

И. Я. РЕЙЗЕНКИНД, Л. И. АХОНИНА

РАСЧЕТ ВЫСОТЫ ФОТОГРАФИРОВАНИЯ ПРИ АЭРОФОТОСЪЕМКЕ КАРЬЕРОВ

При аэрофотосъемке карьеров маршруты прокладываются вдоль уступов горных работ. Высота фотографирования при этом определяется относительно некоторого уступа, принимаемого за начальный, вдоль которого перемещается самолет. Так, за начальный уступ участка карьера, представленного на рис 1, а, принят уступ В. Нижние бровки и откосы части уступов, располагающихся ниже уступа В, попа-

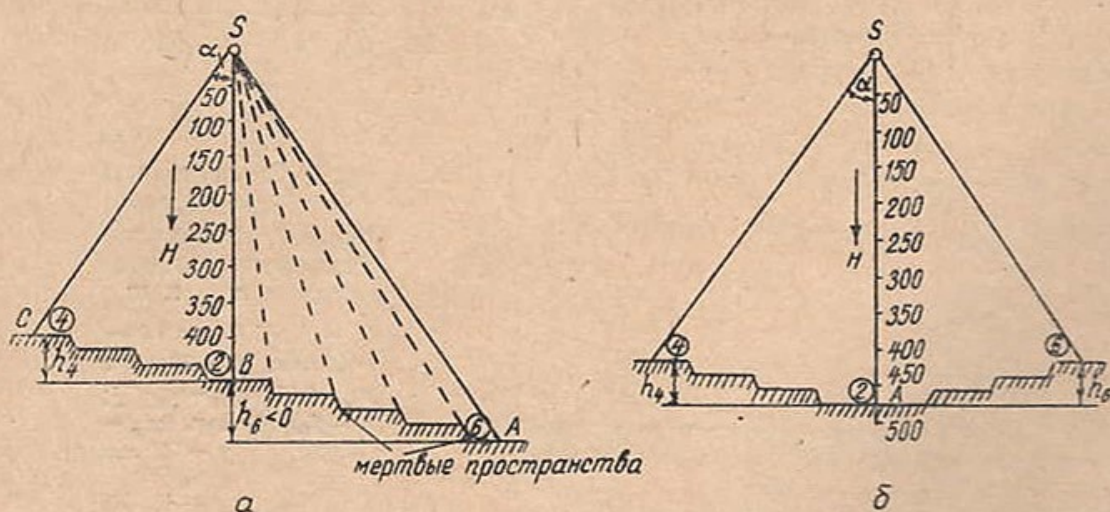


Рис. 1. Основные случаи расположения аэрофотосъемочных маршрутов относительно карьера.

а — вертикальный разрез карьера при произвольном расположении оси маршрута;
 б — вертикальный разрез карьера при расположении оси маршрута вдоль дна карьера.
 1, 2, 6 — точки для взаимного ориентирования.

дают в зону мертвого пространства и на снимках не просматриваются. Однако ближайшие от уступа В нижние один или два уступа могут быть засняты, так как откосы уступов не являются строго вертикальными, а образуют угол около 15° . Таким образом, для построения плана карьера можно использовать только около 60% площади снимка по ширине, а именно ту часть, на которой изображаются уступы, лежащие выше начальной плоскости. При расположении маршрута, показанного на рис. 1, б (ось маршрута проходит по дну карьера), уступы как слева, так и справа находятся выше начальной плоскости А, мертвые пространства при этом не образуются и снимок по ширине может быть использован полностью.

Высота фотографирования H относительно уступа, принятого за начальный, при фиксированном значении фокусного расстояния съ-

мочной камеры зависит от требуемой точности определения высот точек в карьере. Ошибки определения высот точек могут быть вычислены по формуле

$$m_h = \frac{(H - h)^2}{b \cdot H} m_{\Delta p}, \quad (1)$$

где H — высота фотографирования относительно начальной плоскости;
 h — превышение точек в карьере относительно начальной плоскости;

b — базис фотографирования в масштабе снимков;

$m_{\Delta p}$ — ошибка определения разности продольных параллаксов.

