

АЭРОФОТОСЪЕМОЧНЫЙ КОМПЛЕКС «АЗИМУТ-2М» НА БАЗЕ 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.

В.В. Лёгкий (Московский государственный университет путей сообщения)

В 1986 г. окончил факультет строительства железных дорог Московского института инженеров транспорта по специальности «строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство». После окончания института работает в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ), в настоящее время — старший преподаватель кафедры «Геодезия, геоинформатика и навигация».

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».

Как отмечается в [1], на кафедре «Геодезия, геоинформатика и навигация» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ) разработан и введен в эксплуатацию аэрофотосъемочный комплекс «Азимут-2М» на базе мотодельтаплана для крупномасштабной топографической аэрофотосъемки с целью получения ортофотопланов масштабов 1:2000, 1:1000 и 1:500. Он позволяет выполнять съемку с высот от 200 до 3000 м, обеспечивая заданное положение фотоаппарата в пространстве в момент съемки: оптическая ось фотоаппарата отклоняется от вертикали менее, чем на 3°, а направление выб-

рванной стороны фотоснимка совпадает с расчетным направлением (маршрутом) с точностью 0–5°. Конструктивные решения комплекса позволили практически исключить «смаз» изображения, возникающий вследствие линейного либо углового перемещения фотоаппарата относительно объекта в момент съемки. Аэрофотосъемочный комплекс «Азимут-2М» обеспечивает съемку небольших объектов с минимальными затратами и в кратчайшие сроки.

В состав комплекса «Азимут-2М» входят: носитель, цифровой аэрофотоаппарат, гиростабилизированная платформа, система планирования и управ-

ления полетом и система определения координат центров фототрафирования. Рассмотрим более подробно составные части комплекса.

▼ Носитель аэрофотосъемочного оборудования

При выборе носителя для аэрофотосъемочного комплекса были рассмотрены и проанализированы следующие летательные аппараты: воздушный шар, дирижабль, мотопараплан, мотодельтаплан, вертолет Robinson R44 (США), легкие самолеты Cessna-172 (США) и STOL (США).

Для крупномасштабной топографической аэрофотосъемки небольших объектов пло-

щадь от 10 до 300 км² или линейных объектов шириной 100–400 м и длиной до нескольких сотен километров использовать самолеты типа АН-2, АН-30 или вертолеты нецелесообразно. Легкие самолеты, как правило, также экономически не выгодно транспортировать к месту проведения работ. Для этих целей рациональнее использовать мотодельтаплан. Он имеет относительно невысокую стоимость, а затраты на горюче-смазочные материалы и техническое обслуживание мотодельтаплана в несколько раз меньше, чем для самолета АН-2 или вертолета Robinson R44.

К другим преимуществам мотодельтаплана следует отнести оптимальную крейсерскую скорость (до 90 км/ч), которая не приводит к заметному «смазу» изображения и в то же время позволяет обеспечить производительность работ, достаточную для оперативной аэрофотосъемки небольших объектов. При этом полеты можно выполнять при ветре до 12 м/с, что невозможно при использовании воздушного шара, дирижабля и мотопараплана. Взлетная и посадочная скорость мотодельта-



Рис. 1
Мотодельтаплан «Азимут» перед полетом

лана в среднем 60 км/ч — существенно ниже, чем у большинства легких самолетов. Мотодельтаплан оборудован шасси и может взлетать и садиться на ровное скошенное поле или ровную проселочную дорогу длиной около 100 м, что невозможно на легком самолете вследствие его более высокой посадочной скорости.

В качестве носителя аэрофотосъемочной аппаратуры можно использовать мотопараплан. Он имеет меньшую стоимость и вес,

занимает меньше места при транспортировке. Но, по сравнению с мотодельтапланом, обладает в 2 раза меньшей крейсерской скоростью и большими ограничениями по допустимой скорости ветра и силе турбулентности. Это заметно снижает его производительность и сужает диапазон погодных условий, пригодных для выполнения работ. По этим причинам предпочтение было отдано мотодельтаплану.

