

УДК 528.7

к.т.н. Биджосян Г. К.,
Кукушкин В. П.

(ГОУ ЛНР «Луганский национальный
аграрный университет», г. Луганск, ЛНР)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЭРОФОТОСЪЁМКИ И ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АЭРОФОТОСНИМКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С БПЛА

В статье рассматриваются вопросы создания аэрофотосъёмочных комплексов на основе БПЛА для производства цифровой фотосъёмки и фотограмметрической обработки данного материала для уточнения планов, карт и землеустроительных мероприятий.

Ключевые слова: БПЛА, цифровые фотокамеры большого формата на ПЗС-матрицах (прибор с зарядной связью), цифровые модели рельефа.

В связи с развитием новой техники в области фотографии (получение векторного изображения объектов) и изобретения новейших средств транспортировки становится все более популярным и обсуждаемым применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в фотограмметрических целях. Главными преимущественными факторами этих систем являются:

- низкая стоимость использования по сравнению с использованием пилотируемой авиации (20–40 тыс. рублей / летный час) или спутников. Важно отметить, что наибольшей экономии можно добиться при использовании малых БПЛА в течение короткого времени, поскольку при использовании больших БПЛА, с большим потреблением топлива и высокой стоимости, зарплата пилота перестает быть основным фактором, определяющим различия в размере расходов;

- оперативность получения информации о наземных объектах с помощью современных цифровых фотокамер, установленных на БПЛА, при получении аэрофотографической продукции;

- высокая мобильность, не требуются площадки для взлета;

- низкие издержки на содержание штата;

- возможность решения широкого спектра задач;

- возможность применения в сложных погодных условиях и в условиях риска аварии для аппарата;

- не требуется высококвалифицированный персонал.

Исходя из этих аргументов, можно утверждать, что съёмка небольших территорий в целях крупномасштабного картографирования с помощью беспилотных летательных аппаратов становится практически вне конкуренции, по сравнению с классической аэрофотосъёмкой или спутниковой съёмкой, по временным и экономическим показателям.

Конечно, помимо преимуществ, съёмочные данные с БПЛА характеризуются рядом особенностей, что делает применение к ним классических методов фотограмметрической обработки несколько затруднительным. Масса негативных факторов: использование некалиброванных бытовых камер со шторно-щелевыми и лепестковыми затворами без компенсации сдвига изображений, нестабильное поведение летательного аппарата в воздушном пространстве, дешевое бортовое оборудование (зачастую на БПЛА устанавливают только GPS-приемник без инерциальной системы и не применяют дифференциальную коррекцию), что в конечном итоге накладывает определенный отпечаток на подход к обработке таких данных.

Поэтому параллельно с ростом интереса к съемке с помощью БПЛА растет и количество новостей от разработчиков современных цифровых фотограмметрических систем (ЦФС) о появлении в их программных продуктах каких-то специальных алгоритмов и наборов функций как раз для работы с такими данными.

Цифровые зеркальные фотокамеры с малыми фокусными расстояниями небольшого формата получили широкое применение в фотограмметрии. Опыт работы с такими фотокамерами показывает, что с помощью материалов аэрофотосъемки оперативно обновляются, уточняются и создаются планы на небольшие участки местности. Для выполнения одиночных и площадных съёмок местности с различных высот применяются аэрофотосъёмочные комплексы на беспилотных летательных аппаратах типа квадрокоптер Hubsan H501S X4 FPV, квадрокоптер Hubsan с GPS монитор 4.3 черный (H501S FPV Black HD Camera), беспилотный летательный аппарат EADS "Barracuda", беспилотный летательный аппарат Trimble UX5 и др. В состав фотографического оборудования входят цифровые камеры «большого» формата на ПЗС-матрицах, созданные фирмой Z/I Imaging Corporation с камерой DMC (Digital Mapping Camera) и фирмой Vexcel с камерой UltraCam D. В камере DMC установлены 4 матрицы размером 3000×2000 пикселей для съемки в красном, синем, зеленом и ближнем инфракрасном диапазонах. Для съемки в панхроматическом диапазоне в камере установлены 4 матрицы размером 7000×4000 пикселей. Четыре изображения, получаемые панхроматическими сенсорами, синхронизируются с точностью 0,01 миллисекунды и за счёт небольшого перекрытия используются для создания одного комбинированного изображения размером 7680×13824 пикселей. Созданное таким образом комбинированное изображение не является, строго говоря, изображением центральной проекции. Ошибки, вносимые разными про-

странственными положениями центров проекций каждого из изображений, исследованы в работе. При достаточной высоте полёта и небольшом перепаде высот этими ошибками можно пренебречь. Камера DMC снабжена устройством хранения данных общим объёмом 750 GB, что позволяет сохранить 2200 снимков.