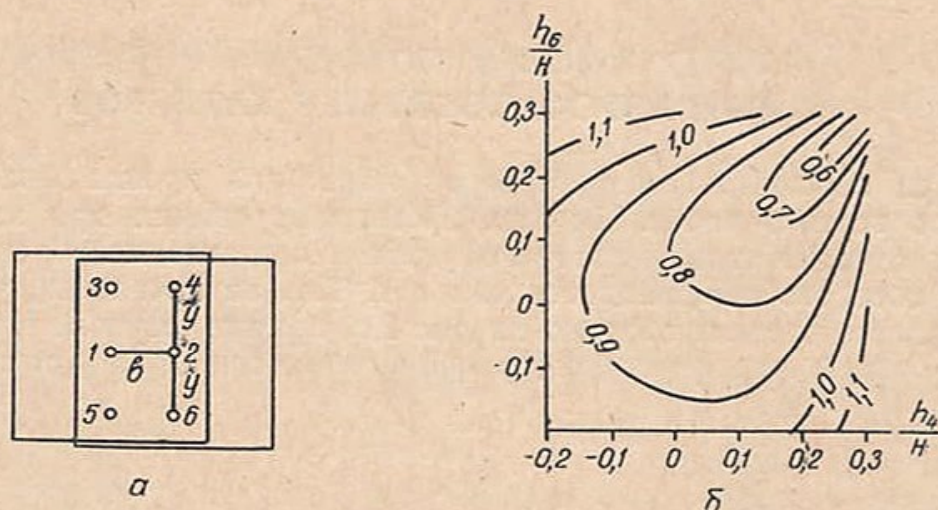


Рис. 2. Графики для определения ошибок элементов взаимного ориентирования $m_{\Delta\alpha}$ и m_{ω} .

$b - f_k = 100$ мм, $b = 60$ мм, $y = 70$ мм,
 $m_q = 0,01$, $m_{\Delta\alpha} = m_q \sqrt{2}$;
 $b - f_k = 100$ мм, $m_q = 0,01$, $y = 70$ мм
 $m'_{\omega_{cp}} = \frac{m'_{\omega}}{\sqrt{2}}$.

При схеме фотографирования, представленной на рис. 1, а, h будет положительным для точек, лежащих выше уступа B , и отрицательным для точек, лежащих ниже этого уступа. Для определения максимально возможных ошибок по формуле (1) h следует брать отрицательным для уступов, лежащих ниже плоскости B . Для схемы фотографирования, представленной на рис. 1, б, максимальную ошибку m_h следует вычислять при $h=0$, так как точек ниже начальной плоскости A в карьере нет.

При обработке снимков на универсальном приборе величина $m_{\Delta p}$ зависит, главным образом, от деформации модели при взаимном ориентировании. Величина $m_{\Delta p}$ может быть подсчитана по формуле [3],

$$m_{\Delta p} = \pm \sqrt{\left(\frac{x^2}{f_k} \cdot \frac{m'_{\Delta\alpha}}{\rho'}\right)^2 + \left(\frac{xy}{f_k} \cdot \frac{m'_{\omega}}{\rho'}\right)^2}, \quad (2)$$

где x, y — текущие координаты точек на снимках;

f_k — фокусное расстояние съёмочной камеры;

$m'_{\Delta\alpha}, m'_{\omega}$ — ошибки определения элементов взаимного ориентирования.

Ошибки определения элементов взаимного ориентирования $m'_{\Delta\alpha}$ и m'_ω зависят от остаточной величины вертикального параллакса m_q , от расположения точек, по которым ведется взаимное ориентирование снимков, фокусного расстояния съемочной камеры, а также от превышений точек 3,5 и 4,6 относительно 1,2 соответственно. Точки 1, 3, 5 и 2, 4, 6 должны располагаться по стандартной схеме, рекомендуемой при взаимном ориентировании (рис. 2,а). Для аэроснимков карьера, где разности высот точек в пределах одной стереопары могут достигать значительной величины, следует обязательно учитывать влияние превышений на точность взаимного ориентирования.

