

И. С. ТРЕВОГО

**О ПОГРЕШНОСТЯХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ
ПРИ ПОСТРОЕНИИ ГОРОДСКИХ
ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Как известно, погрешности исходных данных возникают из-за неточности измерений в опорной сети и могут заметно снижать качество последующих построений. Интересно исследовать возможности ослабления их влияния путем установления

оптимального соотношения k погрешностей соседних ступеней обоснования и уменьшения ожидаемых ошибок опорных дирекционных углов и координат пунктов. Результаты таких исследований при ступенчатом построении полигонометрии приводятся ниже.

Таблица 1

Расчет влияния погрешностей опорных сетей при переменном k

Ступени обоснования	Средняя квадратическая погрешность данной ступени	k	Окончательное увеличение погрешности в сети II разряда от числа ступеней	Часть погрешности данной ступени, %
Полигонометрия II разряда	m_5	—	1,0	88
Полигонометрия I разряда	$m_4 = \frac{m_5}{2}$	$\frac{1}{2}$	1,11	10
Полигонометрия 4-го кл.	$m_3 = \frac{m_5}{5}$	$\frac{2}{5}$	1,14	1,6
Триангуляция 3-го кл.	$m_2 = \frac{m_5}{7,5}$	$\frac{1}{1,5}$	1,14	0,4
Триангуляция 2-го кл.	$m_1 = \frac{m_5}{10}$	$\frac{3}{4}$	1,14	0,1

Согласно инструкциям [1, 2], сгущение триангуляции и полигонометрии в городах производится с таким расчетом, чтобы средняя квадратическая погрешность положения пунктов последней ступени соответствовала точности съемки масштаба 1 : 500. Данному требованию препятствуют погрешности координат и направлений высших ступеней обоснования. Степень их влияния существенно зависит от значения k .

Принимая k за критерий «ничтожности», отметим, что для проектирования городских полигонометрических сетей его полагают равным 2,0—2,5. Вероятностное обоснование $k=2,2$ приведено, например, в работе [3]. Там же получена расчетная точность ступеней плановой сети 1 : 100000, 1 : 47000, 1 : 21000, 1 : 9700, 1 : 4400, 1 : 2000, которая хорошо согласуется с нормативными требованиями [1, 2]. В работе [3] предложено при многоступенчатом построении сети подходить к критерию k дифференцированно (табл. 1), причем расчетами показано, что точность городской разрядной полигонометрии в основном зависит от качества ее построения, а влияние опорных сетей высших классов пренебрегаемо мало.

Согласно исследованиям, выполненным на модельных сетях светодалномерной полигонометрии [8] на примере перехода от 4 кл. к I разряду установлено, что $k=3,4$. Это соответствует критерию ничтожности 5%, а не 10%, что получается при

$k=2,2$. Иначе говоря, в светодальномерной полигонометрии создается ощутимый запас точности в определении координат пунктов и дирекционных углов сторон, служащих исходными при ее последующем сгущении.

Для проверки правильности выбора критерия k в случае городских полигонометрических сетей нами выполнены статистические исследования распределения линейных невязок ходов I разряда, проложенных в 56 городах УССР. Исследовали две большие выборки: а) невязки 83 ходов светодальномерной полигонометрии со сторонами, измеренными дальномером ЕОК 2000; б) невязки 337 ходов траверсной полигонометрии.

Результаты статистической обработки первой выборки подтвердили правильность выбора критерия k . Эксцесс α равен $+0,76$ и меньше $3\delta_\alpha$, равного $0,81$. Асимметрия $e = +1,27$ также не превышает критической величины $3\delta_e = 1,62$. По критерию, согласно Колмогорову, $\lambda_0 = 0,40$ не превосходит табличного значения $1 - K(\lambda) = 0,9967$. В случае применения критерия Пирсона при числе степеней свободы $v = 5$ оказалось, что $\frac{|\chi^2 - v|}{\sqrt{2v}} = 0,44 < 3$. Следовательно, расхождение между исследуемым рядом с наблюдаемыми частотами невязок и нормальным рядом с выравнивающими частотами не существенное и принятое значение k вполне удовлетворительное.

