

GEOSCAN

**Требования к программно-
аппаратным комплексам
беспилотной
аэрофототопографической
съемки и фотограмметрическая
калибровка аэрофотокамер**

**Кадничанский С.А., Клестов Д., Курков М.В. ,
Кохановский В.А.**

**«Геодезия. Маркшейдерия. Аэросъемка»
XIII Международная научно-практическая
конференция 10-11 февраля 2022 г.**



В 2021 году введены в действие следующие национальные стандарты, которыми предусматривается применение беспилотных воздушных судов (БВС) для производства топографической аэрофотосъемки, выполняемой в комплексе работ по аэрофототопографической съемке местности

Национальный стандарт	Дата введения в действие
ГОСТ Р 59328-2021 Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования	1 июня 2021 г.
ГОСТ Р 59562-2021 Съемка аэрофототопографическая. Технические требования	1 декабря 2021 г.

Завершена разработка национального стандарта

Национальный стандарт	Дата введения в действие
ГОСТ Р - 2022 Программно-аппаратный комплекс аэрофототопографической съемки с использованием беспилотного воздушного судна. Технические требования	1 декабря 2022 г.

- **Разработан в соответствии с программой национальной стандартизации на 2021 год** (шифр темы ПНС 3.7.404-1.019.21) в целях реализации государственных программ и законов Российской Федерации компанией «Геоскан»
- **Предложения в ПНС представлены техническим комитетом ТК 404** «Геодезия и картография»
- **Все стадии разработки завершены**, передан на утверждение
- **Дополняет и конкретизирует изложенные ГОСТ Р 59328-2021 и ГОСТ Р 59562-2021** требования в части использования беспилотных воздушных судов в аэрофототопографической съемке, обеспечивающих на основе материалов аэросъемки с БВС эффективное получение конечной продукции требуемого качества.

программно-аппаратный комплекс (ПАК) аэрофототопографической съемки: Комплекс технических и программных средств цифровой аэрофотосъемки и фотограмметрической обработки, предназначенный для получения конкретных видов продукции аэрофототопографической съемки [ГОСТ Р 59562-2021, статья 3.22].

Специфика выполнения аэрофототопографической съемки с использованием БВС такова, что **качество, в том числе точность получаемых в ее результате пространственных данных, зависит от всего комплекса программных и аппаратных средств**, обеспечивающих топографическую аэрофотосъемку и основные процессы фотограмметрической обработки

Стандарт устанавливает требования к:

- составу ПАК,
- беспилотному воздушному судну,
- аэрофотокамере,
- лидару (необязательный компонент)
- бортовым средствам определения элементов внешнего ориентирования аэрофотоснимков,
- программному средству фотограмметрической обработки материалов АФС,
- программному средству обработки данных лидарной съемки (необязательный компонент),
- исследовательским испытаниям ПАК,
- документации.

Состав программно-аппаратного комплекса (ПАК)

Обязательные компоненты:

- комплект беспилотного воздушного судна (БВС);
- аэрофотокамера;
- геодезический ГНСС-приемник;
- программное средство обработки ГНСС-измерений;
- программное средство фотограмметрической обработки материалов АФС

При идентификации типа комплекса указывают:

- тип (марка, модель) БВС,
- тип (марка, модель) аэрофотокамеры,
- тип (марка, модель) ГНСС-приёмника,
- программное средство фотограмметрической обработки.

Качество, точность результатов аэрофототопографической съемки с использованием БАС определяется совокупностью этих компонентов

Требования к аэрофотокамере

аэрофотокамера: Устройство, предназначенное для фотографирования земной поверхности с борта воздушного судна. [ГОСТ Р 59328-2021, статья 3.1.2]

- аэрофотокамера должна удовлетворять требованиям статьи 5.2.2 ГОСТ Р 59328-2021 Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования;
- аэрофотокамера должна быть снабжена центральным затвором или использовать иной способ одновременного экспонирования всех светочувствительных элементов матрицы в том числе электронный затвор с полнокадровым считыванием (глобальный затвор);
- топографическая аэрофотокамера должна иметь паспорт или иной документ с результатами фотограмметрической калибровки (сертификат, протокол, отчет о фотограмметрической калибровке), предоставляемый производителем аэрофотокамеры, или организацией, выполнившей фотограмметрическую калибровку.

Требования к аэрофотокамере

Допускается использование аэрофотокамер, созданных на основе серийно выпускаемых компактных фотокамер общего назначения с постоянным фокусным расстоянием путем их доработки, включающей следующее:

- обеспечение **жесткого крепления объектива** к корпусу;
- жесткая **фиксация фокусировки на бесконечность**;
- обеспечение возможности **управления экспонированием** сигналом от автопилота;
- обеспечение возможности **регистрации момента экспонирования** как середины отрезка времени срабатывания затвора с погрешностью, не превышающей установленного данным стандартом допустимого значения.
- Наличие результатов **фотограмметрической калибровки** с целью определения элементов внутреннего ориентирования (фокусное расстояние аэрофотокамеры, координаты главной точки, коэффициенты радиальной и тангенциальной дисторсии) с **оформлением результатов фотограмметрической калибровки по форме**, представленной в приложении А (рекомендуемое).

Требования к аэрофотокамере

Приложение А (Рекомендуемое) форма паспорта

Примечание – представленные формулы дисторсии и описание системы координат снимка даны для примера подробности изложения и не ограничивают выбор модели дисторсии и системы координат.

