

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СЪЕМКИ НА ОБЪЕКТАХ ТЭК

К.Ю. Шуршин («НИПИСтройТЭК»)

В 2004 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «аэрофотогеодезия». После окончания университета работал в ООО «Геокосмос-ГИС», с 2010 г. — в ОАО «Новая Энергия». С 2011 г. работает в ООО «НИПИСтройТЭК», в настоящее время — начальник группы перспективных разработок.

В сфере топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Российской Федерации в настоящее время стоят глобальные задачи по модернизации объектов и наращиванию мощностей. Единая газотранспортная система России является крупнейшей в мире, а ее общая протяженность составляет 150 тыс. км. В рамках программы модернизации российской электроэнергетики до 2030 г. планируется ввести более 150 новых подстанций в магистральных сетях, 8,5 тыс. подстанций в распределительных сетях, а также построить и реконструировать свыше 300 тыс. км линий электропередачи [1]. Для успешного решения поставленных задач по модернизации производства и эффективному использованию современных технологий, а также проектирования, строитель-

ства и эксплуатации объектов ТЭК необходимы актуальные и высокоточные геодезические данные.

Высокая детальность имеет важное значение на объектах электросетевого комплекса, где провис провода или нагрев элементов контактной сети может привести не только к аварийной ситуации, но и к более существенным последствиям. Также нельзя недооценивать возможности использования трехмерной модели объекта для внедрения нового технологического оборудования на предприятиях ТЭК. Безопасность полевых работ имеет особое значение, поскольку нахождение на территории открытых распределительных узлов или нефтеперерабатывающих заводов связано с повышенным риском для жизни.

Одним из наиболее технологичных, содержательных и безопасных методов получения геопространственных данных является мобильное лазерное сканирование (МЛС), обеспечивающее высокую детальность и наглядность получаемой информации, гарантирующее выполнение проектов в сжатые сроки, а также безопасность проведения полевых работ [2, 3]. А объединение МЛС с тепловизионной (инфракрасной) съемкой (ИК-съемкой) позволяет суще-

ственно расширить их области применения.

Рассмотрим оборудование и технологии мобильного лазерного сканирования и тепловизионной съемки, а также конечную продукцию на примере проектов, выполненных ООО «НИПИСтройТЭК».

▼ Мобильное лазерное сканирование

Система мобильного лазерного сканирования (рис. 1) состоит из двух независимых компонентов: дальномерного (сканирующего) блока и навигационного комплекса на основе глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и бесплатформенной инерциальной навигационной системы.

Активным элементом системы МЛС является полупроводниковый лазер, работающий в импульсном режиме с длиной волны в ближнем инфракрасном диапазоне спектра. Лазер излучает короткие импульсы, направление распространения которых регулируется оптической системой, в частности, входящим в ее состав сканирующим элементом. Режим сканирования выбирается таким образом, чтобы можно было получить «облако точек» с необходимой плотностью на заданном расстоянии от сканера. Попе-



Рис. 1
Система мобильного лазерного сканирования

речная развертка образуется за счет использования вращающегося зеркала, а продольная — за счет движения сканера по маршруту.

Временная синхронизация обеспечивается за счет привязки временных шкал всех компонентов системы к единому абсолютному времени, предоставляемому бортовым приемником ГНСС. При этом в процессе съемки лишь регистрируются все виды данных с соответствующими временными метками. Фактическая синхронизация происходит на этапе камеральной обработки.

Наличие приемника ГНСС, установленного на сканирующем блоке системы МЛС, позволяет определять его пространственные координаты в заданный момент времени.

В состав системы МЛС также входит инерциальный блок, обеспечивающий определение ее ориентации и координат путем интегрирования данных гироскопов и акселерометров.

Объединение устройств, функционирующих на основе различных физических принципов, в единый навигационный комплекс повышает эффективность измерений навигационных параметров. Он обладает более высокими характеристиками точности, помехоустойчивости, непрерывности и надежности по сравнению с отдельными устройствами, которые становятся взаимно дополняющими.

▼ Тепловизионная съемка

Метод тепловидения заключается в получении видимого изображения объектов по их собственному либо отраженному от них тепловому излучению (рис. 2), что открывает ряд уникальных возможностей для разных сфер деятельности.

