

УДК 528.716.1.021.6

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ВНЕШНЕГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ  
ФОТОСНИМКОВ, ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ СТАНДАРТНОГО  
ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО GPS-ОБОРУДОВАНИЯ**

*Угаров С.Г., Ефимов С.А., Капралов А.А.*

*Объединение «Технохимкомплект», Симферополь, Украина  
E-mail: office@thk.at-crimea.com*

В статье описывается опыт определения координат точек фотографирования аэрофотоснимков во время выполнения аэрофотосъемочных работ с помощью двухчастотных GPS-приемников, используемых для выполнения геодезических работ. Оценивается эффективность использования полученных элементов внешнего ориентирования при построении фотограмметрических сетей.

**Ключевые слова:** фотограмметрия, фототриангуляция, фотограмметрическая сеть, элементы внешнего ориентирования, аэрофотосъемка, GPS-приемник.

*Фотограмметрия – искусство, наука и технология получения достоверной информации о физических объектах и окружающей среде в рамках процесса регистрации, оценки и интерпретации фотографических изображений, радиометрических и других данных.*

*Американское общество фотограмметрии  
[1, p. 13].*

**ВВЕДЕНИЕ**

Основным методом обработки фотоизображений является фототриангуляция. Её главная задача сводится к определению элементов взаимного и внешнего ориентирования фотоснимков для установления связи между плоскими и пространственными координатами точек фотоснимка, а также между координатами точек фотоснимка и местности. Элементами внешнего ориентирования являются координаты точки фотографирования ( $X_s$ ,  $Y_s$ ,  $Z_s$ ), продольный угол наклона фотоснимка ( $\alpha$ ), поперечный угол наклона фотоснимка ( $\omega$ ), угол поворота фотоснимка ( $\kappa$ ).

Как правило, до начала обработки фотоизображений, элементы внешнего ориентирования не известны и определяются по параллаксам связующих точек в зонах двойного перекрытия фотоснимков с использованием необходимого количества опорных точек, чаще всего, измеряемых полевыми методами [2]. Такая обработка требует значительных материальных затрат и характеризуется трудоемкостью процедур. Наличие данных об элементах внешнего ориентирования существенно ускоряет процесс обработки и снижает его затратность.

В настоящее время в фотограмметрии используются цифровые изображения, обрабатываемые на компьютере, а аэрофототриангуляционные пакеты (например ERDAS IMAGINE), используемые для обработки, предусматривают возможность использования данных об элементах внешнего ориентирования, полученные в момент выполнения съемки.

Так, например, если известны координаты точки фотографирования, отпадает необходимость в ручных измерениях по меньшей мере двух опорных точек или связующих точек на перекрывающихся областях каждого изображения для подготовки автоматического определения связующих точек.

При наличии же значений всех элементов внешнего ориентирования с высокой точностью (менее одного метра для координат точки фотографирования), осуществление процесса построения пространственной фототриангуляции не требуется, как следствие ненужным становится и использование опорных точек. Если эти значения известны с некоторой степенью точности, их целесообразно применять в качестве начальных приближений для обеспечения высокой точности при вычислении параметров внешнего ориентирования и координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  точек земной поверхности [1, p. 258 – 259].

Методы определения элементов внешнего ориентирования в момент выполнения аэросъемки существовали и ранее: 1) определение высоты фотографирования с помощью радиовысотомеров (ошибка определения 2м и более) и статоскопов (ошибка определения 0,6 – 1,5 м); 2) по фотографиям звезд (ошибка определения угловых элементов внешнего ориентирования 5-15 сек); 3) радиогеодезические системы (ошибка определения координат точки фотографирования 1-4м) [3].

С появлением GPS-оборудования были созданы специализированные системы, позволяющие в сочетании с бортовым оборудованием определять во время выполнения аэрофотосъемки сразу все элементы внешнего ориентирования и с большей точностью. Система GPS обеспечивает определение координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  центра камеры в момент фотографирования, а система INS обеспечивает определение углов наклона камеры (при наличии у камеры гиросtabilизирующей платформы значения углов наклона минимальны и незначительны). Примерами таких систем являются ASCOT и IPS20, созданные компанией Leica Geosystems [4, 5].