ПАСПОРТ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ АЭРОФОТОКАМЕРЫ

Модель аэрофотокамеры

Серийный номер фотокамеры
Модель объектива
Серийный номер объектива

DSC-RX1R G

7452345
CarlZeiss Vario Sonnar T
WE3456789

Значения основных параметров и характеристик

Номинальное фокусное расстояние объектива, мм	35,0
Тип матрицы	CMOS-матрица Exmor R®
Размер матрицы, мм	35,9 x 24,0
Размер матрицы в пикселях	6000 X 4000
Размер пикселя матрицы, мм	0,006
Тип затвора	центральный
Диапазон выдержек, с	1/30–1/4000
Фокусировка	(1/30–1/2000 при отв. отв. 1:2) фиксированная на ∞
Минимальный интервал фотографирования, с	0,65
Погрешность фиксации момента экспонирования, мс	не более 1

Значения элементов внутреннего ориентирования аэрофотокамеры

Фокусное расстояние аэрофотокамеры, пиксель	7539,6 ± 0,3
Координаты главной точки, пиксель	x^0 : 20,0 ± 0,3 y^0 : 8,7 ± 0,3
Коэффициенты радиальной дисторсии	K_1 : -0,05020 ± 0,00025 K_2 : -0,16907 ± 0,00025 K_3 : 0,23243 ± 0,00025
Коэффициенты тангенциальной дисторсии	P_1 : -0,00043 ± 0,00025 P_2 : 0,00062 ± 0,00025

Координаты главной точки даны в системе координат фотокамеры, имеющей начало в центре светочувствительной матрицы фотокамеры, плоскость x^*y^* совпадает с плоскостью матрицы, ось x^* направлена вправо перпендикулярно к столбцам пикселей матрицы, ось y^* направлена параллельно столбцам пикселей матрицы в сторону, соответствующую нижней стороне рамки кадра, визуально наблюдаемого снимка. Коэффициенты дисторсии соответствуют модели, описываемой следующими выражениями:

$$x' = x(1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + P_1(r^2 + 2x^2) + 2P_2 xy,$$

$$y' = y(1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + P_2(r^2 + 2y^2) + 2P_1 xy,$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}.$$

x, y – отсчитываемые от главной точки координаты точки снимка, деленные на фокусное расстояние, свободные от дисторсии, например вычисленные по пространственным координатам точки местности.

Фотограмметрическая калибровка выполнена в ООО «Геоскан» по методике фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием калибровочного полигона.

Руководитель испытательной лаборатории _____ (подпись, расшифровка)

Дата 04.07.2021

М.П.

Требования к аэрофотокамере

Если при этом **отсутствует информация о постоянстве элементов внутреннего ориентирования** в пределах установленных в 5.2.2 ГОСТ Р 59328-2021, **следует выполнять самокалибровку** аэрофотокамеры в процессе выполнения фототриангуляции при обработке материалов АФС в рамках производственных работ по аэрофототопографической съемке с использованием программного средства фотограмметрической обработки, входящего в состав ПАК).

Возможность получения конечной продукции аэрофототопографической съемки с требуемой допустимой погрешностью при определенных условиях и параметрах АФС с **использованием самокалибровки** должна быть подтверждена исследовательскими или сертификационными **испытаниями данного типа ПАК**.

Испытания не являются обязательными для типа ПАК, с аэрофотокамерой, для которой в результате периодической калибровки подтверждается, что отклонения значений фокусного расстояния и координат главной точки от среднего значения не превышает 0,5 пикс.

Допустимые методы фотограмметрической калибровки

- путем фотографирования с фиксированных точек специально оборудованного **тест-объекта (стенда)**, последующего измерения координат точек тест-объекта и вычислительной обработки;
- **посредством аэрофотосъемки калибровочного полигона в соответствии с рекомендациями приложения Б** и последующего уравнивания сети фототриангуляции с определением параметров фотограмметрической калибровки.

Фокусное расстояние и координаты главной точки должны быть определены с погрешностью не более 0,5 пикселя.

Требования **к полигону** для фотограмметрической калибровки компактных аэрофотокамер и его аэрофотосъемке (Приложение Б рекомендуемое)

П а р а м е т р ы п о л и г о н а :

- **площадь**: не менее **1 км²**;
- **количество опознаков** (опорных точек с известными координатами): не менее **15**;
- **средняя квадратическая погрешность определения планового положения и высоты опознаков** относительно базовых станций: не более **1,5 см**;
- опознаки должны быть **равномерно распределены по территории полигона**;
- территория полигона ограничивается сторонами квадрата или прямоугольника с отношением сторон не менее 0,6, в который вписываются все опознаки, составляющего границу полигона;
- опознаки должны быть **надежно закреплены** на местности и замаркированы.

Требования к полигону для фотограмметрической калибровки компактных аэрофотокамер и его **аэрофотосъемке** (Приложение Б рекомендуемое)

П а р а м е т р ы а э р о ф о т о с ъ е м к и:

- **два ряда** взаимно перпендикулярных маршрутов;
- направления маршрутов должны быть близки к ориентации сторон прямоугольника, в который вписываются границы полигона;
- следует исключить наличие выступающих частей каких-либо отдельных маршрутов;
- **продольное перекрытие: 80%;**
- **поперечное перекрытие: 70 – 80%;**
- высота фотографирования: выбирается из условия, чтобы при указанных значениях перекрытий общее число снимков всех запроектированных маршрутов было **не меньше 600**

Требования (основные) к полигону для фотограмметрической калибровки компактных аэрофотокамер и его аэрофотосъемке. Методика калибровки.

