

ЦИФРОВЫЕ СЪЕМКИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК

к.т.н. Шоломицкий А.А. (Донецкий государственный технический университет)

Маркшейдерская информация является основой для решения горно-технических задач горного производства. От точности и оперативности этой информации зависит эффективность управления горным предприятием. В последнее время появилось много новых источников маркшейдерской информации (рис. 1). Происходит замена маркшейдерского съемочного оборудования на новое. В последнее время на горных предприятиях Украины появились электронные тахеометры и GPS-приемники.

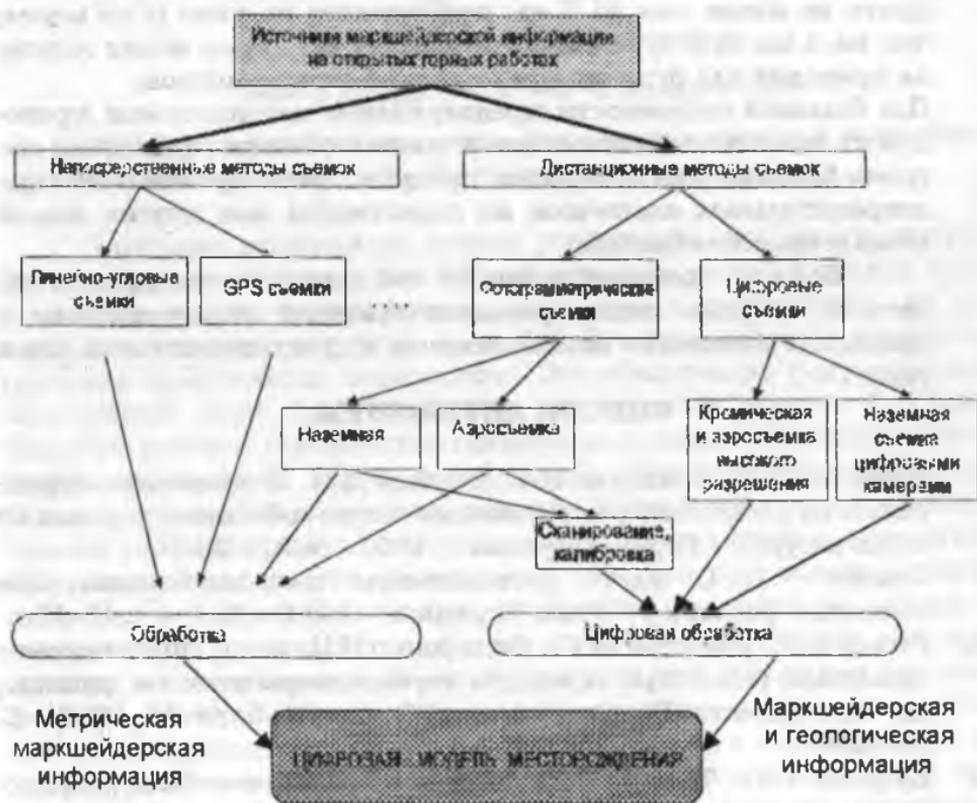


Рис. 1. Источники маркшейдерской информации при открытой разработке месторождений.

Наиболее перспективными для использования на открытых горных работах являются методы спутниковой навигации – для создания маркшейдерской опорной сети и дистанционные цифровые методы для маркшейдерских съемок открытых горных работ. Из которых наиболее перспективными являются съемки цифровыми камерами. Цифровые камеры могут оказаться очень действенным инструментом для мониторинга за состоянием горных выработок. При периодической съемке выработок и составлении по ним цифровых моделей можно сделать вывод о характере деформаций выработки и принять решение о способах и параметрах дальнейшего мониторинга.

Важнейшим фактором при выборе цифровой камеры, несомненно, является цель ее применения. Она определяет, насколько высоким должно быть разрешение сенсора CCD (Charged Coupled Device) В исследованиях использовалась камера AGFA 307, которая имеет следующие технические характеристики: высококачественное цветное изображение 24 bit, 36 кадров с высоким разрешением 640*480 пикселей или 72 со стандартным разрешением. Фокусное расстояние и метрические характеристики CCD неизвестны. Путем съемки тест-объекта экспериментально установлен угол захвата объектива и угловой размер пиксела CCD. Он оказался равен 7'. И хотя ошибки объектива и CCD-матрицы могут достигать 3-5 pix – но они имеют систематический характер и поэтому их можно учесть по методике предложенной [4].

