

**М. В. Шинкевич** (ООО «Финко», Ижевск)  
Директор ООО «Финко».

**Н. Г. Воробьева** (ООО «Финко», Ижевск)  
Начальник отдела камеральной обработки ООО «Финко».

**М. А. Алтынецв** (СГУГиТ, Новосибирск)  
Старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела Сибирского государственного университета геосистем и технологий (СГУГиТ). Кандидат технических наук.

**Р. А. Попов** (СГУГиТ, Новосибирск)  
Инженер научно-исследовательского сектора СГУГиТ.

**С. А. Арбузов** (СГУГиТ, Новосибирск)  
Старший преподаватель кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования СГУГиТ. Кандидат технических наук.

**А. В. Флоров** (Институт конструкторско-технологической информатики РАН, Москва)  
Младший научный сотрудник Института конструкторско-технологической информатики РАН (ИКИ РАН). Кандидат технических наук.

## Оценка точности плотной цифровой модели поверхности и ортофотопланов, полученных по материалам аэрофотосъемки с БЛА серии Supercam

Современные специализированные программные продукты позволяют в автоматическом режиме по материалам аэрофотосъемки получить плотную цифровую модель поверхности (ЦМП) в виде плотного облака трехмерных точек. Точность такой модели зависит от многих факторов, таких, как: качество исходных снимков, наличие и точность определения координат центров фотографирования, координат точек планово-высотного обоснования, и в значительной степени определяется техническими характеристиками беспилотного летательного аппарата (БЛА), применяемого для аэрофотосъемки, а также установленного на нем оборудования.

Разработанные группой компаний «Беспилотные системы» БЛА серии Supercam обладают высокой надежностью и стабильностью автоматического полета, позволяют

обеспечивать аэрофотосъемку с высоким разрешением на протяжении от 3 до 7 часов в зависимости от модификации БЛА. В конструкциях БЛА серии Supercam заложены все необходимые системы для получения высококачественных снимков с точной геодезической привязкой к местности и возможностью дистанционного изменения параметров съемки в зависимости от погодных условий. Рассмотрим возможности применения БЛА серии Supercam для выполнения аэрофотосъемки и создания ЦМП и ортофотопланов по ее результатам.

Для проведения детального исследования точности создания ЦМП и ортофотопланов компанией «Беспилотные системы» была произведена аэрофотосъемка вблизи г. Новосибирска. Аэрофотосъемкой была охвачена территория двух поселков и шоссе между ними. Протяженность участка съемки

составила 4800 м, перепад высот — 20 м.

Для целей аэрофотосъемки был использован БЛА Supercam S250 (рис. 1), оснащенный двухчастотным приемником, камерой Sony Alpha ILCE-6000 с матрицей 24 Мпикс, объективом с  $f=20$  мм и с параметрами съемки ISO 800, выдержка 1/1000. Аэрофотосъемка производилась с различных высот (150, 200 и 250 м).

Аэрофотосъемка выполнялась по двум маршрутам в разных направлениях, продольное перекрытие составило 80%, поперечное — 60%.



Рис. 1. БЛА модели Supercam S250

Методом инструментальных геодезических измерений на участке съемки были получены координаты 30 опорных и 15 контрольных точек с точностью, необходимой для сгущения фотограмметрического блока.

По каждому из трех полетов было построено пять фотограмметрических моделей с разным набором исходных данных для планово-высотной привязки материалов аэрофотосъемки:

- по координатам центров фотографирования;
- по координатам центров фотографирования и 30 опознакам через 250 м;

- по координатам центров фотографирования и 16 опознакам через 500 м;
- по координатам центров фотографирования и 12 опознакам через 1000 м;
- по координатам центров фотографирования и 6 опознакам через 2300 м (по краям и середине участка).

Таким образом, было построено 15 основных вариационных моделей. Построение всех моделей местности выполнялось в ПО Photoscan.

