

УДК 528.711

В. Г. Гулкевич, В. А. Катушков, О. Л. Ремилевский, В. М. Сердюков

**ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ  
АЭРОСТЕРЕОТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ  
ПЕРЕХОДА НА ФОРМАТ АЭРОФОТОСНИМКОВ С 18×18 НА 23×23 см**

В настоящее время для аэрофототопографической съемки применяют в основном АФА и приборы с форматом кадра 18×18 см и с различными фокусными расстояниями. Рекомендации по выбору АФА при аэрофототопографической съемке сводятся главным образом к тому, что для плоскоравнинных форм рельефа рекомендуется применять АФА с фокусным расстоянием 55 или 70 мм, для равнинно-пересеченных и всхолмленных районов - 70 или 100 мм и т.д., то есть выбор АФА определяется обычно только условиями, связанными в основном с характером объекта съемки.

Таким образом, имеется некоторая неопределенность в рекомендациях, поскольку применение этих АФА дает разные технико-экономические показатели. Поэтому возникает вопрос о более конкретных рекомендациях при выборе тех или других аэрофотоаппаратов, а формат снимка диктуется применяемыми фотограмметрическими приборами.

Оценку качества, точности рисовки рельефа обычно характеризуют относительной  $m_r/H$ , которая зависит от многих факторов (тип АФА, стереоприбора и др.). Считая, что рисовка рельефа производится в стандартных условиях (на приборах одинакового типа, исполнителями одинаковой квалификации и т.д.) можно считать, что погрешность рисовки рельефа (то есть практически точность определения продольных параллаксов во многом зависит от применяемого АФА, а также от формата снимков.

Отметим, что относительная погрешность  $m_H/H$  недостаточно полно характеризует эффективность того или другого варианта съемки, поскольку дает только точностную характеристику измерений снимков, использование которой не всегда может служить основанием для выбора варианта аэрофотосъемочных работ.

Как показывают дальнейшие расчеты, использование точностной характеристики  $m_H/H$  не может служить основанием для выбора варианта аэрофотосъемочных работ. Более полной характеристикой того или иного варианта съемки следует считать не отношение  $m_H/H$ , а отношение точности определения отметки к полеаной площади  $S$  стереопары, то есть  $m_H/S$ . Очевидно, при одинаковой заданной точности  $m_H$  более экономичен тот вариант, при котором полеаная площадь стереопары на местности будет больше. При большей площади стереопары количество аэросъемочных маршрутов и снимков на участке съемки будет уменьшаться и поэтому уменьшатся объемы полевых геодезических работ по привявке и дешифрированию снимков; фотограмметрических работ по пространственной фототриангуляции и стереорисовке, поскольку объем геодезических и фотограмметрических работ во многом определяется количеством снимков.

Таким образом, оценка вариантов съемки по отношению  $m_H/S$  дает количественную характеристику, связанную с возможной производительностью работ, то есть является показателем технико-экономической эффективности аэрофототопографических вариантов работ; чем меньше отношение  $m_H/S$ , тем выше технико-экономический вариант аэрофототопографической съемки.

Для сравнения двух вариантов съемки введем понятие коэффициента количественной эффективности съемки как отношение площадей стереопар на местности разных вариантов, полученных при одинаковой заданной точности определения отметок. Обозначим коэффициент количественной эффективности

$$\eta = \frac{S_1}{S_2}, \quad (1)$$

где  $S_1$ ,  $S_2$  - площади стереопар на местности, получаемых для различных вариантов съемки при одной и той же точности определения отметок.

Выражая  $S$  на местности через площади  $s$  стереопар на снимках

и другие параметры снимков, получим

$$\eta_s = \frac{S_1}{S_2} = \frac{S_1 m^2_1}{S_2 m^2_2} = \frac{b_1 l_1 \left(\frac{H_1}{f_1}\right)^2}{b_2 l_2 \left(\frac{H}{f_2}\right)^2} = \frac{b_1 l_1 f^2_2 H^2_1}{b_2 l_2 f^2_1 H^2_2}, \quad (2)$$

где  $l$  - размер стереопары по оси  $y$ .