Статистическая обработка второй выборки дала отрицательные результаты. По мерам косости и крутости и по критериям Колмогорова и Пирсона этот исследуемый ряд невязок траверсной полигонометрии не подчиняется закону нормального распределения.

По-видимому, причиной этого является недостаточная точность линейных измерений и, как следствие, малое значение k .

Требуемая точность ходов в ряде случаев достигалась повторными измерениями, проводимыми до тех пор, пока окончательные результаты не укладывались в границы допусков. Это, вероятно, и послужило причиной нарушения нормального распределения линейных невязок ходов.

Таким образом, отработанную к настоящему времени схему построения городских полигонометрических сетей с использованием современных электронных дальномеров можно считать удовлетворительной, а критерий ничтожности $k \approx 2,2$ достаточным. Увеличение k при проектировании многоступенчатого обоснования приведет к излишней точности, которая вряд ли будет использована при крупномасштабной съемке.

Преимущество светодальномерной полигонометрии заключается в повышении точности линейных измерений и увеличении соотношения влияния погрешностей угловых и линейных измерений в ходе до 5 и более. Это в 1,5—2 раза уточняет определение дирекционных углов сторон и координат пунктов, которые могут стать исходными для низшей ступени обоснования [7].

С внедрением в полигонометрию гиротеодолитов интересно исследовать распределение погрешностей положения пунктов в ходах с измеренными азимутами сторон (назовем их далее «азимутальными») и установить преимущества таких построений перед угломерными ходами, особенно в точности определения координат пунктов и дирекционных углов сторон.

Нами выполнены аналитические исследования азимутальных ходов произвольной формы от вытянутого до замкнутого. В расчете на строгое уравнивание полигонометрии вычислены погрешности положения пунктов ходов по преобразованной для данного случая (в азимутальном ходе возникает только два условия) формуле весовой функции и сопоставлены с ошибками угломерных ходов. При этом в азимутальных и угломерных ходах приняты одинаковые геометрические характеристики и точность линейных измерений.

Точность азимутальных ходов предвычислялась дважды: а) при неравенстве средних квадратических погрешностей измерения углов и азимутов ($m_\alpha \neq m_\beta$), но равенстве предвычисленных линейных невязок угломерных и азимутальных ходов ($M_C = M_A$); б) при равенстве $m_\alpha = m_\beta$. Фрагмент результатов предвычисления приведен в табл. 2.

Исходя из допустимой линейной невязки (вариант а), азимутальный ход любой формы существенно уступает эквивалентному угломерному в точности определения наиболее слабой вершины и становится неблагоприятным в смысле влияния погрешностей исходных данных на низшую ступень обоснования.

При $m_\alpha = m_\beta$ (вариант б) азимутальный ход по сравнению с эквивалентным угломерным дает небольшой выигрыш (до 30%) в определении наиболее слабого пункта. Невязка же азимутального хода M_A уменьшится в 1,5—2,5 раза.

Однако по экономическим соображениям целесообразно требовать равенства погрешностей наиболее слабых пунктов обоих ходов ($m_{cl}^A = m_{cl}^C$), ибо тогда азимутальный ход по расчетам может быть в 1,5—2 и более раза длиннее угломерного. Интересно, что в любом азимутальном ходе отношение $M_A : M^A = 2$.

Итак, если при проектировании ступенчатой полигонометрической сети предусмотреть в качестве высшей ступени азимутальные ходы, прокладываемые под условием $m_\alpha = m_\beta$ и $m_{cl}^A = m_{cl}^C$, то можно ожидать, что по влиянию их погрешностей на точность низшей ступени они не превзойдут угломерные ходы. Однако при этом азимутальные ходы будут гораздо длиннее угломерных.

Кроме того, азимутальный ход имеет и другое важное преимущество: на точность его построения не влияют погрешности опорных дирекционных углов.

