

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОФОТОКАМЕР СО ШТОРНО-ЩЕЛЕВЫМ ЗАТВОРОМ ДЛЯ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БВС

С.А. Кадничанский («Геоскан»)

В 1973 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист». После окончания института работал в Госцентре «Природа», с 1979 г. — в ЦНИИГАиК, с 1993 г. — в РосНИЦ «Земля», Центре «ЛАРИС», с 2002 г. — в ФГУП «Госземкадастръёмка» — ВИСХАГИ, с 2005 г. — в компании «Геокосмос», затем — в НП АГП «Меридиан+» и ФГУП «ГосНИИ авиационных систем», с 2015 г. — в ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД». С 2018 г. работает в ООО «Геоскан», в настоящее время — заместитель директора по аэрофотогеодезии. Кандидат технических наук.

Современные цифровые фотокамеры со шторно-щелевым затвором (рис. 1) имеют две шторки, состоящие из металлических ламелей, движущихся вдоль короткой стороны кадрового окна, т. е. вдоль оси u системы координат фотокамеры и снимка. Одна из шторок открывает кадровое окно, другая — закрывает, образуя движущуюся щель. Скорость движения шторок постоянна и составляет от 3 до 6 м/с.

Запаздывание второй шторки относительно первой образует щель, ширина которой пропорциональна выдержке. При больших выдержках (около 1/250 и более) ширина щели превышает размер кадрового окна. Аэрофотоснимки, полученные такими камерами, имеют систематические искажения, которые отличают проекцию аэрофотоснимка от центральной проекции [1, 2], что не удовлетворяет требованиям, изложенным в разделе 5.2.2 ГОСТ Р 59328–2021 [3].

В работе [4] дается теоретическое обоснование зависимости искажения снимка от конструктивных особенностей современных цифровых фотоаппаратов со шторно-щелевым затвором и параметров аэрофотосъемки, а также приводятся формулы расчета, позволяющие обеспечить допустимую по модулю величину искажения снимка, чтобы получить конечную продукцию аэрофототопографической съемки требуемой точности.

Если максимально допустимое искажение (смещение) снимка в пикселях обозначить через Dp , то согласно [4], максимальная допустимая выдержка в секундах (τ) и допустимая скорость полета БВС в м/с (V) определяются по следующим формулам:

$$\tau = 2 H p D p / f V - D y / v;$$

$$V = 2 H p D p / f (\tau + D y / v),$$

где f — фокусное расстояние фотокамеры, мм;

H — высота фотографирования, м;

p — физический размер пикселя, мм;

Dy — размер кадра по оси u , мм;

v — скорость движения щели затвора фотоаппарата, мм/с.

Используя представленные выше формулы, оценим искажения на примере аэрофототопографического программного комплекса (ПАК) Геоскан Gemini [5], компонентами которого являются аэрофотокамера Sony UMC R10C и беспилотное воздушное судно (БВС) Геоскан Gemini (рис. 2).



Рис. 1

Шторно-щелевой ламельный затвор фотокамеры

Максимальное искажение (смещение) изображения при скорости полета 50 км/ч

Таблица 1

Высота фотографирования, м	Номинальное пространственное разрешение, м	Выдержка, с	Максимальное смещение, мм	Максимальное смещение, пиксель
136	0,03	1/1500	0,0048	1,08
182	0,04	1/1500	0,0036	0,81
227	0,05	1/1500	0,0029	0,65
273	0,06	1/1500	0,0024	0,54
318	0,07	1/1500	0,0020	0,46
364	0,08	1/1500	0,0018	0,41
409	0,09	1/1500	0,0016	0,36

Среди основных характеристик фотокамеры Sony UMC R10C следует отметить следующие: $f = 20$ мм; $Dy = 16$ мм; размер пикселя составляет 0,0044 мм.

Геоскан Gemini представляет собой БВС мультироторного типа и обладает следующими основными характеристиками:

- масса — 1,9 кг;
- максимальная горизонтальная скорость — 50 км/ч;
- максимальная высота полета над земной поверхностью — 500 м.

