

УДК 528.4+528.74:622.1.2

А. Л. ДОРОЖИНСКИЙ, Д. Н. ТУРГУК

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ОПОЛЗНЕВЫХ СМЕЩЕНИЙ ПО ФОТОСНИМКАМ,
ПОЛУЧЕННЫМ ДЛИННОФОКУСНОЙ ФОТОКАМЕРОЙ**

Для определения оползневых смещений на карьерах при значительном удалении фотостанций от снимаемых профильных длиннй рекомендован к применению длиннофокусный фотогеодолит

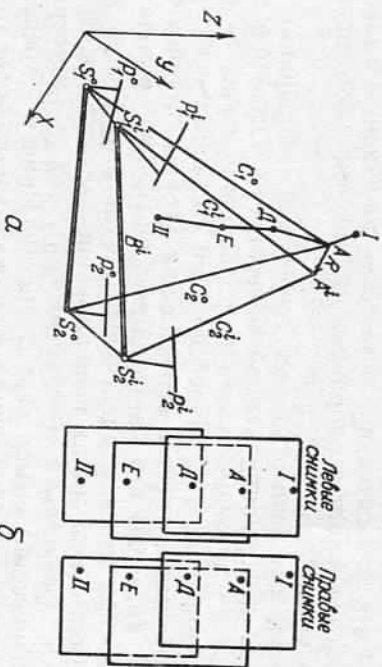


Рис. 1. Схема фото съемки профильной линии: а — схема засечки, б — изображение точек профильной линии на снимках.

ФЗЛТ [4]. При его использовании возникают различные инварианты фотогеодолитной съемки, теоретическое описание которых изложено в настоящей работе.

Пространственное оползневое смещение (рис. 1) точки A^0 , закрепленной на профильной линии $I-I$, в положении A^i характеризуется вектором $R=A^0A^i$, где индексами i и 0 обозначены соответственно текущий и начальный циклы наблюдений. Для определения смещения R используется либо метод смещений, либо метод координат (по результатам стереофотограмметрической съемки).

Вследствие объективных обстоятельств при фотосъемке на карьере возможны различные инварианты, объединенные в схему (рис. 2). Например, условия карьера не позволяют заложить фотостанции в неподвижных местах, поэтому в текущем цикле они переходят из положения S^0 в S^i (см. рис. 1).

С теоретической точки зрения наиболее общим является случай, когда элементы внутреннего и углового внешнего ориентирования известны приближенно, а фотостанции смещаются от цикла

к циклу. Все другие варианты можно рассматривать как частные случаи общего стереофотограмметрического способа или метода смещений. Рассмотрим их основные положения.

Поскольку искомым вектор R (см. рис. 1) определяется как

$$R = C_1^i - C_1^0 + V^0 - V^i + K_i, \quad (1)$$

то для его отыскания нужны как фотограмметрические (C_1^0, C_1^i), так и геодезические (V^0, V^i, K_i) данные. Для последних необходимо в каждом цикле наблюдений выполнять привязку фотостанций к выбранной системе координат ХУЗ. Для определения век-

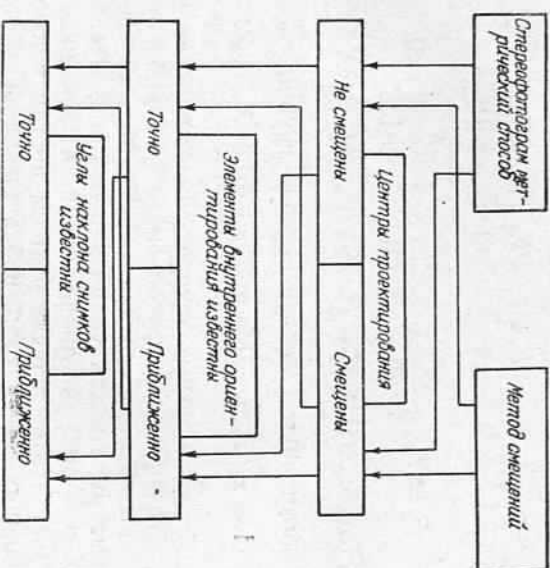


Рис. 2. Инварианты методов и исходных условий определения оползневых смещений.

