

В. Я. ФИНКОВСКИЙ, д-р техн. наук, Д. Н. ТУРУК  
Львовский политехнический институт

## СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ БОРТОВ И УСТУПОВ КАРЬЕРА

Увеличение глубины и сроков производственной эксплуатации карьеров создает угрозу обрушений и осыпей их бортов. Это может привести к несчастным случаям, повреждению механизмов и к нарушению режима работы всего карьера.

Применяемые в настоящее время геодезические методы наблюдений за деформациями трудоемкие, дорогостоящие и не дают возможности в сжатые сроки получить данные о деформации. Их использование не снижает опасности во время измерений на бортах карьеров.

Поэтому необходимо разработать и внедрить в производство эффективные способы определения количественных характеристик деформации бортов и уступов карьеров. Один из таких способов разработан на кафедре аэрофотогеодезии Львовского политехнического института и состоит в том, что на участках

карьера, где наиболее возможны проявления деформаций, намечают профильные линии 1п, 2п, ... (рисунок).

В тех случаях, когда нет затруднений в установке знаков, точки профильных линий закрепляют и маркируют специальными сферическими знаками.

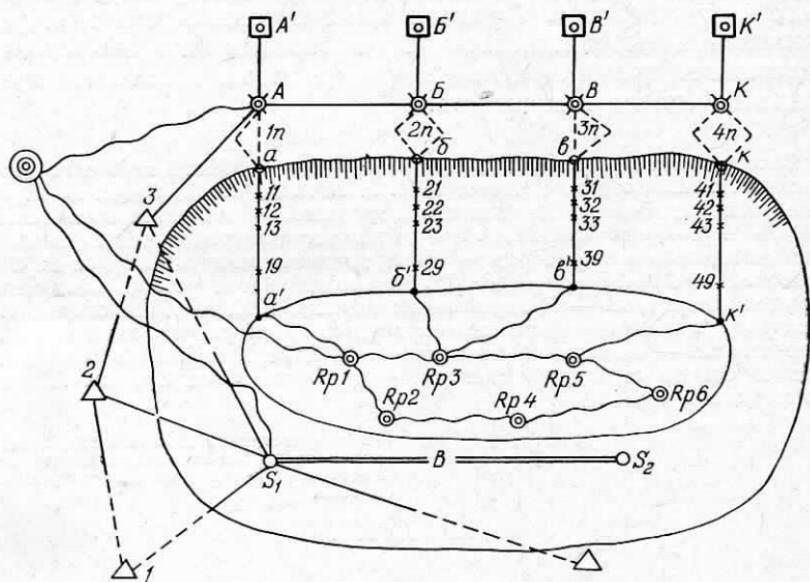


Схема расположения на карьере опорной геодезической сети, профильных линий и базиса фотографирования.

Для определения значений деформаций производят периодические фотосъемки профильных линий с выбранного базиса ( $S_1, S_2$ ). По результатам каждой съемки вычисляют координаты  $X', Y', Z'$  точек. За начало координат принимают нижние профильные точки ( $A', B', B'' \dots$ ), если они неподвижны, а в противном случае — верхние профильные точки ( $A, B, B'' \dots$ ).

Значение сдвигов профильных точек вычисляют по разностям координат двух периодических съемок по времени.

Фотографирование профильных точек выполняют длиннофокусным фототеодолитом ФЗЛТ, состоящим из высокоточного теодолита ОТ-02 и фотокамеры «Зенит» с зеркально-линзовым объективом МТО-1000.

Основные технические характеристики фототеодолита ФЗЛТ:

точность отсчета по горизонтальному и вертикальному кругам	$0'',2;$
размер кадра фотокамеры	$24 \times 36 \text{ мм};$
угол поля зрения	$2^{\circ}30';$
относительное отверстие объектива	$1 : 10;$
разрешающая способность по всему полю изображения	$26 \text{ лин}/\text{мм};$
минимальное расстояние до снимаемого объекта	10 м.

Фотографирование выполняется с базиса, закрепленного вне зоны деформации, с 60%-ным перекрытием снимков. При съемке оптическая ось фотокамеры может занимать различное положение относительно горизонта и линии базиса (общий случай съемки).

Если нижние профильные точки ( $a'$ ,  $b'$ ,  $v' \dots$ ) подвижны, то необходимо выполнить геодезические работы, состоящие из определения геодезических координат  $X_g$ ,  $Y_g$ ,  $Z_g$  опорных пунктов  $A'$ ,  $B' \dots$  (рисунок), размещенных на продолжении профильных линий на расстоянии от борта карьера 2Н-ЗН ( $H$  — глубина карьера).

Кроме того, намечают ориентирные пункты  $A$ ,  $B \dots$ , а на дне карьера закладывают реперы  $R_{p_1}$ ,  $R_{p_2} \dots$ .

Опорные планово-высотные пункты служат для определения координат начальных точек профильных линий  $a$ ,  $b$ ,  $v \dots$ .

Чтобы найти координаты ориентирных пунктов, служащие для контроля неподвижности опорных планово-высотных пунктов  $A'$ ,  $B' \dots$ , необходимо знать дирекционные углы и длины линий  $AA'$ ,  $BB' \dots$ .

Реперы  $R_{p_1}$ ,  $R_{p_2} \dots$  на дне карьера служат для определения высот конечных точек профильных линий  $a'$ ,  $b'$ ,  $v' \dots$  и выявления их неподвижности.

Координаты левого конца базиса фотографирования  $S_1$ , его дирекционный угол и длину определяют от пунктов геодезической (маркшейдерской) сети, имеющейся на карьере.

Густота планово-высотных точек должна быть такой, чтобы дважды с одного и того же пункта находить каждую начальную профильную точку.