Неоспоримым преимуществом мотодельтаплана является возможность его транспортировки в сложенном состоянии на автомобиле с прицепом. Для взлета и посадки подбирается ближайший к району аэрофотосъемки подходящий аэродром, взлетная полоса для сельскохозяйственной авиации, проселочная дорога или ровное поле. Из сложенного состояния мотодельтаплан собирается для выполнения полета в течение одного часа. Для установки и подготовки аэросъемочного оборудования, которое транспортируется отдельно, требуется еще один час. После этого комплекс готов к работе. Собранный и подготовленный, он может стоять в ожидании благоприятных погодных условий

Летно-технические характеристики мотодельтаплана «Азимут»

Наименование характеристики	Значение
Площадь крыла, м ²	16,5
Размах крыла, м	10,14
Масса пустого мотодельтаплана, кг	230
Максимальная взлетная масса, кг	511
Количество посадочных мест, шт.	2
Мощность двигателя, л. с.	100
Скорость подъема, м/с	5
Диапазон полетных скоростей, км/ч	53–130
Высота полета, м	От 200 до 3000
Емкость топливных баков, л	50
Расход топлива, л/ч	10
Взлетная (от начала разбега до набора высоты 15 м) и посадочная (от начала посадки с высоты 15 м до полной его остановки) дистанции (расстояние по горизонтали), м	150

несколько дней. Обслуживающий экипаж дельтаплана обычно состоит из трех человек (пилот, оператор и водитель автомобиля).

В итоге в качестве носителя аэросъемочного оборудования был выбран мотodelьтаплан «Азимут», производимый ООО «Воздушный мост» и обладающий летно-техническими характеристиками, приведенными в таблице.

Мотodelьтаплан «Азимут» (рис. 1) имеет складное крыло, которое представляет собой жесткий каркас из дюралюминиевых труб, обтянутый тканевой обшивкой. Под крылом подвешена трехколесная тележка с двигателем, толкающим воздушным винтом и местами для пилота и пассажира. Аэросъемочная аппаратура располагается под креслом пассажира.

Мотodelьтаплан требует оформления документации в соответствии с Воздушным кодексом РФ, как и любое другое легкое воздушное судно. Для полета на мотodelьтаплане необходимо провести его государственную регистрацию и получить сертификат летной годности. Мотodelьтаплан «Азимут» имеет все необходимые для работы документы.

▼ Аэрофотоаппарат

В качестве съемочной аппаратуры был выбран цифровой среднеформатный аэрофотоаппарат Hasselblad H4D-60 aerial (далее — фотоаппарат) [2], позволяющий получать кадровые фотограмметрические снимки. Фотоаппарат имеет светочувствительную матрицу размером 6708x8956 пикселей (60,1 Мпикселей), размер пикселя — 6 мкм. Размер одного снимка в формате RAW составляет 80 Мбайт. Изображения записываются на карту памяти объемом 64 Гбайта с максимальной скоростью 31 кадр в минуту в непрерывном режиме. На одну карту помещается 800 снимков.

Запись также можно выполнять на бортовой компьютер.

Фотоаппарат Hasselblad H4D-60 aerial отличается от фотоаппарата Hasselblad H4D-60 наличием дополнительной фиксации цифрового задника и сменных объективов. Дополнительная фиксация задника обеспечивается одним штифтом. Фиксация объективов осуществляется байонетным разъемом и четырьмя фиксирующими винтами, которые отсутствуют на обычных фотоаппаратах. За счет этого обеспечивается стабильность параметров внутреннего ориентирования.

Фотоаппарат Hasselblad H4D-60 aerial был выбран после тщательного анализа существующих фотоаппаратов и многочисленных консультаций с пользователями фотоаппаратов различных типов. По их отзывам качество снимков, получаемых Hasselblad H4D-60 aerial, не хуже чем при аэросъемке камерой UltraCam 220.

Для выполнения крупномасштабной топографической аэрофотосъемки в МИИГАиК, на кафедре фотограмметрии, была проведена калибровка фотоаппарата Hasselblad H4D-60 aerial с объективами с фокусным расстоянием 35, 50 и 100 мм.

Результаты тестовой съемки комплексом «Азимут-2М» с фотоаппаратом Hasselblad H4D-60 aerial с объективом с фокусным расстоянием 100 мм показали, что при съемке местности с высоты полета 400 м обеспечивается расчетное пространственное разрешение на местности 24 мм, а при съемке с высоты полета 800 м — 48 мм при высокой четкости и точной цветопередаче изображения.