Результаты оценки искажений изображений, полученных фотокамерой Sony UMC R10C при аэрофотосъемке с БВС Геоскан Gemini с выдержкой 1/1500 на разных высотах фотографирования при максимальной скорости полета 50 км/ч, приведены в табл. 1 и наглядно проиллюстрированы на рис. 3.

Можно рассчитать максимальную допустимую скорость полета, при которой смещение будет пренебрегаемо мало (не более 0,035 пикселя) для значения выдержки 1/1200,



Рис. 2
БВС Геоскан Gemini с фотокамерой Sony UMC R10C

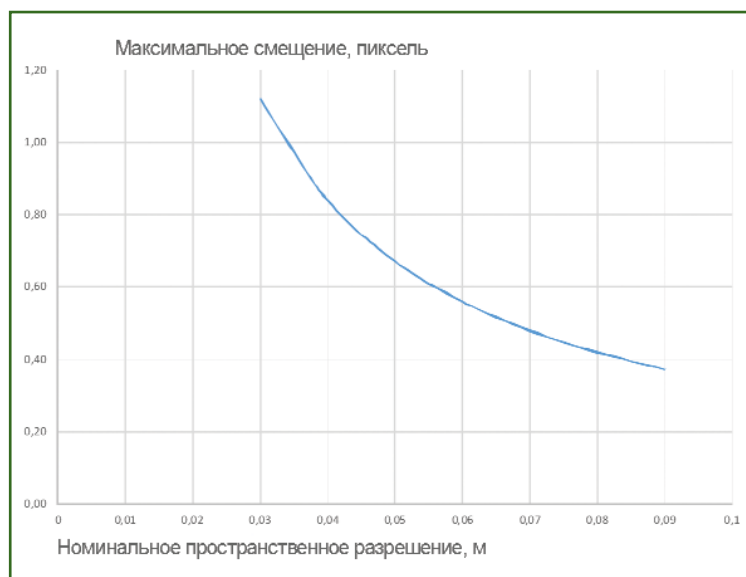


Рис. 3
Зависимость максимального искажения (смещения) от номинального пространственного разрешения при скорости полета 50 км/ч

часто используемого на практике, и разных высот фотографирования. Результаты такого расчета показаны в табл. 2.

Для экспериментальной проверки было замаркировано 20 контрольных точек, пространственные прямоугольные координаты X, Y и H которых были определены как среднее из результатов фотограмметрической обработки и измерений координат маркированных точек по снимкам фотограмметрических блоков, полученных двумя ПАК Геоскан 201 / Sony RX1RII (табл. 3) с высоты фотографирования 230 м (номинальное пространственное разрешение 0,03 м). При этом СКП среднего планового положения из двух наборов координат

Допустимая скорость полета при выдержке 1/1200 и допустимом смещении 0,035 пикселей

Таблица 2

Высота фотографирования, м	Номинальное пространственное разрешение, м	Допустимая скорость, км/ч
136	0,030	15,6
182	0,040	20,9
227	0,050	26,1
273	0,060	31,3
318	0,070	36,5
364	0,080	41,7
409	0,090	46,9

составила 0,012 м, СКП среднего положения по высоте — 0,031 м, что свидетельствует о высокой точности этих координат. Это позволило принять полученные пространственные координаты контрольных точек за эталонные и выполнить экспериментальную проверку пригодности аэрофотоснимков, полученных фотокамерой Sony UMC R10C с БВС Геоскан Gemini.

Была выполнена аэрофотосъемка участка полигона с маркированными контрольными точками с помощью двух экземпляров ПАК Геоскан Gemini /

Sony UMC R10C при допустимой скорости полета и выдержке 1/1200 и 1/1000 с трех разных высот фотографирования. После фотограмметрической обработки аэрофотоснимков было получено 6 наборов пространственных координат маркированных точек. Координаты определялись в результате построения и уравнивания блоков фототриангуляции и последующего измерения координат маркированных точек на перекрывающихся снимках. При этом никакие опорные точки при уравнивании не использо-

вались. Сеть фототриангуляции опиралась только на координаты точек фотографирования, полученные на основе бортовых ГНСС-измерений. Элементы внутреннего ориентирования фотокамер определялись путем самокалибровки, как один из результатов уравнивания фотограмметрической сети. Основные характеристики блоков фототриангуляции приведены в табл. 4.