Требования к полигону и параметрам АФС были разработаны в результате исследований проведенных 2018 -2019 гг. ООО «Геоскан» совместно с кафедрой фотограмметрии МИИГАиК с использованием материалов АФС полигона МИИГАиК и программного средства Agisoft Metashape Professional.

Результаты были опубликованы журнале Геопрофи (Геопрофи. – 2019.– № 6), а также доложены на научно-технической конференции в рамках мероприятий Международного общества фотограмметрии и дистанционного зондирования (ISPRS), проходившей 2-3 декабря в г. Страсбурге, и опубликованы в архивах ISPRS.

Требования (основные) к полигону для фотограмметрической калибровки компактных аэрофотокамер и его аэрофотосъемке. Методика калибровки.

The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W18, 2019
Optical 3D Metrology, 2–3 December 2019, Strasbourg, France

62019 ГеопротФ

ТЕХНОЛОГИИ

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА ФОТОКАМЕРЫ ДЛЯ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА

RESULTS OF RESEARCHES ON PHOTOGRAMMETRIC CALIBRATION OF THE SONY CYBER-SHOT DSC-RX1RM2 CAMERA

Kadnichansky S.A.^{1*}, Kurkov M.B.¹, Kurkov V.M.², Chibunichev A.G.², Trubina L.K.³

¹ Geoscan Group, Russia – kadnichanskii.sergei@yandex.ru, m.kurkov@geoscan.aero

² Moscow State University of geodesy and cartography (MIIGAiK), Moscow, Russia – , vkurkov@inbox.ru, agchib@mail.ru

³ Siberian state university of geosystems and technologies, Russia – kaf.ecolog@ssga.ru

Technical Commission II

KEY WORDS: camera calibration, calibration test field, unmanned aerial vehicle Geoscan, targeted ground control point, lens distortion.

ABSTRACT:

Results of researches of calibration of the SONY CYBER-SHOT DSC-RX1RM2 camera on the basis of the test field aerial survey are given in article. Researches showed that calibration using aerial survey of a calibration test field provides reliable result with a required accuracy. Recommendations about execution of aerial survey and about creation of an operational test field for photogrammetric calibration of the camera before execution of the specific project are made. When aerial survey is carried out with GNSS determination of coordinates of the perspective centers of aerial photos with RMS of coordinates no more than 0.08 m it is possible to use the self-calibration mode for photogrammetric network block adjustment without ground control points. At the same time accuracy of the end result of photogrammetric processing commensurable with an accuracy, achieved with ground control points, is provided.

С.А. Кадничанский («Геоскан»)

В 1973 г. окончила аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности инженер-аэрофотогеодезист. После окончания института работала в фотцентре «Природка», с 1979 г. — в ЦНИИГАиК, с 1993 г. — в РосНИИ «Земля», Центр «ИГАИ», с 2000 г. — в ФГУП «Совзнакартографсвязь» — ВИСХАГИ, с 2005 г. — в компании «Геоскан», затем — в НП АП «Меридиан» и ФГУП «Системы навигационных систем», с 2015 г. — в ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД». С 2018 г. работает в ООО «Скан», в настоящее время — заместитель генерального директора по аэрофотогеодезии. Кандидат технических наук.

М.В. Курков («Скан»)

В 2004 г. окончила аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности инженер-аэрофотогеодезист. После окончания университета работала в ЗАО НП «Центр прикладной геодезии», с 2007 г. — в ООО НП АП «Меридиан», с 2013 г. — в ФГУП «ЦНИИ ВИСХАГИ». С 2016 г. работает в ООО «Скан», в настоящее время — начальник научно-исследовательского отдела.

В.М. Курков (МИИГАиК)

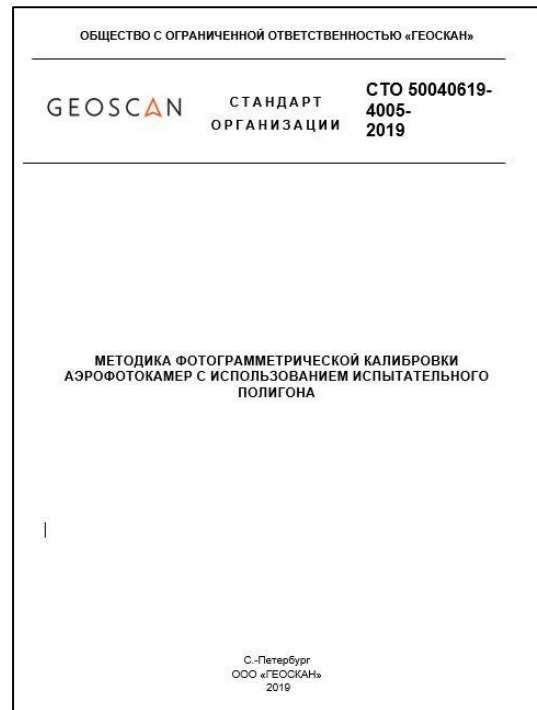
В 1978 г. окончила аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности инженер-аэрофотогеодезист. После окончания института училась в аспирантуре, затем работала на кафедре геодезии МИИГАиК. В настоящее время — доцент кафедры фотограмметрии МИИГАиК. Кандидат технических наук.

