

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ВЛС И АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БПЛА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ

И.А. Рыльский («Совзонд»)

В 2002 г. окончил географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «магистр географии и картографии». После окончания университета работал в компаниях «Диорит», «Арк-он», «АртГео», в МГУ им. М.В. Ломоносова. С 2015 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время — директор по науке и инновациям. Кандидат географических наук.

В настоящее время в области крупномасштабного картографирования происходят бурные изменения, связанные с развитием ряда ключевых технологий сбора и обработки пространственных данных. Среди прочих, отметим следующие:

— лазерное сканирование (воздушное, мобильное, наземное);

— различные виды аэро съемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в основном, пассивной;

— интегрированное (ГНСС + ИНС) точное позиционирование подвижной съемочной аппаратуры.

Упомянутые технологии за последние 15 лет фактически произвели революцию в точности, скорости и стоимости сбора пространственных данных.

Инерциальные навигационные системы (ИНС) с использованием волоконно-оптических гироскопов и акселерометров (позднее — MEMS-решения) в сочетании с глобальными навигационными спутниковыми системами (ГНСС) позволили решить задачу определения линейных и угловых параметров ориентации съемочной аппаратуры и носителей в пространстве, а также принципиально повысили точность навигации.

Лазерные сканеры достигли точности однократных измерений дальности от долей миллиметров (наземное сканирование) до нескольких сантиметров (воздушное сканирование). Беспилотные летательные аппараты позволили существенно снизить минимальную площадь аэросъемки и стоимость затрат на один самолето-вылет.

Однако в ряде случаев одна и та же ниша на рынке услуг, ранее безраздельно принадлежавшая одной из технологий (например, наземной топографической или космической съемкам), становится объектом конкурентной борьбы нескольких одновременно развивающихся инновационных решений. Это неизбежно вызывает необходимость сравнения характеристик и особенностей итоговых результатов, полученных разными технологиями при решении одной и той же задачи.

Подобным примером «технологического противостояния» является борьба воздушного лазерного сканирования, совмещенного с аэрофотосъемкой (АФС), с пилотируемых летательных аппаратов и аэрофотосъемки с БПЛА легкого и среднего классов при решении задач картографического обеспечения проектных работ.

▼ Технология ВЛС — воздушное лазерное сканирование, совмещенное с аэрофотосъемкой

В конце 1990-х гг. в области методов получения картографических материалов высокой детальности (масштаба 1:5000 и крупнее) произошли серьезные перемены. Они были вызваны появлением новых технологий дистанционного зондирования Земли с использованием импульсных лазеров. Вместо классической аэрофотосъемки потребителям картографической информации была предложена высокоточная лазерно-локационная съемка в сочетании с цифровой аэрофотосъемкой. Последний вид съемки в дальнейшем будем именовать «воздушное лазерное сканирование», или ВЛС, что подразумевает использование тандема «лазер + АФС», поскольку лазерное сканирование без аэрофотосъемки применяется редко.

Постепенное распространение данной технологии в мире и прогресс в области создания цифровых камер и лазерных сканеров привели к повышению точности и подробности данных, получаемых по этим материалам — от 1:5000 в конце

1990-х гг. до 1:500 к началу 2015 г.

Лазерное сканирование является разновидностью активной съемки. Установленный на авиационный носитель (самолет, вертолет) полупроводниковый лазер работает в импульсном режиме и проводит дискретное сканирование поверхности Земли и объектов, расположенных на ней, регистрируя направление и время прохождения лазерного луча (рис. 1). Таким образом, удается однозначно локализовать в пространстве точку (или точки, если отражений было много), от которой отразился лазерный луч. Текущее положение лазерного сканера определяется с помощью высокоточного спутникового приемника, работающего в дифференциальном режиме совместно с ИНС. Зная углы разворота и относительные смещения между компонентами описанного измерительного комплекса, можно однозначно определить абсолютные координаты каждой точки лазерных отражений в пространстве.