Для каждого из шести блоков были вычислены средние расхождения планового положения и средние расхождения по высоте относительно эталонных значений координат контрольных точек. По результатам, представленным в табл. 5, видно, что среднее расхождение планового положения очень близко по значению к номинальному пространственному разрешению, что характеризует точность координат, как очень близкую к максимально достижимой для аэрофототопографической съемки.

Таким образом, материалы аэрофотосъемки со всех указанных высот фотографирования удовлетворяют требова-

Основные технические характеристики ПАК Геоскан 201 / Sony RX1RII

Таблица 3

Наименование характеристики	Значение характеристики
<i>БВС Геоскан 201</i>	
Тип	Самолет
Двигатель	Электрический
Максимальная взлетная масса, кг	8,5
Масса полезной нагрузки, кг	1,5
Скорость полета, км/ч	64–130
Максимальная продолжительность полета, ч	3
Максимальная высота полета, м	4000
<i>Sony RX1RII</i>	
Фокусное расстояние, мм	35
Размер матрицы поперечный, пикс	7952
Размер матрицы продольный, пикс	5304
Размер пикселя, мм	0,0045

Характеристики блоков фототриангуляции

Таблица 4

Наименование характеристики	Значение характеристики					
Высота фотографирования, м	125	125	275	275	425	425
Номер ПАК Геоскан Gemini	79	114	79	114	79	114
Число снимков в блоке	460	460	166	166	90	90
Число связующих точек	447 000	554 000	128 000	136 000	51 000	50 000
Количество опорных точек	0	0	0	0	0	0

Результаты оценки точности определения координат по снимкам ПАК Геоскан Gemini / Sony UMC R10C

Таблица 5

Наименование характеристики	Значение характеристики					
Высота фотографирования, м	125	125	275	275	425	425
Номинальное пространственное разрешение, м	0,03	0,03	0,06	0,06	0,09	0,09
Номер ПАК	79	114	79	114	79	114
Среднее расхождение планового положения, м	0,027	0,042	0,051	0,037	0,121	0,100
Масштаб плана	1:200	1:200	1:200	1:200	1:500	1:500
Определение координат точек объектов недвижимости с СКП <0,1 м	да	да	да	да	нет	нет
Среднее расхождение по высоте, м	0,028	0,034	0,066	0,081	0,030	0,143

ниям ГОСТ Р 59562–2021 [6] применительно к масштабу 1:500, а для высот 125 м и 275 м позволяют создавать топографическую продукцию масштаба 1:200. Они отвечают требованиям к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требованиям к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требованиям к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места (утверждены приказом Росреестра от 23 октября 2020 г. № П/0393) применительно к земельным участкам, отнесенным к землям населенных пунктов. Средние расхождения

по высоте позволяют выполнять съемку рельефа с высотой сечения 0,5 м.

В заключение следует отметить, что теоретические расчеты и результаты эксперимента показывают, что фотокамеры со шторно-щелевым затвором могут без какого-либо ущерба для фотограмметрического качества аэрофотоснимков использоваться для аэрофотосъемки с БВС мультироторного типа при обоснованном выборе скорости полета в зависимости от высоты фотографирования и выдержки, при которых влияние неодновременности экспонирования практически отсутствует.

▼ Список литературы

1. Лапаури А.А., Шеберстов В.И. Краткий фотографический словарь. — М.: Искусство, 1956. — 386 с.

2. Михайлов В.Я. Аэрофотография и общие основы фотографии. — М.: Издательство геодезической литературы, 1959. — 363 с.

3. ГОСТ Р 59328–2021 Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования.

4. Кадничанский С.А. Зависимости максимальной допустимой выдержки и допустимой скорости полета от допустимого по модулю значения и с к а ж е н и я снимка для аэрофотокамеры со шторно-щелевым затвором (опубликовано 20.04.2023 г. на www.geoprofi.ru).

5. Аэрофотосъемочный комплекс Gemini ГК «Геоскан». — <https://www.geoscan.aero/ru/products/gemini>.

6. ГОСТ Р 59562–2021 Съемка аэрофототопографическая. Технические требования.