Воспользуемся известной формулой фотограмметрии

$$\Delta p = \frac{bh}{H} \quad (3)$$

переходя от которой к средним квадратическим погрешностям  $m_p$  и  $m_h$ , получим

$$m_p = \frac{b}{H} m_h, \quad (4)$$

где  $m_p$  - точность измерения продольных параллаксов на стереоприборах;  $m_h$  - заданная точность определения отметок;  $b$  - базис съемки в масштабе снимка;  $H$  - высота фотографирования.

Запишем из этой формулы значения высот фотографирования  $H$  для двух вариантов съемки

$$H_1 = \frac{b_1}{m_{p1}} m_{h1}, \quad (5)$$

$$H_2 = \frac{b_2}{m_{p2}} m_{h2}. \quad (6)$$

Поскольку точность  $m_h$  определения отметок для вариантов съемки должна быть одинакова, то есть  $m_{h1} = m_{h2} = m_h$  то, подставляя (5), (6) в (2), получим

$$\eta_s = \frac{b_1 l_1 f^2_2 (b_1 m_{p2})^2}{b_2 l_2 f^2_1 (b_2 m_{p1})^2} = \frac{b^3_1 l_1 (f_2 m_{p2})^2}{b^3_2 l_2 (f_1 m_{p1})^2}. \quad (7)$$

Рассмотрим два случая анализа вариантов съемки с использованием формулы (7).

**Сравнение технико-экономических показателей применения АФА одного формата, но с разными фокусными расстояниями.** Для снимков одного формата и при одинаковых перекрытиях снимков, можно

принять  $b_1 = b_2$ ,  $l_1 = l_2$ , то есть при одинаковых значениях полезной площади стереопары снимков (одинаковых форматах кадров АФА) получим

$$\eta_{\Sigma} = \left( \frac{f_2 m_{p2}}{f_1 m_{p1}} \right)^2. \quad (8)$$

Формула (8) показывает, что чем меньше произведение  $f m_p$  для АФА, тем больше полезная площадь стереопары на местности при одной и той же заданной точности определения отметок. Поэтому назовем это произведение показателем съемки

$$K_{АФА} = f m_p, \quad (9)$$

которым можно характеризовать варианты съемок с количественной точки зрения (при одинаковых форматах и перекрытиях снимков). Чем меньше произведение  $K_{АФА} = f m_p$ , тем большей экономической эффективности и производительности труда можно достигнуть при данном варианте стереофототопографической съемки.

Таким образом, при выборе вариантов съемки следует руководствоваться наименьшим показателем съемки  $K_{АФА} = f m_p$  и коэффициентом эффективности

$$\eta_{\Sigma} = \left( \frac{f_2 m_{p2}}{f_1 m_{p1}} \right)^2 = \left( \frac{K_{АФА2}}{K_{АФА1}} \right)^2, \quad (10)$$

выбирая тот вариант, при котором коэффициент эффективности наибольший, то есть количество аэрофотоснимков наименьшее. При этом по коэффициенту эффективности  $\eta_{\Sigma}$  можно оценить в первом приближении экономическую эффективность и при учете других условий работ выбрать окончательный вариант съемки.

Для иллюстрации рассмотренного предложения обратимся к таблице, в которой даны значения средних квадратических погрешностей  $m_p$  измерения продольных параллаксов, полученных (графа 2) из статистических данных, положенных в основу рекомендаций по выбору АФА для стереофототопографической съемки в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.

При первоначальном изучении графы 3 таблицы по относительной погрешности  $m_p/H$  можно заключить, что использование АФА с большим фокусным расстоянием дает лучшие результаты, поскольку относительная ошибка определения отметок с увеличением фокусного расстояния уменьшается.

