

УДК 528.72

ОСОБЕННОСТИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
МАТЕРИАЛОВ АЭРОСЪЕМКИ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА
В RTK РЕЖИМЕ

В.В. ЯЛТЫХОВ, кандидат технических наук, доцент,

М.В. ВОЛОШИНА

*(Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой, Беларусь)*

v.yaltyhov@psu.by

m.valoshyna@psu.by

В работе описаны особенности выполнения и обработки цифровой аэросъемки с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) по сравнению с пилотируемой, анализируются параметры, влияющие на качество результатов. На основе экспериментальных данных, представленных 4 вариантами проекта обработки материалов цифровой съемки с БПЛА в режиме RTK анализируется и доказывается возможность выполнения цифровой съемки, используя всего лишь одну опорную точку. Данный подход позволяет получить устойчивое решение при построении фототриангуляции, соблюдая требования к точности результатов, и при этом сократить время выполнения полевых работ.

Ключевые слова: элементы внешнего ориентирования, расчет основных параметров аэрофотосъемки, опорные и контрольные точки, координаты центров фотографирования, Agisoft Metashape Professional.

FEATURES OF PHOTOGRAMMETRIC PROCESSING
OF AERIAL IMAGE MATERIALS FROM AN UNMANNED AERIAL VEHICLE
IN RTK MODE

V.V. YALTYHOV, PhD, associate professor,

M.V. VALOSHYNNA

(Polotsk State University named after Euphrosyne of Polotsk, Belarus)

The paper describes the features of conducting and processing digital aerial photography using unmanned aerial vehicles (UAV) in comparison with manned ones, and analyzes the parameters that affect the quality of the results.

Based on the experimental data presented by 4 variants of the project for processing materials from UAV digital surveys in RTK mode, the possibility of performing digital surveys using only one ground control point is analyzed and proved. This approach makes it possible to obtain a stable solution when constructing aerial triangulation, observing the requirements for the accuracy of the results, and at the same time reducing the time for conducting field work.

Keywords: *exterior orientation elements, calculation of the main parameters of aerial photography, GCP and check points, coordinates of photography centers, Agisoft Metashare Professional.*

Введение. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) все шире используются в производственной деятельности при выполнении топографо-геодезических, кадастровых работ, инженерно-геодезических изысканий. При обработке данных с БПЛА выполняется весь комплекс фотограмметрических работ для получения ортофотоплана и цифровой модели рельефа (ЦМР). Определение элементов внешнего ориентирования (ЭВО) можно выполнить, используя координаты наземных опознаков или базируясь на показаниях специальных приборов.

Размещение и определение координат опознаков – зачастую трудоемкая, времезатратная полевая процедура при выполнении аэросъемки с использованием БПЛА [1], особенно при выполнении съемок опасных, труднодоступных участков местности.

Современный уровень развития навигационных средств позволяет производить измерения ЭВО непосредственно в процессе съемки. Точность измерений достигают 3-5 сантиметров по пространственным координатам X,Y,Z и 0.005 градуса по углам крена, тангажа и рысканья для самых точных систем, устанавливаемых на пилотируемые самолеты. Системы IMU (инерциальный измерительный блок), устанавливаемые на БПЛА не дают точность профессиональных, имеют значительное изменение параметров при эксплуатации с течением времени, однако упрощают последующую обработку данных.

Данные о центрах проекции снимков БПЛА имеют точность, в зависимости от типа установленного оборудования (встроенный одностотный приемник или двухчастотный приемник геодезического класса), а углы тангажа, крена и рысканья вычисляются через вектор скорости ГНСС измерений или по данным IMU.

Если при съемке используется двухчастотный ГНСС приемник в дифференциальном режиме (RTK) или РРК обработка данных ГНСС, то место-

положение центра проекции камеры определяется с точностью в несколько сантиметров. И, следовательно, можно говорить о получении ЭВО, не используя как в первом подходе значительное количество опознаков, сохранив высокую точность картографирования и ускорив при этом выполнение полевых работ [1, 2].

Целью данной работы является изучение особенностей фотограмметрической обработки материалов аэросъемки с БПЛА в режиме РТК, а также изучение возможности выполнения цифровой съемки с БПЛА в режиме РТК с минимально возможным количеством опознаков, соблюдая при этом требования к точности результатов обработки, представленных в [3].

Основная часть. Аэрофотосъемка и обработка данных с БПЛА принципиально не отличается от съемки с пилотируемых самолетов, но имеет определенные особенности, касающиеся величин продольного и поперечного перекрытия снимков, высоты и скорости полета БПЛА, необходимости и порядка выполнения самокалибровки камеры, понимания принципов получения исходных данных (аэроснимков), количества и размещения опорных и контрольных точек и т.п. Рассмотрим их подробнее.

