

УДК 528.721

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК НА СТЕРЕОПАРЕ
НА ТОЧНОСТЬ ОКОНЧАТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

М.А. БАГРОВА

(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.А. МИХЕЕВА)

Рассматривается вопрос точности окончательных результатов для различных точек стереопары на основе эллипсов погрешностей. Сравнения точности определения координат показали, что для подсчета точности следует выбирать точку, расположенную в центре стереопары и имеющую самые небольшие средние квадратические ошибки определения координат, так как остальные точки расположены в зонах перекрытия смежных стереопар и будут определены дважды, поэтому точность их определения будет выше.

Точности окончательных результатов всегда уделялось большое внимание. Для обеспечения высокой точности окончательных результатов необходимо знать параметры съемочной аппаратуры, точность определения фокусного расстояния, разрешение при сканировании и точность измерения снимков. На основании этого можно сказать, что тема работы является актуальной, и в ней предполагается рассмотреть следующие вопросы: влияние расположения точек на точность окончательных результатов, установление зависимости точности окончательных результатов от масштаба съемки.

Для произведения анализа, вычислим точность определения координат на основе эллипса погрешностей, так как эллипс погрешностей показывает не только величины средних квадратических ошибок (СКО), но и направления, по которым эти ошибки произойдут. Предположим, что аэрофотосъемка была выполнена в масштабах 1:5000, 1:10000, 1:15000 и 1:20000 аэрофотоаппаратом LeicaRC-30, с форматом кадра 23×23см, фокусным расстоянием 153мм и продольным перекрытием 60%. Значения ошибки определения фокусного расстояния примем 0.01мм и со СКО измерения координат 10 мкм. Исходя из этого базис фотографирования в масштабе снимка равен 92 мм. Высоты фотографирования вычислены по формуле [1]:

$$H = fM, \quad (1)$$

где M – знаменатель масштаба фотографирования.

Значения высот фотографирования H для принятых масштабов фотографирования приведены в таблице 1.

Значения высоты фотографирования

Таблица 1

M	H , м
5000	765
10000	1530
15000	2295
20000	3060

В фотограмметрии положение точек определяется путем решения прямых засечек с концов базиса фотографирования. Для условий аэрофотосъемки могут быть рассмотрены два случая засечки, которые представлены на рисунке 1.

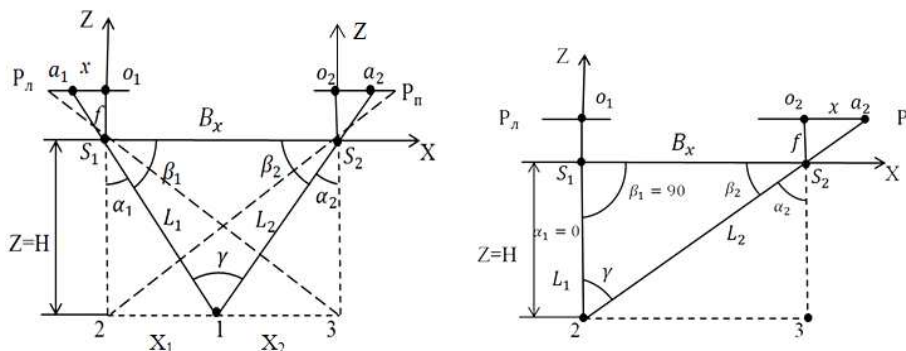


Рис. 1. Фотограмметрические засечки:
 S_1XZ ; S_2XZ – фотограмметрические системы координат;
 x – измеренная абсцисса точки местности на снимке

Засечка из равнобедренного треугольника – для центральных точек стереопары и засечка, когда длина одного проектирующего луча больше длины другого проектирующего луча для других точек стереопары.

В угловой засечке, показанной на рисунке 1, точность определения координат X и Z будет зависеть от точности определения углов α и β . Для точки 1, согласно рисунку 1, углы $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ и γ будут выражаться следующим образом [2]:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{x}{f}, \quad (2)$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha, \quad (3)$$

$$\gamma = 180^\circ - 2\beta. \quad (4)$$

Средняя квадратическая ошибка угла α определена по формуле [2]:

$$m_\alpha = \frac{\rho}{f^2 + x^2} \sqrt{f^2 \sigma^2 + x^2 m_f^2}. \quad (5)$$

Точность определения координат оценена на основании эллипса погрешностей, представленного на рисунке 2. Величина СКО m не может с достаточной удовлетворительностью характеризовать точность положения точки на плоскости. Более полное и правильное понятие об ошибках положения дает эллипс погрешностей [3]. Эллипс погрешностей может занимать различные положения в выбранной системе координат. Угол поворота эллипса ошибок относительно осей координат характеризуется углом θ (см. рис. 1).