А.Г. Чибуничев (МИИГАиК)

В 1974 г. окончила аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности инженер-аэрофотогеодезист. После окончания института работала в МИИГАиК, с 2005 г. по настоящее время — заведующий кафедрой фотограмметрии. Доктор технических наук, профессор.

Методика фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием испытательного полигона

На основе результатов выполненных исследований в компании Геоскан был разработана и принята как стандарт организации *Методика фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием испытательного полигона*



В методике помимо требований к полигону и параметрам аэрофотосъемки установлены требования к:

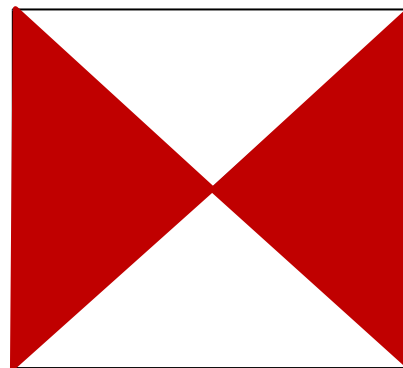
- закреплению на местности и маркированию опознаков;
- подготовительным работам;
- условиям выполнения АФС;
- выполнению АФС (установки выдержки, относительного отверстия светочувствительности, использование светофильтра);
- обработке спутниковых измерений;
- фотограмметрической обработке программным средством Agisoft Metashape Professional (последовательность, установки, допуски, контрольные операции);
- оформлению и каталогизации результатов калибровки (элементов внутреннего ориентирования).

Полигон Геоскан Путилово

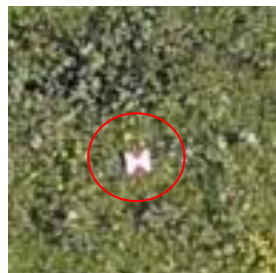
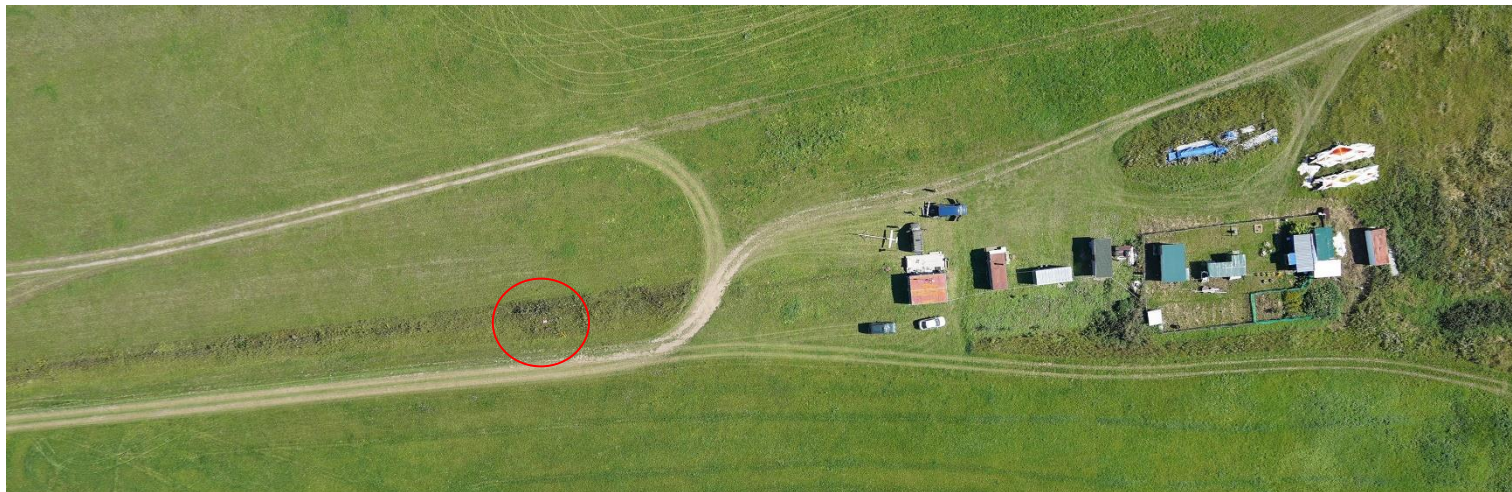


Средство закрепления опорных точек:

- свая, с буром на конце, вкручиваются в землю на глубину 1,2- 2,0 м;
- к выступающей части приваривается оголовок квадратной формы размером 30x30 см с **маркой**



Полигон Геоскан Путилово



Высота
фотографирования 240 м

Результаты калибровки аэрофотокамеры Sony DSC-RX1R

Парметры АФС и блока фототриангуляции	
Высота фотографирования	250 м
Номинальное пространственное разрешение	4,43 см
Число маршрутов Север-Юг	16
Число маршрутов Запад-Восток	17
Общее число аэрофотоснимков	2058
Общее число связующих точек	373148
Физический размер пикселя	0,006 мм
Число опорных точек	25

Методика фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием испытательного полигона