В зависимости от расстояния до снимаемого объекта и положения относительно оптической оси камеры метрическая величина пиксела изображения будет различной. В табл. 1 приведены его размеры для различных отстояний, для нормального случая съемки.

Таблица 1. Величина пиксела изображения.

Отстояние (метры)	Размер пиксела в метрах		
	В центре	Угол 45°	На краю снимка (угол 64°)
10	0,022	0,044	0,113
20	0,044	0,087	0,226
30	0,065	0,136	0,339
40	0,087	0,174	0,452
50	0,109	0,217	0,565
60	0,131	0,261	0,678
70	0,153	0,305	0,791
80	0,174	0,348	0,904
90	0,196	0,391	1,017
100	0,218	0,435	1,130
150	0,327	0,625	1,695
200	0,436	0,870	2,260
250	0,545	1,087	2,825

Для маркшейдерской съемки открытых горных работ, согласно [1, стр. 23], ошибка положения съемочного горняка не должна превышать 1 мм для четких контуров и 1,5 мм для нечетких. Расхождение высот пикетов не должны превышать 0,4 м при наземных способах съемки и 0,8 м при аэрофотограмметрической съемке. Маркшейдерские планы открытых горных работ составляются в масштабе 1:2000, в некоторых случаях 1:1000. Поэтому можно считать, что съемка цифровыми камерами будет удовлетворять требованиям [1] для отстояний до 100 м. При этом величина базиса при перекрытии 60% составит 150 м, а при перекрытии 80% - 80 м, а фронт съемки L составит, соответственно 250 и 330 м (рис. 2). Если использовать только центральную часть цифрового снимка или цифровые камеры с большим фокусным расстоянием, то можно значительно увеличить отстояние до снимаемого объекта до 200-250 метров.

Такие параметры съемки не позволят снять весь рабочий борт карьера с жестких базисов, расположенных на нерабочем борту карьера, однако с можно снять практически любые забои с временных базисов. В этом случае съемка выполняется со штативов и при этом возникает только одна проблема - это обеспечение стереопары опорными точками. Эту проблему можно достаточно эффективно решить, используя GPS приемники.

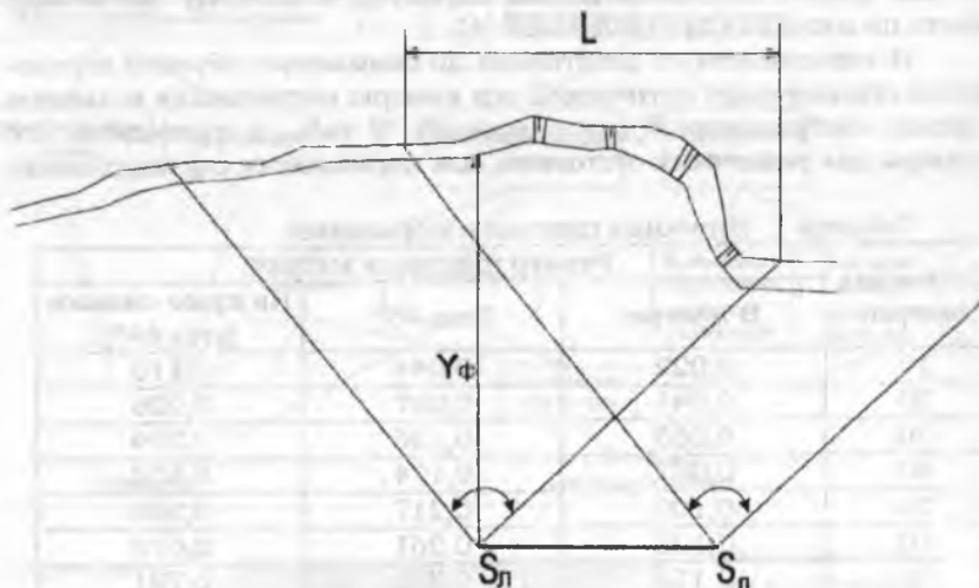


Рис. 2. Параметры съемки открытых горных работ.

Для обеспечения одиночной стереопары опорными точками при наземной фотограмметрической съемке, необходимо определить с помощью GPS три опорные точки ($S_0, S_л, S_n$), как показано на рис. 3. Как правило, это точки фотографирования и хотя бы одна

точка в зоне перекрытия. При съемке нескольких перекрывающихся стереопар число опорных точек остается таким же, если выполняется аналитическая фототриангуляция. При такой схеме обеспечения опорными точками - для высокоточного определения координат необходимо до 5 минут наблюдений на точке, это обеспечивает точность определения координат вставляемых точек 2-5 см. в зависимости от модели GPS-приемника.