Влияние превышений на точность взаимного ориентирования подробно исследовано К. Н. Герценовой [1]. По предложенным ею формулам в настоящей статье произведен анализ точности определения элементов взаимного ориентирования применительно к двум случаям фотографирования карьеров, указанным выше (см. рис. 1,а,б). Составлены графики для определения ошибок $m'_{\Delta\alpha}$ и m'_ω в зависимости от величин

$$\frac{h_4}{H}; \frac{h_6}{H}; \text{ и } \frac{h_4 + h_6}{H},$$

где h_4 — превышение точки 4 над точкой 2;

h_6 — превышение точки 6 над точкой 2;

H — высота фотографирования относительно начальной плоскости.

Графики для определения $m'_{\Delta\alpha}$ и m'_ω (рис. 2,б,в) составлены для фокусного расстояния камеры — 100 мм, $b=60$ мм и $y=70$ мм. Значение величины остаточного вертикального параллакса m_q принято равным $\pm 0,01$ мм применительно для случая обработки снимков на стереометрографе [3]. При расчете в графиках учтено, что $m'_{\Delta\alpha} = m_\alpha \sqrt{2}$ и $m'_{\omega\text{ср}} = \frac{m'_\omega}{\sqrt{2}}$.

Определение высоты H при условии, что ошибка m_h не превышает $\pm 0,2$ м при масштабе плана 1:1000 (требования маркшейдерской инструкции по открытым горным работам [2]), выполняется в следующем порядке.

1. Определяются превышения h_4 и h_6 точек 4 и 6 относительно точки 2 (или превышения h_3 и h_5 точек 3 и 5 относительно 1) при некоторой произвольно взятой высоте фотографирования H . Определение превышений h_4 и h_6 производится графически при помощи палетки, вычерченной на кальке. Крайние лучи палетки ограничивают охват съемки, выполняемой одним маршрутом. Средняя линия палетки (см. рис. 1,а,б) имеет деления H , построенные через каждые 50 м в масштабе 1:5000. Угол α палетки равен при $f_k = 100$ мм 35° из расчета что $y = \pm 70$ мм. Укладывая палетку относительно вертикального разреза карьера, построенного также в масштабе 1:5000 при некотором приближенном значении H , определяют графически значения h_4 и h_6 .

2. По значениям h_4 и h_6 вычисляются отношения $\frac{h_4}{H}; \frac{h_6}{H}; \frac{h_4 + h_6}{H}$ и из графиков на рис. 2б,в определяют величины $m'_{\Delta\alpha}$ и m'_ω .

3. По формуле (2) при значениях $x=60$ мм, $y=70$ мм и по полученным значениям $m'_{\Delta\alpha}$ и m'_ω вычисляется величина $m_{\Delta p}$.

4. По формуле (1) по данным H , h , $m_{\Delta p}$ и $b=60$ мм определяется ошибка m_h .

Если окажется, что вычисленная ошибка m_h больше допустимой $\pm 0,2$ м, то высота фотографирования выбрана неудачно и ее нужно уменьшить. При новом значении H опять определяют величины h_4 и h_5 и повторяют все вычисления. После двух-трех приближений найдется такая высота фотографирования, которая при данных конкретных условиях будет удовлетворять требованиям точности определения высот точек в карьере $\pm 0,2$ м. В случае, если ошибка m_h , предрасчитываемая по формуле (1), очень мала, можно увеличить высоту фотографирования.

Рассмотрим несколько конкретных примеров определения высоты фотографирования и расположения маршрутов относительно снимаемого карьера.

Пример 1.

Карьер имеет вытянутую прямолинейную форму, ширина карьера — 600 м, глубина — около 70 м. Вертикальный разрез карьера в направлении, перпендикулярном оси, представлен на рис. 3 а. Найдём положение палетки, при котором карьер по ширине размещается на одном маршруте. Это можно сделать при высоте фотографирования $H=700$ м. Определим ошибку m_h .

1. Значения $h_4=h_5=73$ м.

