, 1979.

ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ТРИЛАТЕРАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

На выбор схемы наблюдений в сети с заданным расположением пунктов влияют в первую очередь следующие факторы: а) необходимая точность получения координат определяемых пунктов, длин линий, азимутов; б) проектные координаты определяемых пунктов; в) наличие и местоположение исходных пунктов, а также их точностные характеристики; г) наличие видимости между пунктами; д) возможности выбора инструментов для выполнения работ; е) стоимость измерений (каждого вида).

Учитывая эти условия, необходимо достичь наиболее экономичной схемы наблюдений. Несколько упростим и более конкретно поставим задачу.

1. Рассматриваем сети трилатерации, имеющие два исходных пункта, ошибки координат которых равны нулю.
2. Приближенные координаты определяемых пунктов заданы.
3. Заданы среднеквадратические погрешности определения координат каждого пункта.
4. Существует взаимная видимость между всеми пунктами.
5. Среднеквадратические погрешности измерения линий не зависят от длин линий.
6. Измерения равноточны.

При этих условиях желательно запроектировать схему измерений в сети трилатерации с минимальным количеством измеряемых линий.

Для примера рассмотрим конкретную сеть, состоящую из 18 пунктов и представляющую собой два ряда, построенные из квадратов, в вершинах которых расположены пункты (рис. 1).