▼ Гиросtabilизированная платформа

С точки зрения выполнения топографической аэрофотосъемки мотodelьтаплан имеет интересную особенность. В условиях воздушной турбулент-

ности локальные динамические воздействия воздуха на крыло во время полета хорошо демпфируются мягкой тканевой обшивкой крыла. Моторная тележка с пилотом и оборудованием, подвешенная под крылом, испытывает существенно меньшие нагрузки, чем крыло. Были проведены замеры ускорений, возникающих у корпуса мотodelьтаплана в полете. Результаты показали, что угловые скорости и ускорения корпуса мотodelьтаплана невысокие. Они значительно меньше, чем угловые скорости и ускорения фюзеляжей легких самолетов и вертолетов при полете в одинаковых погодных условиях. Это позволило ограничиться установкой на мотodelьтаплане комплекса «Азимут-2М» сравнительно недорогой гиросtabilизированной платформы AeroStab-3 [3] с невысокой, но достаточной скоростью компенсации угловых перемещений для стабилизации положения фотоаппарата в процессе съемки.

Гиросtabilизированная платформа AeroStab-3 (далее — платформа) представляет собой механическое устройство в виде двухосного карданного подвеса с электромеханическими приводами вращения (поворота) рамок подвеса. На внутренней рамке подвеса имеется поворотный диск, ось вращения которого перпендикулярна осям вращения рамок подвеса. На диске закрепляется фотоаппарат. Платформа устанавливается на мотodelьтаплане (рис. 2) и стабилизирует положение фотоаппарата в процессе съемки по крену, тангажу и по курсу с погрешностью не более 2° в условиях умеренной воздушной турбулентности.

Платформа имеет электронный блок управления, который содержит датчики (акселерометры, гравитометры, магнитометры, лазерные гироскопы), два приемника GPS, платы для обработки сигналов датчиков и

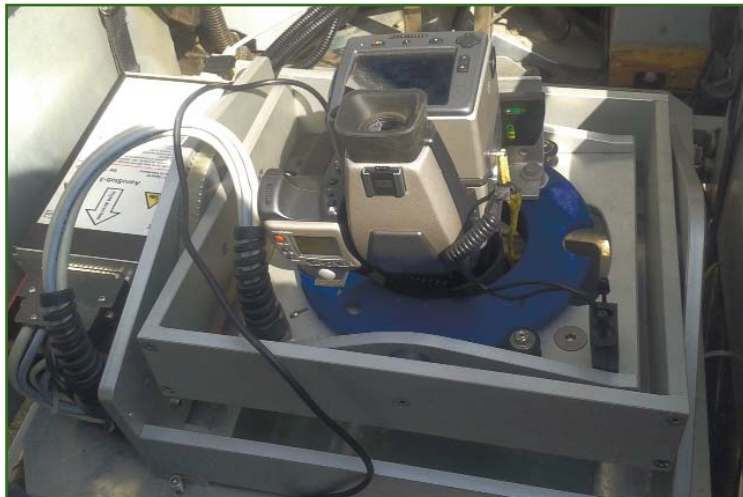


Рис. 2
Гиростабилизированная платформа AeroStab-3 с фотоаппаратом, установленная на мотоделтаплане

приемников GPS. Антенны приемников GPS установлены на верхней части крыла на расстоянии 80 см друг от друга, вдоль горизонтальной оси мидель плоскости мотоделтаплана. Непрерывно измеряемые пространственные координаты антенн служат для определения местоположения мотоделтаплана в пространстве и для курсовой стабилизации фотоаппарата. Датчики нужны для определения величины отклонения оптической оси фотоаппарата от заданного направления. Поступающие с датчиков сигналы обрабатываются программой управления полетом FMS

AeroToro, установленной на бортовом компьютере мотоделтаплана. Компьютер выдает управляющие сигналы на электромеханические приводы платформы, работа которых приводит к компенсации отклонений, возникающих в полете. В процессе съемки стабилизация положения фотоаппарата происходит автоматически и непрерывно, без участия оператора.

На платформе установлены шаговые двигатели, работа которых обычно сопровождается вибрацией. На данной платформе механизмы работают плавно, без вибрации. На снимках, сделанных в полете, наблюдается только продольный «смаз» при больших выдержках. Другие виды «смаза» не зафиксированы.

Платформа установлена на дюралюминиевой плите, на резиновых амортизаторах, гасящих вибрацию, обусловленную работой двигателя и воздушного винта, и защищена сдвижным затвором с нижней стороны и кожухом сверху (на рис. 2 кожух снят) от попадания грязи и посторонних предметов на взлете.

▼ Система управления полетом

Система управления полетом представляет собой програм-

мное обеспечение FMS AeroToro, предназначенное для решения следующих задач:

- планирования аэрофотосъемочных маршрутов;
- навигации во время полета;
- управления работой гиростабилизированной платформы;
- управления затвором фотоаппарата и определения координат центров фотографирования с точностью 1–2 м.