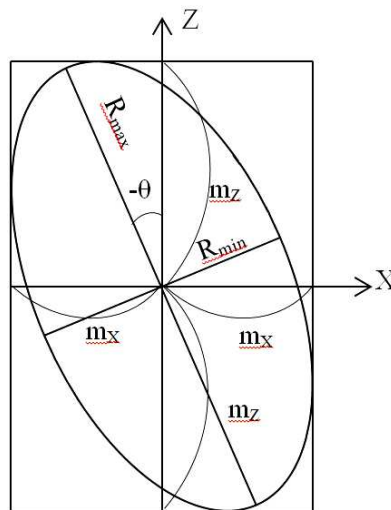


Рис. 2. Эллипс погрешностей

При фотограмметрических построениях СКО определения плановых координат X и Y равны между собой, то есть $m_x = m_y$ [3]. Поэтому в работе рассмотрены ошибки в направлении оси координат X и Z на основе эллипсов погрешностей. Для получения СКО $m_{x,y}$, m_z следует провести касательные к эллипсу, параллельные осям X и Z . Основания полученных перпендикуляров к осям координат и определяют нужные СКО $m_{x,y}$ и m_z [3].

Значения большой и малой полуосей эллипса R_{\max} и R_{\min} соответственно получены по следующим формулам [4]:

$$R_{\max}^2 = \frac{2\mu^2}{[paa] + [pbb] - \sqrt{([paa] - [pbb])^2 + 4[pab]^2}}, \quad (6)$$

$$R_{\min}^2 = \frac{2\mu^2}{[paa] + [pbb] + \sqrt{([paa] - [pbb])^2 + 4[pab]^2}}. \quad (7)$$

В формулах (6), (7) значения элементов $a_1 = \frac{\rho X_1}{L_1^2}$; $b_1 = \frac{\rho Z_1}{L_1^2}$; $a_2 = \frac{\rho X_2}{L_2^2}$; $b_2 = \frac{\rho Z_2}{L_2^2}$; P – вес измерений;

μ – СКО единицы веса. Здесь X_1 в системе координат S_1XZ , X_2 в системе координат S_2XZ , L_1 и L_2 показаны на рисунке 1.

Угол разворота осей эллипса погрешности θ относительно принятой системы координат определен по формуле [3]:

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{2[pab]}{[paa] - [pbb]}. \quad (8)$$

Для равнобедренного треугольника СКО измерения углов оказались одинаковыми, следовательно, вес $p = 1$, $\mu = m_\alpha$.

Значения СКО угла $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, большой R_{\max} и малой R_{\min} полуосей эллипса погрешности и угла разворота θ для точки 1 представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения большой R_{\max} и малой R_{\min} полуосей

m	$m_\alpha, ''$	P	$R_{\min} = m_{X,Y}, \text{ м}$	$R_{\max} = m_Z, \text{ м}$	$\theta, ^\circ$
5000	12,910	1	0,037	0,123	0
10000	12,910	1	0,074	0,246	0
15000	12,910	1	0,111	0,368	0
20000	12,910	1	0,148	0,491	0

Как видим, угол разворота осей эллипса погрешности θ для всех масштабов равен нулю. Это значит, что величина малой полуоси эллипса будет соответствовать значению СКО $m_{X,Y}$, а величина большой полуоси – СКО m_Z . Кроме того, для всех масштабов фотографирования СКО определения отметок более чем в 3 раза грубее, по сравнению с определенными плановыми координатами.

Фотограмметрическая засечка для точки 2 представлена на рисунке 1.

Углы α_2 , β_2 и γ согласно рисунку 1 будут:

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{B}{H}; \quad (9)$$

$$\beta_2 = 180^\circ - \beta_1 - \gamma; \quad (10)$$

$$\alpha_2 = 90^\circ - \beta_2. \quad (11)$$

Вычисления сделаны по формулам (6), (7) в двух вариантах: за единицу веса принята СКО определения угла m_{α_2} , вес P_1 получен по формуле $\frac{m_{\alpha_2}}{m_{\alpha_1}} = P_1$, а за единицу веса принята СКО определения

угла, $\frac{m_{\alpha_1}}{m_{\alpha_2}} = P_2$.