В графе 4 даны значения показателей вариантов съемки  $K_{\text{АФА}} = f m_p$ , а в графах 6-8 сравнительные коэффициенты экономической эффективности  $\eta_{\Sigma}$  вариантов съемки. Эти коэффициенты показывают, что экономически более эффективными вариантами являются применение короткофокусных АФА, для которых сравнительный и количественный коэффициент эффективности  $\eta_{\Sigma}$  увеличивается (в графе 6 за единицу полезной площади взята площадь для  $f = 200$  мм). Конечно, при окончательном выборе варианта съемки следует руководствоваться и другими условиями работ и значениями  $f m_p$  для конкретных АФА и стереосприборов.

Значения средних квадратических погрешностей  $m_p$  измерения продольных параллаксов

$f$ , мм	Значение $m_p$ для СД, СПР формат кадров снимков 18x18 см, мм	$\frac{m_p}{H}$	$K_{\text{АФА}} = f m_p$ , мм <sup>2</sup>	Промежуточные вычисления $\frac{(f m_p) 200}{f m_p}$	Уменьшение количества снимков относительно $f = 200$ мм $\frac{\eta_{200}}{\eta_{140}}$	Уменьшение количества снимков от носителя $f = 140$ мм $\eta_{140} = \left(\frac{f_2 m_{p2}}{f_1 m_{p1}}\right)^2$	Уменьшение количества снимков от носителя $f = 100$ мм $\eta_{100} = \left(\frac{f_2 m_{p2}}{f_1 m_{p1}}\right)^2$
70	0,017	1/3500	1,2	1,8	3,24	2,1	1,5
100	0,015	1/4000	1,5	1,45	2,1	1,37	1
140	0,0125	1/4800	1,75	1,56	1,56	1	—
200	0,011	1/5000	2,2	1	1	—	—

Сравним варианты съемки для АФА с разными фокусными расстояниями и разными  $m_p$ , задаваясь на местности одинаковыми площадями стереопар. С этой целью возьмем отношения средних квадратических погрешностей  $m_p$  для различных вариантов съемок. Воспользуемся отношениями формул (5) и (6)

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{b_1 m_{p2} m_{H1}}{m_{p1} b_2 m_{H2}} \quad (11)$$

При одинаковых форматах снимков можно принять  $b_1 = b_2$  и, учитывая, что  $H = f m$  (где  $m$  - знаменатель масштаба снимков) и

что при  $\frac{1}{m} = \frac{f_1}{H_1} = \frac{f_2}{H_2}$  масштабы снимков одинаковы (то есть

$m_1 = m_2$ ), то, подставляя  $b_1 = b_2$  и  $\frac{H_1}{H_2} = \frac{f_1}{f_2}$ , получим

$$\frac{m_{h2}}{m_{h1}} = \frac{f_2 m_{p2}}{f_1 m_{p1}} \quad (12)$$

Формула (12) показывает, что, чем меньше произведение  $f m_p$  (коэффициент съёмки), тем большая точность определения отметок будет получена при одинаковых масштабах снимков с разными фокусными расстояниями.

Таким образом, задаваясь одинаковой точностью определения отметок  $m_{h1} = m_{h2}$  по коэффициенту экономической эффективности

$$\eta_s = \left( \frac{f_2 m_{p2}}{f_1 m_{p1}} \right)^2 \quad (13)$$

можно определить уменьшение количества снимков для варианта с меньшим  $K_{ддд} = f_1 m_{p1}$ .

Задаваясь для вариантов съёмок одинаковыми масштабами снимков  $m_{h1} = m_{h2}$  по тому же отношению

$$\frac{m_{h2}}{m_{h1}} = \frac{f_2 m_{p2}}{f_1 m_{p1}} \quad (14)$$

можно определить, как увеличилась точность определения отметок для варианта съёмки с наименьшим коэффициентом съёмки.

Коэффициент съёмки  $K_{ддд} = f_1 m_{p1}$  характеризует для снимков одинакового формата варианты съёмок с количественной стороны (повышение производительности работ, экономической эффективности) за счет уменьшения количества снимков для вариантов с малым значением  $f_1 m_{p1}$  (и с качественной стороны) за счет повышения точности определения отметок для одинаковых масштабах снимков, поскольку уменьшение  $m_h$  соответствует уменьшению высоты фотографирования.