Точность определяемых точек можно определить по формулам [2]:

$$\left. \begin{aligned} m_{y\phi} &= \frac{Y_{\phi}^2}{Bft} m_p \\ m_{x\phi} &= \frac{Y_{\phi}}{f} \sqrt{\frac{X_{\phi}^2}{B^2 t^2} m_p^2 + m_x} \\ m_{z\phi} &= \frac{Y_{\phi}}{f} \sqrt{\frac{Z_{\phi}^2}{B^2 t^2} m_p^2 + m_y} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $X_{\phi}, Y_{\phi}, Z_{\phi}$ - координаты определяемых точек в фотограмметрической системе координат, B - базис съемки, m_x, m_y, m_p - средние квадратические ошибки измерения координат x, y и продольного параллакса p . Для нормального случая съемки $t=1$.

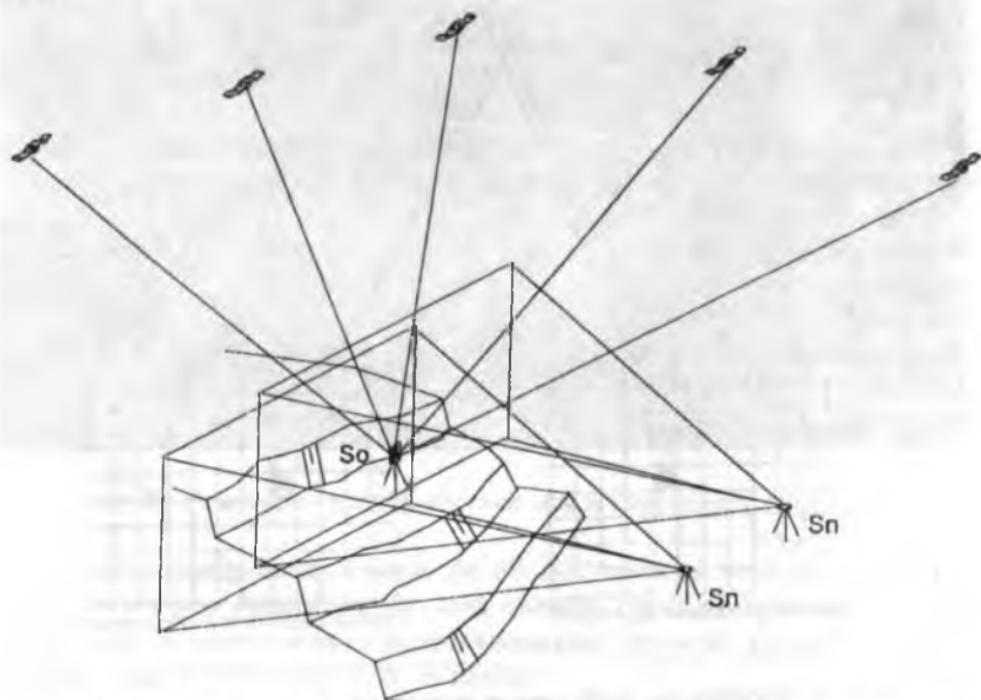


Рис. 3. Схема обеспечения стереопары опорными точками.

Для различных отстояний средние квадратические ошибки координат X_f, Y_f, Z_f съемочного пикета будут составлять (при условии, что $m_x = m_y = m_p = 1 \text{ пик}$, хотя в [3] полагается что эта ошибка может быть меньше пикселя) при сканировании с разрешением 300 dpi и съемке фототеодолитом с фокусным расстоянием 200 мм и базисом $B = 100 \text{ м}$.

Таблица 2. Ошибки определения координат точек при $m = 0,08 \text{ мм}$.

Отстояние Y_f (метры)	m_{Y_f}	m_{X_f}	m_{Z_f}
500	1,0	1,02	0,36
1000	4,0	2,05	0,72

Таблица 3. Ошибки определения координат точек при $m = 0,04 \text{ мм}$.

Отстояние Y_f (метры)	m_{Y_f}	m_{X_f}	m_{Z_f}
500	0,5	0,51	0,19
1000	2,0	2,01	0,35

В общем случае, при использовании цифровых камер, точность определения координат точек фотограмметрической засечкой будет зависеть от угловой величины пикселя, как это показано на рис. 4.