Беспилотные аэрофотосъёмочные комплексы позволяют оперативно выполнять цифровую аэрофотосъемку локальных участков местности площадью до 10 кв. км, что является существенным преимуществом по сравнению с фотосъёмкой с самолёта. Выполнение аэрофотосъёмочных работ осуществляет специально подготовленный оператор, который производит расчёты на карте крупного масштаба (1:10000), намечает точки входа и выхода фотографирования, а затем в районе выполнения данной задачи производит расчёты высоты полёта БПЛА, маршрута полёта, связанного непосредственно с учётом угла и скорости ветра. Ввиду того, что управление БПЛА осуществляется в автономном режиме и воздушная среда неоднородна (различная ветровая обстановка), маршруты зачастую постоянно корректируются с земли: при этом полёт осуществляется с различными кренами, следовательно и аэрофотоснимки получаются хаотичными, т. е. имеющими различные перекрытия и различные масштабы. Как следствие выше сказанного, материалы аэрофотосъемки, выполняемой с БПЛА, имеют следующие недостатки (рис. 1):

- аэрофотосъёмочные маршруты непрямолинейны;
- аэрофотоснимки могут иметь существенные взаимные углы наклона, разворота и значительную разномасштабность;
- три последовательно полученных снимка могут не иметь зоны тройного перекрытия или эта зона имеет «неправильную» форму.

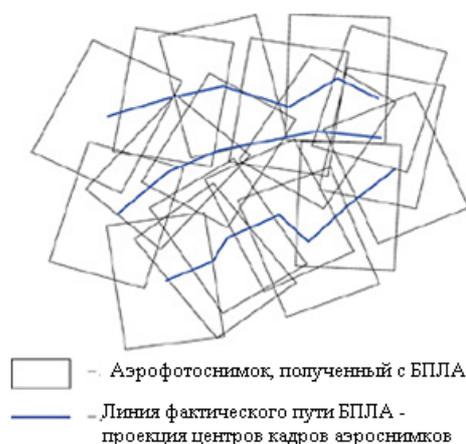


Рисунок 1 Схема блока из аэроснимков, полученных с БПЛА

Поэтому главным недостатком такой фотосъемки является то, что обработка полученных снимков с использованием цифровых фотограмметрических станций, ориентированных на обработку материалов классической аэрофотосъемки, неэффективна.

В Западно-Сибирском филиале ФГУП «Госземкадастрсъемка»-ВИСХАГИ разработаны алгоритмы и программное обеспечение для обработки материалов аэровидеосъемки, выполняемой с БПЛА [1, 2, 3]. Ключевым звеном в технологии фотограмметрической обработки является метод «блочного трансформирования», который реализует задачу плановой фототриангуляции. Учет влияния рельефа осуществляется с использованием цифровой модели плановых радиальных смещений точек. По данной технологии созданы фотопланы в ортогональной проекции масштаба 1:2000 на общую площадь более 200 кв. км.

С использованием указанной технологии обработки можно определять только плановые координаты точек местности, ее применение в горных районах недопустимо. Поэтому следующим этапом совершенствования технологии фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки, выполняемой с БПЛА, был выполнен пе-

реход к пространственной фототриангуляции.

Материалы аэрофотосъемки, полученные с БПЛА, обрабатываются в следующей последовательности.

На первом этапе выполняется отбор снимков по следующим критериям: высота фотографирования, углы наклона и качество изображения. Затем выполняется калибровка снимков, в результате которой устраняются нелинейные искажения на них, и определяется их фокусное расстояние. При проведении множества экспериментов были получены результаты остаточных отклонений на опорных и контрольных точках в пределах 0,35–1,2 м.

Далее выполняется создание электронного накладного монтажа и формирование фотограмметрического блока. Электронный накладной монтаж создается путем последовательной подгонки (ориентирования) снимков. При этом выполняется их трансформирование с использованием проекционных преобразований. На электронном накладном монтаже указывается положение опорных точек. Блок фототриангуляции формируется с учетом расположения этих опорных точек, при этом из электронного накладного монтажа удаляются избыточные снимки.

Затем на электронном накладном монтаже задается проектное положение связующих точек и выполняется измерение координат каждой точки на всех снимках, где она изобразилась, с применением коррелятора. Приближенные значения элементов внешнего ориентирования, необходимые для уравнивания сети, определяются в два этапа:

1. Грубое определение элементов внешнего ориентирования на основе данных электронного накладного монтажа:

- плановые координаты центра фотографирования приравниваются к координатам центра снимка на монтаже;
- высота центра фотографирования приравнивается к высоте полета;

– значения продольного и поперечного углов наклона устанавливаются равными нулю;

– значение угла разворота определяется по данным электронного накладки монтажа.