Влияние ошибок высшей ступени полигонометрической сети на соседнюю низшую ступень может быть ослаблено, если бо-

лее строго учитывать некоторые приборные погрешности. В частности, это касается погрешности «постоянной» поправки светодальномера. Обычно «постоянная» поправка определяется многократно на базисе и при обработке всех линий пользуются ее осредненным значением. В работе [6] рекомендуется определять «постоянную» дальномера на специальном базисе на

Таблица 2

Результаты предвычисления погрешностей наиболее слабых пунктов ($m_{сл}^c, m_{сл}^A$) и невязок (M_c, M_A) угломерных и азимутальных ходов, см

№ хода	Исходные данные	$m_{сл}^c$	$m_{сл}^A$	M_c	M_A	$\frac{M_c}{m_{сл}^c}$	$\frac{M_A}{m_{сл}^A}$	$\frac{2 M_c : [S]}{2 M_A : [S]}$
1	$[s]=10$ км $n=10$ $m_p=2''$ $m_a=2''$ $m_s=0,62$ см	2,8	1,8	10,4	3,6	3,7	2,0	1:48 000 1:138000
1	$m_a=6'',7$	2,8	5,2	10,4	10,4	3,7	2,0	1:48 000 1:48 000
2	$m_a=2''$	1,9	1,8	8,3	3,6	4,4	2,0	1:60 000 1:138000
2	$m_a=6'',7$	1,9	5,2	8,3	10,4	4,4	2,0	1:60 000 1:48 000
3	$m_a=2''$	2,3	1,8	5,0	3,6	2,2	2,0	1:93 000 1:138000
3	$m_a=6'',7$	2,3	5,2	5,0	10,4	2,2	2,0	1:93 000 1:48 000

Примечание. Ход 1 — прямой, 2 — с одним изломом и углом с замыкающей в 45°, 3 — сомкнутый полигон.

разных симметрично расположенных участках фазовращателя. Учитывая, что амплитуда изменения «постоянной» существенна (например, для ЕОК 2000 она может достигать 20...30 мм), целесообразно проводить ее учет дифференцированно на каждой стороне полигонометрического хода. Изменение «постоянной» происходит по синусоидальному закону и поэтому ее дифференцированный учет вряд ли приведет к изменению линейной невязки хода, но существенно улучшит плановое поло-

жение его отдельных точек, которые могут оказаться опорными для соседней ступени обоснования.

Таким образом, при построении городских полигонометрических сетей современными методами применяемые значения соотношения k погрешностей соседних ступеней можно считать удовлетворительными.

Кроме того, можно добиваться уменьшения доли погрешностей высшей ступени обоснования в общей ошибке низшей ступени, достигая в светодальномерной полигонометрии соотношения между влиянием погрешностей угловых и линейных измерений 5 и более, прокладывая азимутальные полигонометрические ходы при условии $m_{\alpha} = m_{\beta}$ и т. п.

Список литературы: 1. Инструкция по топографо-геодезическим работам при инженерных изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного, городского и поселкового строительства. СН 212-73 — М.: Стройиздат, 1974. 2. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:500—1:5000. — М.: Недра, 1973. 3. *Ларин Б. А.* О влиянии ошибок исходных данных на точность построения плановых сетей в городах. — Геодезия и картография, 1975, № 6. 4. *Лебедев Н. Н.* Курс инженерной геодезии. — М.: Недра, 1970. 5. *Павлова Г. К.* Об установлении критерия влияния ошибок исходных данных при создании планового геодезического обоснования в городах. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1973, № 6. 6. *Тревого И. С.* Пути повышения точности светодальномерных измерений сторон городской полигонометрии. — Геодезия и картография, 1977, № 6. 7. *Тревого И. С.* О соотношении точности угловых и линейных измерений в светодальномерной полигонометрии. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1977, вып. 26. 8. *Юнусова Т. А.* О влиянии ошибок исходных данных на точность построения плановых сетей в городах. — Геодезия и картография, 1975, № 6.

Работа поступила в редколлегия 17 января 1979 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.