торов C_1^0, C_1^i при приближенно известных элементах внутреннего и углового внешнего ориентирования задача разрешима лишь при наличии корректурных точек или направлений. На самом деле векторы C_1^0 и C_1^i находят из прямой фотограмметрической засечки, которая разрешима при известных элементах внутреннего и внешнего ориентирования снимков.

Переходя от векторной к координатной форме определения смещений, имеем

$$R = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1^i \\ Y_1^i \\ Z_1^i \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_1^0 \\ Y_1^0 \\ Z_1^0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Используем для определения компонентов вектора R функциональную модель коллинеарности [2, 3]. Поскольку исходные усло-

$$F_x = \frac{a_1'(X - X_s) + b_1'(Y - Y_s) + c_1'(Z - Z_s)}{a_2'(X - X_s) + b_2'(Y - Y_s) + c_1'(Z - Z_s)} f + x_0 - x = 0,$$

$$F_z = \frac{a_3'(X - X_s) + b_3'(Y - Y_s) + c_3'(Z - Z_s)}{a_2'(X - X_s) + b_2'(Y - Y_s) + c_2'(Z - Z_s)} f + z_0 - z = 0 \quad (3)$$

являются нелинейными, выполним известную линеаризацию относительно таких групп неизвестных: δ_1 — поправки к элементам внутреннего ориентирования, δ_2 — поправки к угловым элементам внешнего ориентирования, δ_3 — поправки к пространственным координатам точки. Получим

$$F_x = F_{0x} + \frac{\partial F_x}{\partial I} \delta_1 + \frac{\partial F_x}{\partial II} \delta_2 + \frac{\partial F_x}{\partial III} \delta_3 = 0,$$

$$F_z = F_{0z} + \frac{\partial F_z}{\partial I} \delta_1 + \frac{\partial F_z}{\partial II} \delta_2 + \frac{\partial F_z}{\partial III} \delta_3 = 0, \quad (4)$$

$$\text{где } \delta_1^T = (\partial x_0 \partial z_0 \delta f)^T, \quad \delta_2^T = (\partial \alpha \partial \omega \partial \kappa)^T, \quad \delta_3^T = (\partial X \partial Y \partial Z)^T, \quad (5)$$

а I, II, III обозначают соответствующие группы переменных I = x_0, z_0, f ; II = α, ω, κ ; III = X, Y, Z . (6)

Конкретный вид частных производных приведен в [3].

Полагая, что процессы съемки, фотолабораторной обработки и измерений сопровождаются случайными ошибками, (4) следует рассматривать как уравнения ошибок, т. е. вместо нулевого вектора в правой части уравнений (4) возникает вектор невязок $V(v_1, v_2)$. В этом случае решаем поставленную задачу методом наименьших квадратов, требуя выполнения условия $V^T V = \min$.

Итеративный процесс, возникающий вследствие линеаризации (4), контролируется по стабилизации ошибки единицы веса уравняемых величин.

Вернемся теперь к уравнению (2). В методе координат обработки данных необходимо вести раздельно для начального и текущего циклов. Этим приемом мы избегаем появления пропорциональности между столбцами в системе уравнений (4), возможной ввиду малости вектора R . Близости численных значений координат центров проекций S^0 и S^i , углов наклона $(\alpha, \omega, \kappa)^0$ и $(\alpha, \omega, \kappa)^i$. Запишем (4) для точки одного снимка

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix} \delta_1 + \begin{bmatrix} a_4 & a_5 & a_6 \\ b_4 & b_5 & b_6 \end{bmatrix} \delta_2 + \begin{bmatrix} a_7 & a_8 & a_9 \\ b_7 & b_8 & b_9 \end{bmatrix} \delta_3 + \begin{bmatrix} l_x \\ l_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_z \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Одна точка, принадлежащая одному (левому или правому) снимку, дает два уравнения при девяти неизвестных. Для пары снимков имеем четыре уравнения при двенадцати неизвестных.

Общее же число неизвестных N для k точек в n стереопарах подсчитываем по формуле

$$N = 3k + 6n + 3. \quad (8)$$

Для однозначного решения задачи по отысканию векторов δ_1 и δ_2 при $n=1$ необходимо иметь три опорные точки (для них $\delta_3=0$), расположенные по углам стереопара.

