

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ КАМЕРЫ 3-DAS-1

А.Н. Тетеря (ООО «Аналитика», Винница, Украина)

В 1984 г. окончил Киевский топографический техникум. После окончания техникума работал в ОКЭ № 241 (Винница). В 1991 г. заочно окончил факультет городского строительства Киевского инженерно-строительного института по специальности «прикладная геодезия». После окончания института работал начальником фотограмметрического отдела в ГП «Подольгеодезкартография» (ранее ОКЭ № 241). С 2001 г. работает в ООО «Аналитика», в настоящее время — заместитель директора по цифровой картографии.

Производственное предприятие ООО «Аналитика» около десяти лет занимается выполнением фотограмметрических работ с использованием цифровых фотограмметрических станций «Дельта» (ЦФС ЦНИИГАиК). На начальном этапе это были работы, связанные со стереоскопическим картографированием, по заказу различных европейских компаний. Заказчик предоставлял отсканированные аэрофотоснимки с готовыми элементами внешнего ориентирования, полученными в результате уравнивания. Конечной продукцией являлась трехмерная векторная карта (цифровая модель местности) в заданном формате, собранная послойно, в соответствии с правилами и требованиями заказчика.

По мере возникновения потребностей в подобных услугах на территории Украины предприятие начало выполнять все больше местных заказов, являясь генподрядчиком комплекса работ, включающего аэрофотосъемку, плано-высотную привязку, измерения фототриангуляции и уравнивание, создание цифровых карт и мозаичных ортофотопланов. Фотограмметрический отдел предприятия, оснащенный фотограмметрическим сканером и необходимым количеством ЦФС, насчитывает около сорока квалифицированных операторов. Это позволяет оперативно выполнять доволь-

но масштабные проекты.

Однако аэросъемочные работы приходилось заказывать в других организациях, что порой приводило к срыву сроков, а также к дополнительным, слабо прогнозируемым затратам из-за большой загрузки аэросъемочных компаний. Проблема еще более обострилась по мере роста спроса на цветную аэрофотосъемочную продукцию, поскольку в Украине число компаний, оснащенных современными пленочными камерами и проявочными машинами, довольно ограничено.

Именно поэтому, наше предприятие с объяснимым интере-

сом следило за созданием цифровой фотограмметрической камеры сканирующего типа 3-DAS-1. Разработку этой камеры с 2002 г. вели НПП «Геосистема» (Украина) и компания Wehrli and Associates (США), а с 2005 г. началось ее серийное производство научно-производственным предприятием «Геосистема». В таблице приведены технические характеристики цифровой фотограмметрической камеры 3-DAS-1, а ее общий вид с управляющим компьютером представлен на рис. 1.

▼ Решение о покупке

Заявленная производителем цена камеры в 250 тыс. дол. с

Основные технические параметры цифровой фотограмметрической камеры 3-DAS-1

Наименование параметров	Значения
Высота полета, м	550–4400
Ширина полосы захвата, м	360–2880
Разрешение на местности, см	4,5–36
Число каналов	3
Радиометрическое разрешение, бит	42
Угол между надирным и другими каналами, °	16/26
Фокусное расстояние объективов, мм	110
Поле зрения (поперек направления полета), °	36
Частота сканирования, Гц	250–750
Рабочий диапазон температур, °С	от +5 до +45
Число активных пикселей ПЗС(СDD)-датчика	8000xRGB
Размер пикселя, микрон	9
Требования к источнику питания, В/А	28/20
Вес камеры, кг	32
Вес камеры с платформой и компьютером, кг	150



Рис. 1

Цифровая камера 3-DAS-1 с управляющим компьютером

возможностью поэтапной оплаты давала реальный шанс на создание собственного аэросъемочного подразделения. Кроме того, у предприятия к тому времени уже сложились достаточно конструктивные производственные отношения с одной из авиакомпаний в Виннице, имеющей несколько самолетов Ан-2, оборудованных люками. Преимущества приобретения цифровой камеры были очевидны. Предприятие получало возможность самостоятельно выполнять цветную цифровую аэрофотосъемку, которая обеспечивала качество изображений на порядок превосходящее результаты, получаемые при сканировании цветных фотоматериалов. Были, однако, и сомнения, на которых хочется остановиться подробнее.

