

Н. С. ФЕДОТОВ

ПОСТРОЕНИЕ И УРАВНИВАНИЕ УСЛОВНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ФОТОТРИАНГУЛЯЦИОННОГО РЯДА

При выполнении линейных изысканий аэрометодами в большинстве случаев аэрофотосъемка на район изысканий выполняется отдельными маршрутами длиной 15—20 стереопар. С целью сокращения сроков изысканий, уменьшения их стоимости геодезическое ориентирование аэрофотосъемочных маршрутов часто выполняют в условной планово-высотной системе координат.

В этом случае используют схему планово-высотной подготовки, основанную на разбивке изолированных полигонов по концам аэрофотосъемочного маршрута. Такая схема подготовки аэроснимков требует минимума полевых геодезических работ и заключается в определении взаимного планово-высотного положения четырех-пяти точек, расположенных на опорных стереопарах.

Для каждой опорной стереопары вычисляются связанные общими направлениями координатных осей угловые ЭВО α , ω ,

и масштабный коэффициент t . Полученные значения ЭВМ и масштабные коэффициенты позволяют найти невязки, линейное распределение которых, как известно, существенно уменьшает общие нелинейные деформации координат и высот точек опорной сети [1].

Результаты исследований показали, что линейное распределение невязок приводит к расхождениям во взаимном положении точек на стыках смежных моделей, что является недопустимым условием при производстве линейных изысканий, поскольку нормы точности рассматривают относительно взаимного положения точек местности, а не ближайших пунктов государственной опорной сети.

Таким образом, учет угловых и масштабного условий, с одной стороны, позволяет существенно уменьшить нелинейные деформации общей сети, а с другой — приводит к расхождениям во взаимном положении точек на стыках смежных моделей. Для устранения этих противоречий уравнивание сети необходимо проводить с одновременным учетом как внешних, так и внутренних условий. Последнее основывается на двух типах условных уравнений — компланарности и равенства масштабных коэффициентов.

Первое из них обеспечивает угловую ориентацию смежных моделей в общей системе координат, что равносильно минимизации поперечных параллаксов в моделях, а второе — линейное их положение, что соответствует минимизации разности продольных параллаксов общих точек в смежных моделях. Эти условия восстанавливают все геометрические связи, нарушенные в сети после линейного распределения, невязок, связывают ЭВО всех снимков и позволяют одновременно найти поправки к их значениям.

Алгоритм и программа состоят из следующих основных частей: 1) построение свободного ряда; 2) вычисление ЭВО и масштабных коэффициентов опорных стереопар; 3) распределение невязок в условные ЭВО ($X'_s, Y'_s, Z'_s, \alpha, \omega, \kappa$) свободного ряда; 4) совместное уравнивание исправленных ЭВО на основе уравнений компланарности и равенства масштабных коэффициентов; 5) вычисление пространственных координат точек сети, оценок точности геодезического ориентирования.

В основу метода положено то, что линейное распределение невязок выполняется в условные ЭВО, полученные при построении свободного ряда методом жесткого подориентирования одиночных связок и последующего их уравнивания.

$$\begin{aligned} \alpha_n &= \alpha_1 + (\alpha'_n + \delta\alpha_n), \\ \omega_n &= \omega_1 + (\omega'_n + \delta\omega_n), \\ \kappa_n &= \kappa_1 + (\kappa'_n + \delta\kappa_n), \end{aligned} \tag{1}$$

где a_1, ω_1, κ_1 — ЭВО первой опорной стереопары; $a_n', \omega_n', \kappa_n'$ — условные угловые ЭВО снимков ряда; $\delta a_n, \delta \omega_n, \delta \kappa_n$ — поправки распределяются пропорционально количеству связей.

Для учета масштабных условий необходимо перевычислить линейные ЭВО (X_s', Y_s', Z_s') снимков ряда по формулам

$$\begin{aligned} X_{sn} &= (a_1 X'_{sn} + a_2 Y'_{sn} + a_3 Z'_{sn}) t_n, \\ Y_{sn} &= b_1 X'_{sn} + b_2 Y'_{sn} + b_3 Z'_{sn} t_n, \\ Z_{sn} &= (c_1 X'_{sn} + c_2 Y'_{sn} + c_3 Z'_{sn}) t_n, \end{aligned} \quad (2)$$

где $a_{1-3}, b_{1-3}, c_{1-3}$ — направляющие косинусы, полученные по исправленным угловым ЭВО.

Для минимизации расхождений в связующих точках, вызванных введением поправок в условные ЭВО, следует рассматривать результаты уравнивания как предварительные. Тогда поставим задачу совместного уравнивания полученных элементов ЭВО на основе уравнений компланарности и равенства масштабных коэффициентов. Число совместно определяемых неизвестных будет $M=6 \cdot (n-1)$.