Поскольку лазерный сканер излучает и принимает сотни тысяч импульсов в секунду, периодически меняя направление излучения («качая» луч как маятник из стороны в сторону в вертикальной плоскости, ортогональной к направлению движения носителя, например, вертолета), и смещается вместе с носителем, то территория съемки оказывается покрытой множеством точек лазерных отражений. Для каждой точки известны координаты, интенсивность отраженного сигнала, а также порядок отражения (было ли это первое отражение — от самого высокого объекта в данной точке, или последнее — от земли или здания). В результате совместной обработки лазерной альтиметрии, данных ИНС и приемников ГНСС, формируется массив нерегулярно располо-

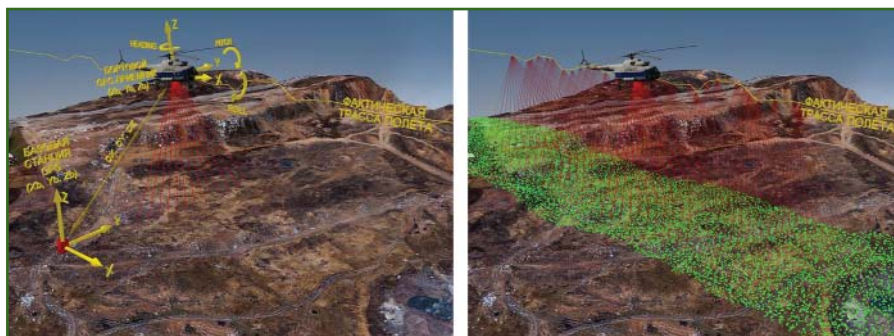


Рис. 1

Принципы воздушного лазерного сканирования

женных точек, для которых известны пространственные координаты, интенсивность отраженного сигнала и ряд дополнительных параметров. После автоматизированной обработки точек лазерных отражений создается высокоточная цифровая модель рельефа (ЦМР) территории.

Одновременно с лазерным сканированием ведется аэрофотосъемка поверхности земли с помощью цифровой камеры, регистрирующей изображение (снимок) в видимом или инфракрасном (ИК) диапазоне электромагнитного излучения. Цифровые снимки регистрируются в накопителе на борту летательного аппарата. Наличие точных меток времени позволяет определить элементы внешнего ориентирования камеры для трансформирования снимков, а также осуществить привязку центров фотографирования снимков для их последующего объединения в единый бесшовный ортофотоплан местности.

Приведенные данные показывают, что производительность ВЛС (лазер + АФС) не уступает обычной аэрофотосъемке в видимом или ИК-диапазоне. При этом пользователь получает многозональные снимки одновременно с данными воздушного лазерного сканирования, а по цене ВЛС существенно не отличается от традиционной аэрофотосъемки. Однако ценность этих данных существенно выше,

чем у данных классической аэрофотосъемки или космической съемки.

Кроме воздушного лазерного сканирования, ни один из применяющихся в настоящее время методов дистанционного зондирования Земли, не обладает возможностью одновременно получать и видимую поверхность (кроны деревьев или густой растительности), и рельеф земной поверхности под кронами. Действительно, оптико-электронные системы наблюдения дают информацию о видимой поверхности, оставляя рельеф невидимым, радарная съемка — либо о рельефе, либо о видимой поверхности (в зависимости от длины волны). Только воздушное лазерное сканирование сочетает в себе лучшие черты каждого из методов, обладая при этом субдециметровой точностью определения высот рельефа. Именно благодаря этому свойству, воздушное лазерное сканирование является одним из немногих методов, позволяющих получить точные геометрические параметры объектов, используя прямые измерения.

На данных лазерного сканирования в трехмерном виде хорошо различимы «висячие» объекты: провода и опоры линий электропередачи, легкие вертикальные конструкции и небольшие по размерам конструктивные элементы (отдельно стоящие столбы, балки, рекламные щиты и т. п.).

Наличие информации о рельефе и наземных объектах позволяет непосредственно в трехмерном режиме автоматически получать высоты деревьев и зданий, определять расстояние от провода до объекта (так называемый провис проводов), строить профили с учетом возвышающихся над земной поверхностью объектов — все это делается без полевых работ, только по данным воздушного лазерного сканирования.

В зависимости от масштаба инженерно-топографического плана определяется необходимая плотность сканирования — количество точек лазерных отражений на 1 м^2 . Так, для масштаба 1:5000 плотность составляет около одной точки лазерных отражений, 1:2000 — две точки, 1:1000 — 4–6 точек, а 1:500 — 10–20 точек. Аэрофотосъемка при этом ведется с разрешением одного пикселя на местности 30, 20, 12 и 6 см, соответственно.

На рис. 2 приведены материалы воздушного лазерного сканирования с плотностью сканирования 12 точек на 1 м^2 , на которых в трехмерном режиме легко различимы (т. е. только по форме, без спектральных признаков) здания, поверхность земли, кроны лиственных

и хвойных деревьев, с учетом их наиболее высоких точек.

Форму и геометрические размеры объектов определяют по данным лазерного сканирования, а атрибутивные характеристики и контуры объектов, не имеющих выраженного рельефа (например, разметка дороги), наносят по результатам аэрофотосъемки, проводящейся параллельно.

