

ОСОБЕННОСТИ КАЛИБРОВКИ АЭРОСЪЕМОЧНЫХ КАМЕР ПО СНИМКАМ РАВНИННОГО ПОЛИГОНА

Андрей Леонидович Быков

ООО «Лаборатория автоматизации геодезических и фотограмметрических работ», 644050, Россия, г. Омск, Поселковая 2-я, 8, ведущий инженер, тел. (3812)268-910, e-mail: abu-ll@yandex.ru

В статье представлены результаты исследования способов калибровки аэрофотосъемочных камер на равнинном полигоне. Доказывается необходимость двухъярусной аэросъемки полигона и обработки результатов измерений двумя способами для контроля точности определения параметров калибровки.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, калибровка, АФА, элементы внутреннего ориентирования, дисторсия.

FEATURES SIZING AERIAL SURVEY CAMERAS ON THE PLAINS PICTURES LANDFILL

Andrey L. Bykov

Ltd. "Laboratory Automation geodetic and photogrammetric" 644008, Russia, Omsk, Poselkovaya 2-nd, 8, senior engineer, tel. (3812)268-910, e-mail: abu-ll@yandex.ru

The article presents the results of a study aerial camera calibration methods on a flat site. The necessity of aerial photography bunk landfill and processing of measurement results in two ways to control the accuracy of the determination of the calibration parameters.

Key words: aerial survey, calibration, distorsion.

Вопросам калибровки камер уделялось внимание на протяжении всего периода развития фотограмметрии. Исследования в этой области выполнены ведущими отечественными и зарубежными учеными, такими как Лобанов А. Н., Дубиновский В. Б., Журкин И. Г., Антипов И. Т., Тюфлин Ю. С., Малявский Б. К., Гук А. П., Гончаров А. П., Погорелов В. В., А.Г. Чибуничев, Михайлов А. П., Ackermann F, Brown D, Grun A, Jacobsen K, Norton C. и др. В результате было предложено множество способов частичной и полной калибровки аэросъемочной аппаратуры.

Относительно калибровки на испытательных полигонах известно, что для получения точных параметров необходимы полигоны со значительным превышением между опорными точками. Строительство и содержание полигона в горной местности обходится значительно дороже, чем на равнине. Для калибровки в условиях равнинной местности необходимы дополнительные исходные данные, например, элементы внешнего ориентирования снимков [1,3].

Вернуться к обсуждению данного вопроса нас заставили два обстоятельства. Первое – связано с внедрением в практику аэросъемки глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), которые позволяют

зафиксировать координаты центров фотографирования и решить задачу калибровки по снимкам равнинного полигона. Второе – обусловлено бесконтрольностью параметров калибровки, получаемых таким образом в условиях равнинного полигона. В результате наших исследований, выполненных на специально созданном испытательном полигоне, разработана методика, обеспечивающая надежный контроль параметров калибровки камер [2].

Известно, по крайней мере, два способа калибровки аэросъемочных камер, позволяющих получить устойчивое решение задачи в условиях равнинного полигона.

Первый – предполагает, что в процессе аэросъемки определены пространственные координаты центров фотографирования. Математическую модель способа можно обозначить следующим выражением:

$$F[\alpha, \omega, \kappa, x_0, y_0, f, \varphi(c, x, y), X, Y, Z, X_S, Y_S, Z_S, x, y] = 0 \quad (1)$$

где α, ω, κ - угловые элементы внешнего ориентирования снимков, x_0, y_0, f - элементы внутреннего ориентирования, $\varphi(c, x, y)$ – модель суммарных систематических ошибок снимков, X, Y, Z - координаты опорных точек на местности, X_S, Y_S, Z_S - координаты центров фотографирования, x, y - координаты опорных точек на снимках.

Этот способ обеспечивает полную калибровку камеры с определением угловых элементов внешнего ориентирования, элементов внутреннего ориентирования и суммарных систематических ошибок снимков, вызванных влиянием дисторсии объектива, атмосферы и другими факторами. Исходными данными являются координаты опорных точек на снимке и на местности, а также координаты центров фотографирования. Способ не накладывает ограничений на количество совместно обрабатываемых снимков, их масштабы и значения элементов ориентирования.

Во втором варианте подразумевается, что аэросъемка выполнена с двух высот, а по данным ГНСС вычислены разности высот фотографирования разномасштабных снимков. Математическая модель способа имеет следующий вид:

$$F[X_S, Y_S, Z_S, \alpha, \omega, \kappa, X_S', Y_S', Z_S', \alpha', \omega', \kappa', f, \varphi(c, x, y), X, Y, Z, x, y, x', y', \Delta H] = 0, \quad (2)$$

где $X_S, Y_S, Z_S, \alpha, \omega, \kappa, X_S', Y_S', Z_S', \alpha', \omega', \kappa'$ - элементы внешнего ориентирования пары разномасштабных снимков, f - фокусное расстояние камеры, $\varphi(c, x, y)$ – модель суммарных систематических ошибок снимков, X, Y, Z, x, y, x', y' - координаты опорных точек соответственно на местности и на паре разномасштабных снимков, ΔH - разность высот фотографирования снимков.

Второй способ позволяет выполнить лишь частичную калибровку камеры, поскольку из элементов внутреннего ориентирования явно определяется лишь фокусное расстояние. Значения координат главной точки задаются приближенно. Считается, что допущенные таким образом погрешности учитываются параметрами модели суммарных систематических искажений снимков.