В матрицу коэффициентов уравнений поправок, имеющей ступенчатую структуру, добавляются еще четыре условных уравнения, выражающих необходимость минимизации невязок:

$$\sum_1^n \delta a = 0, \quad \sum_1^n \delta \omega = 0, \quad \sum_1^n \delta \kappa = 0, \quad \sum_1^n \delta t = 0. \quad (3)$$

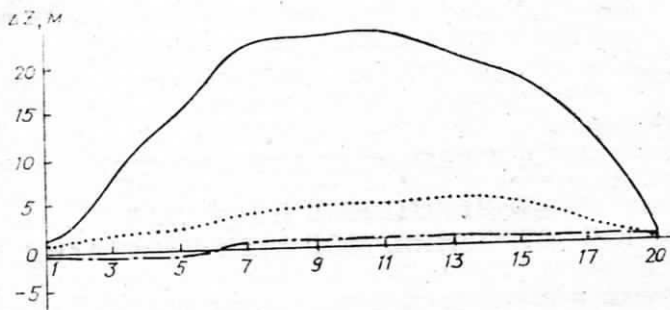
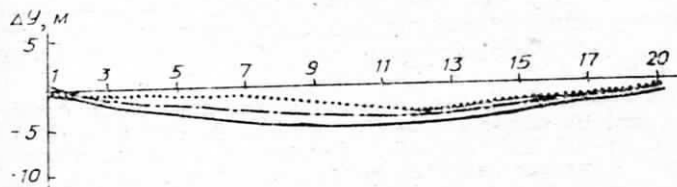
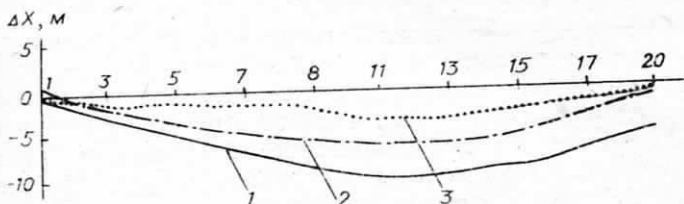
Эти уравнения позволяют учесть внешние условия и возникают из формул накопления угловых и масштабной невязок [2] в прямолинейном маршруте. Известно, что сумма случайных ошибок стремится к нулю, следовательно, свободные члены уравнений (3) будут равны 0, а коэффициенты при неизвестных равны 1.

Общее число уравнений поправок для ряда составляет $N = 2k(2n-3) + 4$, где k — количество связующих точек; n — число снимков.

Учитывая, что значения ЭВО свободного фототриангуляционного ряда, уравненные по методу условий, получены достаточно надежно, совместное их уравнивание может быть достигнуто за один цикл вычислений. Для экспериментальных исследований использовали производственный и макетные материалы. Предложенную методику и комплекс технологических программ применяли проектно-изыскательские институты Гипротрубопровод и Гипротюменьнефтегаз на изысканиях магистральных трубопроводов и обустройства нефтяных месторождений в районах Западной Сибири и Крайнего Севера.

В качестве примера приведем результаты построения и уравнивания фототриангуляционного ряда, состоящего из 20 макетных стереопар масштаба 1 : 10 000.

Геодетическое ориентирование и уравнивание фототриангуляционного ряда, построенного по одним и тем же результатам измерений снимков, выполнялись для сравнительной оценки по различным схемам планово-высотной подготовки: 1) планово-высотные точки располагались только на крайних стереопарах;



Графики деформаций фототриангуляционного ряда ($f_k=75$ мм, $H=750$ м, 20 стереопар):

1 — свободный ряд; 2 — ряд, уравниваемый по условиям; 3 — ряд, уравниваемый полиномами.

2) планово-высотные точки располагались по стандартной схеме; 3) изолированные полигоны в условной и общей системах координат размещались на концах маршрута.

Оценку точности и характер остаточных деформаций фототриангуляционного ряда определяли по большому числу избыточных точек, включенных в построение.

Приведенные графики остаточных деформаций (см. рисунок) показывают, что систематические деформации в свободном ряде достигают значительных размеров, а введение условий с уравниванием по предложенной методике позволяет уменьшить эти деформации в три—пять раз при хорошем согласовании координат связующих точек ряда. Повышение точности и жесткости на стыках смежных моделей в два—четыре раза обусловливается использованием при уравнивании строгих геометрических уравнений,

Полученные в результате статистических испытаний, проведенных в значительном объеме, данные показывают, что предложенная методика сопоставима с известной полиномиальной схемой, в которой используется планово-высотная опора равномерно по маршруту. Такое совместное построение и уравнивание позволяет сократить работы по полевой планово-высотной подготовке снимков в два-три раза при сохранении требований к точности планово-высотной основы трассировочных планов, составляемых при изысканиях большинства линейных сооружений в необжитых труднодоступных районах.

1. *Малявский Б. К.* Учет систематических деформаций фототриангуляционного ряда на основе угловых и линейных условий // Тр. ЦНИИС. 1972. Вып. 58. С. 47—62.
2. *Малявский Б. К.* Построение условно ориентированных рядов при изысканиях линейных сооружений // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 1968. № 6. С. 75—77.