По результатам сравнения точности построения фотограмметрических моделей, полученных с разных высот, был сделан вывод, что в данном случае аэрофотосъемки оптимальной высотой полета для обеспечения точности съемки масштаба 1:500 с сечением рельефа 0,5 и 1 м является высота 200 м:

- на всех пяти перечисленных вариантах при построении фотограмметрических сетей средние величины расхождений планового положения опорных точек не превысили 5–10 см, контрольных точек — 5–15 см, что соответствует точности съемки масштаба 1:500;
  - средние величины расхождений высотного положения опорных точек в фотограмметрических сетях, полученных с использованием центров проекции и опознаков, расставленных через 250, 500, 1000 и 2300 м, не превысили 5–7,5 см, контрольных — 5–10 см, что соответствует точности съемки с сечением рельефа 0,5 м;
  - средние величины расхождений высотного положения опорных точек в фотограмметрической сети, полученной с использованием центров проекции и опознаков, расставленных через 4600 м, не превысили 15 см, контрольных — 20 см что соответствует точности съемки с сечением рельефа 1 м.
- В результате для построения ЦМП был выбран вариант с использованием при построении сети 16 опорных точек и координат центров проекции. Цифровая модель

поверхности в виде плотного облака точек и ортофотопланы были созданы в двух системах координат: в WGS-84 /UTM44 N и в местной системе координат МСК-54, зона 4.

Для проведения подробной оценки точности созданной продукции Сибирским государственным университетом геосистем и технологий (СГУГИТ) совместно с администрацией г. Новосибирска было выполнено мобильное лазерное сканирование (МЛС) исследуемого участка (рис. 2). Съемка выполнялась при движении транспортного средства со средней скоростью 40 км/ч. Применялась мобильная лазерная сканирующая система Riegl VMX-250. По заявленным техническим характеристикам данная система обладает абсолютной точностью измерения координат точек местности 5 см. Вдоль участка съемки было выполнено сканирование как в прямом, так и в обратном направлениях.

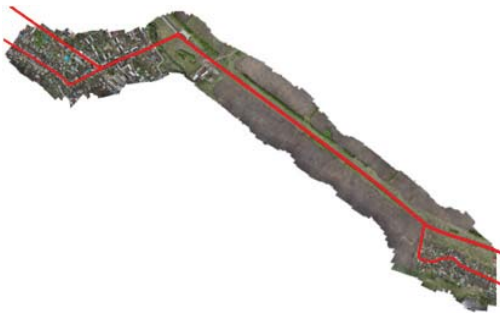


Рис. 2. Ортофотоплан с траекторией МЛС

Данные мобильного лазерного сканирования впоследствии были откалиброваны, уравнианы, а также трансформированы в местную систему координат. Обработка данных мобильного лазерного сканирования выполнялась специалистами регионального центра лазерного сканирования СГУГИТ. В таблице 1 приведены результаты относительной оценки точности уравнивания по

опорным точкам, а в таблице 2 — по контрольным точкам. Всего было использовано 26 опорных и 10 контрольных точек.

|                     | X, м  | Y, м  | Z, м  |
|---------------------|-------|-------|-------|
| Средняя ошибка      | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| СКО                 | 0,006 | 0,007 | 0,003 |
| Максимальная ошибка | 0,037 | 0,041 | 0,028 |

Табл. 1. Относительная оценка точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования по опорным точкам

|                     | X, м  | Y, м  | Z, м  |
|---------------------|-------|-------|-------|
| Средняя ошибка      | 0,012 | 0,010 | 0,003 |
| СКО                 | 0,015 | 0,013 | 0,005 |
| Максимальная ошибка | 0,033 | 0,037 | 0,011 |

Табл. 2. Относительная оценка точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования по контрольным точкам

Для абсолютной оценки точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования на исследуемом участке с помощью GPS-приемников Trimble 5700 в статическом режиме были измерены координаты 7 контрольных точек, располагающихся на углах дорожной разметки и бордюров. В таблице 3 приведены результаты абсолютной оценки точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования по координатам контрольных точек, измеренных с помощью GPS-приемника.

|                     | X, м  | Y, м  | Z, м  |
|---------------------|-------|-------|-------|
| Средняя ошибка      | 0,009 | 0,030 | 0,029 |
| СКО                 | 0,021 | 0,053 | 0,034 |
| Максимальная ошибка | 0,044 | 0,031 | 0,051 |

Табл. 3. Абсолютная оценка точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования по контрольным точкам

Согласно [1] «точки съемочной геодезической сети, используемые для

фотограмметрического сгущения, должны иметь среднюю погрешность в плане, не превышающую 0,1 мм в масштабе составляемой карты (плана) и 0,1 принятой высоты сечения рельефа — по высоте (относительно ближайших пунктов государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения)», т. е., полученные материалы мобильного лазерного сканирования (рис. 3) могут быть использованы в качестве планово-высотного обоснования и в качестве источника контрольных точек.

