

АЭРОСЪЕМКА С АФК VISIONMAP A3

М.Я. Печатников (VisionMap, Израиль)

Окончил физико-математическую школу и математический факультет Тель-Авивского университета. В 1999 г. организовал компанию Telmap по разработке технологии и предоставлению навигационных услуг на мобильные телефоны, а в 2004 г. — компанию VisionMap по разработке автоматизированных систем аэросъемки, включая цифровые камеры и фотограмметрическую обработку данных. В настоящее время — президент и главный технический руководитель компании VisionMap Ltd.

Ю.Г. Райзман (VisionMap, Израиль)

В 1980 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист», а в 1985 г. — аспирантуру ЦНИИГАиК по специальности «фотограмметрия». После окончания аспирантуры работал в Ташкентском аэрогеодезическом предприятии ГУГК СССР, с 1992 г. — в Геодезической службе Израиля. С 2008 г. работает в компании VisionMap Ltd., в настоящее время — заместитель директора по НИР.

Назначение, технические характеристики и конструктивные особенности аэросъемочного фотограмметрического комплекса VisionMap A3 (АФК A3) подробно изложены в [1]. В настоящей публикации основное внимание будет уделено принципам проведения аэросъемки с помощью АФК A3, результатам, получаемым после фотограмметрической обработки, оценке их точности и соответствия российским стандартам.

Коротко остановимся на принципах получения изображения аэрокамерой. АФК A3 состоит из станины для установки камеры, двух спаренных метрических длиннофокусных объективов (300 мм), каждый из которых снабжен ПЗС-приемником, оси вращения объективов и мотора для управления угловым

движением объективов (рис. 1). Система поворота объективов состоит из мотора, механизма трансмиссии, счетчика импульсов, переключателей и электронной системы управления. Камера связана со специально разработанным бортовым компьютером, включающим GPS-приемник, блок подачи напряжения, съемный модуль памяти, а также интерфейсы соединения с камерой, монитором и навигационным компьютером.

АФК A3 устанавливается на самолете таким образом, чтобы ось поворота объективов была параллельна оси фюзеляжа. Объективы синхронно поворачиваются поперек линии полета. Максимальный угол отклонения оптических осей объективов от линии надира составляет 52° . Тем самым, суммарный угол поля зрения аэрокамеры достигает 104° в направлении, перпендикулярном линии полета. Суммарный угол поля зрения двух объективов вдоль линии полета равен 13° . Во время одного углового поворота каждый объектив, в общем случае, снимает 27 кадров. Таким образом, за один угловой поворот двух объективов получается 54 снимка (здесь и далее под снимком или кадром будем по-

нимать цифровое изображение местности в виде растрового файла). Снимки, полученные за один угловой поворот объективов, назовем рядом снимков (рис. 2).

Фотографирование происходит в автоматическом режиме без остановки объективов. Для учета и компенсации углового сдвига изображения используется зеркальная оптическая система. После окончания полного углового поворота система объективов возвращается в исходное состояние для фотографирования следующего ряда снимков.

Между снимками существуют перекрытия. Два соседних одиночных снимка вдоль линии полета формируют один двойной снимок. Перекрытие между этими одиночными снимками составляет примерно 2% (около 100 пикселей). Перекрытие между двумя соседними двойными снимками в направлении, перпендикулярном направлению полета, получается в пределах 15%. Перекрытие между двумя рядами двойных снимков в направлении полета обычно составляет 50–60% и изменяется в зависимости от решаемых задач, а перекрытие между двумя соседними маршрутами (линиями полета) — 50%. Эти пере-