ПО AeroToro позволяет создать проект аэрофотосъемки выбранного объекта и рассчитать ее параметры. Планирование маршрутов выполняется следующим образом.

Задается (выбирается) область аэрофотосъемки. Например, в программе Google Планета Земля с помощью функции «добавить многоугольник» выделяется область аэрофотосъемки в виде многоугольника, сохраняется в файл в формате KML и переносится с помощью любого носителя в бортовой компьютер.

Запускается программа планирования маршрутов, в которую загружается область аэрофотосъемки. Область отображается на экране монитора в виде многоугольника зеленого цвета, расположенного на координатной плоскости (рис. 3).

В окне «выбор параметров проекта» (Define parameters of project, рис. 3) задается фокусное расстояние объектива, продольное и поперечное перекрытие снимков, разрешение (размер пикселя на поверхности земли), модель фотоаппарата. В соседнем окне на многоугольнике, изображающем область аэрофотосъемки, задается желаемое направление полета. Запускается расчет маршрутов.

Расчет выполняется несколько секунд и затем на экране отображаются маршруты в виде параллельных линий синего цвета, расположенных поверх области аэрофотосъемки

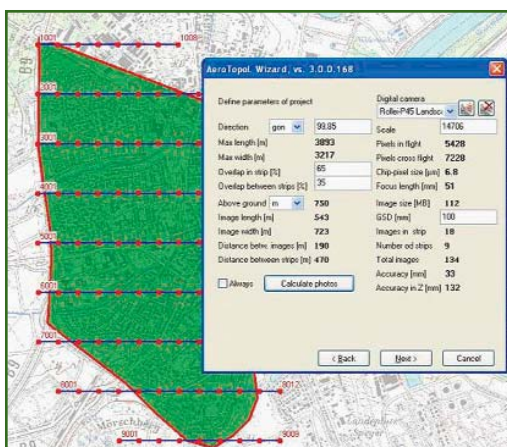


Рис. 3
Изображение на экране области съемки и окна выбора параметров аэрофотосъемки

(рис. 3). На линиях красными точками отмечены центры фотографирования. В таблице отображаются расчетные параметры аэрофотосъемки: количество маршрутов и снимков, размер снимка на земле, высота полета, расстояния между снимками и маршрутами, порядок и направление прохождения маршрутов, координаты центров фотографирования.

Можно отобразить контуры запланированных снимков, добавить или устранить какие-либо снимки и маршруты.

Вся процедура выбора области съемки и планирования маршрутов занимает 20–40 минут и может быть проделана или скорректирована в полевых условиях, непосредственно перед полетом, в соответствии с погодными условиями. Можно на месте учесть направление и скорость ветра, наличие и характер облачности, соответственно, задать оптимальное направление и порядок прохождения маршрутов, высоту полета (при наличии объективов с разными фокусными расстояниями).

В процессе полета датчики, расположенные на гиросtabilизированной платформе, и антенны приемников GPS, расположенные на крыле мотодельтаплана, выдают сигналы, поступающие по кабелю в бортовой компьютер. ПО FMS AeroTopol обрабатывает эти сигналы и выдает управляющие воздействия на исполнительные механизмы и фотоаппарат. В результате пространственное положение фотоаппарата автоматически постоянно стабилизируется в процессе съемки. Аэрофотосъемка также происходит автоматически при попадании фотоаппарата (мотодельтаплана) в заданную область пространства. В момент открытия затвора с фотоаппарата поступает сигнал на бортовой компьютер и на вход спутникового приемника (NovAtel Proxak V3). Сигнал служит для подтверждения факта



Рис. 4
Приборная панель мотодельтаплана с экраном монитора

выполнения съемки и определения координат центров фотографирования с точностью 15–20 см. В момент поступления этого сигнала на бортовой компьютер ПО FMS AeroTopol автоматически записываются остаточные, не скомпенсированные в данный момент углы наклона фотоаппарата. Эти углы рассчитываются по показаниям датчиков и антенн и используются при фотограмметрической обработке аэроснимков.

ПО FMS AeroTopol выводит навигационную информацию согласно проекту съемки данного объекта на экран монитора, расположенный перед пилотом (рис. 4). Пилот выполняет полет в соответствии с получаемой информацией. Он видит на экране свое местоположение в пространстве, величину отклонения мотодельтаплана от маршрута по всем осям, рекомендуемое направление полета, контуры отснятых снимков на маршруте, точки на маршруте, обозначающие не отснятые снимки. На различных участках маршрута ПО FMS AeroTopol автоматически изменяет масштаб изображения на экране для удобства навигации. Пилот имеет возможность настроить выводимую на экран навигационную информацию в соответствии с индивидуальными предпочтениями: изменить размер и форму информационных окон, цвет и яркость линий, надписей, фона и т. п. Настройка занимает 5–10 минут.