При планировании аэросъемочных работ с БПЛА, так же, как и в пилотируемой авиации необходимо выполнить расчет основных параметров аэрофотосъемки. Многие рассматривают это как простую задачу, выполняемую с помощью специального программного обеспечения, которое затем управляет БПЛА при аэросъемке, и не уделяют должного внимания выбору параметров аэросъемки. Однако есть ряд параметров, которые должен задавать оператор БПЛА, и от которых в конечном результате зависит качество аэроснимков и точность результатов фотограмметрической обработки. Среди них:

- высота полета – параметр, который в совокупности с параметрами камеры определяет линейный элемент разрешения аэрофотоснимка на местности и является одним из основных параметров, определяющих точность конечных результатов;

- скорость полета - параметр, который вместе с выдержкой и ISO (уровень светочувствительности) определяет величину смаза изображения.

Если съемку с обычных самолетов планируют с перекрытием вдоль маршрута 60%, а между маршрутами 20-30% для строгой фотограмметрической обработки данных аэросъемки и получения максимально точных результатов, то проектировать съемку с БПЛА с этой же целью следует с перекрытием вдоль маршрутов 80%, а между маршрутами — 50-60%, т.к. полет БПЛА неустойчив, на него влияют порывы ветра, турбулентность и другие

возмущающие факторы. Таким образом, увеличенное перекрытие позволяет, по возможности, исключить разрывы в фототриангуляционном блоке и выполнить автоматическое измерение связующих точек.

К аэрофотокамере, устанавливаемой на борту летательного аппарата предъявляют следующие требования:

- 1) наличие центрального затвора, или иного способа одновременного экспонирования всех элементов матрицы;
- 2) жесткая фиксация фокусировки на бесконечность;
- 3) цифровая аэрофотокамера должна иметь значения элементов внутреннего ориентирования и параметры дисторсии, определенные с необходимой точностью;
- 4) постоянство значений элементов внутреннего ориентирования.

Для неметрических аэрофотокамер, применяемых на борту БПЛА, выполнение некоторых требований не всегда возможно. В таком случае необходимо программное средство фотограмметрической обработки с возможностью самокалибровки.

В [4, 5] авторы отмечают, что использование опции самокалибровки в фотограмметрических программных продуктах без достаточного количества опорных данных (точных центров проекции и наземного обоснования) может привести к искажению построенной фотограмметрической модели в силу корреляционных связей элементов внешнего ориентирования снимков и параметров внутреннего ориентирования, включая параметры фотограмметрической дисторсии.

При выполнении самокалибровки в процессе фототриангуляции на реальных объектах могут получаться хорошие результаты по точности, однако могут быть случаи, когда самокалибровка не даст желаемого результата или вообще задача самокалибровки может не решаться в случае съемки плоскоравнинной местности.

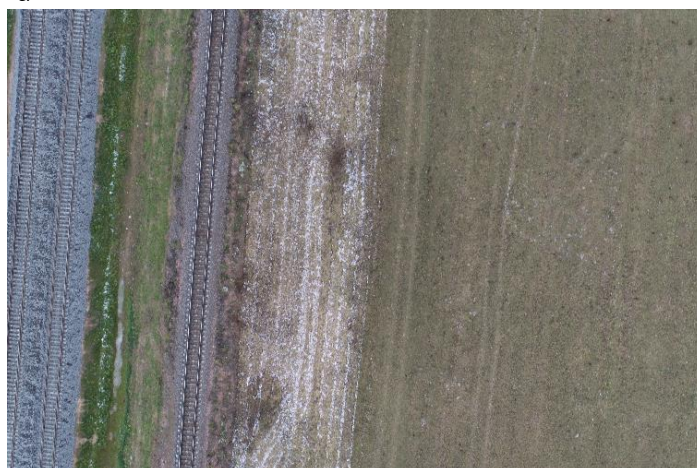
Преобразование координат между системами координат снимка и объекта выводят под условием, что изображение объекта на снимке получено в идеальной центральной проекции. Однако, под действием различных факторов изображение на реальном снимке отклоняется от центральной проекции. При выполнении съемки камерами, используемыми на БПЛА, к основным источникам ошибок, вызывающим искажение центральной проекции на реальных снимках, относится дисторсия объектива фотокамеры.

Оптическая система БПЛА характеризуется сильной дисторсией, что выражается в искажении изображений получаемых кадров. На рис. 1а приведены изображения «сырого» снимка, полученного с Phantom 4.

На рис. 1 б изображение этого же снимка, исправленное за дисторсию по коэффициентам радиальной дисторсии, приведенных в EXIF (Exchangeable Image File Format). Вид получаемых данных также может задаваться оператором.