Первое, на что было обращено внимание, это меньшая, по сравнению с пленочной камерой, ширина захвата. Угловое поле зрения камеры 3-DAS-1 составляет 36° , а у пленочной камеры RC30 (Leica Geosystems) — 64° . Это могло вызвать значи-

тельное увеличение полетного времени за счет удвоения числа маршрутов. Однако более детальный расчет показал, что реальная разница не столь существенна.

Например, планируется аэросъемка, по результатам которой необходимо получить разрешение на местности 0,1 м. В этом случае для пленочной камеры RC30, имеющей рабочую зону снимка 220 мм, отсканированного с типовым разрешением 16 мкм, получим 13 750 пикселей или 1375 м на местности. С учетом 40% межмаршрутного перекрытия рабочая зона захвата для RC30 составит 825 м. Для цифровой камеры 3-DAS-1, имеющей число активных пикселей 8000, ширина на местности составит 800 м, а рабочий захват с учетом 20% межмаршрутного перекрытия — 640 м. Таким образом, число маршрутов при съемке цифровой камерой 3-DAS-1 оказывается лишь на 30% больше, чем для пленочной камеры RC30. Поскольку предполагалось использовать относительно экономичный Ан-2, то этот показатель был признан вполне приемлемым.

Применение при съемке 3-DAS-1 вдвое меньшего межмаршрутного перекрытия вполне оправдано по следующим причинам:

- меньшее угловое поле зрения камеры значительно снижает «завалы» зданий на краях снимка;
- отсутствует процесс фототриангуляции в ее традиционном понимании;
- тройное стереоскопическое перекрытие вдоль маршрута облегчает дешифрирование.

Итоги полутора лет съемок цифровой камерой 3-DAS-1 подтвердили наше решение. Межмаршрутное перекрытие больше чем 20% использовалось крайне редко, только при съемке некоторых районов крымского побережья с перепа-

дами высот до 600 м. Стандартно применялось поперечное перекрытие, равное 15%, а при наличии высотной застройки или выраженного рельефа — 20%.

Вторым серьезным сомнением был вопрос о целесообразности приобретения дорогостоящего интегрального навигационного комплекса (GPS/IMU) POS AV 510 компании Applanix (Канада). Как известно, камера 3-DAS-1 является цифровой камерой сканирующего типа и обязательно требует наличия интегрального навигационного комплекса для измерения траектории движения и угловых элементов ориентирования в процессе полета. Причем высокая стоимость этого комплекса, которая превышает 200 тыс. дол., была не единственной темой для размышлений.

Имея многолетний опыт работы в традиционной фотограмметрии, специалисты предприятия привыкли полагаться исключительно на точность опорных точек и качество измерений фототриангуляции. Эти факторы целиком находились в нашей компетенции и всегда подвергались перекрестному контролю. Поэтому, мысль о том, что отныне точность сдаваемой заказчику продукции будет зависеть от «черного ящика» — GPS/IMU-комплекса, не вызвала особого энтузиазма. А заверения разработчиков цифровой камеры в том, что аэросъемку можно будет выполнять вообще без плано-высотного обоснования, казались слишком самонадеянными. И хотя нам было известно, что подобный подход давно апробирован и уже много лет используется в воздушном лазерном сканировании, мы все равно не могли удержаться от определенного скепсиса.

В настоящее время, «налетав» за прошлый год более 250 часов, выполняя аэросъемку в масштабах от 1:8000 до

1:25 000, можно с уверенностью утверждать, что интегральный навигационный комплекс действительно обеспечивает необходимую точность. Ни один из нескольких десятков выполненных объектов не был забракован и не потребовал повторного залета по вине комплекса POS AV 510. Причем в 70–80% случаев среднеквадратические отклонения координат в плане были получены меньше одного пикселя, а опорные точки использовались только для контроля. Правда, в отдельных случаях (обычно, когда базовая станция GPS была удалена на расстояние более 60 км) погрешность определения плановых координат достигала двух пикселей. Однако большая часть этой погрешности носила систематический характер и легко устранялась при помощи процедуры микротриангуляции — вводя поправки в положение каждого маршрута по измерениям опорных точек.