Подводя итог описанию технологии ВЛС, еще раз отметим ключевые особенности технологии:

- пригодность для составления инженерно-топографических планов масштабов 1:500–1:5000;

- высотная съемка земной поверхности, покрытой растительностью;

- возможность съемки «висячих» объектов;

- воздушное лазерное сканирование, совмещенное с высокодетальной аэрофотосъемкой профессиональными среднеформатными камерами, с аппаратным определением элементов внешнего ориентирования, достаточных для пространственной геопривязки данных с точностью, удовлетворяющей требованиям крупномасштабной топографической съемки масштабов 1:500–1:5000;

— средний или максимальный вес съемочного измерительного комплекса от 8 до 120 кг, что, как правило, подразумевает необходимость использования пилотируемого летательного аппарата.

▼ Технология аэрофотосъемки с БПЛА

Говоря об аэрофотосъемке с использованием БПЛА, уточним сразу, что речь пойдет исключительно о российском рынке, с присущими ему административными, логистическими и климатическими особенностями.

В силу ряда причин, в РФ (как, впрочем, и в большинстве стран) использование БПЛА со взлетной массой более 30 кг в коммерческих целях затруднено из-за соображений безопасности, высокой стоимости и сложных организационных мероприятий. Подавляющее число БПЛА относится к легкому и/или среднему классу с полезной нагрузкой до 3–4 кг и весьма незначительной дальностью полета. Стоимость аэрофотосъемочного комплекса с БПЛА ограничена рыночными особенностями и не превышает 5 млн руб. Подобные БПЛА обладают следующими характеристиками:

1. Дальность — незначительная, ввиду низкой энерговооруженности и необходимости осуществлять посадку вертикально, «вскользь» или на парашюте.

2. Полезную нагрузку в подавляющем большинстве случаев составляют RGB-камеры (в худшем случае — видекамеры, в лучшем — полупрофессиональные фотоаппараты с размером результирующего кадра до 50 Мпикселей и физическим размером матрицы до 24x35 мм).

Высокоточные ИНС и лазерные сканеры не устанавливаются на подобные носители в силу их высокой стоимости и значительной массы, а также ограниченной энергоемкости БПЛА и допустимого веса его полезной

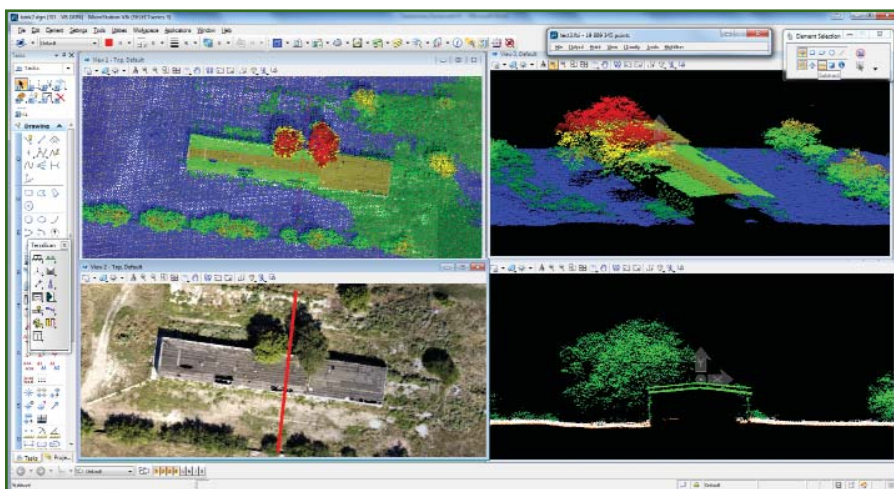


Рис. 2

Пример материалов воздушного лазерного сканирования с плотностью сканирования 12 точек на 1 м^2 (для масштаба 1:500)

нагрузки. Исключения из данного правила единичны и носят не коммерческий, а экспериментальный характер.

3. Уровень безопасности полетов. Как правило, стоимость БПЛА и допустимая масса его полезной нагрузки не позволяет поставить системы, обладающие высокой надежностью, обеспечивающие устойчивую связь с аппаратом, автопилотирование в неблагоприятных климатических и радиочастотных условиях, диспетчеризацию полета, а также гарантирующие безопасный взлет и посадку в течение всего жизненного цикла функционирования измерительной аппаратуры (для лазерных сканеров — около 2000 часов работы и 8–10 лет непрерывной эксплуатации). Это ведет к тому, что пользователи банально опасаются устанавливать дорогие камеры, лазерные сканеры, гиперспектральные съемочные системы и т. п. на БПЛА бюджетного класса, или БПЛА как таковые, отдавая предпочтение пилотируемым летательным аппаратам.

