

КРУПНОМАСШТАБНАЯ ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ АЭРОФОТОСЪЕМКА С МОТОДЕЛЬТАПЛАНА

С.И. Матвеев (Московский государственный университет путей сообщения)

В 1963 г. окончил геодезический факультет Московского института инженеров землеустройства (в настоящее время — ГУЗ) по специальности «инженер-геодезист». После окончания института работал в Государственном институте проектирования городов, ЦНИИГАиК. С 1969 г. работает в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ), в настоящее время — профессор кафедры «Геодезия, геоинформатика и навигация». Доктор технических наук.

У.Д. Ниязгулов (Московский государственный университет путей сообщения)

В 1965 г. окончил геодезический факультет Московского института инженеров землеустройства (в настоящее время — ГУЗ) по специальности «инженер-геодезист». С 1983 г. работает в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ), в настоящее время — и.о. заведующего кафедрой «Геодезия, геоинформатика и навигация». Кандидат технических наук.

А.А. Гебгарт (Московский государственный университет путей сообщения)

В 2002 г. окончил Государственный университет по землеустройству по специальности «прикладная геодезия». С 2008 г. работает в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ), в настоящее время — доцент кафедры «Геодезия, геоинформатика и навигация». Кандидат технических наук.

В.П. Шевченко (Московский государственный университет путей сообщения)

В 1983 г. окончил физический факультет Одесского государственного университета по специальности «физик». Работал во ВНИИФП, ООО «Фирма СТИМ». С 2009 г. работает в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ), в настоящее время — заведующий лабораторией на кафедре «Геодезия, геоинформатика и навигация».

В Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ) на кафедре «Геодезия, геоинформатика и навигация» проводятся теоретические и экспериментальные исследования по применению мотодельтапланов для выполнения крупномасштабной топографической аэрофотосъемки. С 1989 г. эти работы ведутся сотрудниками кафедры с использованием мотодельтаплана «Поиск-Об», оснащенного аэрофотоаппаратом АФА-ТЭ. На основании накопленного опыта и после детальной инженерно-конструкторской проработки с

учетом современных технических достижений в 2012 г. на кафедре был создан новый аэрофотосъемочный комплекс на базе мотодельтаплана «Азимут-2М» (рис. 1). Он позволяет выполнять крупномасштабную топографическую аэрофотосъемку линейных и площадных объектов и получать качественные цифровые аэрофотоматериалы с высоким разрешением для создания (или обновления) топографических планов в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500 [1]. Эти планы могут быть использованы для кадастрового учета объектов недвижимости,

проектирования новых, мониторинга и реконструкции существующих объектов, планирования застройки территорий и др.

В состав аэрофотосъемочного комплекса «Азимут-2М» входят:

— мотодельтаплан «Азимут» («Воздушный мост», 2010 г.);

— цифровой аэрофотоаппарат H4D-60 Aerial с объективами 35, 50 и 100 мм (Hasselblad, Швеция, 2011 г.);

— гиросtabilизирующая платформа AeroStab-3 (GGS GmbH, Германия, 2012 г.);

— система планирования маршрутов и управления поле-



Рис. 1
Общий вид аэрофотосъемочного комплекса «Азимут-2М» во время съемки

том FMS AeroToroL (GGS GmbH, 2012 г.);

— система определения координат центров фотографирования с помощью приемников ГНСС ProPak-V3 (NovAtel, Канада, 2008 г.).

Рассмотрим некоторые результаты работ, выполненных с помощью аэрофотосъемочного комплекса «Азимут-2М», и оценим экономическую эффективность аэрофотосъемки с использованием мотodelьтаплана.

▼ Результаты выполненных работ

В августе 2012 г. с помощью комплекса «Азимут-2М» была выполнена аэрофотосъемка территории железнодорожной станции площадью 15 км².

Началу работ предшествовала разработка проекта планово-высотной привязки аэрофотоснимков с использованием спутниковых геодезических систем. Проект включал расчет и составление схем планово-высотной основы в соответствии с инструкцией по применению глобальных навигационных спутниковых систем [2]. Для обеспечения точности выполнения фотограмметрических работ было выбрано 113 опорных точек. Точность определения плановых координат и высот этих

точек рассчитывалась в соответствии с требованиями инструкции [1].