Примененные функциональная и стохастическая модели полностью охватывают общий случай стереофотограмметрического метода. Однако специфика решаемой задачи, конструктивные особенности камеры ФЗЛТ требуют конкретизации теоретической схемы.

Рассмотрим метод смещений. В нем традиционно фотоэлемента идет при сохранении элементов внутреннего и внешнего ориентирования, а по несовпадению абсцисс x^0 и x^i , алликат z^0 и z^i вычисляют смещение R . Если предположить, что угловые элементы внешнего ориентирования известны приближенно и снимки получены с различных фотостанций, то задачу можно решить в два этапа: на первом — формируются левые и правые квазиснимки, приведенные к нормальному случаю фотогеодолитной съемки с едиными центрами фотографирования S_1^0, S_2^0 (рис. 3); на втором — вычисляются компоненты вектора смещения по этим квазиснимкам. Если углы наклона реальных снимков известны приближенно, снимки получены с 60%-ным продольным перекрытием, то формирование возможно с использованием связанных точек [2] или по элементам взаимного ориентирования [1].

Для начального и текущего циклов формирования протекает идентично. Опуская индекс t (трансформирование), из формулы нормального случая для квазиснимков получим компоненты вектора смещения

$$\Delta X = \frac{Y^0}{f} (x^i - x^0) + \frac{\Delta Y}{f} x^i, \quad \Delta Z = \frac{Y^0}{f} (z^i - z^0) + \frac{\Delta Y}{f} z^i, \\ \Delta Y = Y^0 \frac{\Delta P}{P^i}, \quad \Delta P = (x_1^0 - x_2^0) - (x_1^i - x_2^i) = P_0^0 - P^i. \quad (9)$$

Как следует из (9), в начальном цикле необходимо определить отстояние Y^0 и в текущем и начальном циклах получить координаты точки на снимках x^i, x^0 и z^i, z^0 .

При использовании камеры ФЗЛТ возникает ряд специфических условий. Прежде всего, ввиду малости кадра (24x36 мм²) выбор

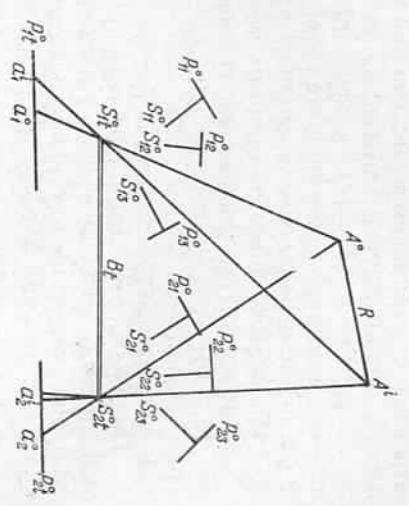


Рис. 3. Формирование квазиснимков в начальном цикле фотоэлемента.

корректирных точек или направлений по общепринятой методике нецелесообразно, поэтому элементы внешнего ориентирования для каждого снимка фиксируются. Далее, при фотосъемке профильных линий приходится выполнять перфокусировку камеры, так что фокусное расстояние для каждого снимка известно приближенно. Фотографирование профильной линии ведется с таким перекрытием, чтобы на снимках изобразилось не менее 2 замаркированных точек профильной линии (см. рис. 1). Геодезические работы обеспечивают в каждом цикле определение координат фотостанций и концевых точек профиля I—II. Для повышения точности определения базис съемки составляется $B=0,5U$, т. е. при менен общий случай съемки. С учетом этих замечаний вектор $\delta_2=0$ входит в (4), (7), а функциональная модель коллинеарности обеспечивает частичную калибровку камеры (нахождение вектора δ_1) и определение координат точек оползня (вектор δ_3) при надеждашем количестве опорных точек.

Если считать элементы внутреннего ориентирования известными ($\delta_1=0$), то применима функциональная модель прямой фотограмметрической засечки как наиболее простой и надежной способ фотограмметрических построений.

Покажем, что схема фотографирования (см. рис. 1) профильной линии I—II существенно снижает требования к точности определения элементов внутреннего ориентирования. Пусть для точек A и D из прямой засечки (нормальный случай) определены ординаты $Y = V \frac{f}{P}$, а затем вычислено приращение $\Delta Y = V \frac{f}{P_D} - V \frac{f}{P_A} = Bf \frac{P_A - P_D}{P_D P_A}$.