Таким образом, на 2017 г. мы можем говорить о следующих особенностях аэрофотосъемки с БПЛА:

- возможность аэрофотосъемок для создания ортофотопланов с детальностью масштабов 1:500–1:5000;

- низкая стоимость подобных комплексов;

- использование исключительно цифровых камер, работающих в видимом и (редко) в ближнем ИК диапазоне;

- незначительная дальность полета и производительность съемки;

- невозможность установки точных интегрированных (ГНСС + ИНС) систем на БПЛА (как следствие — практически полное отсутствие таких комплексов в РФ).

▼ Об исключениях из правил

Конечно, нам известно и о существовании исключений.

Так, воздушные лазерные сканеры Riegl VUX SYS и Riegl MiniVUX имеют массу 8 и 6 кг, соответственно, и позволяют выполнять съемку с высот до 600 м, обладают производительностью, близкой к топовым сканирующим системам 5-летней давности. Однако, их весовые характеристики и стоимость (сотни тысяч евро) пока не позволили поставить ни одну из данных систем на БПЛА в РФ.

Гиперспектральные камеры для БПЛА обладают средней стоимостью (до нескольких десятков тысяч рублей) и массой (менее 1 кг), однако обладают не высокими детальностью, охватом, и, как следствие, производительностью. Обычно они используются в экспериментальных или научных целях ограниченным кругом пользователей в РФ.

Поскольку общее количество вышеперечисленных систем на рынке РФ очень мало, и они не имеют широкого коммерческого применения, не будем включать их в данное сравнение.

▼ Требования к картографическим данным при проектировании

Практика картографического обеспечения проектно-исследовательских работ в РФ имеет ряд особенностей, не характерных, скажем, для кадастровых, экологических и тематических задач. Отметим среди них следующие:

- высокие требования к точности съемки в плане и по высоте и отображению рельефа (до 8 см для инженерно-топографических планов масштаба 1:500 с сечением 0,25 м). Помимо высоких точностей по высоте, в структуре ЦМР необходимо отображать линии перегибов склона (бровки, подошвы откосов), тальвеги, характерные точки рельефа (особенно на резких перегибах);

- на инженерно-топографических планах застроенных

территорий масштаба 1:1000 и 1:500 необходимо отображать значительное количество мелких по размеру объектов (опоры и отдельно стоящие деревья) или висячих конструкций (провода) и их параметров (расстояние от провода до земли);

- необходимость съемки с одинаковой полнотой как открытых, так и покрытых растительностью или затененных строениями участков местности.

▼ Постановка задачи

Принимая во внимание вышесказанное, компания «Совзонд» решила выполнить оценку качества итоговых данных, которые могут быть получены при использовании как технологии ВЛС (лазер + АФС), так и аэрофотосъемки с БПЛА.

Поскольку необходимых для такой работы БПЛА в компании не имелось, на ряде объектов были выполнены дублирующие полеты с пилотируемого летательного аппарата — один раз съемка велась с использованием лазерной сканирующей системы и цифровой аэрофотокамеры, другой раз — только аэрофотокамеры (с фиксацией центров фотографирования снимков приемником ГНСС геодезического класса).

В данном проекте использовалась лазерная сканирующая система Riegl Q560, разработанная достаточно давно. Она обеспечивает скорость съемки до 240 000 точек в секунду и возможность работы на высотах до 1500 м, оборудована инерциальной системой AeroCONTROL с точностью угловых измерений до 0,005° и двухчастотным GPS/ГЛОНАСС модулем. Параллельно выполнялась аэрофотосъемка профессиональной цифровой среднеформатной камерой IGI, с размером результирующего кадра 39 Мпикселей и фокусным расстоянием 50 мм.