Результаты калибровки аэрофотокамеры Sony DSC-RX1R

Параметр		Калибровка по методике
		Полученное значение
F, пикс		5687,9
Сх, пикс		11,1
Су, пикс		17,8
К1		-0,0385
К2		-0,1510
К3		0,1977
P1		-2,2480E-04
P2		5,9232E-05
СКО на опорных точках, см	X	1,4
	Y	1,7
	Z	3,8
	XY	2,2
	XYZ	4,4
СКО на контрольных точках, см	X	
	Y	
	Z	
	XY	
	XYZ	

Методика фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием испытательного полигона

Результаты калибровки аэрофотокамеры Sony DSC-RX1R

Параметр		Калибровка по методике	Контрольное уравнивание сети по снимкам С-Ю
		Полученное значение	Используемое значение
F, пикс		5687,9	5687,9
Сх, пикс		11,1	11,1
Су, пикс		17,8	17,8
К1		-0,0385	-0,0385
К2		-0,1510	-0,1510
К3		0,1977	0,1977
Р1		-2,2480E-04	-2,2480E-04
Р2		5,9232E-05	5,9232E-05
СКО на опорных точках, см	X	1,4	Без опорных точек
	Y	1,7	
	Z	3,8	
	X _Y	2,2	
	X _{Y_Z}	4,4	
СКО на контрольных точках, см	X		1,6
	Y		2,7
	Z		6,6
	X _Y		3,2
	X _{Y_Z}		7,3

Вычисленные значения параметров фотограмметрической калибровки проверяются путем контрольного уравнивания сети фототриангуляции с их использованием при выключенной опции самокалибровки. Все опознаки используются как контрольные точки. При этом **отдельно уравниваются сети фототриангуляции, построенные по снимкам перекрестных маршрутов.** Полученные в результате уравнивания средние квадратические расхождения в плановом положении на контрольных точках не должны превышать 8 см, а по высоте – 9 см

Методика фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием испытательного полигона

Результаты калибровки аэрофотокамеры Sony DSC-RX1R

Параметр		Калибровка по методике	Контрольное урванивание сети по снимкам С-Ю	Контрольное урванивание сети по снимкам З-В
		Полученное значение	Используемое значение	Используемое значение
F, пикс		5687,9	5687,9	5687,9
Сх, пикс		11,1	11,1	11,1
Су, пикс		17,8	17,8	17,8
K1		-0,0385	-0,0385	-0,0385
K2		-0,1510	-0,1510	-0,1510
K3		0,1977	0,1977	0,1977
P1		-2,2480E-04	-2,2480E-04	-2,2480E-04
P2		5,9232E-05	5,9232E-05	5,9232E-05
СКО на опорных точках, см	X	1,4	Без опорных точек	
	Y	1,7		
	Z	3,8		
	XY	2,2		
	XYZ	4,4		
СКО на контрольных точках, см	X		1,6	5,2
	Y		2,7	4
	Z		6,6	7,4
	XY		3,2	6,6
	XYZ		7,3	9,9

Методика фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием испытательного полигона

Результаты калибровки аэрофотокамеры Sony DSC-RX1R

Параметр		Калибровка по методике	Контрольное урванивание сети по снимкам С-Ю	Контрольное урванивание сети по снимкам З-В	Самокалибровка без опорн. точек по снимкам С-Ю
		Полученное Значение	Используемое значение	Используемое значение	Полученное Значение
F, пикс		5687,9	5687,9	5687,9	5687,3
Сх, пикс		11,1	11,1	11,1	10,4
Су, пикс		17,8	17,8	17,8	17,5
K1		-0,0385	-0,0385	-0,0385	-0,0392
K2		-0,1510	-0,1510	-0,1510	-0,1515
K3		0,1977	0,1977	0,1977	0,2026
P1		-2,2480E-04	-2,2480E-04	-2,2480E-04	-2,3630E-04
P2		5,9232E-05	5,9232E-05	5,9232E-05	5,2763E-05
СКО на опорных точках, см	X	1,4	Без опорных точек		
	Y	1,7			
	Z	3,8			
	XY	2,2			
	XYZ	4,4			
СКО на контрольных точках, см	X		1,6	5,2	2,2
	Y		2,7	4	2,5
	Z		6,6	7,4	7,1
	XY		3,2	6,6	3,4
	XYZ		7,3	9,9	7,8

Методика фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием испытательного полигона

Результаты калибровки аэрофотокамеры Sony DSC-RX1R

Параметр		Калибровка по методике	Контрольное урванивание сети по снимкам С-Ю	Контрольное урванивание сети по снимкам З-В	Самокалибровка без опорн. точек по снимкам С-Ю	Самокалибровка без опорн. точек по снимкам З-В
		Полученное Значение	Используемое значение	Используемое значение	Полученное Значение	Полученное Значение
F, пикс		5687,9	5687,9	5687,9	5687,3	5687,5
Сх, пикс		11,1	11,1	11,1	10,4	10,1
Су, пикс		17,8	17,8	17,8	17,5	17,7
K1		-0,0385	-0,0385	-0,0385	-0,0392	-0,0394
K2		-0,1510	-0,1510	-0,1510	-0,1515	-0,1493
K3		0,1977	0,1977	0,1977	0,2026	0,1981
P1		-2,2480E-04	-2,2480E-04	-2,2480E-04	-2,3630E-04	-2,5835E-04
P2		5,9232E-05	5,9232E-05	5,9232E-05	5,2763E-05	4,9795E-05
СКО на опорных точках, см	X	1,4	Без опорных точек			
	Y	1,7				
	Z	3,8				
	XY	2,2				
	XYZ	4,4				
СКО на контрольных точках, см	X		1,6	5,2	2,2	5,0
	Y		2,7	4	2,5	4,5
	Z		6,6	7,4	7,1	8,0
	XY		3,2	6,6	3,4	6,8
	XYZ		7,3	9,9	7,8	10,4