На основании проекта были определены координаты пунктов планово-высотной основы с использованием приемников ГЛОНАСС/GPS. Средняя квадратическая погрешность определения координат опорных точек не превысила 0,05 м.

Перед началом аэросъемки были получены все необходимые разрешения на проведение работ. Аэрофотосъемка выполнялась с высоты фотографирования 800 м при фокусном расстоянии камеры — 99,818 мм. Размер проекции пикселя на поверхности земли составил 5 см. Угол Солнца над горизонтом — 30°. Изображение облачности или ее тени в пределах снимаемой территории отсутствовало. Общее количество маршрутов составило 18, а средний угол наклона снимков не превысил 1,1°.

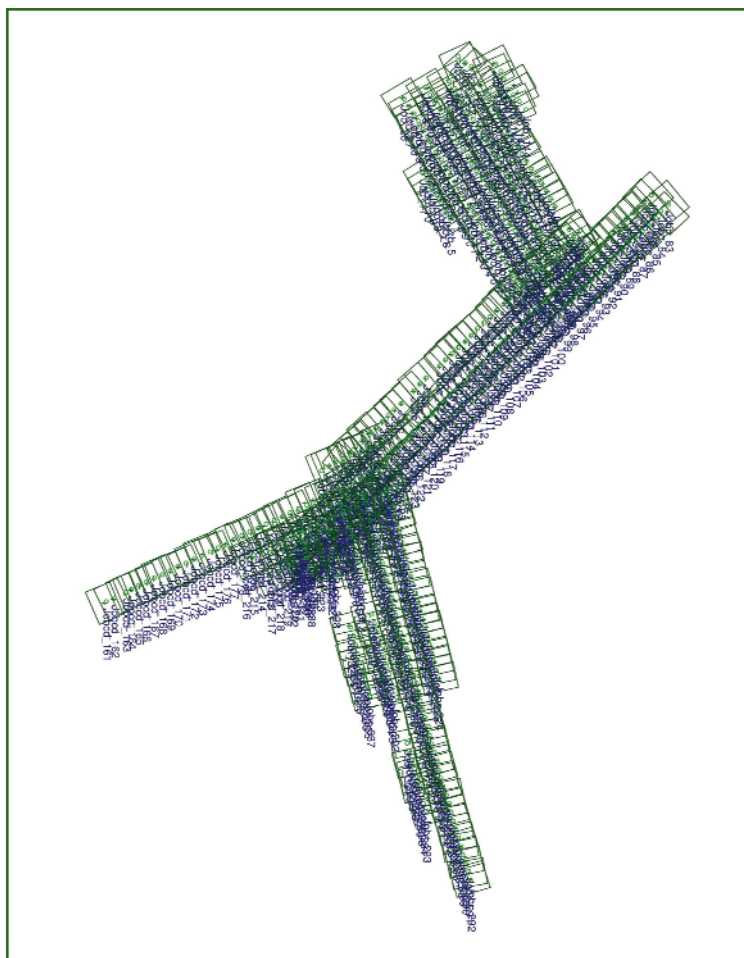


Рис. 2
Схема выполненных аэрофотосъемочных работ на железнодорожной станции

В процессе аэросъемки вся территория объекта была покрыта стереопарами (рис. 2). При этом среднее продольное перекрытие составило 61,2%, а среднее поперечное (межмаршрутное) перекрытие — 34,6%.

Полученный электронный архив цифровых аэрофотоснимков позволяет просматривать изображения, проецировать их в соответствии с элементами внешнего ориентирования, выполнять наглядный монтаж изображений и выводить на печать выбранные сцены.

В обработку были включены аэрофотоснимки, объединенные в четыре блока. Фотограмметрическое сгущение опорной сети выполнялось на цифровой фотограмметрической станции ImageStation путем построения блочных фотограмметрических сетей. При этом на каждой стереопаре было измерено не менее 18 связующих точек в шести стандартных зонах. Всего в результате фототриангуляции суммарно обработали 469 аэрофотоснимков.