2. Вычисляем значения отношений

$$\frac{h_4}{H} = \frac{h_5}{H} = \frac{73}{700} = 0,10, \quad \frac{h_4 + h_5}{H} = \frac{146}{700} = 0,20.$$

3. По графикам (рис. 2, б, в) определяем

$$m'_{\Delta x} = \pm 0',7, \quad m'_{\omega} = \pm 1',1.$$

4. По формуле (2) вычисляем $m_{\Delta p}$:

$$m_{\Delta p} = \pm \sqrt{\left(\frac{60^2}{100} \cdot \frac{0',7}{3438}\right)^2 + \left(\frac{60 \cdot 70}{100} \cdot \frac{1',1}{3438}\right)^2} = \pm 0,016 \text{ м.м.}$$

5. По формуле (1) при $H=700$ м, $h=0$, $b=60$ м.м и $m_{\Delta p}=0,016$ м.м вычислим m_h :

$$m_h = \frac{700}{60} \cdot 0,016 = \pm 0,18 \text{ м.}$$

Как видим, в данном примере высота фотографирования $H=700$ м удовлетворяет точности определения высот точек в карьере.

Пример 2.

Карьер имеет вытянутую прямолинейную форму. Горные работы ведутся в обе стороны, ширина карьера — 700 м, глубина — около 60 м. При помощи палетки по вертикальному разрезу карьера (рис. 3, б) устанавливаем возможность съемки карьера также одним маршрутом при высоте фотографирования $H=700$ м. Определяем значения превышений h_4 и h_5 , согласно чертежу $h_4=h_5=60$ м. По специальному графику, приведенному на рис. 4, по аргументам h_4 и h_5 сразу же определяем ошибку $m_h = \pm 0,16$ м. График на рис. 4 построен в соответствии с формулами (1) и (2) для заданного значения H и для $\pm h$. Аналогичные графики могут быть построены и для других значений H .

Пример 3.

Карьер имеет вытянутую, но криволинейную форму, максимальная ширина — 900 м, глубина — 100 м. Расположение двух маршрутов, которыми ведется съемка карьера, представлено на рис. 5, при $H=700$ м. Определим максимальные ошибки m_h .

I маршрут: $h_4=42$ м, $h_5=-14$ м, по графикам на рис. 4 получим $m_h = \pm 0,15$ м.

II маршрут: $h_4=47$ м, $h_5=-56$ м, по тем же графикам получим $m_h = \pm 0,16$ м.

При проектировании маршрутов следует также учитывать изменение продольного перекрытия между снимками в связи со значительной разностью высот уступов в карьере в пределах одного маршрута. Так, продольное перекрытие, рассчитанное для оси карьера (например, для дна карьера), может значительно изменяться на верхних уступах. Во всех ранее выполненных расчетах принято $b=60$ м.м, что соответствует продольному перекрытию в центральной части снимков около 67%. Для под-