2. Вычисляются приближенные значения элементов внешнего ориентирования на основе обратной фотограмметрической засечки. При этом в качестве координат точек местности используются координаты связующих точек, определенных с электронного накладки монтажа на средней высоте. Уравнивание блока фототриангуляции выполняется по методу связок [4, 5]. Цифровая модель рельефа, необходимая для ортотрансформирования, создается с использованием точек фототриангуляции, расположенных на поверхности земли, или используется цифровая модель рельефа, полученная от внешнего источника.

С использованием уравненных элементов внешнего ориентирования и цифровой модели рельефа выполняется ортотрансформирование снимков, по которым затем проводятся линии порезов, выполняется выравнивание яркости и формируется ортофотоплан.

При проведении исследовательского эксперимента по данной технологии выполнялись производственные работы по созданию ортофотопланов масштаба 1:2000 на территории пяти населенных пунктов Омской области.

Таким образом, точность подготовленных ортофотопланов удовлетворяет требованиям, предъявляемым при создании ортофотопланов масштаба 1:2000.

Обработка аэрофотосъемки с БПЛА в цифровых фотограмметрических системах (ЦФС) в целом аналогична обработке аэрофотосъемки с «больших самолетов». Однако особенности данных с борта БПЛА часто не позволяют использовать автоматические процедуры стандартных пакетов — часть операций (например, установку связующих точек) приходится производить в ручном режиме. Ниже мы

рассмотрим особенности обработки аэрофотосъемки с БПЛА в ЦФС PHOTOMOD 5.2. Именно в этой версии PHOTOMOD введены специальные функции для обработки таких данных, существенно упрощающие и автоматизирующие получение конечной продукции.

Как и при обработке других данных, сначала в ЦФС создается проект, в него вводятся снимки и телеметрическая информация. На основании данных о центрах проекции и углах производится создание накладки монтажа, разбивка по маршрутам. Снимки, попавшие на развороты БПЛА, удаляются в ручном режиме. Неточные угловые элементы внешнего ориентирования приводят к достаточно грубому накладки монтажу.

Автоматический поиск связующих точек в таких случаях затруднен или требует значительного времени работы компьютера. Для уточнения накладки монтажа в таких случаях в ЦФС PHOTOMOD используется так называемый автоматический накладки монтаж, который уточняет взаимное расположение снимков.

Как мы ранее отмечали, съемка с борта БПЛА производится с увеличенными перекрытиями.

Нестабильность полета летательного аппарата иногда может привести к очень большим перекрытиям между соседними снимками, что вызывает сложности в стандартных фотограмметрических пакетах. Разные углы и высоты съемки соседних кадров приводят к увеличению области поиска связующих точек и повышению числа грубых ошибок по сравнению со стандартными полетами БПЛА. После создания уточненного накладки монтажа выполняется процедура автоматического измерения связующих точек. На первых проходах накладки монтаж опять уточняется.

На следующих проходах производится доизмерение связующих точек. Несколько проходов необходимы в случае, когда телеметрическая информация не содержит всех углов ориентирования или углы известны с

точностью 10–30 градусов. Если же телеметрическая информация содержит угловые элементы ориентирования с точностью в несколько единиц градуса, то достаточно и одного прохода — надежность автоматических измерений в этом случае повышается. Для борьбы с возможными грубыми ошибками при автоматических измерениях в PHOTOMOD 5.2 введено понятие так называемой доверительной группы связующих точек, когда программа ищет наибольшее число связующих точек для стереопар с наименьшим поперечным параллаксом, остальные связующие точки, не попавшие в группу, считаются ошибочными. После измерения связующих и опорных точек производится процедура уравнивания.

В ЦФС PHOTOMOD можно использовать начальное приближение для алгоритма уравнивания как по уточненной схеме блока, так и построенное другими методами. Начиная с версии 5.2 для уравнивания аэро съемки с БПЛА мы рекомендуем использовать новый режим — уравнивание 3D. При уравнивании в PHOTOMOD и достаточном числе опорных точек можно использовать самокалибровку. Это дает возможность использования некалиброванных камер. Ожидаемая точность выходных результатов при строгой фотограмметрической обработке составляет приблизительно 1–2 GSD в плане и 2–4 GSD по высоте.

