

# Проведение инженерно-геодезических изысканий объектов топливно-энергетического комплекса с использованием технологий мобильного лазерного сканирования и тепловизионной съемки

К.Ю. Шуршин

начальник группы перспективных разработок<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ООО НИПИСтройТЭК, Москва, Россия

**Целью данной статьи является рассмотрение опыта использования мобильного лазерного сканирования на объектах ТЭК, описание методики выполнения работ и анализ точности получаемых данных. Также будут рассмотрены виды готовой продукции. Актуальность представленной в статье методики обусловлена необходимостью получения, дополнения и обновления большого объема картографических материалов в сжатые сроки, в чем заинтересованы проектные ведомства и эксплуатирующие организации.**

## Материалы и методы

Технологии мобильного сканирования и тепловизионной съемки.

## Ключевые слова

мобильное лазерное сканирование, тепловизионная съемка

## Введение

В настоящее время одной из важнейших целей энергетической политики России является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора. (1) Для успешного выполнения задач по модернизации производства и эффективному использованию новейших технологий предприятия нуждаются в актуальных и высокоточных геодезических данных. Которые используются для проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации объектов топливно энергетического комплекса (ТЭК).

Одним из самых технологичных, содержательных и безопасных методов является мобильное лазерное сканирование (МЛС) способное обеспечить высокую детальность и наглядность получаемых данных, выполнение проектов в сжатые сроки, безопасность выполнения изысканий. А объединение МЛС с тепловизионной съемкой позволяет существенно расширить возможности мобильной системы.

Высокая детальность имеет наибольшее значение на объектах электросетевого комплекса, где провис провода или нагрев элементов контактной сети может привести к аварийной ситуации или повлечь за собой более существенные последствия. Также невозможно недооценить использование 3-х мерной модели объекта для внедрения нового технологического оборудования на предприятиях. Безопасность выполнения работ также имеет очень важное значение, поскольку нахождение на территории открытых

распределительных узлов или нефтеперерабатывающих заводов (и т.д.) связана с повышенным риском для жизни.

Ниже будут рассмотрены технологии мобильного сканирования и тепловизионной съемки, а также приведены описания используемого оборудования и получаемой конечной продукции.

## Основные методы и применяемое оборудование мобильного лазерного сканирования

Для выполнения мобильной лазерной съемки используется система мобильного лазерного сканирования (рис. 1). Ее можно рассматривать как механическое и программное совмещение двух независимых компонентов, а именно — дальномерного (сканерного) блока, навигационного комплекса типа ГНСС и бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС).

Активным элементом системы является полупроводниковый лазер, работающий в импульсном режиме с рабочей длиной волны в ближнем инфракрасном диапазоне спектра. Лазер излучает короткие импульсы, направление распространения которых регулируется оптической системой и в частности входящим в ее состав сканирующим элементом. Режим сканирования выбирается таким образом, чтобы измерять нужное расстояние и обеспечивать необходимую плотность точек. Поперечная развертка об разуется за счет использования вращающегося зеркала, а продольная — за счет движения носителя по маршруту.

Временная синхронизация обеспечивается за счет привязки временных шкал всех приборов к единому абсолютному времени, поставляемому бортовым ГНСС приемником. При этом в процессе съемки обеспечивается лишь регистрация всех видов данных с соответствующими временными метками. Фактическая синхронизация обеспечивается на этапе постобработки.

Пространственные координаты сканерного блока определяются ГНСС приемником, который фиксирует координаты местоположения антенны.

Также, местоположение и угловая ориентация сканерного блока вычисляется с помощью инерциального блока, входящего в состав системы. Инерциальный блок позволяет вычислять ориентацию системы и координаты путем интегрирования данных триады гироскопов и акселерометров.

