

$$\begin{aligned}
 a_0 &= \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos\left(\frac{\omega}{2}\right)\cos\left(\frac{\chi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\sin\left(\frac{\omega}{2}\right)\sin\left(\frac{\chi}{2}\right); \\
 a_1 &= \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\sin\left(\frac{\omega}{2}\right)\cos\left(\frac{\chi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos\left(\frac{\omega}{2}\right)\sin\left(\frac{\chi}{2}\right); \\
 a_2 &= -\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\sin\left(\frac{\omega}{2}\right)\cos\left(\frac{\chi}{2}\right) - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos\left(\frac{\omega}{2}\right)\sin\left(\frac{\chi}{2}\right); \\
 a_3 &= -\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos\left(\frac{\omega}{2}\right)\cos\left(\frac{\chi}{2}\right) - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)\sin\left(\frac{\omega}{2}\right)\sin\left(\frac{\chi}{2}\right).
 \end{aligned}
 \tag{30}$$

где α — дирекционный угол оптической оси фотокамеры; ω — угол наклона оптической оси; χ — угол поворота снимка.

Вращение осуществляется против часовой стрелки на углы $\pi - \frac{\alpha}{2}$, ω , $\pi - \frac{\chi}{2}$. Формулы (29) и (30) проверены численными экспериментами с использованием макетных снимков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безменов В.М. Кватернионы в фотограмметрии. Уравнение коллинеарности // Геодезистъ, 2002. — № 1. — С. 12–14.
2. Безменов В.М. Элементы кватернионов в фотограмметрии. Уравнение компланарности, взаимное ориентирование // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». — 2009. — № 4. — С. 48–56.
3. Урмаев М.С. Применение алгебры кватернионов в фотограмметрии // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». — 1986. — № 2. — С. 81–90.
4. Урмаев М.С. Космическая фотограмметрия. М.: Недра, 1989.
5. Арманович Л.И. Применение кватернионов для определения элементов внешнего ориентирования снимков // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». — 1989. — № 6. — С. 110–119.
6. Арманович Л.И. Применение кватернионов для определения элементов взаимного ориентирования снимков. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1990, № 46, с. 99–110.
7. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. М.: Недра, 1984. — 552 с.
8. Dr. Ljudmila Meister (geb. Armanovitch). Quaternions and their application in fotogrammetry and navigation, 1998.

Принята к печати 22 апреля 2014 г.

СПЕЦИФИКА ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Профессор, доктор геол.-мин. наук **А.Т. Зверев**, аспирант **Е.В. Фисенко**
 Московский государственный университет геодезии и картографии
 zverev@miigaik.ru, helenfis@mail.ru

Аннотация. Проведена работа по осуществлению съемки с беспилотного летательного аппарата путем установки на летательный аппарат новейшей профессиональной камеры Canon Mark 2. Были изучены особенности проведения данной съемки и выявлены положительные стороны и отличия от традиционной аэрофотосъемки, а также подмечены недостатки.

Ключевые слова. Беспилотный летательный аппарат (БЛА), аэрофотосъемка, фотограмметрическая обработка, ортофотоплан, снимки, навигационные элементы, 3D модели, профессиональная камера, Photoscan

Abstract. A work on implementation of the shooting from the UAV was carried out by mounting the latest professional camera Canon Mark II on an aircraft. The features of the shooting process were studied. This helped to identify the strengths and disadvantages of the method and its differences from the traditional aerial photography.

Keywords. unmanned aircraft, aerial photogrammetric processing, orthophotomap, images, navigational elements, 3D models, professional camera, Photoscan

Аэрокосмическая отрасль претерпела много изменений с появлением и развитием беспилотных авиационных систем. С появлением беспилотных летательных аппаратов (БЛА) стало решаться множество задач, которые не под силу пилотируемым системам, в первую

очередь в целях безопасности и по экономическим причинам. В связи с этими изменениями можем говорить о появлении «новой аэрофото­съемки» с применением фотокамер и установ­кой их на БЛА.

В нашем исследовании использовался бес­пилотный летательный аппарат Птеро-Е, сде­ланный АФМ-Серверс (рис. 1). На БЛА была размещена профессиональная фотокамера Cannon Marck 2, с матрицей 5616×3744 пик­селей. Съемка проходила с высоты 300 м над территорией Новой Москвы (п. Курилово) в августе 2012 г. (рис.2).

Фотосъемка с БЛА существенно отличается от обычной аэрофото­съемки. Специфика вы-



Рис. 1. Беспилотный летательный аппарат Птеро-Е



Рис. 2. Снимки, полученные с Птеро-Е

полнения съемки и обработка данных различ­ны, есть свои плюсы и минусы съемки с БЛА. Сначала выделим недостатки съемки с БЛА, выявленные в ходе исследования.

Как известно, элементы, характеризующие геометрические условия съемки, называются параметрами аэрофото­съемки. Одним из основных параметров является *перекрытие аэ­рофотоснимков*, под которым понимают части смежных снимков с изображением одного и того же участка местности, сфотографированного с разных точек. Для получения заданной величины перекрытий во время проведения аэ­рофото­съемки необходимо выдержать соответ­ствующий базис фотографирования. Однако при полете БЛА съемка осуществляется в авто­матизированном режиме и непрерывно. В результате получается множество снимков, из ко­торых около 80% перекрытий. Если говорить о маневренности БЛА, связанной с переходом с пройденного маршрута на очередной съемоч­ный маршрут, который называется заходом и от которого зависит точность выдерживания поперечных перекрытий, то здесь можно ска­зать, что съемка для небольших участков мест­ности невыгодна. При осуществлении съемки БЛА в крупном масштабе выполняется переход с одного на другой маршрут, используя заход с отворотом, и получается очень существенная петля, которую продолжает снимать в автома­тическом режиме камера. Полученные снимки отбраковываются.