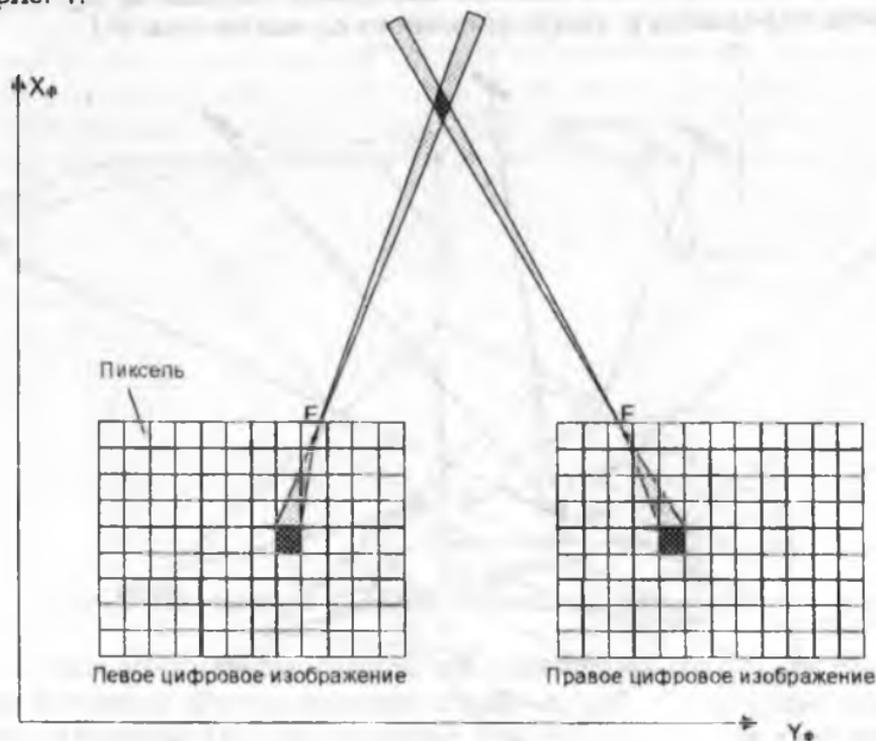


Рис. 4. Стереопара цифровых снимков.

В этом случае формулы (1), с некоторым приближением, примут вид:

$$\left. \begin{aligned} m_{y\phi} &= \frac{\sqrt{2}Y_{\phi}^3 \cdot \tan(\alpha)}{Bf} \\ m_{x\phi} &= \frac{Y_{\phi}^2 \cdot \tan(\alpha)}{Bf} \sqrt{X_{\phi}^2 + (X_{\phi} + B)^2} \\ m_{z\phi} &= \frac{Y_{\phi}^2 \cdot \tan(\alpha)}{Bf} \sqrt{2Z_{\phi}^2 + B^2} \end{aligned} \right\} (2)$$

где α - угловая величина пиксела. Для фрагмента аэрофотоснимка приведенного на рис. 5 эта величина $\alpha = 2',63$, что соответствует размеру пиксела 0,08 мм (сканировался с разрешением 300dpi) при фокусном расстоянии камеры $f=98,56$ мм.



Рис. 5. Фрагмент аэрофотоснимка в цифровом виде.

Для исследуемой камеры AGFA 307 угловая величина пиксела $\alpha = 7'$, что явно недостаточно для съемок открытых горных разработок. Для практического использования угловой размер пиксела должен быть в пределах $2'-3'$, и выше.

Для реального использования цифровых камер для наземных методов съемки величина пиксела цифрового изображения должна быть менее 0,02 мм, что соответствует сканированию с разрешением 1200 dpi, в этом случае съемка с нерабочего борта карьера позволит получить точность требуемую [1]. Либо съемка должна вестись с жестких базисов профессиональными цифровыми камерами, у которых угловая величина пиксела не более 2', с обеспечением опорными точками методами спутниковой навигации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ// - М.: Недра, 1987. - 240 с.
2. Могильный С.Г., Великов И.А., Ахонина Л.И. и др. Фотограмметрия. - Киев; Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1985. - 278 с.
3. Малявский Б.К. Дисплейный стереофотограмметрический комплекс ФОТОМОД. //Геодезия и картография. - 1997. - №11. - С. 20-25.
4. Гермонова. Е.А. Калибровка планшетных сканеров. //Придніпровський науковий вісник. - 1998. - №118-119 (185-186). - С. 38-41.