Также следует отметить, что практический контроль получаемых из POS AV 510 угловых элементов ориентирования осуществляется автоматически каждый раз, когда выполняется процедура ректификации снятых «сырых» изображений. Вследствие того, что цветовые RGB-каналы на датчике камеры разнесены примерно на 0,1 мм в направлении полета, то одна и та же точка местности снимается каждым цветовым каналом не одновременно, а с интервалом примерно 1/50 секунды. И поскольку камера в каждый момент времени имеет другие элементы внешнего ориентирования (измеряемые GPS/IMU-комплексом с частотой 200 раз в секунду), то каждый из трех цветовых каналов проходит собственную процедуру ректификации, независимо от двух других. Таким образом, отсутствие на ректифицированном цветном изображении видимых несовпа-

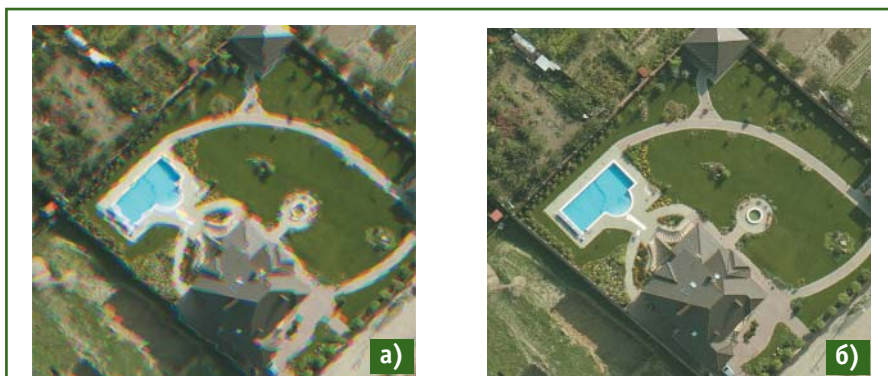


Рис. 2

Пример получения ректифицированного цветного изображения местности:

а) исходное «сырое» изображение;

б) ректифицированное изображение

дений цветов и соблюдение прямолинейности контуров возможно только при правильном измерении и учете истинных элементов внешнего ориентирования в каждый момент съемки (рис. 2).

Третье, последнее сомнение, касалось технологии обработки материалов аэросъемки, получаемых с помощью цифровой камеры 3-DAS-1. Поскольку практически все наши специалисты имели опыт работы на фотограмметрических станциях ЦФС «Дельта», которые также как и 3-DAS-1 были разработаны НПП «Геосистема», а разработчик гарантировал полную совместимость обоих программных комплексов в единую технологическую цепочку, то проблема не стояла особенно остро. Тем не менее, было понятно, что потребуется время на «переучивание» операторов для освоения несколько видоизмененной схемы обработки по сравнению с традиционной.

Нельзя сказать, что освоение прошло совершенно гладко, но непреодолимых проблем не возникло. Процесс стереосоставления для оператора-фотограмметриста действительно ничем не отличается от работы со снимками традиционной камеры центральной проекции. Двухчасового тренинга для операторов оказалось достаточно,

чтобы усвоить нюансы использования цифровых изображений 3-DAS-1. Возможность выбора угла конвергенции стереоизображения 16°, 26° или 42°, за счет использования стереопар из разных комбинаций изображений (передний, задний и надирный), существенно облегчало дешифрирование.

Создание ортофотопланов также значительно упростилось, поскольку для формирования мозаики (рис. 3) достаточно было провести линии порезов лишь для одного-двух десятков непрерывных маршрутов, а не для сотен отдельных снимков.

Больше усилий пришлось затратить бригаде фототриангуляции, которая освоила новые процессы, такие как уравнивание GPS/IMU-измерений в программном обеспечении Applanix PosPac и ректификация полученных камерой изображений. На них также возложен контроль точности по опорным точкам и создание датумов (базовых параметров) для перехода из WGS-84 в систему координат заказчика, обычно в СК-63. Предложенная разработчиками схема работы в «родной» для GPS/IMU-комплекса системе координат WGS-84 и пересчет в СК-63 лишь на конечном этапе, перед сдачей заказчику, нас не устроила. В результате совместных усилий программное обеспече-

печение Delta/Digitals было доработано, давая возможность открывать однажды ректифицированные снимки в любой системе координат, выбирая соответствующий датум пересчета.