Методика фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием испытательного полигона

Результаты калибровки аэрофотокамеры Sony DSC-RX1R

Параметр		Калибровка по методике	Контрольное урванивание сети по снимкам С-Ю	Контрольное урванивание сети по снимкам З-В	Самокалибровка без опорн. точек по снимкам С-Ю	Самокалибровка без опорн. точек по снимкам З-В	Контрольное равнивание сети по снимкам с высоты вотграфирования 170 м С-Ю	
		Полученное Значение	Используемое значение	Используемое значение	Полученное Значение	Полученное Значение	Используемое значение	
F, пикс		5687,9	5687,9	5687,9	5687,3	5687,5	5687,9	
Сх, пикс		11,1	11,1	11,1	10,4	10,1	11,1	
Су, пикс		17,8	17,8	17,8	17,5	17,7	17,8	
K1		-0,0385	-0,0385	-0,0385	-0,0392	-0,0394	-0,0385	
K2		-0,1510	-0,1510	-0,1510	-0,1515	-0,1493	-0,1510	
K3		0,1977	0,1977	0,1977	0,2026	0,1981	0,1977	
P1		-2,2480E-04	-2,2480E-04	-2,2480E-04	-2,3630E-04	-2,5835E-04	-2,2480E-04	
P2		5,9232E-05	5,9232E-05	5,9232E-05	5,2763E-05	4,9795E-05	5,9232E-05	
СКО на опорных точках, см	X	1,4	Без опорных точек					
	Y	1,7						
	Z	3,8						
	XY	2,2						
	XYZ	4,4						
СКО на контрольных точках, см	X		1,6	5,2	2,2	5,0	1,6	
	Y		2,7	4	2,5	4,5	2,8	
	Z		6,6	7,4	7,1	8,0	7,4	
	XY		3,2	6,6	3,4	6,8	3,2	
	XYZ		7,3	9,9	7,8	10,4	8,1	

Методика фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием испытательного полигона

Результаты калибровки аэрофотокамеры Sony DSC-RX1R

Параметр	Калибровка по методике	Контрольное уравнивание сети по снимкам С-Ю	Контрольное уравнивание сети по снимкам З-В	Самокалибровка без опорн. точек по снимкам С-Ю	Самокалибровка без опорн. точек по снимкам З-В	Контрольное равнивание сети по снимкам с высоты вотграфирования 170 м С-Ю	Самокалибровка без опорн. точек по снимкам с высоты фотографирования 170 м С-Ю	
	Полученное Значение	Используемое значение	Используемое значение	Полученное Значение	Полученное Значение	Используемое значение	Полученное Значение	
F, пикс	5687,9	5687,9	5687,9	5687,3	5687,5	5687,9	5687,7	
Сх, пикс	11,1	11,1	11,1	10,4	10,1	11,1	9,5	
Су, пикс	17,8	17,8	17,8	17,5	17,7	17,8	17,5	
K1	-0,0385	-0,0385	-0,0385	-0,0392	-0,0394	-0,0385	-0,0378	
K2	-0,1510	-0,1510	-0,1510	-0,1515	-0,1493	-0,1510	-0,1615	
K3	0,1977	0,1977	0,1977	0,2026	0,1981	0,1977	0,2228	
P1	-2,2480E-04	-2,2480E-04	-2,2480E-04	-2,3630E-04	-2,5835E-04	-2,2480E-04	-2,1159E-04	
P2	5,9232E-05	5,9232E-05	5,9232E-05	5,2763E-05	4,9795E-05	5,9232E-05	6,1433E-05	
СКО на опорных точках, см	X	1,4	Без опорных точек					
	Y	1,7						
	Z	3,8						
	XY	2,2						
	XYZ	4,4						
СКО на контрольных точках, см	X	1,6	5,2	2,2	5,0	1,6	2,0	
	Y	2,7	4	2,5	4,5	2,8	2,8	
	Z	6,6	7,4	7,1	8,0	7,4	8,3	
	XY	3,2	6,6	3,4	6,8	3,2	3,5	
	XYZ	7,3	9,9	7,8	10,4	8,1	9,0	

Методика фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием испытательного полигона