Камеральные работы включают обработку полевых геодезических данных, измерение координат профильных точек снимков на стереокомпарателе, вычисление их координат на ЭВМ.

Вычисление производится по формулам, приведенным к нормальному случаю путем аналитического трансформирования:

$$X_\Phi = \frac{B_0}{p_t} x_{t\wedge}; \quad Y_\Phi = \frac{B_0}{p_t} f_k; \quad Z_\Phi = \frac{B_0}{p_t} z_{t\wedge};$$

где  $x_{t\wedge}$ ,  $z_{t\wedge}$  — координаты определенной точки на левом приведенном снимке;  $B_0$  — проекция на горизонтальную плоскость базиса фотографирования, измеренного при съемке;  $p_t = x_{t\wedge} - x_{t\|}$  — продольный параллакс определенной точки;  $f_k$  — фокусное расстояние съемочной камеры:

$$x_t = f_k \frac{a_1 x + a_2 f_k + a_3 z}{b_1 x + b_2 f_k + b_3 z}; \quad z_t = f_k \frac{c_1 x + c_2 f_k + c_3 z}{b_1 x + b_2 f_k + b_3 z}.$$

Здесь  $x$ ,  $z$  — координаты точек снимков общего случая съемки;  $x_t$ ,  $z_t$  — соответствующие координаты точек снимков, приведенные к нормальному случаю съемки;  $f_k$  — фокусное расстояние

съемочной камеры;  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  — направляющие косинусы, определяемые по формулам:

$$a_1 = \cos \alpha \cos \chi - \sin \alpha \sin \omega \sin \chi; \quad a_2 = \sin \alpha \cos \omega;$$

$$a_3 = -\cos \alpha \sin \chi - \sin \alpha \sin \omega \cos \chi;$$

$$b_1 = -\sin \alpha \cos \chi - \cos \alpha \sin \omega \sin \chi; \quad b_2 = \cos \alpha \cos \omega;$$

$$b_3 = \sin \alpha \sin \chi - \cos \alpha \sin \omega \cos \chi;$$

Таблица I

Технологическая схема стереофотограмметрического метода определения деформации



$$c_1 = \cos \omega \sin \alpha; \quad c_2 = \sin \omega; \quad c_3 = \cos \omega \cos \alpha;$$

$$\alpha_1 = 90^\circ - \psi_1; \quad \alpha_2 = \psi_2 - 90^\circ,$$

где  $\psi_1$ ,  $\psi_2$ ;  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  измеренные при съемке углы ( $\psi$  — угол между базисом и оптической осью).

Как показали исследования, полученные координаты  $X_\Phi$ ,  $Y_\Phi$ ,  $Z_\Phi$  содержат значительные систематические ошибки (подвижность базиса, изменение элементов ориентирования камеры), которые можно исключить, если перенести начало координат в точки  $a'$ ,  $b'$ ,  $v'$  или  $a$ ,  $b$ ,  $v$  и вычислить в каждой стереопаре приращение координат между соседними точками по формулам:

$$\Delta X_i = X_{\Phi(i-1)} - X_{\Phi_i}; \quad \Delta Y_i = Y_{\Phi(i-1)} - Y_{\Phi_i};$$

$$\Delta Z_i = Z_{\Phi(i-1)} - Z_{\Phi_i},$$

где  $\Delta X_i$ ,  $\Delta Y_i$ ,  $\Delta Z_i$  — приращения координат точек  $i$  и  $i-1$  в данной стереопаре.

Поскольку численные значения приращения координат невелики, требования к точности определения элементов ориентирования снижаются.

Координаты точек профильных линий находят по следующим формулам:

$$X'_i = \sum_{k'}^{k'} \Delta X - \sum_k^i \Delta X; \quad Y'_i = \sum_k^k \Delta Y - \sum_k^i \Delta Y;$$
$$Z'_i = \sum_k^{k'} \Delta Z - \sum_k^i \Delta Z,$$

где  $i$  — номер искомой профильной точки;  $k'$ ,  $k$  — номер начальной и конечной точек профильной линии.

Значение деформации точек карьера зависит от разностей их координат, найденных из двух последовательных фотосъемок:

$$\delta X_i = (X'_i)_I - (X'_i)_{II}; \quad \delta Y_i = (Y'_i)_I - (Y'_i)_{II};$$

$$\delta Z_i = (Z'_i)_I - (Z'_i)_{II}.$$

Экспериментальные и производственные работы по определению деформации стереофотограмметрическим методом были выполнены по технологической схеме (табл. 1).

В табл. 2 приведены среднеквадратические ошибки определения смещений.

Экономическую эффективность метода рассчитывали на один карьер площадью 70 га, общее количество определенных точек профильных линий 400 шт. Фотосъемки проводили ежемесячно в течение года.

По сравнению с геодезическими методами стереофотограмметрический дает годовую экономию 40 тыс. руб.

Таблица 2

Значения средних квадратических ошибок  
определения деформаций  $b=250$  м  
( $\gamma$  изменяется в пределах  $30^\circ-45^\circ$ ;  $f=1000$  мм)

$y, \text{м}$	$m_{\delta x}, \text{мм}$	$m_{\delta y}, \text{мм}$	$m_{\delta z}, \text{мм}$
100	4	3	4
200	6	4	5
400	9	7	8
600	11	10	10
800	11	12	13
1000	19	18	17

Таким образом, с помощью разработанной методики удалось не только повысить точность определения деформации и снизить требования к точности определения элементов ориентирования фотокамеры, но и вести съемку профильных линий с подвижного базиса.

Работа поступила 11 апреля 1978 года.  
Рекомендована кафедрой аэрофотогеодезии  
Львовского политехнического института.