

УДК 528.721.221

**В.В. Мусихин, Ю.Д. Зубкова**

**V.V. Musikhin, Y.D. Zubkova**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ НА ОСНОВЕ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (БПЛА)**

### **ACCURACY EVALUATION OF CREATING A LOCALITY MODEL ON THE BASIS OF AEROPHOTOSIS WITH A UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV)**

На сегодняшний день беспилотные летательные аппараты (БПЛА) широко применяются при получении топографических карт и планов. В данной работе рассмотрен один из методов создания ортофотоплана по снимкам, полученным с БПЛА, с помощью использования программного продукта Erdas Imagine 2015.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты (БПЛА), ортофотоплан, аэрофото-съемка, цифровая модель местности, топографический план, координаты.

Nowadays unmanned aerial vehicles (UAV) are widely used to get topographic plans and maps. In this paper, one of the methods of creating an orthophotomap from UAV images using the Erdas Imagine 2015 software was considered.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles (UAV), orthophotomap, aerial photography, digital terrain model, topographic plan, coordinates.

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) получили широкое применение в геодезии, топографии и картографии как для создания планов и карт, так и для получения цифровых моделей местности. В данной работе рассмотрен один из методов создания ортофотоплана по снимкам, полученным с БПЛА, с последующей их обработкой в программном продукте Erdas Imagine.

Технология съемки земной поверхности с помощью БПЛА хотя и является на сегодняшний день наименее распространенной и требующей определенных знаний, но имеет ряд преимуществ как перед наземными методами съемки, так и перед пилотируемой аэрофотосъемкой. Например, вследствие отсутствия человека на борту аппарата упрощен процесс подготовки к съем-

ке. Также к преимуществам можно отнести низкую стоимость работ, оперативность получения снимков, возможность запуска БПЛА с руки или с помощью специального взлетного устройства (катапульты) – все это значительно повышает производительность съемочных работ.

Исходными данными для выполнения работы послужили 16 снимков, элементы внутреннего ориентирования и измеренные элементы внешнего ориентирования съемки. Практическая часть по обработке выполняется в программном продукте ERDAS Imagine в модуле LPS – Leica Photogrammetry Suite. Перед началом работ по обработке снимков указывают параметры камеры, используемой на БПЛА, и задают систему координат. Далее необходимо задать систему углов разворота снимков, среднюю высоту полета и направление оси фотографирования. Затем приступают к добавлению снимков с помощью команд *Edit* → *Add Frame*. По завершении этих действий необходимо выполнить внутреннее и внешнее ориентирование снимков.

Для обеспечения возможности определения координат точек в системе координат снимка по значению их координат в системе координат цифрового изображения выполняется процесс внутреннего ориентирования снимка. В результате определяются параметры, характеризующие положение и ориентацию системы координат снимка в системе координат цифрового изображения, а также параметры, позволяющие исключить влияние систематической деформации изображения вследствие дисторсии [1].

Для процесса внутреннего ориентирования в программе с помощью команд *Edit* → *Frame Editor* необходимо ввести необходимые параметры: фокусное расстояние  $f$  и координаты главной точки аэроснимка  $x_0$ ,  $y_0$ , а также коэффициент дисторсии объектива. Далее выполняется этап по внешнему ориентированию снимков.

Элементами внешнего ориентирования называют величины, определяющие положение плоскости аэроснимка в момент фотографирования относительно системы координат местности. Они содержат шесть величин – 3 линейных и 3 угловых элемента. К линейным относят координаты точки фотографирования. Под точкой фотографирования понимается точка пространства  $S$ , в которой располагается центр объектива съемочной камеры в момент получения конкретного снимка. К угловым элементам внешнего ориентирования относят 3 угла, характеризующих угловое положение съемочной камеры в момент фотографирования. Наиболее часто используют следующие углы:  $\varphi$  – продольный угол наклона снимка (оптической оси камеры),  $\omega$  – поперечный угол наклона снимка (оптической оси камеры),  $\kappa$  – угол поворота снимка [2].

Выполнение данного этапа в программе подразумевает ввод известных предварительных элементов внешнего ориентирования для каждого снимка. Во вкладке *Edit* → *Frame Editor* → переходят в закладку *Exterior Information*, где вводятся известные значения.

На следующем этапе обработки необходимо выбрать опорные точки на всех снимках. Опорные точки лучше всего располагать на таких местах, как пересечения дорог, углы зданий, границы бетонных площадок, межевые знаки и других местах, которые не подвержены изменениям. Координаты таких точек известны. Для выполнения этого этапа в программе выполняется данная последовательность команд: *Edit* → *Point Measurement* → *Classic Point Measurement*. После нанесения выбранных точек переходят к автоматическому созданию связующих точек командой *Automatic Tie Point Generation Properties*; координаты этих точек будут определены позже с помощью фототриангуляции.

Под фототриангуляцией понимают процесс фотограмметрического сгущения сети опорных точек, выполняемых по аэроснимкам, с целью обеспечения аэроснимков требуемым количеством опорных точек для трансформирования и построения модели. Задачей фототриангуляции является обеспечение каждого аэрофотоснимка точками, необходимыми для трансформирования. В качестве исходной информации выступают координаты опорных точек, а также измеренные в процессе аэрофотосъемки элементы внешнего ориентирования снимков. В программе это может быть реализовано через такую последовательность команд: *Edit description* → *Point Measurement* → *Aerial Triangulation* → *Run*. По окончании этого этапа мы можем увидеть отчет, который содержит в себе определенные координаты связующих точек. Если результат удовлетворяет, то можно приступить к созданию цифровой модели.