Отсюда $\delta \Delta Y = \Delta Y \frac{\delta f}{f}$, где $\delta \Delta Y$ — ошибка в приращении ΔY , вызванная ошибкой δf . При $\Delta Y = 50$ м, $f = 1000$ м, $\delta \Delta Y = 0,05$ м получим $\delta f = 1$ мм. Поскольку $U \gg \Delta Y$, требования к δf при использовании ординат Y будут более жесткими.

При такой схеме между концевыми точками I и II прокладывается фотограмметрический ход, в котором возникают координатные условия

$$\sum \Delta X_{\phi} - (X_{II}^T - X_I^T) = 0, \quad \sum \Delta Y_{\phi} - (Y_{II}^T - Y_I^T) = 0,$$

$$\sum \Delta Z_{\phi} - (Z_{II}^T - Z_I^T) = 0. \quad (10)$$

Здесь каждая стереопара (1—1₂), (2—2₂), (3—3₂) формируется и обрабатывается независимо и распределение невязок (10) при равноточных измерениях выполняется равномерно в каждом приращении. Такая методика предпочтительнее фототриангуляционных построений, где, как известно, накопление ошибок происходит по закону двойного суммирования. Уравненные фотограмметрические координаты могут использоваться в качестве необходимых данных способа смещений.

Таковы основные пути реализации фотограмметрического определения оползневых смещений при использовании длиннофокусной фотокамеры.

Список литературы: 1. Добрынина Н. Ф. Общий случай формирования квазиснимков в наземной съемке. — Геодезия и фотограмметрия, 1983, № 11, с. 48—58. 2. Лобанов А. Н. Фотограмметрия. — М.: Недра, 1984. — 384 с. 3. Сердюков В. М. Фотограмметрия в промышленном и гражданском строительстве. — М.: Недра, 1977. — 200 с. 4. Филковский В. Я., Турк Д. Н. Стратегический способ определения деформаций бортов и уступов карьера. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1979, вып. 30, с. 195—201.

Статья поступила в редакцию 12. 02. 85

УДК 528.9(074)

В. М. СЕРДЮКОВ, В. В. БЕЛОВС, В. Д. БАРАНОВСКИИ

СВЯЗЬ КООРДИНАТ ТОЧЕК СНИМКА И МЕСТНОСТИ ПРИ ПАНОРАМНОЙ ФОТОТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКЕ

При выполнении панорамной фототеодолитной съемки необходимо различать следующие системы координат.

1. Плоскую прямоугольную систему координат развертки цилиндрического снимка X, Z. За начало координат здесь принимается точка пересечения осей X и Z развертки снимка. Ось совпадает со следом главного луча на развертке цилиндрической панорамы. Ось Z, а следовательно, и начало координат по оси могут занимать различные положения, выбираемое в зависимости от условий съемки, удобства выполнения измерений и их математической обработки. В частности, начало координат может находиться на краю снимка, проходить через нулевой индекс снимка (при наличии последнего), совпадать с осью X_T пространственной геодезической системы координат.

2. Цилиндрическую систему координат снимка A, f, Z. В качестве полюса в этой системе координат принимается точка, совпадающая с задней узловой точкой объектива панорамного фототеодолита. Положение полярной оси совпадает с осью A_T пространственной геодезической системы координат. Полярный угол A отсчитывается по ходу часовой стрелки от полярной оси. Полярный радиус f равен фокусному расстоянию панорамного фототеодолита. Ось Z располагается на образующей цилиндрической поверхности панорамного снимка.

3. Пространственную полярную фотограмметрическую систему координат A_φ, d_φ, Z_φ. Положение полюса, полярной оси и полярного угла в этой системе соответствуют пространственной цилиндрической системе координат панорамного снимка. Полярный радиус d равен горизонтальному продолжению до точки объекта съемки. Ось Z_φ обычно занимает вертикальное положение.

4. Пространственную геодезическую систему координат X_T, Y_T, Z_T, которая может быть условной, или государственной. Ось в этой системе координат всегда занимает вертикальное положение.