Решение задачи выполняется с одновременным использованием условий коллинеарности проектирующих лучей в пространстве снимка и местности, составленных для опорных точек, изобразившихся на каждом снимке, а также условия равенства разностей высот фотографирования. Количество совместно обрабатываемых пар разномасштабных снимков не ограничено. На профессиональном сленге этот вариант калибровки называется двухъярусным способом.

Очевидно, что первый вариант имеет неоспоримые преимущества, поскольку обеспечивает полную калибровку, не требует двухъярусной съемки местности, не накладывает ограничений на количество и масштабы снимков. Однако в процессе исследования этого способа обнаружилось, что параметры калибровки полностью зависят от координат центров фотографирования, точность которых определяется погрешностями определения координат спутниковой антенны и ошибками фиксации элементов редукации антенны относительно центра фотографирования. Источником наиболее существенных ошибок являются параметры редукации антенны. Линейный элемент – расстояние между двумя точками, может быть найден с высокой точностью в стационарных условиях, когда летательный аппарат находится на аэродроме. Угловые элементы редукации приходится определять в полете в момент фотографирования. Это не проблема для современных цифровых комплексов, установленных на специально оборудованных летательных аппаратах. Но сегодня аэросъемку выполняют и бытовыми камерами с борта легких самолетов, вертолетов и беспилотных летательных аппаратов, не имеющих специальных устройств фиксации угловых элементов ориентирования с необходимой точностью. В этом случае в координаты центров фотографирования вносятся погрешности, обусловленные ошибками элементов редукации антенны относительно центра фотографирования. В результате при исследовании камеры по снимкам равнинного полигона параметры калибровки искажаются.

Исследования второго варианта калибровки камер показали, что этот способ позволяет получить искомые параметры с необходимой точностью даже без учета элементов редукации антенны относительно центра фотографирования. При малых углах наклона, которые стараются выдержать при аэросъемке, разность высот фотографирования можно определять непосредственно по координатам спутниковой антенны. Расчеты показывают, что предельно допустимые при аэросъемке углы наклона до 5° вызывают погрешность разности высот в пределах одного сантиметра. Фокусное расстояние, полученное двухъярусным способом, можно сравнить

с фокусным расстоянием, вычисленным способом полной калибровки. Сходимость значений в пределах случайных ошибок определения элементов внутреннего ориентирования будет свидетельствовать о правильности определения параметров калибровки способом полной калибровки. В противном случае придется довольствоваться результатами частичной калибровки, полученными двухъярусным способом.

В результате исследований была разработана методика, обеспечивающая контроль параметров полной калибровки аэрокамер, определенных по снимкам равнинного полигона. Суть ее в следующем:

- выполнить аэрофотосъемку с двух высот;
- определить координаты центров и разности высот фотографирования;
- выполнить необходимые измерения координат точек на снимках;
- определить параметры калибровки двухъярусным способом;
- определить параметры калибровки способом полной калибровки;
- сравнить результаты определения фокусного расстояния двумя способами.

Экспериментальные работы выполнялись на полигоне «Марьяновский» в Омской области. Аэрофотосъемка была выполнена цифровой камерой Haselblad 503CW с борта самолета АН-2 в двух масштабах: 1:10 000 и 1:15 000 с определением координат спутниковой антенны. Параметры редукции антенны относительно центра фотографирования не учитывались. Для контроля данных камера предварительно исследовалась в лабораторных условиях. Параметры калибровки определялись способами полной и частичной калибровки. В обоих случаях использовались разномасштабные снимки. В табл. 1 приведены результаты калибровки цифровой камеры Haselblad 503CW.

Таблица 1

Результаты различных вариантов калибровки цифровой камеры Haselblad 503CW

Вариант калибровки	f , мм	x_0 , мм	y_0 , мм	$m_{x,y}$, мм
Полная	41,118	-0,040	0,105	0,010
Частичная	40,783	-	-	0,005
Лабораторная	40.800	-	-	-

Из данных табл. 1 следует, что фокусное расстояние, полученное способом частичной калибровки, соответствует данным лабораторных исследований (40,80 мм). Поскольку параметры редукции антенны относительно центра фотографирования не учитывались, результаты калибровки, полученные способом полной калибровки, не соответствуют действительности.

Таким образом экспериментально доказана возможность контроля точности параметров, полученных способом полной калибровки по материалам двухъярусной аэросъемки. Обработку результатов измерений следует выполнять последовательно способами полной и частичной калибровки. При совпадении элементов внутреннего ориентирования с точностью измерения координат точек на снимках за окончательные результаты следует принять параметры, полученные способом полной калибровки. Если результаты обработки разнятся, следует отдать предпочтение параметрам, полученным способом частичной калибровки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антипов, И.Т. Математические основы пространственной аналитической фототриангуляции [Текст] / И.Т. Антипов. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 2003. – 296 с.
2. Быков, А. Л. Исследования методики калибровки аэрофотокамер на равнинном испытательном полигоне [Текст] / Геодезия и картография. – 2012 г. – №6. – С. 32–35.
3. Дубиновский, В.Б. Калибровка снимков [Текст] / В.Б. Дубиновский. – М.: Недра, 1982, 224 с.

© А. Л. Быков, 2014