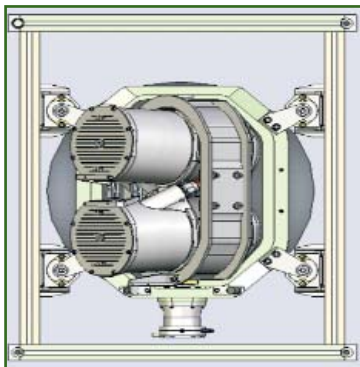


Рис. 1
Схема АФК VisionMap A3

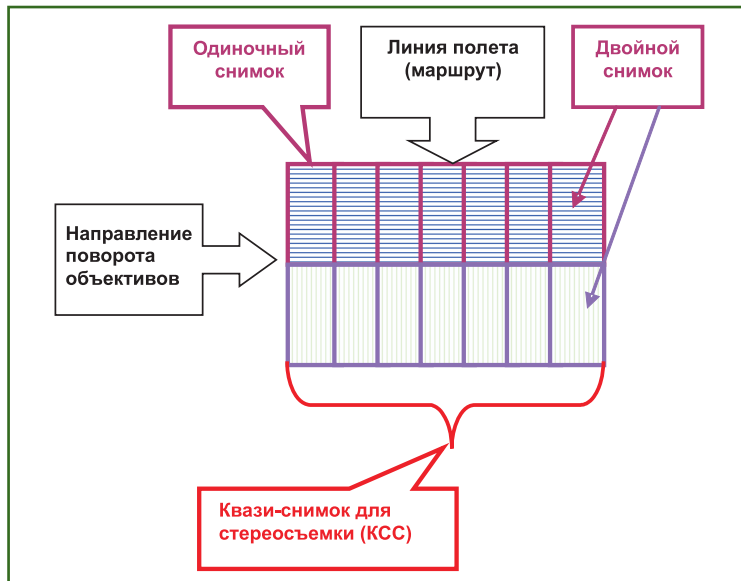


Рис. 2
Схема съемки АФК VisionMap АЗ

крытия могут использоваться для стереоизмерений. Перекрытия планируются на этапе подготовки к полету и могут быть изменены во время полета.

▼ Перспективные снимки

Как уже было сказано выше, суммарный угол поля зрения камеры составляет 104° . Это позволяет одновременно в одном полете получать как горизонтальные, так и перспективные снимки. По результатам аналитической фототриангуляции снимкам присваиваются точные элементы внешнего ориентирования, что является уникальной и важной особенностью АФК АЗ.

▼ Квази-снимок для стереофотограмметрии

Квази-снимок для стереофотограмметрии (КСС) формируется из двойных снимков одного ряда (рис. 2). Размер КСС составляет 7812 пикселей вдоль линии полета и 62 517 пикселей в перпендикулярном направлении (~480 Мпикселей). Обычное перекрытие между двумя последовательными КСС в маршруте составляет 56%, а межмаршрутное перекрытие — 50%. КСС используются для стереодешифрирования и стерео-

рисовки. Важно отметить, что математическая модель снимка предполагает использование КСС только для удобства стереовизуализации объекта съемки, а фотограмметрические вычисления выполняются на основе одиночных снимков. Тем самым обеспечивается максимальная точность фотограмметрических измерений.

Угловое покрытие КСС ограничено суммарным углом поля зрения камеры (104°). На высотах ниже 3000 м из-за увеличения отношения V/H (скорость полета к высоте фотографирования) и для сохранения заданного перекрытия между рядами снимков, при постоянной скорости поворота объективов, система уменьшает суммарный угол поля зрения. Таким образом уменьшается количество снимков в одном ряду и, соответственно, угловое покрытие одного КСС.

Следует отметить, что эта корректировка осуществляется только в случае, если предполагается использовать зону перекрытия между рядами (внутри маршрута) для стереосъемки. Если же основная задача полета состоит в создании ортофотоплана и получении перспектив-

ных снимков, то уменьшается параметр перекрытия между рядами, допустим до 25%, корректировка угла поля зрения не проводится и, тем самым, оперативные преимущества системы (большая площадь съемки) сохраняются и на низких высотах.

▼ Принципы планирования аэросъемки

Основной задачей аэросъемки с помощью АФК АЗ является высокоэффективное создание ортофотопланов. Комплекс обеспечивает возможность получения ортофотопланов больших участков земной поверхности с высоким разрешением в сжатые сроки. Большая высота фотографирования, методы выполнения аэросъемки, использование длиннофокусной оптики и конструкция камеры позволяют значительно повысить производительность аэросъемочного процесса.

Остановимся на некоторых важных характеристиках АФК АЗ. Одним из параметров при создании ортофотопланов является максимально допустимый угол поля зрения для данного масштаба. В инструкции по фотограмметрическим работам [2, параграф 4.5, табл. 2] он неявно задан при помощи радиуса рабочей площади на аэроснимке. На

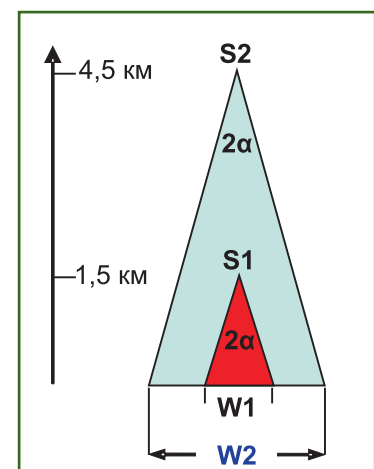


Рис. 3
Влияние высоты фотографирования на размер полосы съемки

Допустимая точность ЦМР в зависимости от масштаба карты и фокусного расстояния камеры