В качестве аэрофотосъемочных камер-эмуляторов съемки с БПЛА использовались:

— IGI с размером результирующего кадра 39 Мпикселей и физическим размером матрицы 37x49 мм, съемка выполнялась с высоты 300 м и 250 м, с измерением координат центров фотографирования, разрешение одного пикселя на местности 4 см;

— Nikon D800 с широкоугольным объективом, с размером результирующего кадра 36 Мпикселей и физическим размером матрицы 24x35 мм, съемка выполнялась с высоты 300 м и 250 м, с измерением координат центров фотографирования, разрешение одного пикселя на местности 5–6 см;

— Sony RX1R с широкоугольным объективом, с размером результирующего кадра 24 Мпикселя, физическим размером матрицы 24x35 мм, съемка выполнялась с высоты 300 м, с измерением координат центров фотографирования, разрешение одного пикселя на местности 7–8 см;

— камера с широкоугольным объективом, встроенная в БПЛА DJI Phantom 4, съемка выполнялась с высоты 50–70 м, без измерения координат центров фотографирования, разрешение одного пикселя на местности 3–4 см.

Ожидаемая точность высот ЦМР, исходя из соотношения «высота-базис» и разрешения снимков, составила около 12 см для среднеформатной камеры IGI, около 12–15 см — для камер Nikon D800 и Sony RX1R, и около 10 см — для камеры, встроенной в БПЛА DJI Phantom 4. Средняя квадратическая погрешность при уравнивании и измерении на контрольных точках, в целом, подтверждает данную точность. Вышеперечисленные значения укладываются в требования, предъявляемые к инженерно-топографическим планам масштаба

1:500 с сечением рельефа 0,5 м, согласно СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Общие положения.

Съемка лазерным сканером велась с высоты 450 м, что обеспечивает возможность работы с точностью, удовлетворяющей требованиям инженерно-топографического плана масштаба 1:500.

Оценка точности по контрольным точкам подтвердила ожидаемую точность данных по высоте на уровне 8–10 см.

Все материалы фотограмметрической обработки проходили оценку точности уравнивания координат центров фотографирования по контрольным точкам (от 12 до 28 точек на объект).

Данные лазерного сканирования проверялись аналогичным образом (оценка точности расчета траектории, взаимное различие залетов в точках лазерных отражений, соответствие контрольных точек данным лазерного сканирования). Оборудование, использованное при воздушном лазерном сканировании, прошло поверку на полигоне ВНИИФТРИ в 2016 г., его точностные характеристики подтверждены соответствующим сертификатом (точность измерений по высоте — лучше 5 см, в плане — лучше 8 см).

Для сравнения результатов различных съемок проводилась оценка их точности по контрольным точкам на каждом из объектов.

Контрольные точки маркировались как опорные знаки в виде креста, координаты центра которого определялись геодезическим приемником ГНСС методом статических измерений от базовых станций. Точность получения координат центра контрольных точек находилась в пределах 3 см. Во всех случаях использовалась система координат и высот WGS-84. Координаты базовых станций опре-

делялись в течение 8 часов методом PPP в статике. При вычислении координат центров фотографирования снимков и траекторных решений для лазерного сканирования применялись одни и те же координаты базовых станций.

Для сравнения этих различных по своей сути материалов съемки было принято решение использовать трехмерные облака точек. Действительно, при фотограмметрической обработке в автоматизированном режиме корреляционными методами с помощью практически любого программного обеспечения (ПО), в первую очередь, получается облако точек, координаты которых определяются стереофотограмметрическим методом. Только потом облако точек фильтруется и на его основе строится ЦМР, которая используется для создания ортофотопланов и т. д. В процессе лазерного сканирования получается также облако точек, но методом прямого измерения дальности и элементов внешнего ориентирования сканера. Затем оно используется аналогично для создания ортофотопланов.

При этом для обоих методов характерно, что при наличии локальных или систематических ошибок в облаке точек методы решения данных проблем (и масштаб проблем) в целом идентичны. Поэтому мы считаем допустимым проводить сравнение результатов съемок по облакам точек, полученных различными методами.

▼ Программное обеспечение

Для обработки данных воздушного лазерного сканирования использовалось программное обеспечение, предназначенное для низкоуровневой обработки данных сканеров Riegl (RiPROCESS, GrafNav, AEROoffice), а также программа Terrasolid для дальнейшей обработки и анализа точек лазерных

отражений. Качество измерения координат и степень полноты данных определяются в целом не программным обеспечением, а характеристиками воздушного лазерного сканера и блока навигации ГНСС + ИНС.

В отличие от лазерного сканирования, при фотограмметрической обработке снимков программное обеспечение может достаточно сильно влиять на качество и полноту распознаваемых коррелятором данных и точность их геопозиционирования.

Ранее специалисты компании «Совзонд» выполняли исследования пригодности программных средств для фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки с БПЛА. Было протестировано такое ПО, как UASMaster, Agisoft Photoscan, OpticalScape и ряд других.