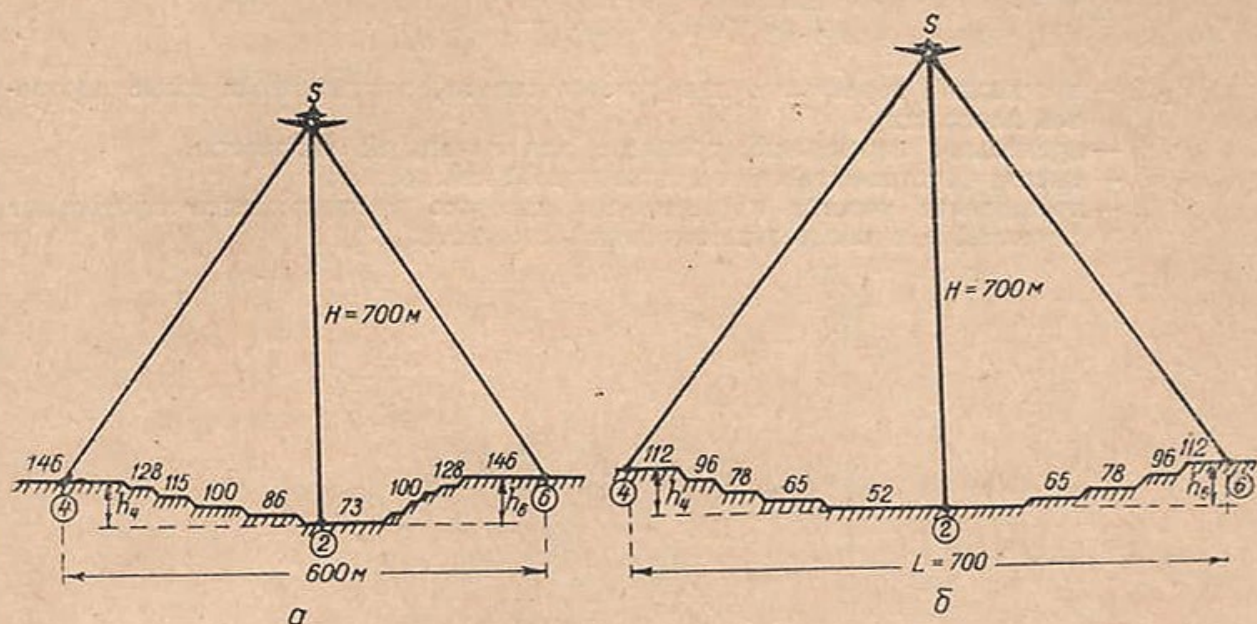


Рис. 3. Расчет высоты фотографирования.

а -- вертикальный разрез выгнутого карьера, б -- вертикальный разрез карьера с двухсторонним развитием горных работ.

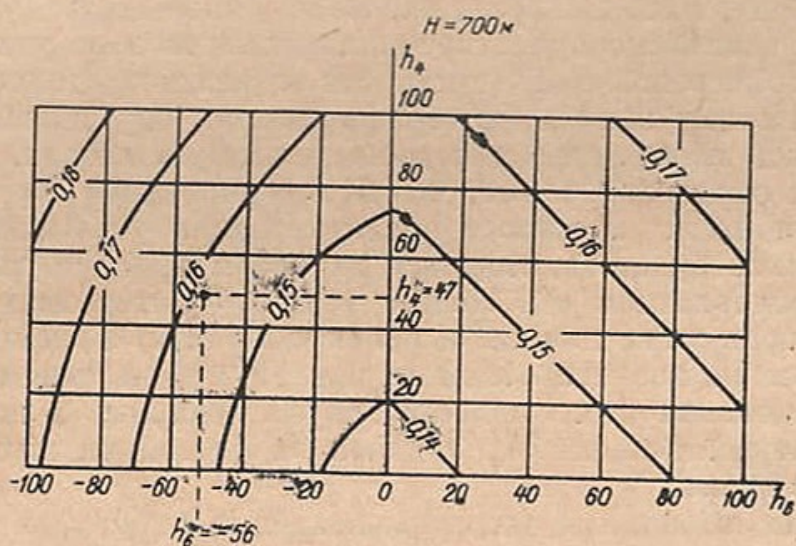


Рис. 4. Графики для определения ошибок m_h в зависимости от превышений точек в карьере.

счета продольного перекрытия на краях маршрута рекомендуется пользоваться следующей формулой:

$$P_x\% = p_x\% + (100 - p_x\%) \frac{h}{H} \quad (3)$$

где $P_x\%$ — продольное перекрытие для участка снимка, находящегося выше начальной плоскости;

$p_x\%$ — продольное перекрытие, принятое для начальной плоскости;

H — высота фотографирования над начальной плоскостью;

h — превышение участка карьера, для которого рассчитывается продольное перекрытие, относительно начальной плоскости.

