Е.С. Бойко, директор по картографии и ГИС ООО «СКИП», г.Краснодар

(по материалам публикации в журнале «Инженерные изыскания», № 2, 2008г)

Развитие современной геодезии и картографии обусловлено не только переходом на принципиально новый, цифровой уровень работы с пространственными данными, но и появлением новых типов геодезического оборудования, инструментов и технологий получения данных о Земле. Ярким примером современных методов получения картографической информации о земной поверхности является воздушное лазерное сканирование (ВЛС). Данная технология была разработана для решения узкоспециализированных задач по обследованию линий электропередач с целью их дальнейшей инвентаризации и мониторинга. С развитием технических возможностей оборудования, ВЛС многократно расширило сферу применения и успешно используется для создания трехмерных метрических моделей местности, цифровых топографических планов и карт, гидрометеорологических исследований, таксации леса, в маркшейдерских работах и т. д. Одним из основных направлений использования ВЛС стало создание и обновление крупномасштабных топографических карт и планов – важнейшей части инженерно-геодезических изысканий. Так, например, за последние 4-5 лет большинство крупных проектов в нефтегазовой отрасли России обеспечены топографическими и картографическими материалами, созданными методом ВЛС.

Суть метода лазерного сканирования (лазерной локации) сводится к получению пространственно определенной модели местности, состоящей из точек лазерного отражения, описывающих как поверхность земли, так и все расположенные на ней объекты в виде координат XY и аппликаты Z, которые имеет каждая полученная точка.

Рассмотрим подробнее схему работы воздушного лазерного сканера. На самом деле, данный прибор представляет собой комплекс, в котором кроме собственно лазерного сканера участвует инерциальная система и приборы спутникового позиционирования. (Рис.1) Для каждого импульса измеряется время между отправкой и приемом, и по этому времени измеряется расстояние. В то же время измеряется угол сканирования, координаты и высота воздушного судна. Бортовой приёмник GPS регистрирует положение воздушного носителя (координаты X, Y и Z) через фиксированные интервалы времени. Инерциальная измерительная навигационная система (ИНС) используется для непрерывного определения таких параметров положения воздушного носителя в воздухе, как наклон относительно поперечной оси, рыскание и крен. Вычисление координат точек отражения каждого лазерного импульса производится путём совместной обработки текущих координат воздушного носителя, ориентации лазерного сканера в пространстве и локационных измерений расстояний. Для вычисления траектории полета с высокой точностью проводится дифференциальная коррекция по измерениям наземных GPS-ГЛОНАСС станций.

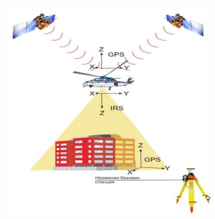


Рис. 1 Схема работы воздушного лазерного сканера

Как правило, в составе съемочного комплекса воздушного лазерного сканера присутствует цифровая аэрофотокамера, осуществляющая синхронную аэрофотосъемку местности с высоким разрешением (размер пикселя 5-20 см в зависимости от высоты съемки). Использование комплекса в таком составе позволяет в несколько раз сократить время и затраты при дальнейшей обработке полевых материалов и создании карт и планов, так как мы получаем элементы внешнего ориентирования снимков с высокой точностью и практически во время съемки.

Остановимся подробнее на точности получаемых данных. Во-первых, данные лазерной съемки многократно увеличивают получаемый объем информации о Земной поверхности. Так, плотность точек лазерного отражения (ТЛО) при съемках с высоты 1000м и оптимальных скоростях полета вертолета достигает 3-5 точек на 1 $м^2$ в одном проходе. Кроме того, за счет своей многомерности полученные точки позволяют создавать новые виды растровых материалов, успешно используемых при дешифрировании и дополняющих традиционные для картографии ортофотопланы.

Точности, приводимые в паспортах приборов, как правило, сводятся к значениям определения координат ТЛО и зависят от высоты съемки и некоторых других условий. Например, для воздушного лазерного сканера ALS50-II производства швейцарской фирмы «Leica geosystems», они соответствуют значениям, приведенным в таблице1.

Таблица 1. Некоторые паспортные характеристики точности воздушного лазерного сканера ALS50-II

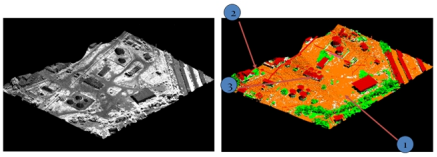
Точность сканирования по высоте
не хуже 6 см при высоте до 800 м
не хуже 12 см при высоте до 3000 м