После фотограмметрического уравнивания, результаты которого и определяют точность выходных продуктов, производится построение рельефа (ЦМР) в автоматическом режиме.

При необходимости после уравнивания может быть сделана стереовекторизация — отрисовка в ручном режиме зданий,

сооружений, мостов, дамб и других объектов. Построенный рельеф используется для ортотрансформирования снимков.

На последнем этапе из ортотрансформированных снимков создается бесшовная мозаика: производится расчет линий порезов, выравнивание яркостей, стыковка контурных объектов.

Самокалибровку можно включать и при отсутствии опорных точек. При использовании камер со щелевым затвором можно дополнительно включить расчет аффинных искажений. В случае стабильности углов ориентирования при съемке такая самокалибровка может повысить точность уравнивания.

Если используется некалиброванная камера и отсутствуют опорные точки, то можно говорить о точности в несколько десятков метров, которая будет определяться точностью GPS центров проекций и дисторсией объектива (до нескольких десятков пикселей).

Технология фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки с БПЛА эффективно решает задачу оперативного создания и обновления картографической основы для ведения кадастра объектов недвижимости, землеустройства и мониторинга земель.

Необходимость проведения аэрофотосъемок с использованием БПЛА как никогда актуальна на сегодняшний день на территории Донбасса, разрушенного боевыми действиями, для определения и оценки фактически нанесенного ущерба, и как следствие – дальнейшего восстановления объектов народного хозяйства и промышленности в данном регионе.

Библиографический список

1. Безменов, В. М. *Фотограмметрия. Построение и уравнивание аналитической фототриангуляции [Текст] : учебно-методическое пособие для физического факультета / В. М. Безменов. — Казань, 2009. — 5 с.*
2. Тюфлин, Ю. С. *Новые старые задачи фотограмметрии [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.gisa.ru/3774.html> (03.04.2014 19:09).*

3. Ессин, А. С. Разработка методики пространственной фотограмметрической обработки материалов цифровой аэрофотосъемки, полученной с беспилотного летательного аппарата [Текст] / А. С. Ессин // Сб. материалов науч. конгр. «ГЕО-Сибирь 2007». — Новосибирск : СГГА, 2007. — Т. 3.

4. Ессин, А. С. Фотограмметрическая обработка материалов аэровидеосъемки для создания ортофотопланов [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 25.00.34 / Антон Сергеевич Ессин. — Омск, 2006. — 128 с.

5. Пат. 2235292 Российская Федерация, G01 C11 / 30. Способ создания ортофотопланов по материалам аэровидеосъемки / Л. В. Быков, А. П. Макаров, Б. К. Малявский, А. С. Ессин, М. А. Шумилов. — № 2002128971; заявл. 29.10.2002; опубли. 27.08.2004, Бюл. № 24.

6. Антипов, И. Т. Математические основы пространственной аналитической фототриангуляции [Текст] / И. Т. Антипов. — М. : Картогеоцентр-Геодиздат, 2003.

7. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия [Текст] / А. Н. Лобанов. — М. : Недра, 1984.

© Биджосян Г. К.

© Кукушкин В. П.

Рекомендована к печати к.т.н., проф., зав. каф. ЗСАРиГ ЛНАУ Рогулиным В. В., к.т.н., доц., и.о. зав. каф. СК ДонГТУ Псюком В. В.

Статья поступила в редакцию 01.12.17.

к.т.н. Биджосян Г. К., Кукушкін В. П. (ДОУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет», м. Луганськ, ЛНР)

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ АЕРОФОТОЗЙОМКИ І ФОТОГРАМЕТРИЧНОЇ ОБРОБКИ АЕРОФОТОЗНІМКІВ, ОТРИМАНИХ З БПЛА

У статті розглядаються питання створення аерофотознімальних комплексів на основі БПЛА для проведення цифрового фотографування і фотограмметричної обробки даного матеріалу для уточнення планів, карт і землевпорядних заходів.

Ключові слова: БПЛА, цифрові фотокамери великого формату на ПЗС-матрицях (прилад із зарядним зв'язком), цифрові моделі рельєфу.

PhD Bidzhosian G. K., Kukushkin V. P. (LNAU, Lugansk, LPR)

SOME PECULIARITIES OF AEROPHOTOGRAPHY AND PHOTOGRAMMETRIC PROCESSING OF AERIAL PHOTOS OBTAINED FROM UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)

The article reviews the questions of setting up aerophotography systems based on UAV to produce digital photography and photogrammetric processing of the material for clarifying plans, maps and land-use planning.

Key words: UAV, large format digital photo cameras with CCD-matrix (charge-coupled device), digital models of hill.