Результаты калибровки аэрофотокамеры Sony DSC-RX1R

Параметр	Калибровка по методике	Самокалибровка без опорных точек по снимкам С-Ю	Самокалибровка без опорных точек по снимкам 3-В	
	Полученное значение	Полученное значение	Полученное значение	
Ф, пикс	5689,4	5686,6	5687,7	
Сх, пикс	-1,5	-2,0	-2,4	
Су, пикс	-20,0	-20,5	-21,1	
К1	-0,0399	-0,0412	-0,0412	
К2	-0,1764	-0,1686	-0,1709	
К3	0,2363	0,2237	0,2294	
Р1	-2,4324E-04	-2,4152E-04	-2,7114E-04	
Р2	-9,1955E-05	-8,4266E-05	-6,6794E-05	
СКО на опорных точках, см	Х	1,0	Без опорных точек	
	У	-0,9		
	Z	3,5		
	ХУ	1,3		
	ХУZ	3,7		
СКО на контрольных точках, см	Х		1,8	2,3
	У		1,97	2,6
	Z		15,61	12,2
	ХУ		2,67	3,5
	ХУZ		15,84	12,7

Калибровка и самокалибровка на примере другого экземпляра аэрофотокамеры

Оформление результатов фотограмметрической калибровки

GEOSCAN

ПАСПОРТ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ АЭРОФОТОКАМЕРЫ

Модель аэрофотокамеры ILCE-6000 Geoscan
 Серийный номер фотокамеры 200000706375
 Модель объектива SONY SEL20F28
 Серийный номер объектива 0250835

Значения основных параметров и характеристики

Номинальное фокусное расстояние объектива, мм	20,0
Тип матрицы	CMOS-APS-C
Размер матрицы, мм	23,5 x 15,6
Размер матрицы в пикселех	6000 X 4000
Размер пикселя матрицы, мм	0,004
Тип затвора	Шторно-целлюлозной
Диапазон выдержек, с	1/30-1/4000
Фокусировка	(1/30-1/2000 при отв. отв. 1:2)
Минимальный интервал фотографирования, с	фиксированная на ∞
Погрешность фиксации момента экспонирования, мс	не более 1

Значения элементов внутреннего ориентирования аэрофотокамеры

Фокусное расстояние аэрофотокамеры, пиксель	5230,0 ± 0,1
Координаты главной точки, пиксель	x^*_0 -18,5 ± 0,1 y^*_0 13,4 ± 0,1
Коэффициенты радиальной дисторсии	K_1 -0,167963 ± 0,00009
	K_2 0,164696 ± 0,00039
	K_3 -0,022699 ± 0,00051
Коэффициенты тангенциальной дисторсии	$P1$ -0,000318 ± 0,00001
	$P2$ -0,000368 ± 0,00001

Координаты главной точки даны в системе координат фотокамеры, имеющей начало в центре светочувствительной матрицы фотокамеры, плоскость $x^*_0 y^*_0$ совпадает с плоскостью матрицы, ось x^* направлена вправо перпендикулярно столбцам пикселей матрицы, ось y^* направлена параллельно столбцам пикселей матрицы в сторону, соответствующую нижней стороне рамки кадра, визуально наблюдаемого снимка. Коэффициенты дисторсии соответствуют модели, описываемой следующими выражениями:

$$\begin{aligned} x' &= x(1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + P_1(r^2 + 2x^2) + 2P_2 xy, \\ y' &= y(1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + P_2(r^2 + 2y^2) + 2P_1 xy, \\ r &= \sqrt{x^2 + y^2}, \end{aligned}$$

x, y — отсчитываемые от главной точки координаты точки снимка, деленные на фокусное расстояние свободные от дисторсии, например, вычисленные по пространственным координатам точки местности.

Дата окончания проведения фотограмметрической калибровки 10.11.2021

Фотограмметрическая калибровка выполнена по СТО 50040619-4005-2019 Методика фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием испытательного полигона.

Руководитель испытательной лаборатории ГК «Геоскан»

10.11.2021



Значения элементов внутреннего ориентирования аэрофотокамеры, полученные в результате калибровки, отражаются в паспорте (или формуляре) аэрофотокамеры, который оформляется по установленному стандарту образцу

Значения элементов внутреннего ориентирования аэрофотокамеры

Фокусное расстояние аэрофотокамеры, пиксель	5230,0 ± 0,1
Координаты главной точки, пиксель	x^*_0 -18,5 ± 0,1
	y^*_0 13,4 ± 0,1
Коэффициенты радиальной дисторсии	K_1 -0,167963 ± 0,00009
	K_2 0,164696 ± 0,00039
	K_3 -0,022699 ± 0,00051
Коэффициенты тангенциальной дисторсии	$P1$ -0,000318 ± 0,00001
	$P2$ -0,000368 ± 0,00001

Координаты главной точки даны в системе координат фотокамеры, имеющей начало в центре светочувствительной матрицы фотокамеры, плоскость $x^*_0 y^*_0$ совпадает с плоскостью матрицы, ось x^* направлена вправо перпендикулярно столбцам пикселей матрицы, ось y^* направлена параллельно столбцам пикселей матрицы в сторону, соответствующую нижней стороне рамки кадра, визуально наблюдаемого снимка. Коэффициенты дисторсии соответствуют модели, описываемой следующими выражениями:

$$\begin{aligned} x' &= x(1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + P_1(r^2 + 2x^2) + 2P_2 xy, \\ y' &= y(1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + P_2(r^2 + 2y^2) + 2P_1 xy, \\ r &= \sqrt{x^2 + y^2}, \end{aligned}$$

x, y — отсчитываемые от главной точки координаты точки снимка, деленные на фокусное расстояние свободные от дисторсии, например, вычисленные по пространственным координатам точки местности.