Точность определения планового положения точек

не хуже 8 см при высоте до 800 м
не хуже 32 см при высоте до 3000 м

Представленные значения – это точность работы лазерного дальномера, не учитывающая погрешности GPS- аппаратуры. С учетом всех погрешностей фактические значения увеличиваются максимум вдвое, позволяя при этом выполнять топографическую съемку для масштабов 1:500 и мельче с применением соответствующих высот залета. Говоря о точности получаемых первичных данных воздушного лазерного сканирования необходимо коснуться и точности конечных продуктов, например, цифровой модели рельефа. Первым шагом по ее созданию является классификация ТЛО – определение «истинной» поверхности земли, осуществляемая в специализированном ПО и триангуляция Делоне по всем точкам, выделенным в процессе классификации в класс «земля» (Рис.2). Полученная цифровая модель может считаться исходной для дальнейшей оптимизации. Для построения на ее основе горизонталей и использования ее в процессе проектирования применяется ряд алгоритмов аппроксимации и удаления шумов с соблюдением требований руководящих документов, которые допускают корректировку полученных данных в достаточно узком диапазоне при выпуске крупномасштабной картографической продукции. Практика показывает, что характер местности слабо влияет на показатели точности и в целом технология оптимизации модели дает 50-60% с точностью 5см, 30-40% с точностью 5-10см, около 12% - расхождений 10-15см, ну и 2-5% превышают 15см, при этом отклонение в отдельных местах может достигать максимум 30см.

Рис.2



ТЛО, раскрашенные по интенсивности отраженного сигнала (слева) и выделенным классам- (справа).

Цифрами обозначены: 1 - точки, отраженные поверхностью земли; 2 - точки,

отраженные растительностью;3 - точки, отраженные зданиями и сооружениями

Инженерно-топографические планы при инженерно-геодезических изысканиях создаются по следующей схеме: полученные данные проходят первичную обработку – облака лазерных точек классифицируются, создается цифровая модель рельефа и вспомогательные материалы, по данным цифровой аэрофотосъемки строятся ортофотопланы. Затем происходит оптимизация ЦМР и дешифрирование ортофотопланов, а также согласование ЦМР с объектами местности. Наиболее значимой особенностью данной технологии для целей проектирования является формирование точной, подробной и в то же время релевантной ЦМР, которая, как правило, предоставляется как конечная продукция в виде TIN или GRID-модели и используется проектировщиками без каких-либо доработок (Рис.3).

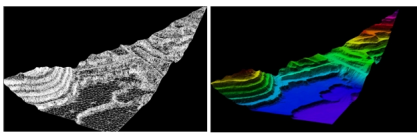


Рис.3 Цифровая модель рельефа по данным воздушной лазерной съемки

Чем же привлекателен данный метод по сравнению с традиционной наземной или стереофототопографической съемкой? Основные факторы, обеспечивающие быстрое становление ВЛС и успешное его развитие:

1.Высокая производительность по сравнению с традиционными методами топосъёмки, обусловленная аппаратными возможностями оборудования, достигающими 150 тысяч измерений в секунду, и как следствие, высокая оперативность проведения съемочных работ.

2.Минимум полевых работ по обеспечению съемки, комплексный подход к использованию данных ВЛС и цифровой АФС.

3.Уникальность метода при работе со сложным (горным) рельефом, территориями, покрытыми лесным массивом (в России площадь лесов составляет 70% от общей площади), территориями с отсутствием четких контуров, получение истинного рельефа поверхности земли для данных территорий без потери точности.

4.Создание топографических планов и карт труднодоступной местности (тундра, полностью заснеженные территории, пустыни, песчаные пляжи, скалы и т.д.), с точностью и детальностью, недостижимыми другими методами.

Все это, несомненно, сказывается на экономической эффективности метода, многократно превышающей традиционные способы создания и обновления крупномасштабных инженерно-топографических планов и карт.

К недостаткам метода можно отнести сильную зависимость от состояния атмосферы. Следует понимать, что подобная зависимость, т.е. невозможность проведения аэросъемочных работ в условиях дождя, тумана, дымки, низкой облачности - особенность всех средств дистанционного зондирования, работающих в оптическом диапазоне электромагнитного спектра.

К особенностям метода ВЛС относятся излишняя подробность получаемых материалов (традиционная интерполяция при составлении рельефа, присущая наземной и стереотопосъемке уступает место оптимизации, когда из 1-2 млн. измерений необходимо оставить 20-30 тысяч, не потеряв при этом точности и необходимой детальности. Дискретный характер первичных данных требует специализированных средств обработки, позволяющих перевести облако лазерных точек в континуальные поверхности, такие как рельеф, лесной покров, здания, сооружения и т.д. Снижение

точности с увеличением высоты съемки и ограничения по дальности (высоте) съемки определяют условия проведения полета, его тщательное планирование и неукоснительное соблюдение полетного плана, что в свою очередь зависит от квалификации экипажа, выполняющего пилотирование.

В то же время использование метода воздушного лазерного сканирования в инженерно-геодезических изысканиях сталкивается со следующими трудностями:

-отсутствует необходимая нормативно-техническая база создания и обновления топографических планов и карт, выполнения иных работ, входящих в состав инженерно-геодезических изысканий;

-не разработаны сборники цен на выполнение инженерно-геодезических изысканий методом воздушного лазерного сканирования;

-отсутствует организация, осуществляющая единую техническую политику в области внедрения в инженерно-геодезические изыскания воздушного лазерного сканирования, включая программное обеспечение.

Решение этих вопросов на федеральном уровне позволит обеспечить быстрое и эффективное внедрение в производство современного высокотехнологического метода создания топографической и картографической основы для проектирования, строительства и реконструкции линейных и площадных объектов, создания и ведения географических информационных систем, решения вопросов предварительного выбора и предоставления земельных участков.