При выполнении тепловизионной съемки используются специальные камеры — тепловизоры, которые преобразуют инфракрасное излучение в фо-

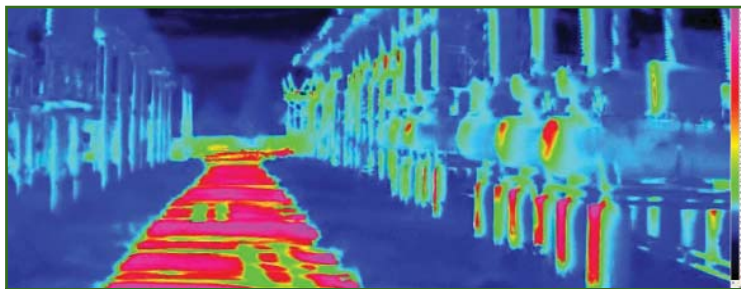


Рис. 2
Тепловизионное изображение

тографическое изображение. Любой объект создает либо отражает ИК-излучение. При этом в зависимости от температуры интенсивность ИК-излучения различных объектов неодинакова, в результате чего складывается общая картина снимаемых объектов, которая, благодаря тепловизору, может быть преобразована в видимое человеческому глазу фотоизображение.

Принцип действия тепловизора основан на преобразовании инфракрасного излучения в электрический сигнал. Посредством вычислительного блока (матрицы ПЗС, дешифратора, цифрового процессора) и объектива с установленными инфракрасными фильтрами, тепловое излучение объектов фиксируется и проецируется на жидкокристаллический экран в виде термограмм (распределения температур), отображаемых различными цветами видимой части спектра. Для определения температуры используется цветовая шкала, непосредственно встраиваемая в изображение. Одной из главных характеристик тепловизора является точность измеряемой температуры и ширина спектрального диапазона. Современные тепловизоры, применяемые для научных целей, позволяют измерять температуру объектов с дискретностью 0,05–0,1°, в спектральном диапазоне 0,4–14 мкм.

▼ Технология выполнения работ

Рассмотрим технологию мобильного лазерного сканирова-

ния совместно с тепловизионной съемкой на основе опыта специалистов компании «НИПИСтройТЭК» и имеющегося в ней оборудования: системы мобильного лазерного сканирования Riegl VMX-250 и тепловизора FLIR SC7700M. Система Riegl VMX-250 позволяет получать до 600 тыс. измерений в секунду и выполнять фотосъемку местности одновременно с четырех цифровых камер со скоростью до 16 кадров/с. Система МЛС и тепловизор могут быть установлены на различные виды транспортных средств (наземные, речные, морские и воздушные), что позволяет использовать их для съемки любых территорий, включая труднодоступные участки местности.

Мобильный сканер и тепловизор жестко закрепляют на платформе, разработанной в компании (рис. 3). Для геопространственной привязки термограмм и их синхронизации с данными мобильного сканера тепловизор подключают к при-



Рис. 3
Сканер, антенна приемника ГНСС и тепловизор, установленные на платформе

емнику ГНСС. Процесс тепловизионной съемки полностью автоматизирован. Для управления сканером и тепловизором требуется один оператор.

После проведения измерений на объекте, для дальнейшей обработки полученных данных выполняется всесторонний анализ их качества. Первым и основным критерием качества данных является точность траектории движения системы МЛС.

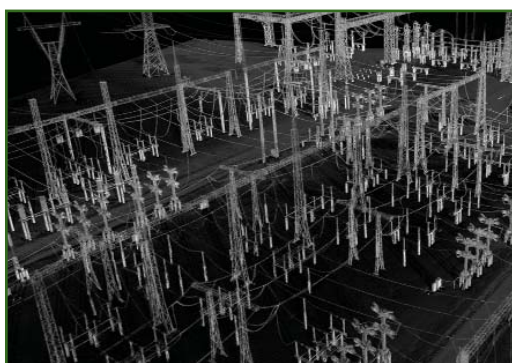


Рис. 4
«Облако точек», полученное системой МЛС

Для повышения точности данных мобильного лазерного сканирования в районе работ устанавливаются базовые станции ГНСС. При съемке небольших площадных объектов используется одна базовая станция, расположенная как можно ближе к месту проведения работ, на открытом, свободном от помех участке местности. При сканировании протяженных линейных или сложных площадных объектов (более 10 км²) рекомендуется использовать несколько базовых станций. Лучшие результаты достигаются при построении сети из 6 (и более) базовых станций ГНСС и создании на их основе виртуальной базовой станции. Данный метод позволяет существенно повысить точность траектории движения системы МЛС даже в сложных условиях съемки (городские территории, туннели, эстакады, объекты с силь-



Рис. 5
Текстурированное «облако точек»

ным электромагнитным излучением).

Мобильное лазерное сканирование и тепловизионная съемка объектов ТЭК проводятся в несколько этапов.

1. Анализ объекта съемки и планирование времени и маршрута движения системы МЛС.