Участие оператора в процессе аэрофотосъемки не требуется. Фотографирование происходит автоматически, при этом пилот просто летит по заданному маршруту. Если какой-либо снимок или ряд снимков не получены, например из-за чрезмерного отклонения мотодельтаплана от запланированного маршрута, пилот может вернуться и повторить полет над этим районом. При этом фотографирование выполняется автоматически. Если на маршруте под мотодельтапланом появляется облако, пилот может, продолжая полет, остановить съемку и продолжить ее после прохождения облака. После ухода облака можно вернуться на этот маршрут и выполнить съемку.

ПО FMS AeroTopol выдает подробный отчет по выполненной работе, а также полный набор подготовленных данных для последующих этапов фотограмметрической обработки, в том числе: координаты центров фотографирования полученных снимков, углы наклона фотоаппарата в момент фотографирования, схему аэрофотосъемки, параметры экспозиции.

Опыт работы с ПО FMS AeroTopol показал высокую оперативность и удобство использования этой программы при выполнении крупномасштабной топографической съемки с помощью комплекса «Азимут-2М».

В процессе отладки работы аэрофотосъемочного оборудова-

ния, установленного на мотодельтаплане, было выполнено большое количество экспериментальных залетов. В июле 2014 г. сотрудниками кафедры «Геодезия, геоинформатика и навигация» МИИТ была выполнена крупномасштабная топографическая аэрофотосъемка тестовых участков, созданных на «Заокском геополигоне» МИИГАиК сотрудниками кафедры фотограмметрии. Проведенные испытания еще раз подтвердили, что комплекс «Азимут-2М» на базе мотодельтаплана полностью соответствует требованиям, предъявляемым к выполнению крупномасштабных топографических аэрофотосъемочных работ, согласно инструкции [4].

В результате работы, выполненной на кафедре «Геодезия, геоинформатика и навигация» МИИТ, создан аэрофотосъемочный комплекс «Азимут-2М» и разработана технология выполнения топографических аэрофотосъемочных работ с использованием данного комплекса.

Можно отметить следующие качества и достоинства, которыми обладает комплекс:

— является эффективным инструментом получения высококачественных цифровых аэрофотоматериалов высокого разрешения для создания топографических планов в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500;

— обеспечивает получение аэрофотоматериалов оперативно, в широком диапазоне погодных условий, при минимуме согласований;

— имеет относительно невысокую себестоимость;

— позволяет выполнять топографическую аэрофотосъемку небольших объектов с минимальными затратами.

Аэрофотосъемочный комплекс «Азимут-2М» на базе мотодельтаплана рекомендуется использовать для крупномасштабной топографической съемки автомобильных и железных дорог, трубопроводов, ЛЭП, населенных пунктов, железнодорожных станций.

▼ Список литературы

1. Матвеев С.И., Ниязгулов У.Д., Гебгарт А.А., Шевченко В.П. Крупномасштабная топографическая аэрофотосъемка с мотодельтаплана // Геопрофи. — 2014. — № 3. — С. 52–55.
2. Сайт компании Hasselblad. — www.hasselblad.com.
3. Сайт компании GGS GmbH. — www.aerostab.de.
4. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. — ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. — М.: ЦНИИГАиК, 2002.

RESUME

Constructive features of the motor-driven glider and the aerial surveying equipment together with the software for the aerial photography planning and management are given. It is noted that the complex developed at the Moscow State University of Railway Transport is recommended for large-scale topographic aerial photography of roads, railways, pipelines, power lines, settlements and railway stations.

Навигационно-Геодезический центр

Официальный дистрибьютор компании Leica Geosystems в Украине

Компания НГЦ предоставляет широкий спектр современного оборудования

- геодезическое оборудование
- GPS базовые станции и сети
- наземные лазерные сканеры
- строительное оборудование
- системы структурного мониторинга

Единственный авторизованный сервисный центр в Украине

Представляет журнал «Геопрофи» в Украине



Сайт: www.ngc.com.ua
Почта: ngc@ngc.com.ua
Тел./факс: +38 057 345-12-37



- when it has to be right

Leica
Geosystems