Недостатком таких систем является их высокая стоимость. В связи с этим специалистами объединения «Технохимкомплект» была предпринята попытка определить часть элементов внешнего ориентирования аэрофотоснимков (координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) во время выполнения аэрофотосъемочных работ с помощью GPS-оборудования, используемого при выполнении топографо-геодезических работ и имеющегося практически на любом предприятии, выполняющем топографо-геодезические и землеустроительные работы.

Целью исследования является разработка методики измерений элементов внешнего ориентирования в момент выполнения аэрофотосъемочных работ с помощью стандартного геодезического GPS-оборудования и оценка эффективности использования полученных данных для построения фотограмметрических сетей.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

GPS-приемники, предназначенные для выполнения геодезических работ, позволяют выполнять измерение точек кинематическим методом в двух режимах – Stop-and-Go и Continous-topo. В режиме Stop-and-Go определение координат происходит путем вычисления изменения фазы несущей частоты за определенный период времени, при этом инструмент должен оставаться в статическом положении над измеряемой точкой. Минимальное время, необходимое для фиксирования местоположения точки составляет 2 секунды. Даже при скорости движения борта 150 км/ч смещение системы камера-GPS за это время составит 80 м, что делает невозможным его использование для решения данной задачи. Режим Continous-topo позволяет выполнять измерения в движении. Приемник накапливает данные об изменении фазы несущей частоты с момента начала движения до его окончания, а затем, при постобработке, вычисляется местоположение антенны GPS-приемника через заданный интервал времени, кратный 1 секунде.

Исследования производились во время выполнения аэрофотосъемки магистральных газопроводов в июне 2008 года. Для выполнения работ использовался вертолет Ми-8Т. Масштаб аэрофотосъемки составлял 1:10 000. Съемка велась аэрофотокамерой RC-10 с высоты 1500 м над уровнем аэродрома базирования при скорости 150 км/ч и базисе фотографирования 654 м.

Для определения координат точек фотографирования использовался следующий комплект оборудования: двухчастотный геодезический приемник Trimble 5700 с антенной Zefir и контролером TSCe на борту воздушного судна и двухчастотный приемник Trimble 4800 в качестве наземной базовой станции. Камера располагалась над штатным люком вертолета, а антенна GPS-приемника на кронштейне, расположенном на внешней верхней части фюзеляжа, при этом известна разница их взаимного расположения (4,6м).

При выполнении работы интервал срабатывания затвора камеры был кратен 1 секунде и на разных маршрутах составлял от 10 до 15 секунд, а определение координат местоположения антенны GPS-приемника производилось с интервалом 1 секунда.

Анализ полученных результатов показал, что интервал времени между срабатываниями затвора отличался от расчетного на величину, равную времени срабатывания самого затвора, которая составила 0,9 секунды. В связи с этим был разработан алгоритм, позволивший определить местоположение камеры в момент фотографирования с учетом этой поправки. В расчетах использовались координаты точек необработанных измерений (полученных автономно) и без учета разницы в координатах точек установки антенны GPS-приемника и аэрофотокамеры на борту воздушного судна, поскольку данная величина сопоставима с точностью измерений.

Сканирование фильмов осуществлялось на фотограмметрическом сканере с разрешением 16 мкм. Фототриангуляция выполнялась с использованием модуля LPS аэрофототриангуляционного пакета ERDAS IMAGINE 9.2.

Оценка эффективности использования координат центров снимков, полученных по такой методике, представлена ниже на примере одного из

маршрутов (длина маршрута 23,8 км, количество кадров – 33, связующие точки набраны по 2 шт. в зоне двойного перекрытия для каждой пары снимков).