В основной массе, среди организаций, выполняющих работы в РФ и использующих для съемки БПЛА, наиболее распространенным ПО для обработки данных является Agisoft PhotoScan. Это ПО достаточно недорогое, дает неплохой результат в части формирования облаков точек и ЦМР и имеет вполне дружелюбный интерфейс. В то же время используемые подходы для решения классических фотограмметрических задач в Agisoft PhotoScan отличаются от принятых в таких профессиональных цифровых фотограмметрических системах, как PHOTOMOD или Inpho. Однако, в основном по причине высокой стоимости и сложности освоения, рядовой пользователь БПЛА не может позволить себе купить такую систему. Он использует наиболее простой путь — либо применяет ПО, идущее в комплекте с БПЛА (если он зарубежного производства), либо приобретает Agisoft PhotoScan. Впрочем, идеологические подходы к решению фотограмметрических задач у UASMaster или OpticalScape схожи с Agisoft PhotoScan и мало напоминают строгие фотограмметрические подходы, используемые, например, в Inpho.

Принимая во внимание вышесказанное, было принято решение при обработке данных, эмулирующих съемку с БПЛА, использовать для обработки ПО Agisoft Photoscan.

▼ ВЛС против аэрофотосъемки с БПЛА

Приведем несколько примеров обработки данных, полученных с помощью ВЛС и аэрофотосъемки среднеформатной камерой с БПЛА. На всех примерах красным цветом показаны облака точек, полученные фотограмметрическим методом по данным аэрофотосъемки с БПЛА, а белым — по данным ВЛС.

На облаке точек, полученном фотограмметрическим методом (рис. 3а), видно отсутствие точек рельефа земной поверхности под растительностью и их наличие в лазерных данных.

Аналогично — на одной из стен здания. На рис. 3б точки лазерных отражений покрыли здание с обеих сторон, хорошо опознается кран и перекрытия в доме. На данных аэрофотосъемки с БПЛА ничего подобного нет, в стесненных местах (стена и кран) данные отсутствуют. В правом нижнем углу видны значительные артефакты облака точек, построенного по данным аэрофотосъемки с БПЛА, при этом по данным лазерного сканирования все вполне корректно. На облаках точек с БПЛА отсутствуют данные о столбах, проводах, ограждениях на дороге, а на данных лазерного сканирования они присутствуют.

На ЦМР, построенной по данным аэрофотосъемки с БПЛА (рис. 4), заметно значительное число артефактов даже на не покрытых лесом участках. Местоположение артефактов совпадает с участками ЦМР, на которых получены большие расхождения по высоте между данными ВЛС и аэрофотосъемки с БПЛА.



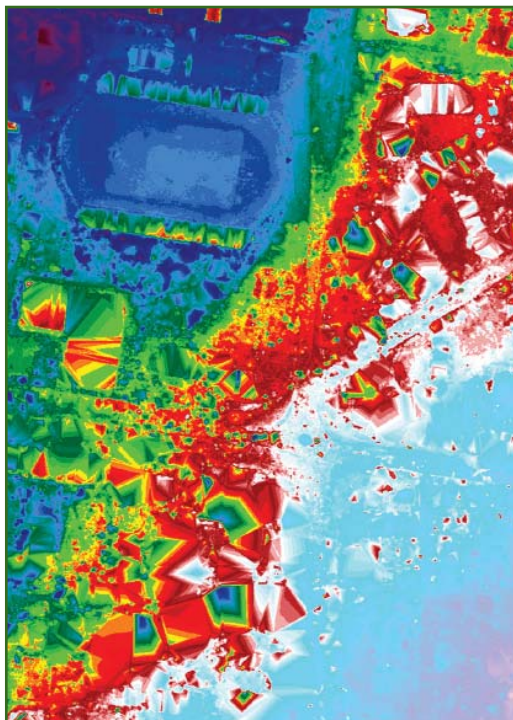


Рис. 4
ЦМР, построенная по данным
аэрофотосъемки с БПЛА

Как видно на рис. 5, на более чем 20% территории города расхождение составляет от 0,5 м и выше.

▼ Выводы

Продемонстрированные результаты достаточно неожиданны. Действительно, судя по формальным признакам, таким как точность уравнивания, использование широкоугольных объективов, съемка с высоким разрешением, подтвержденная точность высот на контрольных точках, данные, полученные при аэрофотосъемке с БПЛА, не должны уступать данным ВЛС. Но, исходя из реальности, они им не просто уступают, а в це-

лом не являются пригодными для решения задач проектирования, так как в принципе не позволяют адекватно отобразить, ни состав объектов на местности, ни их форму, ни габариты. В то же время данные ВЛС полностью свободны от этих недостатков.