Для исследования точности планового положения точек ортофотоплана, построенного по ЦМП, использовались точки, расположенные на контурах объектов застройки и городской инфраструктуры. Сравнивались координаты точек, измеренных на ортофотоплане, с координатами соответственных точек, полученных по материалам МЛС. На рисунке 4 красным цветом показан пример точки. Всего для контроля было выбрано порядка 100 точек.



Рис. 3. Размещение точек для оценки точности планового положения ортофотоплана: а) ортофотоплан; б) данные МЛС

|                     | X, м  | Y, м  | Z, м |
|---------------------|-------|-------|------|
| Средняя ошибка      | 0,047 | 0,074 | —    |
| СКО                 | 0,068 | 0,095 | —    |
| Максимальная ошибка | 0,214 | 0,226 | —    |

Табл. 4. Оценка точности положения точек ортофотоплана

|                     | X, м  | Y, м | Z, м |
|---------------------|-------|------|------|
| Средняя ошибка      | 0,048 | —    | —    |
| СКО                 | 0,082 | —    | —    |
| Максимальная ошибка | 0,384 | —    | —    |

Табл. 5. Оценка точности высотного положения точек ЦМП

В таблице 4 приведена оценка точности положения точек ортофотоплана. СКО на контрольных точках по координате X составила 0,068 м, а по координате Y – 0,095 м, что соответствует требованиям к созданию планов масштаба 1:500.

Оценка точности высотного положения точек ЦМП выполнялась также по материалам МЛС. Визуальный анализ показал, что участки ЦМР, непосредственно прилегающие к фильтрованным объектам, а также ограждения несколько искажают модель, особенно на застроенной части. Поэтому измерялись высотные отметки на поперечных профилях дороги. Профили строились через каждые 100 м, и измерялось по 3 точки на каждом профиле. В таблице 5 приведена оценка точности высотного положения точек ЦМП.

Принимая во внимание результаты оценки точности по высоте, можно сделать вывод, что точки цифровой модели местности, полученные в результате фотограмметрической обработки снимков, прилегающие к поверхности земли, и отстоящие от высотных объектов на некотором расстоянии, имеют точность цифровой модели рельефа, достаточную для съемки с сечением рельефа 0,5 м.

Таким образом, была выполнена детальная оценка точности построения плотной цифровой модели рельефа и ортофотопланов, созданных в ПО Photoscan по материалам аэрофотосъемки с БЛА Supercam-250. Результаты исследований показали, что данная продукция соответствует точности, необходимой для создания топографических планов масштаба 1:500 с сечением рельефа 0,5 м.

Необходимо отметить, что для получения точной картографической продукции не всегда достаточно только наличия ортофотоплана и ЦМП, необходимо иметь возможность видеть полученную фотограмметрическую модель в стереорежиме, контролировать ЦМР, полученную в автоматическом режиме, в частном случае, видеть точки, которые можно использовать для построения рельефа, проводить метрические измерения в абсолютных координатах проекта, выполнять различные операции с наносимыми векторными объектами и работать с классификаторами картографической информации. Безусловно, что все эти возможности в полной мере реализованы в ПО PHOTOMOD UAS компании «Ракурс». Также данный программный продукт позволяет создать корректные ортофотопланы, не искажающие изображения высотных объектов, в нужной номенклатурной нарезке, что тоже немало важно при создании ортофотопланов для картографических целей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02 «Инструкции по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов», — М.: ЦНИИГАиК, 2002
2. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02 «Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS», — М., ЦНИИГАиК, 2002