Оценки погрешностей полученных значений параметров калибровки

Методика фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием испытательного полигона

Оформление результатов фотограмметрической калибровки

Все результаты фотограмметрических калибровок заносятся в табличную ведомость калибровок аэрофотокамер в формате .xls

Фотокамера (марка, модель)	Серийный номер	Дата проведения калибровки	Дата записи в ведомости	Отв. Исполнитель	Значения параметров калибровки							
					f	x0	y0	k1	k2	k3	p1	p2
Sony DSC-RX1R	7452982	06.05.2020	06.05.2020	Кохановский В. А.	5679,17	1,6383	-18,4368	-0,0375048	-0,179041	0,245169	-9,00311E-05	5,04147E-07
Sony DSC-RX1R	7452837	13.05.2020	14.05.2020	Кохановский В. А.	5689,42	-1,48375	-20,0036	-0,039863	-0,176386	0,236251	-0,000243237	-0,000091955
Sony DSC-RX1RII	7160218	20.05.2020	22.05.2020	Кохановский В. А.	7529,36	-8,75795	-19,6449	-0,0539608	-0,131922	0,152346	-1,75372E-05	0,000117655
Sony DSC-RX1R	7452888	18.08.2020	20.08.2020	Кохановский В. А.	5687,87	11,0971	17,7529	-0,0384849	-0,150987	0,197666	-0,000224798	5,92317E-07
Sony DSC-RX1R	7452372	19.10.2020	22.10.2020	Кохановский В. А.	5673,63	-26,8768	8,65531	-0,0442049	-0,162147	0,218706	-0,000978261	3,30579E-07
Sony DSC-RX1R	7452560	19.10.2020	22.10.2020	Кохановский В. А.	5677,07	-29,0801	7,07987	-0,0460855	-0,153488	0,210972	-0,000273408	0,000075086
Sony DSC-RX1R	7152273	26.10.2020	28.10.2020	Кохановский В. А.	5681,81	-26,872	2,25261	-0,0435405	-0,171776	0,22997	7,34555E-05	-0,000263338
Sony DSC-RX1R	7452602	26.10.2020	28.10.2020	Кохановский В. А.	5671,4	-3,05809	0,322414	-0,0451922	-0,157695	0,204149	-0,000314061	-0,00013425
Sony DSC-RX1R	7452411	27.10.2020	28.10.2020	Кохановский В. А.	5691,04	-10,9203	59,8005	-0,0430287	-0,160538	0,213161	-1,60775E-05	0,000240521
Sony DSC-RX1R	7452433	27.10.2020	28.10.2020	Кохановский В. А.	5686,67	-2,33985	-0,58796	-0,0444449	-0,139523	0,162059	0,000105928	0,000031499
Sony DSC-RX1R	7452832	29.10.2020	02.11.2020	Кохановский В. А.	5692,29	41,3212	39,2147	-0,0407429	-0,147483	0,184829	0,00241709	-0,000451684
Sony DSC-RX1R	7452566	02.11.2020	06.11.2020	Кохановский В. А.	5670,41	-26,2566	-43,976	-0,0447603	-0,159784	0,215715	-0,000129748	-0,000182802
Sony DSC-RX1R	7452480	05.11.2020	12.11.2020	Кохановский В. А.	5678,22	-12,1589	9,08647	-0,0402968	-0,161241	0,216725	-0,00048455	-0,000272986
Sony DSC-RX1R	7452872	06.11.2020	12.11.2020	Кохановский В. А.	5685,86	9,33093	3,3137	-0,0406408	-0,163904	0,205454	0,000158267	0,000157177
Sony DSC-RX1R	7451890	10.11.2020	13.11.2020	Кохановский В. А.	5672,86	31,3662	24,2033	-0,039317	-0,178082	0,250035	-0,000221194	-0,000210031
Sony DSC-RX1R	7452850	23.11.2020	26.11.2020	Кохановский В. А.	5672,65	14,0468	-12,003	-0,0421617	-0,176367	0,241217	-4,10067E-05	-0,000467187
Sony DSC-RX1R	7452849	20.11.2020	26.11.2020	Кохановский В. А.	5677,09	-10,2947	-17,0859	-0,0457871	-0,13452	0,161032	0,000162751	0,00027146
Sony DSC-RX1R	7451206	20.11.2020	26.11.2020	Кохановский В. А.	5672,03	5,16775	16,3284	-0,0456396	-0,152969	0,198709	-0,000406376	0,000257948

Число выполненных калибровок аэрофотокамер: 2020 г. – 18; 2021 г. - 10

Заключение

В настоящее время есть национальный стандарт требующий наличие документа, содержащего значения элементов внутреннего ориентирования, полученные в результате фотограмметрической калибровки аэрофотокамеры, используемой в аэрофототопографической съемке, в том числе используемой на борту БВС.

В 2022 году должен быть введен в действие национальный стандарт, конкретизирующий требования к калибровке аэрофотокамер, применяемых на борту БВС и содержащий рекомендации по ее выполнению.

В компании «Геоскан» разработана, отлажена и проверена методика фотограмметрической калибровки аэрофотокамер с использованием калибровочного полигона, отвечающая рекомендациям стандарта и показавшая надежные результаты.

Фотограмметрическая калибровка аэрофотокамер с оформлением результатов вошла в практику.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

kadnichanskii.sergei@geoscan.aero

8 (800) 333-84-77

194021, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д.22, лит. В