2. Полевые измерения:

- установка базовых станций ГНСС;
- инициализация системы МЛС;

- настройка параметров и калибровка тепловизора;

- сбор лазерной, фото и тепловизионной информации об объекте;

- повторная инициализация системы МЛС.

3. Предварительная обработка:

- расчет траектории движения системы МЛС;

- формирование трехмерного «облака точек» лазерного сканирования вдоль траектории (рис. 4);

- взаимное уравнивание перекрывающихся «облаков точек», полученных с разных проездов;

- совмещение изображений тепловизионной съемки (термограмм) с траекторией движения системы МЛС;

- раскрашивание (текстурирование) «облака точек» по материалам фото и тепловизионной съемки (рис. 5).

4. Камеральная обработка — создание готовой продукции.

▼ Виды готовой продукции

В результате камеральной обработки данных мобильного лазерного сканирования и тепловизионной съемки могут быть получены следующие виды готовой продукции:

- «облако точек», раскрашенные по фотоснимкам и термограммам;

- геопривязанные фотоизображения и термограммы;

- трехмерные модели распределения температуры объекта;

- полигональные трехмерные модели рельефа и объектов;

- твердотельные трехмерные модели объектов (рис. 6);

- параметрические трехмерные модели объектов, позволяющие рассчитывать нагрузки, давление, напряжение и др. параметры для интересующих агрегатов;

- текстурированные трехмерные модели объектов;

- крупномасштабные цифровые топографические и инженерно-топографические планы масштаба 1:200 и мельче (рис. 7);

- продольные и поперечные профили рельефа вдоль объектов;

- различная техническая документация по объектам ТЭК: ведомости отклонений, техни-

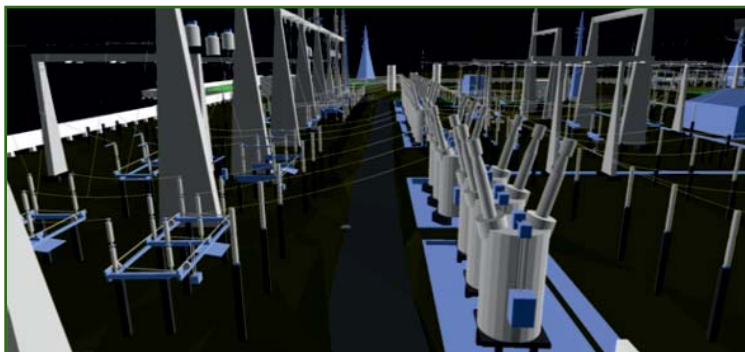


Рис. 6
Трехмерная модель электрической подстанции

ческие отчеты (включая отчеты о результатах тепловизионного обследования), карточки объектов, перечень и схемы расположения потенциально опасных участков и др.;

— ГИС-проекты, содержащие базу данных с разнообразной информацией об объектах ТЭК, позволяющие проводить анализ, моделировать ситуации, формировать запросы, рассчитывать дополнительные характеристики.

Перечисленные виды продукции готовятся в единой системе координат и временной шкале, с точностью пространственной привязки, что и исходные данные. Это позволяет комбинировать данные между собой и получать максимально возможное количество информации о снимаемом объекте.

Данные предоставляются как в электронном, так и в печатном виде. В электронном виде готовая продукция может быть представлена в различных форматах:

- векторном (ESRI Shape, Autodesk (DWG/DXF), Bentley и др.);
- растровом (Geo TIFF, ERDAS Imagine, JPG и др.);
- текстовом (ASCII, MS Word/Excel, PDF и др.).

Среди перечисленных видов продукции необходимо особо выделить «облака точек». Их подготовка не требует существенных трудозатрат. В то же время, этот вид продукции несет

большой объем точной информации о геометрии, пространственном положении и поверхностном состоянии отдельных элементов объекта. «Облака точек» могут использоваться в любой известной САПР (AutoCAD, MicroStation, Revit и др.) для проектирования, мониторинга и инвентаризации объектов.

▼ Области применения

Плотность данных мобильного лазерного сканирования составляет несколько тысяч измерений на 1 м² и зависит от скорости движения. В сочетании с данными фотосъемки, выполняемой во время сканирования, можно получить подробное трехмерное изображение объектов местности в истинном цвете и пропорциях (рис. 8). Полученные данные позволяют определять различные параметры объектов, проводить их инвентаризацию, использовать для трехмерного проектирования новых объектов.

С помощью технологии мобильного лазерного сканирования в сочетании с фотосъемкой и тепловизионным обследованием на объектах топливно-энергетического комплекса могут решаться следующие задачи:

- инженерно-геодезические изыскания;
- высокоточное определение пространственного положения отдельных сооружений;



Рис. 7
Фрагмент топографического плана масштаба 1:500, созданного по данным МЛС

- высокоточное определение геометрических параметров элементов сооружений;
- мониторинг состояния;
- предотвращение аварийных ситуаций;
- инвентаризация;
- двухмерное и трехмерное проектирование новых объектов;
- обеспечение единой системы геопространственной привязки данных.