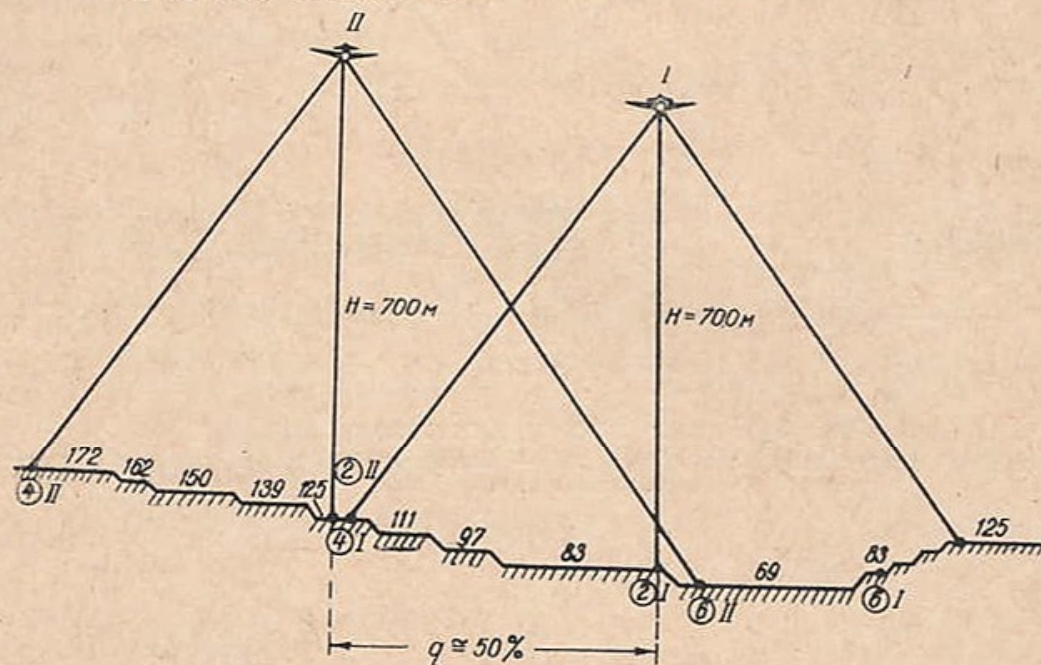


Рис. 5. Проектирование аэрофотосъемки карьера двумя маршрутами.

В зависимости от глубины карьера необходимо задаваться таким продольным перекрытием $p_x\%$, чтобы $P_x\%$, вычисленное по формуле (3), было не менее 60%.

ВЫВОДЫ

1. В связи со значительными превышениями, имеющими место в карьерах, расчет высоты фотографирования должен выполняться с учетом «рельефа». Расчеты, приведенные в данной статье, учитывают только ошибки взаимного ориентирования снимков и не учитывают других возможных погрешностей (дисторсия объектива, деформация пленки и т. д.). Поэтому высота фотографирования, определенная по методике, указанной выше, должна быть несколько уменьшена.

2. При определении высоты фотографирования с учетом деформации модели после взаимного ориентирования учитывалось, что обработка снимков будет выполняться на новом приборе, выпускаемом народным предприятием «К. Цейсс» (ГДР) — стереометрографе с применением координметра для вычисления поправок в элементы взаимного ориентирования аналитическим путем. При этом учитывались результаты исследования этого прибора, опубликованные в нашей специальной литературе. Ошибка m_q принята на основании этих исследований равной $\pm 0,01$ мм.

3. Нами выполнены экспериментальные работы, а также систематически ведутся дополнительные съемки карьеров, на основании которых установлено, что предлагаемая методика расчета высоты фотографирования подтверждается практикой, о чем свидетельствуют данные таблицы ошибок m_h , полученных при различной высоте фотографирования опытного участка карьера.

Ошибки m_h , полученные при различной высоте фотографирования

Высота фотографирования, м	Масштаб снимка	Масштаб модели	m_l , м	m_h , м	Кол-во точек
<i>Залет 17 мая 1968 г.</i>					
1000 м	1:10000	1:4000	0,40	0,23	43
850 м	1:8500	1:3000	0,23	0,23	47
430 м	1:4300	1:1500	0,10	0,14	25
<i>Залет 18 мая 1968 г.</i>					
1000 м	1:10000	1:4000	0,64	0,26	38
800 м	1:8000	1:3000	0,23	0,22	46
600 м	1:6000	1:2500	0,17	0,17	33
<i>Залет 21 мая 1968 г.</i>					
1000 м	1:10000	1:4000	0,31	0,33	33
1000 м	1:10000	1:4000	0,38	0,22	47
800 м	1:8000	1:3000	0,38	0,18	59

m_l — средняя квадратическая ошибка в плановом положении контрольной точки;

m_h — средняя квадратическая ошибка высоты контрольной точки.

Обработка снимков велась на стереометрографе с применением координметра для ориентирования снимков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герценова К. Н. О влиянии рельефа местности на точность взаимного ориентирования снимков. Сб. статей по геодезии, вып. 10. Геодезиздат, 1955.
2. Дополнение к технической инструкции по производству маркшейдерских работ. Госгортехиздат, 1960.
3. Скиридов А. С. Стереофотограмметрия. Геодезиздат, 1959.
4. Тумар Н. А., Бudyлова Т. П. Стереометрограф. Геодезия и картография, № 10, 1965.

Работа поступила
3 декабря 1968 г.