▼ Практические результаты

Наше предприятие приобрело цифровую камеру 3-DAS-1 вместе с POS AV 510 в начале осени 2006 г. В комплект поставки также входила стабилизирующая платформа и управляющий компьютер в промышленном исполнении, с двумя съемными RAID-массивами, объем каждого из которых составлял 1,8 Тбайт. Источником питания для комплекса служит бортовая сеть самолета, напряжением 28 В. В зависимости от режима работы потребление тока составляет примерно 15–18 А. Установка аэросъемочного оборудования в самолет занимает 30–40 минут, включая тестирование работоспособности всех компонентов, выполняемое до взлета. В поле-

те комплексом управляет один оператор.

Наземное обеспечение работы POS AV 510 включает одну или две базовые станции, в качестве которых использовались двухчастотные спутниковые приемники GPS Trimble 5700. Приемники устанавливаются на пунктах с известными координатами, максимально приближенными к снимаемому объекту.

Планирование залета выполняется в программном обеспечении Delta/Digitals, используя отсканированные карты масштаба 1:100 000 или космические снимки Google Earth. Схема залета площадных объектов, включающая трехмерные траектории всех маршрутов, создается в автоматическом режиме, линейных объектов — в полуавтоматическом режиме. Готовая схема передается на компьютер цифровой камеры, где система управления полетом, связанная с приемником GPS из комплекта POS AV 510, автома-

тически включает/отключает камеру, а также постоянно выводит на экран в кабине пилота информацию об отклонении от траектории. Система позволяет летчику при нормальных погодных условиях выдерживать траекторию маршрута с отклонением не более 15 м в плане и по высоте.

Выбранный нами формат записи (42 бита со сжатием без потерь) позволил записать около 9 часов съемки на один съемный RAID-массив. Всего в работе используется четыре сменных массива. После выполнения съемки данные переписываются на офисный накопитель, объемом около 7 Тбайт, и выполняется их ректификация и последующая обработка.

Проекты, выполненные нашим предприятием при помощи цифровой камеры 3-DAS-1, можно условно разделить на несколько основных категорий:

— аэросъемка городских населенных пунктов для целей ин-

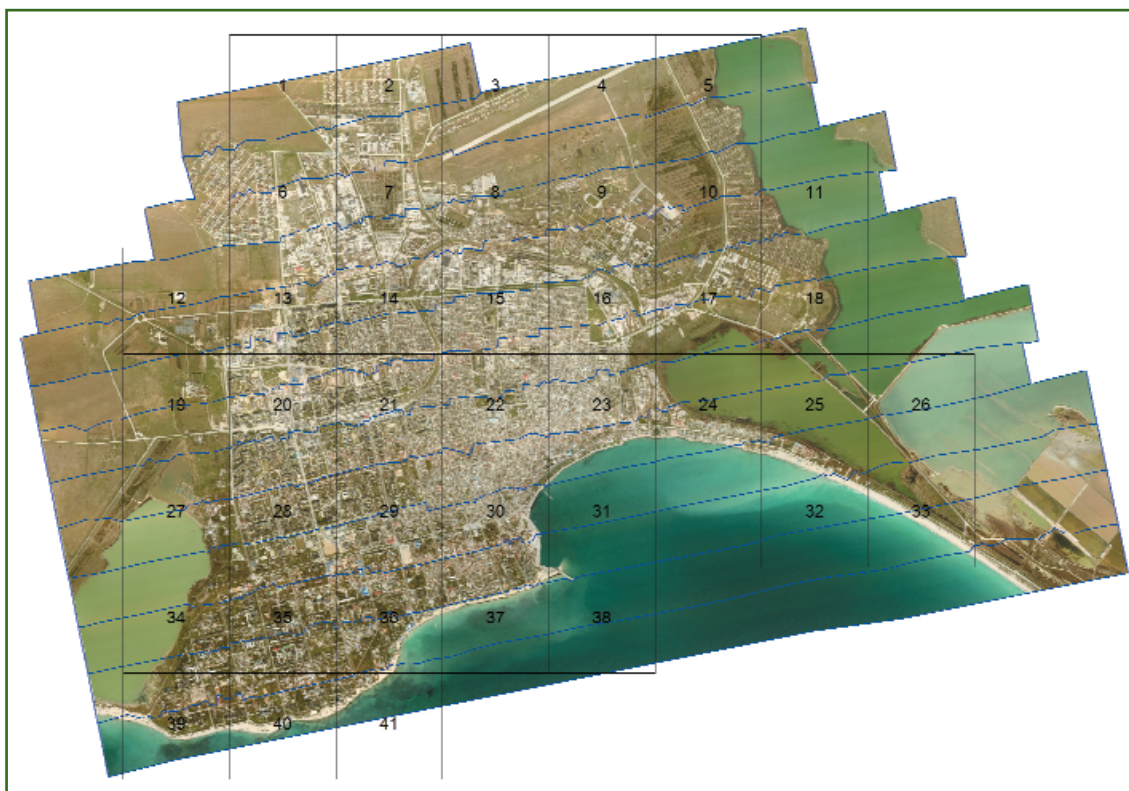


Рис. 3
Пример создания ортофотомозаики

вентаризации (масштаб съемки 1:8000–1:12 000, разрешение на местности 0,07–0,10 м, допуск точности 0,2 м);

— аэросъемка сельских населенных пунктов для целей инвентаризации (масштаб съемки 1:14 000–1:16 000, разрешение на местности 0,12–0,15 м, допуск точности 0,4 м);

— линейная съемка железных дорог и бассейнов рек;

— площадная съемка лесных массивов для целей таксации и инвентаризации (масштаб съемки 1:25 000, разрешение на местности 0,23 м, допуск точности 1,0 м).

На многих объектах заказчики выполняли независимый выборочный контроль точности. Измерения координат четких контуров проводились с помощью спутниковых приемников GPS. Выявленные по результатам контроля точности отклонения находились в пределах

0,15 см для масштабов аэросъемки 1:10 000–1:12 000.

В 2007 г. была выполнена аэросъемка более 60 населенных пунктов, 565 км линейных объектов и 12 тыс. км² лесных массивов Житомирской области, с суммарным налетом более 250 часов. Эксплуатация происходила в достаточно жестких условиях, поскольку для Ан-2 характерны высокий уровень вибраций и отсутствие герметизации. Аэросъемочный комплекс, включающий цифровую сканирующую аэрофотокамеру 3-DAS-1, управляющий компьютер, интегральный навигационный комплекс POS AV 510 и стабилизирующую платформу, показал себя достаточно надежным в эксплуатации. За все время аэросъемки произошел только один отказ в работе стабилизирующей платформы, который был устранен производителем, а также вышел из строя жесткий

диск в одном из сменных дисковых массивов, что не привело к потере информации, поскольку запись данных осуществляется с избыточностью, по стандарту RAID3.

С галереей цифровых изображений, полученных нашим предприятием, можно ознакомиться в Интернет по адресу www.geosystema.net/gallery/analytica.

RESUME

There given an experience of using the digital scanning aerophotocamera 3-DAS-1, serially produced by the Geosystem SPE, Ukraine since 2005 in cooperation with the integral navigation complex (GPS/IMU) POS AV 510 by the Applanix Company, Canada. High quality of the digital aerial surveying data is marked for the aerial imaging scales of 1:8,000 to 1:25,000 together with the measuring complex reliability.

Цифровая камера «3-DAS-1»
Сканирующая система для аэрофотосъемки
www.vingeo.com

Сканирующий модуль
3 RGB-канала 8000 x 9 микрон x 42 bit
фокусное расстояние 110 мм

Управляющий компьютер
2xOpteron64/PCI-X/RAM 4Gb
RAID-3 2.0Tb/UltraSCSI-320/Touchscreen

Стабилизирующая платформа
Компенсирует углы наклона и разворота самолета постоянно удерживая камеру в горизонтальном положении с отклонением менее 0.2°

Система управления полетом
Планшетный компьютер в кабине пилота для контроля положения, курса и отклонения от маршрута

Инерциальная GPS (Applanix POS AV)
В процессе полета с частотой 200 Гц определяет элементы внешнего ориентирования камеры (геодезические координаты и углы наклона)