Для построения фотограмметрической сети на этот маршрут без использования элементов внешнего ориентирования использовано 39 опорных точек, равномерно расположенных через 1-2 базиса и определенных на местности инструментально. Затем для этого маршрута был построен вариант фотограмметрической сети с использованием измеренных координат центров снимков при таком же количестве опорных точек и варианты фотограмметрической сети с использованием координат центров снимков, но меньшим количеством опорных точек (рис. 1). Значения ошибок, характеризующие точность построенных фотограмметрических сетей, приведены в таблице 1. Следует отметить, что точность всех представленных вариантов фотограмметрических сетей соответствует требованиям существующей нормативно-технической документации в области геодезии и картографии.

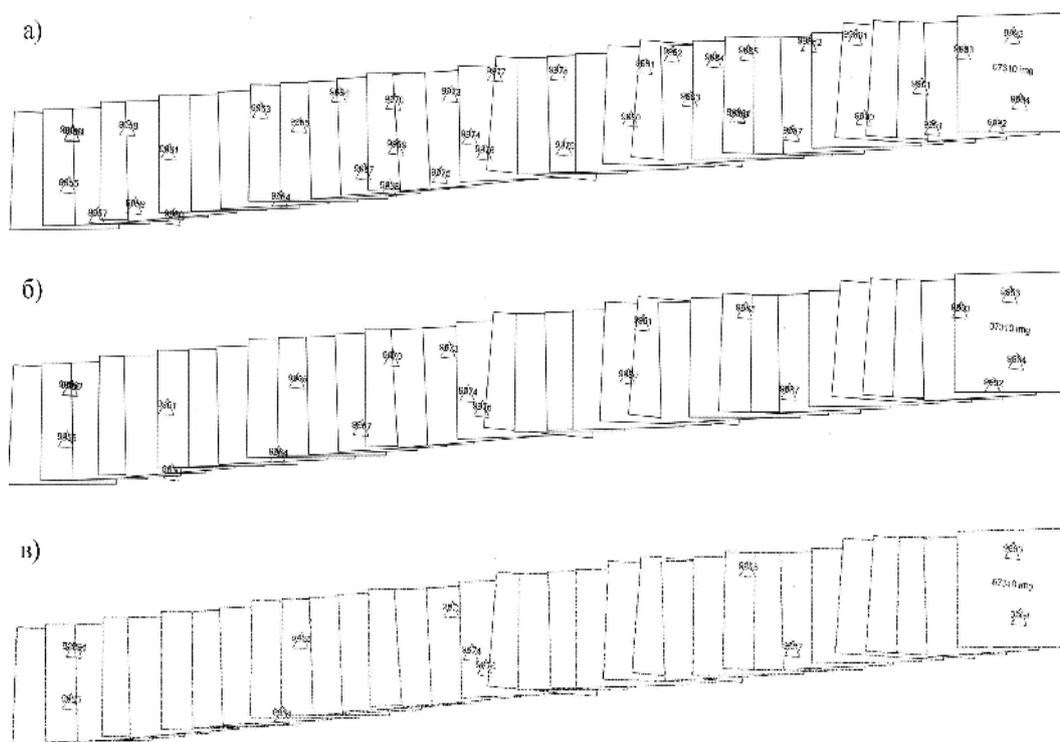


Рис.1 Варианты размещения опорных точек при построении фотограмметрической сети: а) через 1-2 базиса; б) через 3-4 базиса; в) через 8-10 базисов.

Таблица 1.