Цифровая модель местности (ЦММ) – совокупность информации о положении, характеристиках объектов местности, связях между ними и топографической поверхности, представленные в форме, доступной для обработки на ЭВМ. Указанная совокупность информации может представлять собой отдельно цифровую модель рельефа (ЦМР) и цифровую модель ситуации (ЦМС). Цифровая модель рельефа обязательно задается одновременно плановыми координатами и высотами  $H$  [3].

На данном этапе в программе выполняются команды *Process* → *DTM Extraction* → *Classic ATE*. В результате успешного завершения этого процесса будет построена цифровая модель местности, на основе которой могут быть построены цифровые планы. Пример данной модели изображен на рис. 1.

Большая часть задач в фотограмметрии может быть решена с помощью горизонтальных снимков, а не наклонных – это обусловлено тем, что горизонтальный снимок местности может быть использован как план. Горизонтальные снимки получаются путем трансформирования наклонных в камеральных условиях. В данном процессе решается и более общая задача – по наклонному снимку создается изображение в проекции, которая соответствует составляемому плану или карте. Примером такой проекции может служить ортогональная.

Следовательно, можно сделать вывод, что ортотрансформирование – это трансформирование снимка, при котором устраняются искажения, вызванные

высотным отклонением объектов съемки (параллаксы). Данная процедура применяется для снимков, созданных в центральной проекции; совмещается цифровая модель со снимком и вводятся поправки. Трансформирование происходит по отношению к главной точке. В программе это возможно осуществить в следующем порядке: выбирается снимок, который необходимо трансформировать, и выполняется ряд команд, а именно – *Process* → *Ortho Rectification* → *Resampling*. В результате может быть получен набор горизонтальных снимков.

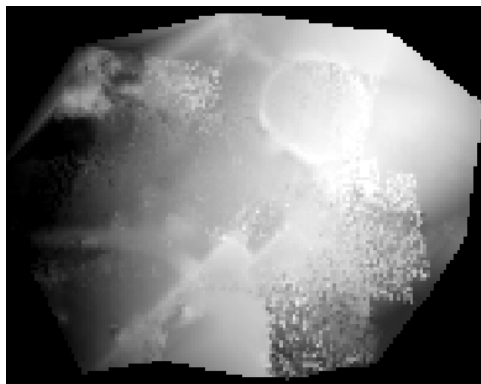


Рис. 1. Цифровая модель высот

Применение отдельных аэроснимков может быть неудобным при решении таких инженерных задач, как измерения площадей, длин линий, которые располагаются на различных снимках. Но это может быть устранено объединением всех снимков в единый ортофотоплан, если будут соединены снимки, свободные от угла наклона и рельефа местности. Для этого необходимо в программе в папке *Orthos* выделить все трансформированные снимки → *Process* → *Mosaic*. Таким образом будет получен ортофотоплан (рис. 2).



Рис. 2. Ортофотоплан

На завершающих этапах необходимо отразить рельеф на плане с помощью горизонталей. Для этого может быть использован вспомогательный программный продукт, например Global Mapper. Для этого указывают систему координат, проекцию и номер зоны, затем выбирают вкладку *Анализ топографии* → *Создание контуров*, указывают необходимые параметры. После всех проделанных операций получаем изображение полученных горизонталей без учета правил нанесения рельефа на планы.

Для оформления плана в соответствии с требованиями необходимо убрать горизонтали с бетонных покрытий, зданий, дорог, деревьев и лесных массивов. Это можно выполнить в программном продукте MapInfo Professional при совмещении ортофотоплана и изображения горизонталей. Конечным итогом работы будет являться оформленный ортофотоплан, представленный на рис. 3, с помощью которого может быть решена часть инженерных задач.



Рис. 3. Оформленный ортофотоплан

Одним из критериев оценки точности создания модели местности является средняя квадратическая погрешность определения координат, которая рассчитывалась как среднее отклонение координат связующих точек для различных снимков. В данной работе средняя квадратическая погрешность определения координат составила: по  $X$  – 0,111 м, по  $Y$  – 0,121 м, по  $Z$  – 0,409 м. Рассчитанная абсолютная погрешность в плане составила 0,164 м, что соответствует точности съема координат с плана масштаба 1:1000–1:2000 (0,1 мм в масштабе плана).

Применение БПЛА для получения снимков, на основе которых с помощью необходимого программного обеспечения для обработки можно получить наиболее актуальную информацию для создания планов в кратчайшие сроки, позволяет снизить затраты на производство аэрофотосъемочных работ.

Но с точки зрения фотограмметрии качество подобной съемки может быть оценено как неприемлемое, поскольку на БПЛА устанавливают камеры бытового сегмента, которые не используют гиросtabilизирующую аппаратуру, что приводит к отклонению оптических осей от вертикали в несколько градусов, что значительно усложняет процесс обработки снимков. Однако с помощью современного программного обеспечения данные недостатки могут быть устранены. Примером такого программного продукта является ERDAS IMAGINE, который способен обрабатывать даже такие «некачественные» данные аэрофотосъемки в полуавтоматизированном режиме.

### Список литературы

1. Михайлова А.П., Чибуничева А.Г. Курс лекций по фотограмметрии. – М.: МИИГАиК. – 2011.
2. Лобанов А.Н. Фотограмметрия: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984.
3. Попов В.Н., Чекалин С.И. Геодезия: учебник для вузов. – М.: Горная книга, 2007. – Т. 728.
4. Imagine E. практическое руководство Tour Guides // Geospatial Imaging, LLC. Norcross, Georgia, 2005.
5. Руководство пользователя MapInfo Professional / MapInfo Corporation. Troy, New York, 2007. – 620 с.

Получено 5.03.2018

**Мусихин Василий Владимирович** – кандидат технических наук, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: basil2@list.ru.

**Зубкова Юлия Дмитриевна** – студентка, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: zubkovayud@rambler.ru.