Значения СКО углов α_1, α_2 вычислены по формуле (5), значения весов P_1 и P_2 , большой R_{\max} и малой R_{\min} полуосей эллипса погрешности и угла разворота θ для точки 2 представлены в таблице 3.

Таблица 3

Значения большой R_{\max} и малой R_{\min} полуосей

m	$m_{\alpha_1}, ''$	$m_{\alpha_2}, ''$	P_1	P_2	$R_{\min}, \text{ м}$	$R_{\max}, \text{ м}$	$\theta, ^\circ$
5000	13,481	11,554	0,857	1,167	0,036	0,133	-13 34 49,87
10000	13,481	11,554	0,857	1,167	0,073	0,266	-13 34 49,87
15000	13,481	11,554	0,857	1,167	0,109	0,399	-13 34 49,87
20000	13,481	11,554	0,857	1,167	0,146	0,533	-13 34 49,87

Для точки 3 эллипс погрешностей повернут на такой же угол, но в другую сторону относительно оси Z . Все вычисленные значения оказались такими же, как и значения для точки 2, приведенные в таблице 3.

Значения средней квадратической ошибки $m_{x,y}$, средней квадратической ошибки m_z для точек 2 и 3 найдены при построении эллипса погрешностей в программном продукте Auto_Cad путем проведения касательных параллельных осей X и Z и представлены в таблице 4.

Таблица 4

Значения средних квадратических ошибок

m	$m_{x,y}, M$	m_z, M
5000	0,047	0,130
10000	0,094	0,259
15000	0,140	0,389
20000	0,191	0,518

Значения СКО $m_{x,y}$, m_z зависят от положения точек. Для точек 2 и 3 значения СКО получились одинаковыми, так как эти точки расположены симметрично точке 1. Средняя квадратическая ошибка точек 2 и 3 получились хуже, чем для точки 1. Наименьшая СКО получилась для центральной точки 1, а СКО определения высотной координаты для точки 2 и 3 на 6 % грубее, чем для точки 1; СКО определения плановых координат для точек 2 и 3 на 27 % грубее, чем для точки 1.

Так как точки 2 и 3 расположены в зоне тройного продольного перекрытия, то их координаты будут получены в смежных моделях. Поэтому точность их определения возрастает в $\sqrt{2}$, чем координаты точки 1.

Результаты вычислений СКО $m_{x,y}$, m_z для точек 2 и 3 получены по формуле $m'_{x,y,z} = m_{x,y,z} \sqrt{2}$ и для масштаба фотографирования 1:5000 сведен в таблицу 5.

Таблица 5

Результаты средних квадратических ошибок

СКО	Точка 1	Точки 2 и 3
m'_z	0,123	0,092
$m'_{x,y}$	0,037	0,033

В таблице 5 значения $m_{x,y}$ и m_z для точки 1 взяты из таблицы 2.

Составляя данные СКО для разных точек (см. табл. 2 для точки 1 и табл. 5 для точек 2 и 3), видим, что средняя квадратическая ошибка для точек 2 и 3 померены точнее. Поэтому оценивать качество получения координат точек при фотограмметрических построениях следует по точке 2.

Кроме того, как видно из выполненных расчетов, СКО возрастает пропорционально уменьшению масштаба фотографирования, и если известны СКО для какого-то масштаба $1:m_1$, то для другого масштаба $1:m_2$ СКО легко пересчитать, используя коэффициент $k = \frac{m_2}{m_1}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михеева, А.А. Прикладная фотограмметрия: учеб.-метод. компл. / А.А. Михеева, В.В. Ялтыхов. – Новополоцк: ПГУ, 2006. – 320 с.
2. Михеева, А.А. Оценка формул расчета разрешения при сканировании аэрофотоснимков и формул предрасчета точности определения координат точек местности по эллипсам погрешностей / А.А. Михеева, В.И. Медведев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2011. – № 8. – С. 159–169.
3. Чеботарев, А.С. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятности / А.С. Чеботарев. – М.: Геодезиздат, 1958. – 606 с.
4. Мицкевич, В.И. Применение нелинейного программирования при математической обработке геодезических сетей: дис. ... канд. техн. наук / В.И. Мицкевич. – Новосибирск, 1981. – 232 с.