а



б

***а* - изображение «сырого» снимка;
б - изображение снимка, исправленное за дисторсию**

Рисунок 1. – Влияние дисторсии объектива камеры БПЛА

Для ГНСС приемников также необходимо знать параметры редукции фазового центра антенны ГНСС приёмника к центру проекции камеры.

Контроль качества полученных результатов при фотограмметрической обработке должен выполняться на каждом этапе. Результаты построения сетей фототриангуляции обычно контролируются по остаточным расхождениям фотограмметрических и геодезических координат на опорных и контрольных точках. Однако для аэросъемки с БПЛА нигде не определено количество и схема расположения опорных и контрольных точек.

Для целей исследования использовалась съемка с БПЛА в RTK режиме участка местности площадью 0,17 км², высота съемки 70 м, пространственное разрешение 2 см. Схема участка с маршрутами и замаркированными опознаками приведена на рис.2. ГНСС методом определены координаты 14 замаркированных точек (опознаков), которые использовались в каждом из вариантов фототриангуляции в качестве исходных или контрольных точек.

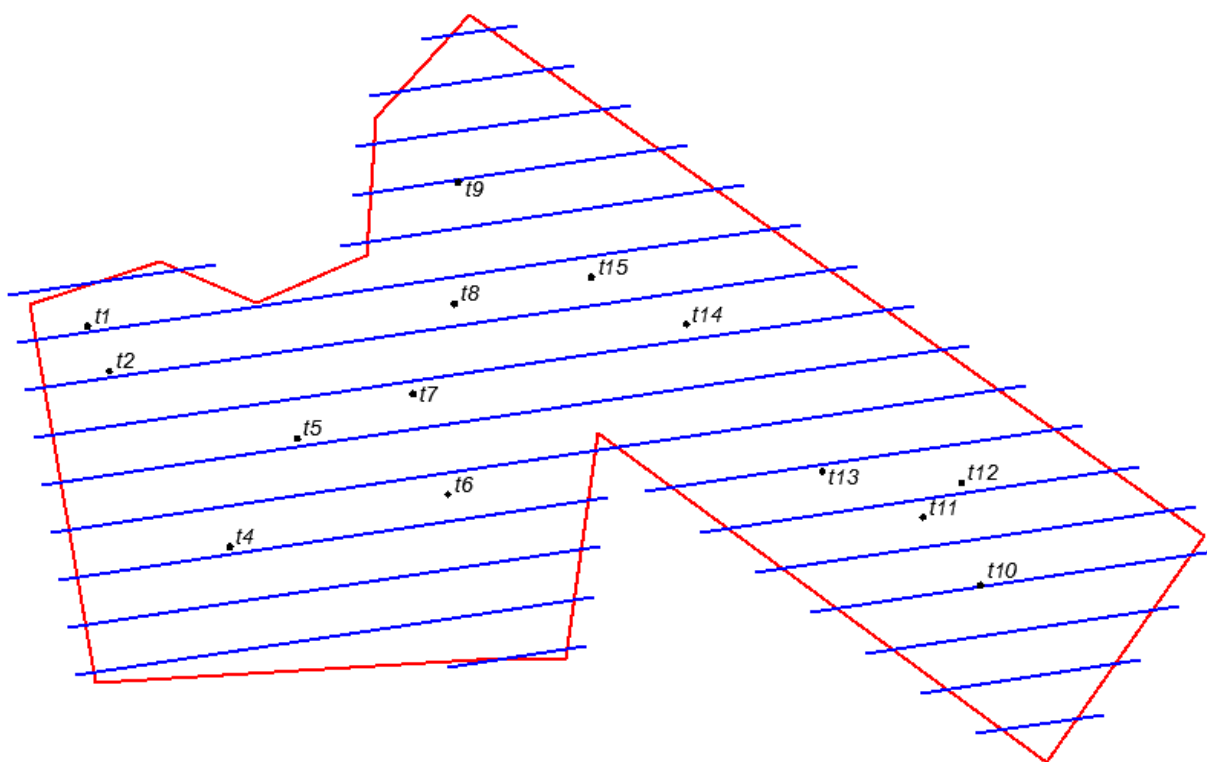


Рисунок 2. – Схема участка аэросъемки с маршрутами и замаркированными опознаками

Результаты аэросъемки обрабатывались в программном продукте Agisoft Metashape Professional. Всего обработано 4 варианта проекта:

1. Обработка выполнена без использования данных RTK с 11 опорными точками и 3 контрольными точками;
2. Обработка с использованием данных RTK без опорных точек (14 контрольных точек);
3. Обработка с использованием данных RTK с 1 опорной точкой примерно в центре участка и 13 контрольных точек;
4. Обработка с использованием данных RTK с 3 равномерно расположенными по участку опорными точками и 11 контрольными точками.