Рис. 8
Трехмерное изображение электрической подстанции в истинном цвете и пропорциях

В настоящее время управляющие компании ТЭК сталкиваются с отсутствием достоверной и полной исполнительной документации. Подобные проблемы имеются также и на многих инженерных сооружениях РФ (газораспределительные и нефтеперерабатывающие предприятия, электрические подстанции, открытые распределительные узлы, гидроэлектростанции, объекты транспортной инфраструктуры и т. д.). В связи с этим, при реконструкции объектов требуется актуальная и высокоточная информация о состоянии инженерных сооружений. С помощью системы МЛС становится возможным в сжатые сроки выполнить полевую часть инженерно-геодезических изысканий, свести к минимуму нахождение человека на особо опасных объектах, а также исключить простои оборудования и связанные с этим материальные потери. Например, полевые работы с использованием технологии МЛС на подстанции «Балашовская» (Волгоградская область) мощностью 500 кВ и площадью 17,5 га заняли не более двух часов, а обработка данных, включая создание топографического плана масштаба 1:500, — около двух недель.

Мобильное лазерное сканирование обеспечивает абсолютную точность получения координат снимаемых объектов в 3–5 см. При этом, точность измерений взаимного положения соседних точек в «облаке точек» составляет около 5 мм, что позволяет по «облаку точек» проводить детальные измерения и определять геометрические параметры отдельных элементов объекта.

Данные тепловизионного обследования существенно дополняют данные мобильного лазерного сканирования, позволяя:

— обнаруживать дефектные контакты соединений коммутационных аппаратов и наруше-

ния ошиновки распределительных устройств;

— контролировать системы охлаждения трансформаторов, электродвигателей, выпрямителей и т. д.;

— проверять маслonaполненное оборудование;

— следить за теплоизоляцией паро- и трубопроводов;

— выявлять нарушения теплоизоляции подземных объектов;

— обнаруживать утечки сырья на трубопроводах;

— оценивать эффективности работы градирен и др.

При необходимости, «облака точек» могут быть раскрашены по геопривязанным тепловизионным изображениям. Такой подход позволяет более точно идентифицировать интересующие участки объектов ТЭК. Своевременное выявление дефектов оборудования и принятие необходимых мер по их устранению помогает избежать аварийных ситуаций.

В 2012 г. в рамках программы по модернизации российской электроэнергетики до 2030 г. компания «НИПИСтройТЭК» выполнила мобильное лазерное сканирование 11 электрических подстанций, принадлежащих ОАО «ФСК ЕЭС». Также, на нескольких из них была проведена тепловизионная съемка.

Опыт проведения этих работ показал, что на полевые измерения на одной электрической подстанции системой МЛС, включая тепловизионную съемку, необходимо около 3 часов. Трудозатраты на предварительную камеральную обработку этих данных составляют в среднем 8 чел./час.

При выполнении съемки с целью создания топографических планов масштаба 1:500 трудозатраты на весь комплекс работ по одной электрической подстанции в среднем составляют 24 чел./час. При этом следует отметить, что точность и количественные характеристики дан-

ных мобильного лазерного сканирования значительно превышают требования, предъявляемые к топографическим планам масштаба 1:500. При необходимости эти данные могут быть использованы для создания точных трехмерных моделей, контроля деформаций, создания ГИС и т. д.

Мобильное лазерное сканирование, фотосъемка и тепловизионное обследование в сочетании с воздушным лазерным сканированием наилучшим образом подходят для выполнения в сжатые сроки инженерных изысканий площадных и протяженных объектов ТЭК. Применение этих технологий позволяет существенно снизить трудозатраты на производство работ, получить широкий набор информации с высокой точностью и качеством для всеобъемлющего изучения снимаемых объектов.

▼ Список литературы

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.

2. Ковач Н.С., Клименок И.В. Проведение инженерно-геодезических изысканий крупных инженерных сооружений методами мобильного, воздушного и наземного лазерного сканирования // Инженерные изыскания. — № 5/2012.

3. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса: Учебное пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Геолидар, Геокосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. — 229 с.

RESUME

There is considered the technology of mobile laser scanning with the thermal imaging based on the experience of experts from the NIPISstroyTEK LLC and equipment available including the Riegl VMX-250 scanner and the FLIR SC7700M thermal camera. Various types of the final products are described. An assessment of this technology effectiveness is given for the projects in the RF fuel and energy complex.