Следующий минус касается *основных нави­гационных элементов* полета, например, таких как высота и угол сноса. Под высотой полета понимают расстояние по вертикали от уровня, взятого на начало отсчета, до самолета. Есть абсолютная высота полета над уровнем моря и истинная высота полета относительно земной поверхности, над которой находится летатель­ный аппарат. Угол сноса — это угол между про­дольной осью летательного аппарата и линией его пути [1]. Из-за того что БЛА имеет неболь­шую массу, угол сноса достаточно велик, по­этому происходит колебание высоты (диапазон 300–420 м). Масса летательного аппарата ока­зывает влияние на углы крена и тангажа, кото­рые задают ориентацию аппарата относительно нормальной системы координат. Появляется угловое отклонение и поворот от его продоль­ной оси, что также влияет на качество отснято-

го материала. При проведении съемки с высоты 150 м угол поля зрения маленький, поэтому приходится выполнять много маршрутов.

Во время осуществления съемки на БЛА устанавливается не только камера, но и приемник спутниковых систем навигации, таких как (Global Positioning System) GPS. Такой приемник способен вычислить широту, долготу и высоту над Землей, время и дату, определить направление на пункт с известными координатами, скорость самолета, время прибытия, определить боковое отклонение от заданной линии пути. В обычных самолетах используется несколько приемников, установленных в различных точках самолета, можно помимо его координат определить углы наклона самолета по крену и тангажу. Из-за небольших габаритов БЛА используется только один приемник и поэтому, учитывая все перечисленные выше отклонения от заданного полета, GPS отмеряет координаты с погрешностями [2].

После проведения съемки необходима обработка данных, и для осуществления *фотограмметрической обработки* [3] получается множество стереопар, более 1450 шт., для этого необходимы автоматизированные методы обработки с привлечением специальных программ.

Далее перейдем к плюсам съемки с БЛА. Как известно, такая съемка является методом дистанционного зондирования, поскольку информацию об исследуемом объекте получают на расстоянии без непосредственного контакта с ним. Для различных съемок важен такой фактор, как атмосфера и ее состояние, потому что в основном проводят съемки с космических спутников, и атмосфера вносит достаточные искажения для принимаемых изображений. Поэтому плюсом проведения съемки с БЛА является то, что съемка проводится под облаками вблизи земной поверхности и не вносит сильных помех и искажений на формирование изображения. При этом дальность полета достаточно высокая и иногда составляет более 400 км.

Если сравнивать беспилотный летательный аппарат с мотодельтапланом и подобными летательными аппаратами, то здесь нужно отметить, что БЛА осуществляет взлет с любой точки поверхности со специальной стартовой катапульты небольшого размера. Для него не требуется специально выделенных площадок

для взлета и посадки, в том числе аварийной.

Если рассматривать с экономической точки зрения проведение съемки не крупных объектов или объектов с опасностью для человеческой жизни, то съемка обходится намного дешевле и эффективнее, чем например, с самолета типа АН-2 и других летательных аппаратов.

К плюсам БЛА можно отнести также то, что установленная на нем камера позволяет сразу просмотреть отснятый материал и начать работать с ним. Тем более что сейчас совершенствуются и появляются новые программы для обработки данных в автоматическом режиме. Одной из таких программ является Agisoft\Photoscan (С-Петербург). Программа позволяет создать высокоточную текстурированную 3D-модель местности, привязать ее по центрам фотографирования или по наземным точкам, сформировать из полученной модели ортофотоплан и матрицу высот.

Ортофотопланы и 3D-модели нужны для решения локальных задач на небольших участках местности (сельских поселений, отдельных частей города, дорог, рек и т.д.), для научных исследований и анализа земной поверхности, для построения геоинформационных систем различного уровня сложности. Проведение таких съемок необходимо для дальнейших действий и принятий решений о том или ином объекте. Исследования с использованием БЛА сейчас актуальны для России, так как необъятные просторы нашей страны нуждаются в постоянном контроле и наблюдении за состоянием сельхозкультур, растительностью, водными и антропогенными объектами, стихийными бедствиями и техногенными катастрофами.

Исследования проведены в рамках проекта РФФИ (проект номер № 13-05-00534).

ЛИТЕРАТУРА

1. Савиных В.П., Кучко А.С., Стеценко А.Ф. Аэрокосмическая фотосъемка. – М.: Картогеоцентр-Геодиздат, 1997. – С. 3–4.
2. Зверев А.Т., Фисенко Е.В. Теоретическая база и технологические решения космического мониторинга природных и техногенных чрезвычайных ситуаций // Изв вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2013. – № 6. – С. 50–53.
3. Назаров А.С. Фотограмметрия. – Минск.: ТетраСистемс, 2006. – С. 10–12.

Принята к печати 18 февраля 2014 г.
Рекомендована кафедрой космического мониторинга
МИИГАиК