Во всех 4 вариантах проекта применялась самокалибровка камеры. Все четыре варианта показали практически равнозначные СКО в плановом

положении (m_{xy}) по контрольным точкам, которые составили не более 4 см (табл. 1).

Таблица 1. – Оценка точности фототриангуляции по контрольным точкам

Вариант проекта	1 (11 опорных точек)	2 (без опорных точек)	3 (одна опорная точка - t8)	4 (три опорные точки - t4, t9, t11)
m_x , см	2,9	3,1	2,8	3,2
m_y , см	1,8	2,2	2,5	2,1
m_{xy} , см	3,4	3,8	3,8	3,8

Что касается СКО высотного положения по контрольным точкам, то в варианте 2 она составила более 1 м. Как видно из таблицы 2, разности высот на контрольных точках имеют один знак, что говорит о наличии систематической ошибки в результатах уравнивания фототриангуляции. Причина низкой точности высотного определения модели - в неверном определении фокусного расстояния при самокалибровке камеры.

Таблица 2. - Результаты оценки точности фототриангуляции

№ точек	Разности координат на контрольных точках		
	X (м)	Y (м)	Z (м)
t1	0,034	-0,047	1,224
t2	0,047	-0,013	1,182
t4	0,041	0,006	1,143
t5	-0,022	-0,005	1,135
t6	0,040	-0,027	1,127
t7	-0,004	0,030	1,110
t8	0,034	-0,016	1,164
t9	0,033	0,003	1,237
t10	-0,040	-0,016	1,111
t11	0,010	-0,033	1,101
t12	-0,037	-0,027	1,130
t13	0,002	0,002	1,126
t14	-0,033	0,012	1,137
t15	-0,019	0,017	1,182

СКО высотного положения по контрольным точкам для вариантов 1, 3, 4 показали схожие результаты, в которых они - в пределах 3 см. Как показывают результаты обработки в вариантах 3 и 4, использование даже одной опорной точки достаточно для надежного определения фокусного расстоя-

ния при самокалибровке камеры и, соответственно, позволяет уменьшить ошибку высотного положения фотограмметрической модели до нескольких сантиметров (табл.3). Как видно из табл. 3, в вариантах 3 и 4 получено практически одинаковое значение элементов внутреннего ориентирования камеры (фокусного расстояния F и координат главной точки S_x и S_y).

Таблица 3. – Результаты выполнения фототриангуляции с самокалибровкой

Вариант проекта	1	2	3	4
F , pt	3601,7	3628,3	3695,7	3695,6
S_x , pt	4,812	4,619	5,182	5,174
S_y , pt	-27,289	-27,380	-28,090	-28,089
m_z , см (по контрольным точкам)	2,5	116,9	2,8	1,8

Заключение. При планировании, обработке результатов цифровой съемки с использованием БПЛА стоит внимательно подходить к выбору параметров съемки. Понимание их влияния на результаты съемки, выбор оптимальных величин способствуют получению результатов, удовлетворяющих требованиям фотографического, фотограмметрического качества, требованиям действующих нормативно-правовых документов.

Выполнение обработки цифровой съемки с БПЛА, используя всего лишь одну опорную точку, позволяет получать устойчивое решение при построении фототриангуляции с самокалибровкой, а также значительно сократить время на размещение и измерение опорных точек при полевых работах, особенно для труднодоступных мест, сохранить при этом точность получаемых результатов. Однако следует отметить, что для получения надежных результатов кроме опорных точек проект должен включать контрольные точки. Результаты исследования согласуются с результатами, представленными авторами [1,2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Forlani, G., Dall’Asta, E., Diotri, F., MorradiCella, U., Roncella, R., Santise, M. (2018). Quality Assessment of DSMs Produced from UAV Flights Georeferenced with On-Board RTK Positioning. *Remote Sensing*, 10, 311.
2. Taddia1, Y., Stecchi, F., Pellegrinelli, A. (2019) Using DJI Phantom 4 RTK drone for topographic mapping of coastal areas. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Geospatial Week 2019, 10–14 June 2019, Enschede, The Netherlands XLII-2/W13*, 625-630.

3. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ОНТА) 02-...03 Мн., БЕЛНИЦЗЕМ, 2003 – 78 с.
4. Курков В.М., Бляхарский Д.П., Флоринский И.В. Применение беспилотной аэрофотосъемки для геоморфометрического моделирования. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. –2016. №6. С.69-77.
5. А.Г. Чибуничев , В.М. Курков , А.В. Говоров, А.В. Смирнов , В.А. Михалин Исследование точности фототриангуляции с использованием различных методов лабораторной и полевой калибровки Известия высших учебных заведений геодезия и аэрофотосъемка 2016, Том 60, №2.