Уравнивание выполнялось по методу связок. Аэрофотосъемка была уравнена одним блоком. В результате фотограмметрического уравнивания остаточные средние расхождения в положении опорных точек составили: $\Delta x = 0,043$ м, $\Delta y = 0,077$ м и $\Delta z = 0,022$ м, а остаточные погрешности на связующих точках — $\Delta x = 0,002$ м и $\Delta y = 0,001$ м. Эти результаты удовлетворяют требованиям, указанным в [3] к фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических планов масштаба 1:500.

Построение ЦМР осуществлялось на цифровой фотограмметрической станции ImageStation. Были отрисованы орографические линии и с их помощью в автоматическом режиме построены регулярные матрицы высот с шагом 0,5 м. Дальнейшее редактирование осуществлялось оператором. В результате точность ЦМР составила 0,20 м, что удов-

летворяет требованиям, указанным в [3] к фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических планов масштаба 1:500.

Создание цифровых ортофотопланов проводилось на цифровой фотограмметрической станции ImageStation с помощью программы ImageStation OrthoPro в системе отсчета WGS-84 (UTM-37). Аналитическое трансформирование аэрофотоснимков выполнялось в пределах полезной площади аэрофотоснимка. Ортофотопланы были построены с размером пикселя на местности 0,05 м.

В результате выполненных работ получили цифровые ортофотопланы масштаба 1:500 в формате MapInfo на территорию железнодорожной станции общей площадью 13,67 км² в количестве 292 планшетов.

Детальное исследование полученных материалов по полноте и точности удовлетворяет требованиям Технического задания и соответствует требованиям действующих инструкций и ГОСТ [1–8].

В августе 2013 г. были выполнены исследования по оценке точности определения координат центров фотографирования (КЦФ) в процессе аэрофотосъемки комплексом «Азимут-2М». Для этого была проведена аэросъемка эталонного полигона, а КЦФ определены двумя методами. Первый метод заключался в совместной обработке файлов полетных данных, полученных в момент аэрофотосъемки с приемником ГНСС NovAtel, установленным на борту мотодельтаплана, и базовой станции ГНСС. Вторым методом заключался в определении КЦФ по результатам развития фототриангуляции по снимкам эталонного полигона и с использованием планово-высотной привязки. Расхождение между двумя методами определения КЦФ составило 15–20 см. Это говорит о корректности определения КЦФ в момент аэрофотосъемки спутни-

ковым методом в дифференциальном режиме.

Таким образом, можно сделать вывод, что аэрофотосъемочный комплекс «Азимут-2М» на базе мотодельтаплана позволяет получать высококачественные цифровые снимки для создания крупномасштабных топографических планов.

▼ Экономическая эффективность аэрофотосъемки при создании крупномасштабных топографических планов

Стоимость аэрофотосъемки условно можно разделить на три части:

1. Стоимость полетного времени.
2. Стоимость амортизации аэрофотосъемочного оборудования.
3. Оплата труда специалистов, обеспечивающих процесс аэрофотосъемки.

Полетное время, в свою очередь, складывается из времени перелета (подлета к району съемки и возвращения к месту базирования летательного аппарата) и времени выполнения аэрофотосъемки. Чем крупнее объект, тем меньшую долю составляет время перелета и большую — время аэросъемки. И наоборот, чем меньше объект, тем большую долю составляет время перелета и меньшую — время аэросъемки. Кроме того, время перелета увеличивается с удалением места базирования аэрофотосъемочного комплекса от объекта. Чем дальше расположен аэродром от объекта аэросъемки, тем больше доля расходов на перелет к месту съемки и обратно. Таким образом, при планировании аэросъемочных работ для получения крупномасштабных топографических материалов небольшого объекта заказчик может рассчитывать только на базирующиеся поблизости аэрофотосъемочные комплексы. Если поблизости таких комплексов нет, то аэросъемка экономически невыгодна. Например, в соответствии с уста-

новившимися рыночными ценами на аэрофотосъемку с самолета АН-30 для масштаба 1:2000, исполнителю невыгодно выполнять съемку объектов площадью менее 400 км². То есть, если заказчик планирует выполнить крупномасштабную съемку объекта площадью, например, 100 км², ему придется заплатить, как за аэросъемку территории площадью 400 км².