При выборе варианта съёмок следует руководствоваться коэффициентами съёмок  $K_{ддд} = f m_p$  и коэффициентом экономической эф-

фективности вариантов съёмок  $\eta_s = \left( \frac{f_2 m_{p2}}{f_1 m_{p1}} \right)^2$ , выбирая вариант

съемки с большими значениями коэффициента экономической эффективности. При окончательном решении следует учитывать и другие условия - технологию работ, характер местности и поставленную задачу.

При разработке новых аэрофотоаппаратов для стереофототопографической съемки следует стремиться к уменьшению показателя съемки  $K_{АФА} = f m_p$  относительно существующих аэрофотоаппаратов. В первом приближении в качестве  $m_p$  можно брать значение дисторсии объектива АФА.

Соотношение между масштабами снимков разных вариантов на (2) будет

$$m_1 = m_2 \sqrt{\eta_s}. \quad (14)$$

Таблицу рекомендуемых масштабов для АФА форматом 18×18 см, приведенную в настоящем, следует считать ориентировочной и она должна быть уточнена с учетом приведенного анализа для конкретных приборов и исполнителей.

**Сравнение технико-экономических показателей применения АФА с разными форматами кадра.** Воспользуемся формулой (7)

$$\eta_s = \frac{b_1^3 l_1}{b_2^3 l_2} \left( \frac{f_2 m_{p2}}{f_1 m_{p1}} \right)^2, \quad (15)$$

которая записана для вариантов съемки при одинаковых требованиях к точности определения отметок, то есть при одинаковой точности к рисовке рельефа.

Для стереофототопографической съемки применяют АФА форматом 18×18 и 23×23 см.

Поскольку воспользоваться конкретными данными можно только при разработке технического задания, то в общем случае будем считать  $f_1 m_{p1} = f_2 m_{p2}$ , тогда формула (14) примет вид

$$\eta_s = \frac{b_1^3 l_1}{b_2^3 l_2}. \quad (16)$$

Поскольку при любых процентах продольного и поперечного перекрытий значения базисов  $b_1 = b_2$  прямо пропорциональны размерам сторон снимков  $b - l$ , то формула (16) примет окончательный вид

$$\eta_s = \frac{l_1^4}{l_2^4} = \left( \frac{l_1}{l_2} \right)^4. \quad (17)$$

Сравнивая АФА с форматами кадров 18×18 и 23×23 см, получим

$$\eta_{\Sigma} = \left( \frac{23}{18} \right)^4 \approx 2,9.$$

В общем случае при применении АФА с форматом кадра 23×23 см количество снимков уменьшится примерно в три раза. Значительно сократятся полевые геодезические работы по привяке снимков, так как уменьшится количество плановых и высотных опознаков, сократятся полевые дешифровочные работы за счет уменьшения сводок и сократятся камеральные фотограмметрические работы за счет уменьшения количества снимков.

Должна также снизиться стоимость аэрофотосъемочных работ за счет уменьшения количества аэрофотосъемочных маршрутов и снимков.

Следовательно, применение АФА и стереофотограмметрических приборов с форматом снимков 23×23 см значительно повышает экономическую эффективность стереофотограмметрических работ.

Стереофотограмметрическая обработка снимков формата 23×23 см обеспечивается: аналитическим методом с применением приборов типа стереоаналаграф, стереокомпараторов и графопостроителей; обработкой снимков на универсальных стереоприборах типа стереометрограф, топокарт и др.; созданием новых стечественных стереоприборов для формата 23×23 см. Наиболее просто и достаточно быстро можно разработать новый стереоприбор на базе стереографа СЦ (СД).

При разработке новых АФА для стереотопографической съемки следует, чтобы коэффициент съемки  $K_{АФА} = f_1/m_0$  для данного формата кадра АФА был по крайней мере не больше, чем у существующих АФА.

В общем же случае при разных форматах кадров следует руководствоваться формулой (?).