Таблица 1

Масштаб карты	Значение точности ЦМР, м	
	F = 300 мм	F = 100 мм
1:500	2,5	0,8
1:1000	5,0	1,7
1:2000	10,0	3,3
1:5000	25,0	8,3
1:10 000	50,0	16,7
1:25 000	125,0	41,7

рис. 3 показано важное свойство высоты фотографирования. При одинаковом угле поля зрения 2α площадь фотографирования увеличивается при увеличении высоты фотографирования. Допустим, максимально разрешенный угол поля зрения при создании ортофотоплана $2\alpha = 40^\circ$. При съемке с высоты 4,5 км размер полосы съемки на земле будет $W2 = 3276$ м, а при съемке с высоты 1,5 км — $W1 = 1092$ м. Производительность аэросъемки прямо пропорциональна высоте фотографирования. Таким образом, чем выше высота полета, тем выше производительность аэросъемки.

При полетах на большой высоте, чтобы обеспечить высокое качество ортофотоплана, необходима и высокая разрешающая способность изображений, получаемых АФК. Это достигается за счет использования длиннофокусной оптики. Она позволяет добиться не только высокого разрешения изображений, но и существенно снижает требования к точности цифровой модели рельефа (ЦМР), необходимой для создания ортофотопланов. В табл. 1 приведены расчеты допустимой точности ЦМР $\Delta h_{пред}$ для различных масштабов при использовании аэрокамер с разными фокусными расстояниями F. При расчете использована формула из [2]:

$$\Delta h_{пред} = 0,3Fm_k/R_{max}$$

Как было сказано выше, все

вычисления ведутся на основе одиночного снимка, размер которого равен размеру матрицы ПЗС (4006x2666 пикселей). При размере пикселя 0,009 мм половина длины ПЗС составляет $R_{max} = 18$ мм. Как видно из расчетов (табл. 1), преимущества длиннофокусной оптики очевидны. Так, например, при использовании камеры с $F = 300$ мм требуется в три раза меньшая точность ЦМР, чем при $F = 100$ мм.

В общем случае, ширину полосы одного маршрута определяют 27 одиночных снимков. При выполнении аэросъемки для создания ортофотоплана необходимо задать максимально допустимый угол α отклонения от надира (рис. 4). Этот параметр учитывается при пла-

нировании расстояния между соседними маршрутами и выборе снимков для вычисления ортофотоплана. Все снимки полосы съемки ($FOV = 104^\circ$) участвуют в построении и уравнивании маршрута или блока, а крайние снимки полосы являются перспективными с максимальным углом наклона $55^\circ (52^\circ + 3^\circ)$.

Одним из важных качеств АФК АЗ является наличие большого количества геометрических связей при уравнивании фототриангуляции. Это достигается за счет большого числа снимков и перекрытий между ними. Каждая точка отображается на снимках (рис. 4) внутри и между маршрутами. При планировании полетов для создания ортофотопланов, угол α задается достаточно малым. В этом случае возникают перекрытия не только между соседними маршрутами, но и между более отдаленными (первый с четвертым/пятым), что приводит к появлению большого количества связующих точек и, тем самым, — к высокой точности и стабильности математического решения.

► **Производительность аэросъемки**

За счет вышеописанных технических возможностей АФК АЗ

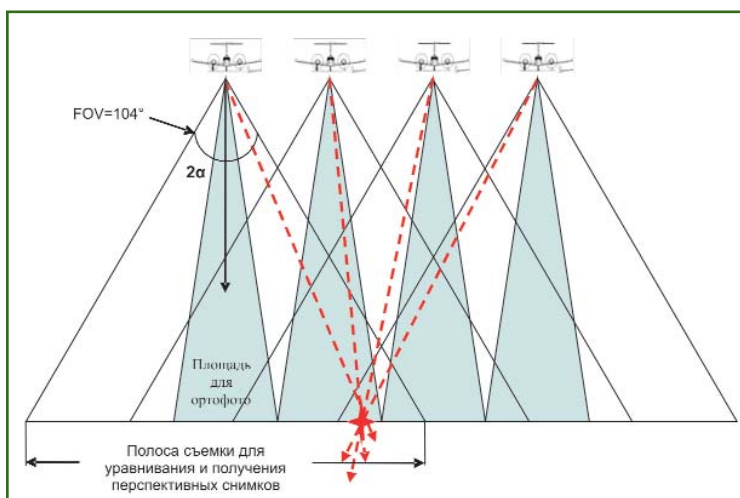


Рис. 4
Схема аэросъемки для нескольких маршрутов

Зависимость параметров производительности аэросъемки АФК АЗ от высоты фотографирования