С нашей точки зрения, причин этому несколько.

1. В первую очередь, контрольные точки. Контрольные точки маркировались и располагались как опорные знаки при аэрофотосъемке — на открытой со всех сторон местности, а крест является идеальной текстурой для коррелятора. Неудивительно, что здесь в соответствии с фотограмметрическими расчетами все корректно. В то же время, стоит местности стать мало или совсем

бестекстурной и в облаке точек появляются удивительные формы рельефа, которых в природе не бывает (рис. 6). Профиль по фотограмметрическим данным совершенно не соответствует действительности.

2. Особенности работы коррелятора. Принцип корреляции в пределах скользящего окна размером в несколько пикселей (и чем больше — тем лучше) не позволяет отобразить в модели резкие перегибы — бровки, углы крыш и зданий (рис. 7). Это приводит к характерным «стожкам», когда у зданий сглаживаются внешние углы, и «корытам», когда на внутреннем угле дороги и забора возникает сглаживание. То же касается коньков крыш и т. п. Поскольку все вышеперечисленные объекты не являются точками контроль-

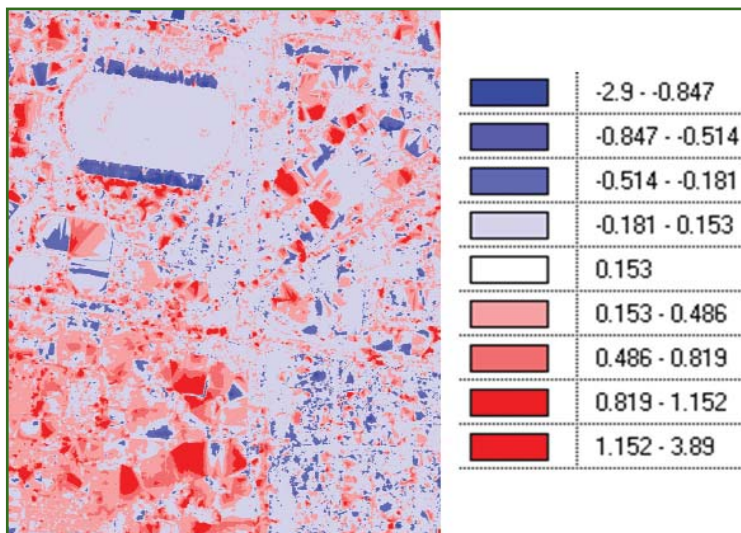


Рис. 5
Разница высот в метрах между ЦМР, построенной по данным
ВЛС и аэрофотосъемки с БПЛА

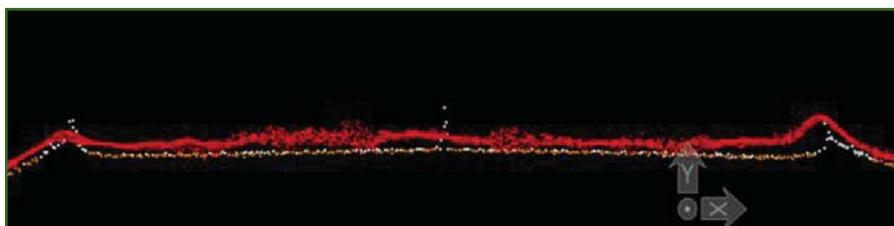


Рис. 6
Облака точек участка автодороги, полученные по результатам
аэрофотосъемки с БПЛА и ВЛС

ных измерений, то увидеть этот эффект при уравнивании невозможно.

3. Существует мнение об упрощенности методики уравнивания, используемой в программном обеспечении, рассчитанном на специалистов, имеющих небольшой опыт в обработке данных аэрофотосъемки с БПЛА. Упрощенность методики

проявляется в излишней «оптимистичности» оценки качества уравнивания блока, поскольку отсутствует возможность полноценно проконтролировать качество уравнивания не только на контрольных, но и на связующих точках.

4. Принципиальная невозможность увидеть стереозффект в «колодце» — когда часть объекта в принципе не видна с каких-либо двух точек (рис. 8). В этом случае отсутствует возможность качественного стереомоделирования, и коррелятор не создает облако точек. ВЛС справляется с этим успешно.

5. По данным аэрофотосъемки с БПЛА нельзя увидеть поверхность земли в лесу — не важно какой высоты деревья. Отдельные прогалы на территории, покрытой лесом, не меняют общую картину — плотность облаков точек по данным аэрофотосъемки с БПЛА на такой территории в части рельефа практически равна нулю (см. рис. 3а). Тем не менее, программное обеспечение без колебаний строит модель по кронам деревьев, что впоследствии вызывает необходимость фильтрации.