Аэрофотосъемочный комплекс «Азимут-2М» на базе мотодельтаплана разработан и оптимизирован для крупномасштабной топографической аэрофотосъемки объектов площадью 10–300 км² даже при достаточно большом удалении объекта съемки от места постоянного базирования комплекса. Его экономическая эффективность обусловлена следующими факторами:

— стоимость комплекса «Азимут-2М» в несколько десятков раз меньше, чем стоимость самолета АН-30 или Л-410;

— расход топлива на 1 км у мотодельтаплана в 10 раз меньше, чем у самолета KingAir 350 и в 25 раз — чем у АН-30;

— мотодельтаплан и аэрофотосъемочное оборудование могут быть доставлены к месту съемки сравнительно экономичным автомобильным или железнодорожным транспортом (на кафедре используют автомобиль УАЗ-2206 с прицепом);

— для аэрофотосъемочных работ на мотодельтаплане требуется всего 3 специалиста: пилот, оператор и техник-водитель.

В результате, с помощью комплекса «Азимут-2М» возможно выполнить аэрофотосъемку небольшого объекта в несколько раз дешевле, чем с помощью любого самолета или вертолета.

В настоящее время активно развивается аэрофотосъемка с помощью мотопарапланов и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Предлагается множество вариантов аэрофо-

тосъемки с мотопарапланов, в том числе и съемка «в надир» с целью построения ортофотопланов. Заказчиков привлекают высоким фотографическим качеством и низкой стоимостью получаемых материалов. Обычно, аэрофотосъемка с мотопараплана не позволяет получить материалы, необходимые для построения ортофотопланов в соответствии с действующими нормативными документами [2–4]. Аналогичная ситуация и с фотоматериалами, полученными с помощью БПЛА. Связано это с условиями аэросъемки, так как съемка выполняется малоформатной неметрической фотоаппаратурой и отсутствует стабилизация камеры [9, 10], снимки имеют большие углы наклонов и разворотов. Как следствие, при построении ортофотоплана требуется выполнить значительный объем фотограмметрических процедур и работ по наземной привязке аэрофотоснимков.

Таким образом, можно считать, что аэросъемочный комплекс «Азимут-2М» в настоящее время является наиболее эффективным средством получения цифровых аэрофотоматериалов для создания крупномасштабных топографических планов объектов площадью 10–50 км² в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500 среди всех известных средств, использующихся в России для аэрофотосъемки. В зависимости от конкретных условий также может оказываться, что объекты площадью 50–300 км² целесообразнее снимать мотодельтапланом, чем самолетом.

Специалисты кафедры «Геодезия, геоинформатика и навигация» МИИТ выполняют оценку стоимости работ по аэрофотосъемке с помощью мотодельтаплана для целей создания крупномасштабных ортофотопланов и топографических цифровых планов.

▼ Список литературы

1. Инструкции по топографической съемке в масштабах

1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. — ГКИНП-02-033-82. — М.: «Недра», 1982.

2. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. — М.: ЦНИИГАиК, 2002.

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

4. Основные положения по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов. — ГКИНП-09-32-80. — М.: «Недра», 1982.

5. Условные топографические знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. — М., 1986.

6. ГОСТ Р 51605-2000. Карты цифровые топографические. Общие требования.

7. ГОСТ Р 51607-2000. Карты цифровые топографические. Правила цифрового описания. Общие требования.

8. ГОСТ Р 51606-2000. Карты цифровые топографические. Система классификации и кодирования цифровой картографической информации.

9. Михайлов А.П. Еще раз о выборе цифровых фотокамер для выполнения аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов // 12-я Международная научно-техническая конференция «От снимка к карте: цифровые фотограмметрические технологии», 22–28 сентября 2012 г., Альгарве, Португалия. — <http://www.racurs.ru>.

10. Зинченко О.Н. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования. — <http://www.racurs.ru>.

RESUME

There is introduced a technology of large-scale aerial surveying to create and update topographic plans on scales of 1:2,000, 1:1,000 and 1:500 using the aerial photogrammetry complex «Azimut-2M» based on a motodeltaplan developed at MIIT. This technology verifying results are given together with its profitability economic assessment.