Таблица 2

Наименование параметров	Значения параметров					
Высота полета, м	1524	3048	3658	4572	6706	8535
Ширина полосы съемки, м	1435	7802	9363	11703	17165	21846
Расстояние между маршрутами, м	1109	2219	2662	3328	4881	6212
Разрешение в надире, м	0,046	0,091	0,110	0,137	0,201	0,256
Разрешение перспективного снимка, м	0,051	0,149	0,178	0,223	0,327	0,416
Полная площадь аэросъемки, км ² /ч	372	2023	2428	3034	4450	5664
Площадь аэросъемки для ортофото, км ² /ч	372	913	1095	1369	2008	2555

достигается высокая производительность аэросъемки (табл. 2).

Приведенные в табл. 2 параметры производительности вычислены при скорости самолета $V = 260$ км/час и допустимого максимального угла для ортофотоплана $2\alpha = 60^\circ$. Угол 2α задается при планировании аэросъемки и зависит от требуемой точности, точности ЦМР и типа местности (городская, равнинная, горная).

▼ Обработка материалов аэросъемки

После завершения аэросъемочных работ снимки и сопровождающая информация переносятся на наземную станцию для дальнейшей обработки, которая включает следующие этапы.

1. Формирование проекта в соответствии с параметрами аэросъемки.

2. Обработка данных GPS-измерений стандартными методами (DGPS или PPP).

3. Определение границ объекта обработки. Возможно совмещение новых и старых материалов аэросъемки в границах объекта.

4. Предварительная (приближенная) корреляция изображений. Проверка качества и полноты аэросъемки.

5. Аэротриангуляция. При необходимости можно использовать опорные точки. Проверка качества выполняется по контрольным точкам или авто-

матически по старым триангуляционным материалам (ориентированным снимкам), существующим на район обработки.

6. Вычисление цифровой модели местности (ЦММ) и ЦМР (опционально).

7. Формирование КСС для стереоработ (опционально). Для каждого КСС проводится радиометрическая коррекция, и поставляется модель снимка для работы на цифровых стереофотограмметрических станциях.

8. Создание ортофотоплана. Процесс включает ректификацию снимков, сборку мозаики и радиометрическую коррекцию изображения. При наличии нескольких маршрутов для получения ортофотопланов используются снимки, близкие к оси полета (горизонтальные и почти горизонтальные). При выполнении работ на застроенной многоэтажной территории для получения истинного ортофотоплана рекомендуется увеличить поперечное перекрытие между маршрутами. Все процессы выполняются полностью в автоматическом режиме. Окончательный ортофотоплан поставляется в формате TIFF.

9. Результаты обработки сохраняются в базе данных.

Управление процессами осуществляется через специальный WEB-модуль. Каждый процесс передает информацию о его статусе в модуль управления, который, в свою очередь, в зависимости от состояния процессов и ресурсов системы, запускает

следующий этап обработки.

Модуль управления регулирует не только процессы одного проекта, но и позволяет одновременно обрабатывать множество проектов и распределять ресурсы системы в зависимости от их приоритетов.

Описанная выше технология аэросъемочных работ с помощью АФК VisionMap АЗ прошла проверку на тестовом полигоне компании VisionMap в 2008 г., а в начале 2009 г. использовалась при выполнении пяти проектов компанией «Офек» (Израиль), которая приобрела АФК АЗ.

▼ Список литературы

1. Печатников М.Я., Райзман Ю.Г. Общее назначение и технические характеристики АФК VisionMap АЗ // Геопрофи. — 2008. — № 3. — С. 28–31.

2. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. — М.: ЦНИИГАиК, 2002.

RESUME

An information about creating automated aeroimaging system which consists of a doubled digital aerocamera, an onboard GPS and additional equipment, a ground-based computer system and a software, is given. The aerocamera design features, aerial imaging techniques as well as the types of images obtained are described. The accuracy assessment is given for the photogrammetric works with due consideration to their correspondence with Russian standards.