Коснувшись причин описанных расхождений в данных, нельзя не отметить возможные последствия. Приведенные примеры наглядно говорят о том, что применение данных, полученных при аэрофотосъемке с БПЛА камерами практически любого мыслимого типа (от «мыльниц» до профессиональных решений ценой до 100 тыс. евро), с обработкой в «ПО для любителей», не позволяет создать сколько-нибудь пригодные для проектирования материалы на городские, сельские и незаселенные территории с лесной растительностью.

При использовании профессиональных цифровых фотограмметрических систем (Inpho, PHOTOMOD и др.) и рисовки

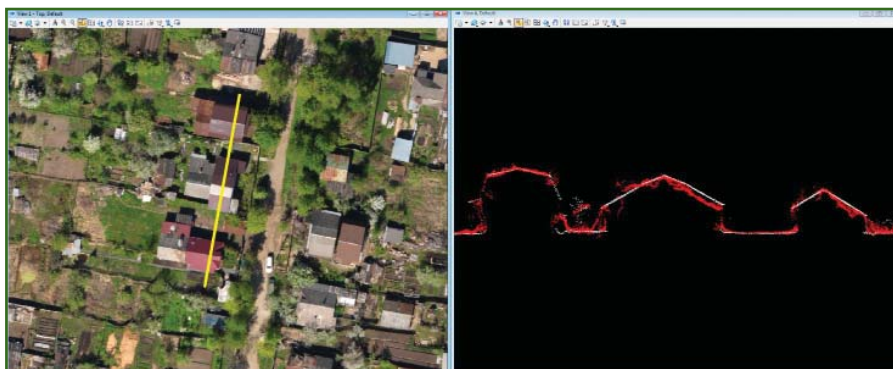


Рис. 7

Характерное искажение высот, габаритов и формы зданий на открытой местности при использовании данных аэрофотосъемки с БПЛА

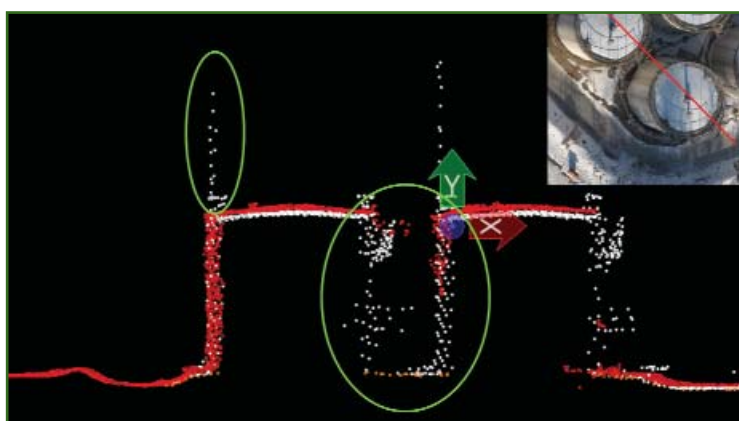


Рис. 8

Проявления эффекта «колодеца» на данных аэрофотосъемки с БПЛА

структурных элементов рельефа в стереорежиме вручную, а также дополнения стереомоделей материалами полевых работ в районах, покрытых лесной растительностью, можно получить достоверную модель территории, пригодную для задач проектирования. Однако, поскольку основными причинами использования БПЛА с аэрофотокамерами являются их низкая стоимость и сжатые сроки работы, применение профессиональных цифровых фотограмметрических систем полностью обнуляет все преимущества аэрофотосъемки с БПЛА.

Напротив, технология ВЛС не обладает ни одним из подобных недостатков, обработка данных практически полностью автоматизирована, поэтому их можно использовать при создании ин-

женерно-топографических планов для проектирования в любых условиях. В большинстве случаев — с учетом дополнительных затрат на обработку и устранение вышеописанных «особенностей» аэрофотосъемки с БПЛА — стоимость создания цифровых инженерно-топографических планов по данным ВЛС практически соответствует стоимости работ на основе аэрофотосъемки с БПЛА.

Отметим также несопоставимую производительность методов — если для создания цифрового инженерно-топографического плана масштаба 1:2000 с помощью БПЛА самолетного типа можно за день выполнить аэрофотосъемку территории, площадью не более 30–50 км², то при использовании метода ВЛС — до 500 км².