Характеристики точности фотограмметрической сети в зависимости от различных вариантов ее построения

вариант построения ФГС*	использование ЭВО**	Количество опорных точек	Количество контрольных точек	СКО*** уравнивания ФГС, м	СКО*** по опорным точкам, м			СКО*** по контрольным точкам, м		
					mX	mY	mZ	mX	mY	mZ
рис. 1а	нет	39	2	0,479	0,2041	0,2866	0,4650	0,8623	0,5759	2,5920
рис. 1а	да	39	2	0,332	0,1848	0,3546	0,4894	0,8305	0,1655	1,7085
рис. 1б	да	20	21	0,345	0,1473	0,4009	0,5511	0,4337	0,6664	2,1435
рис. 1в	да	12	29	0,351	0,1258	0,4869	0,6708	0,6790	0,7937	2,5469

\* ФГС – фотограмметрическая сеть;

\*\* ЭВО – элементы внешнего ориентирования;

\*\*\* СКО – среднеквадратическая ошибка.

### ВЫВОДЫ

Полученные результаты свидетельствуют о том, что измерение таких элементов внешнего ориентирования как координаты центров аэрофотоснимков во время выполнения аэрофотосъемочных работ возможно с применением стандартного геодезического GPS-оборудования.

Получаемая точность определения координат центров аэрофотоснимков достаточна для их использования в качестве исходных значений при построении фотограмметрических сетей.

Применение предложенного метода позволяет сократить количество опорных точек, используемых для построения фотограмметрических сетей более чем в 3 раза, сократить время камеральной обработки материалов аэрофотосъемок и существенно уменьшить объем работ, связанных с определением точек планово-высотной полевой подготовки.

### Список литературы

1. Leica Photogrammetry Suite. Project Manager. – Norcross, USA : Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC, 2006. – 414 p.
2. Хрущ Р.М. Фотограмметрия. / Р.М. Хрущ, Д.А. Волков, П.Я. Волков – Москва : Воениздат., 1989. – 432 с.
3. Хрущ Р.М. Лекции по фотограмметрии [Электронный ресурс] / Р.М. Хрущ // Кафедра картографии и геоинформатики факультета географии и геоэкологии Санкт-Петербургского государственного университета. – Режим доступа:– <http://kartograf.org/materials/25-lekicii-po-fotogrammetrii.html>. – 20.04.2010.

4. Airborne Sensors Leica RC30ASCOT [Electronic resource] / Leica Geosystems. – Access mode: – [http://www.leica-geosystems.com/en/Airborne-Sensors-Leica-RC30ASCOT\\_57632.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Airborne-Sensors-Leica-RC30ASCOT_57632.htm). – 20.04.2010.

5. Leica-IPAS20 [Electronic resource] / Leica Geosystems. – Access mode: – [http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-IPAS20\\_62633.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-IPAS20_62633.htm). – 20.04.2010.

**Капралов А.О. Оптимізація побудови фотограмметричних мереж з використанням елементів зовнішнього орієнтування фотознімків, визначених за допомогою стандартного геодезичного GPS-обладнання / А.О. Капралов, С.О. Єфімов, С.Г. Угаров // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Географія. – 2010. – Т.23 (62). – № 2 – С. 281-285**

У статті описується досвід визначення координат точок фотографування аерофотознімків під час виконання аерофотознімальних робіт за допомогою двохчастотних GPS-приймачів, що використовуються для виконання геодезичних робіт. Оцінюється ефективність використання визначених елементів зовнішнього орієнтування при побудові фотограмметричних мереж.

**Ключові слова:** фотограмметрія, фототріангуляція, фотограмметрична мережа, елементи зовнішнього орієнтування, аерофотозйомка, GPS-приймач.

**Kapralov A., Efimov S. Ugarov S. Optimization of construction photogrammetric networks using the elements of exterior orientation setting by standard geodetic GPS-equipment // Scientific Notes of Taurida National V. Vernadsky University. – Series: Geography. – 2010. – Vol. 23 (62). – № 2 – P. 281-285.**

The article describes the experience of determining the coordinates of points aerial photography during the aerial survey using dual-frequency GPS-receivers are used to perform surveying work. Evaluated the effectiveness of using the exterior orientation in constructing the photogrammetric network.

**Keywords:** photogrammetry, photogrammetric network, exterior orientation, aerial photography, GPS-receiver.

*Поступила в редакцію 06.05.2010 г.*