УДК 528.72

Н.А.Позднякова
ВНИМИ, Санкт-Петербург, Россия

О МЕТОДАХ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ НАЗЕМНОЙ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ КАРЬЕРОВ

Доказывается необходимость строгого способа уравнивания измерений при аналитической цифровой обработке наземной стереофотограмметрической съемки.

Strict adjustment in analytical figure treatment of terrestrial stereophotogrammetric survey is proved.

Наземная стереофотограмметрическая съемка широко применяется в горнодобывающей промышленности для маркшейдерского обеспечения горных работ с 60-х годов XX столетия.

При наземной стереофотограмметрической съемке маркшейдерский план составляют по фотоснимкам местности, полученным путем фотографирования земной поверхности с помощью специальных фотограмметрических камер (фототеодолитов, ИМК и т.д.). Определения координат точек местности и составление маркшейдерского плана производят на аналоговых приборах, аналитических и цифровых фотограмметрических рабочих станциях. Технология наземной стереофотограмметрической съемки карьеров применительно к обработке на аналоговых приборах подробно изложена в работе [2].

В фотограмметрии все более широкое применение получают цифровые методы обработки фотоизображений. В этой области компьютер с набором соответствующих программ и периферийного оборудования (сканирующее устройство и средства вывода) способен заменить традиционное оборудование.

Синтез компьютерных технологий обработки растровых фотоизображений и методов аналитической фотограмметрии привел к появлению на рынке цифровых фотограмметрических систем. На сегодняшний день существует целый ряд программно-технологических комплексов по обработке материалов аэросъемки, однако при наземной съемке карьеров цифровые методы пока не получили широкого применения, так как не во всех случаях удавалось обеспечить требуемую по инструкции [1] точность.

При обработке материалов аэрофотосъемки, когда зона перекрытия занимает практически половину снимка, размер базиса соизмерим с высотой фотографирования и опорные точки располагаются в углах фотограмметрической модели, используется традиционная технология обработки измерений, включающая два этапа: построение фотограмметрической модели (взаимное ориентирование снимков стереопары) и ее геодезическое ориентирование.

Технология наземной стереофотограмметрической съемки карьеров обладает рядом специфических особенностей, к числу которых относятся сравнительно узкая рабочая зона по оси *oy* снимка, малый базис по отношению к отстоянию, расположение опорных точек, как правило, на дальнем плане снимка и зачастую практически на одной линии. Поэтому возможность указанной выше технологии для обработки наземной стереосъемки карьеров вызывает сомнения и требует проверки с точки зрения оценки точности.

С этой целью выполнена сравнительная оценка различных методов определения пространственных координат точек по наземным снимкам карьера. Исследования выполнялись на материалах съемки карьера Кумертау. Съемка выполнена фототеодолитом с фокусным расстоянием 193,89 мм при базисе 220 м и максимальном отстоянии 1500 м. Три опорные точки расположены на дальнем плане.

Координаты 30 контрольных контурных точек были определены из обработки снимков на стереоавтографе [2], а также из аналитической обработки измерений, выполненных на прецизионном стереокомпараторе «DICOMETER» (инструментальная погрешность 2 мкм), и с помощью цифровой фотограмметрической системы «PHOTOMOD» фирмы «Ракурс». Цифровые изображения для обработки в системе «PHOTOMOD» были получены с помощью сканера «UMAX Mirage II se» с разрешением 1000 dpi (1 пиксел равен 0,025 мм). В дальнейшем геометрические искажения сканера устраняли средствами программы SkanCorrect фирмы «Ракурс».

Для аналитической обработки измерений использовали два метода – метод связок и метод независимых моделей (традиционная обработка стереопары аэрофотоснимков).

Точность определения пространственных координат точек оценивалась по невязкам координат контрольных точек, полученных при различных способах обработки. В качестве эталона использовали результаты обработки снимков на стереоавтографе, корректность которых подтверждена экспериментами на полигонах и многолетней практикой. Результаты обработки представлены в таблице.

Средние квадратические значения невязок координат контрольных точек

Средство измерения	Способ обработки	ΔX, м	ΔY, м	ΔZ, м
DICOMETER	Модель	5,7	12,5	1,2
	Связки	0,4	0,6	0,4
PHOTOMOD	Модель	7,3	15,3	1,6
	Связки	1,1	1,5	0,8

Значительные невязки, полученные при использовании способа независимых моделей, вызваны существенными искажениями фотограмметрической модели, построенной путем решения уравнений компланарности для поперечных параллаксов, измеренных на стандартно расположенных точках. Для обоснования этого достаточно рассмотреть погрешность угла конвергенции γ (в аэросъемке $\Delta\alpha$) и ее влияние на погрешность ΔY определения отстояния по стереопаре наземных снимков карьера.

Погрешность определения угла конвергенции m_γ рассчитаем по известной [3] формуле

$$m_\gamma = \frac{f}{by} m_q \rho , \qquad (1)$$

где f – фокусное расстояние съемочной камеры; m_q – погрешность определения поперечного параллакса; b – базис фото-

графирования снимка; y – значения фотокоординат стандартно расположенных точек на стереопаре.

Подставив в формулу (1) значения параметров для нормального случая съемки Кумертаузского карьера ($f = 194$, $m_q = 0{,}01$, $b = 28$, $y = 40$, $\rho = 3438'$), получим

$$m_\gamma = 5{,}9'.$$

Погрешность определения отстояния, вызванную ошибкой определения угла конвергенции, рассчитаем по известной [4] формуле, которую с достаточной для данного случая точностью можно представить в виде

$$m_{Y_\gamma} = \frac{Y^2 + (X - B_x)^2}{B_x} m_\gamma \rho, \qquad (2)$$

где X и Y – значения фотограмметрических координат точки модели в натуре; B_x – значения базиса фотографирования в натуре.

Подставив в формулу (2) параметры съемки Кумертаузского карьера ($Y = 1500$ м, $X = 600$ м, $B_x = 220$ м), получим

$$m_{Y_\gamma} = 18{,}9 \text{ м}.$$

Вычисленная погрешность вполне объясняет невязки, приведенные в таблице для случая обработки наземной стереосъемки карьеров методом независимых моделей.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Использование метода независимых моделей недопустимо для обработки материалов наземной стереофотограмметрической съемки карьеров.

2. Цифровая технология обработки снимков способна обеспечить необходимую точность определения координат точек при использовании способа связок для уравнивания измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ. М.: Недра, 1987. 240 с.

2. Наземная стереофотограмметрическая съемка горных разработок. М.: Недра, 1979, 160 с.

3. *Скиридов А.С.* Стереофотограмметрия. М.: Геодезиздат, 1959. 540 с.

4. *Трунин А.П.* Фототеодолитная съемка в крупных масштабах / А.П.Трунин, И.И.Финаревский, С.В.Чистяков. М.: Недра, 1978. 207 с.