Основной целью интеграции является



Рис. 1 — Система мобильного лазерного сканирования

объединение измерителей, функционирующих на различных физических принципах, в единый комплекс, обладающий более высокими характеристиками точности, помехоустойчивости, непрерывности и надежности по сравнению с отдельными измерителями. Повышение эффективности в инерциально спутниковой навигационной системе (ИСНС) обусловлено тем, что отдельные измерительные устройства являются взаимно дополняющими.

#### Основные методы и применяемое оборудование тепловизионной съемки

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

Для выполнения тепловизионной съемки используются специальные камеры, называемые «тепловизоры», которые преобразуют инфракрасное (тепловое) излучение в фотографическое изображение.

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

Принцип действия современного тепловизора основан на преобразовании инфракрасного излучения в электрический сигнал. По средствам вычислительного блока (матрицы ПЗС датчиков, дешифратора, ЦП процессора) и объектива с установленными ИК

фильтрами, тепловое излучение объектов фиксируется и проецируется на ЖК матрицу в виде распределения температур, обозначенных различными цветами видимой части спектра. Для определения температуры используется цветовая шкала, непосредственно встраиваемая в изображение (термограмма). Одной из главных характеристик тепловизоров является точность измеряемой температуры и ширина спектрального диапазона. Современные научные тепловизоры позволяют различать температуру объектов с точностью до 0,05–0,1 К., в спектральном диапазоне 0,4–14 мкм.

#### Технология выполнения работ

Осуществляется мобильной сканирующей системой и тепловизором. Сканирующая система позволяет получать до 600 тыс. измерений в секунду. Совместно со сканированием, система позволяет выполнять фотосъемку местности, одновременно со 4-х фотокамер, на скорости до 16 кад/сек. Мобильный сканер и тепловизор могут быть установлены на любые виды транспортных средств (вездеход, ЖД средства, судходный транспорт), что позволяет использовать их в любых условиях и в труднодоступных районах местности. Конструкция тепловизора позволяет подключить к нему источник GPS-времени и передавать его по протоколу IIRIG-B. Все это позволяет синхронизировать лазерные и тепловизионные данные между собой и осуществить геопривязку к местности. Для управления мобильным сканером и тепловизором требуется один оператор. Процесс тепловизионной съемки полностью автоматизирован.

При проведении работ на объекте и дальнейшей обработке данных выполняется всесторонний анализ качества получаемых данных.



Рис. 2 — Метод тепловидения



Рис. 3 — Текстурированные по фотоизображениям точки мобильного лазерного сканирования

Первым и основным критерием качества лазерных данных является точность траектории движения сканирующей системы.

Для повышения точности данных мобильного сканирования, на объекте съемки устанавливают базовые ГНСС-станции. При съемке небольших площадных объектов используется одна базовая станция, расположенная как можно ближе к району работ и на открытом, свободном от помех месте. При сканировании протяженных линейных или сложных площадных объектов (более 10 кв.км) рекомендуется использовать несколько базовых станций. Лучшие показатели достигаются при построении сети из 6 (и более) базовых станций и создании на их основе виртуальной базовой станций. Данный метод позволяет существенно повысить качество обработки траекторных данных полученных в сложных условиях съемки (городские территории, туннели, эстакады, объекты с сильным электромагнитным излучением).

Выполнение мобильного лазерного сканирования и тепловизионной съемки объектов ТЭК производится в несколько этапов:

1. Анализ объекта съемки и планирования времени и маршрута движения на объекте.
2. Полевой этап работ
  - 2.1. Установка базовых ГНСС-станций.
  - 2.2. Инициализация системы мобильного лазерного сканирования.
  - 2.3. Настройка параметров и калибровка сенсора тепловизора.
  - 2.4. Сбор лазерной, фото и тепловизионной информации об объекте.
  - 2.5. Повторная инициализация системы мобильного лазерного сканирования.
3. Предкамеральная обработка.
  - 3.1. Обработка траектории движения системы.
  - 3.2. Вывод облака точек лазерного сканирования.
  - 3.3. Взаимное уравнивание перекрывающихся облаков точек лазерного сканирования полученных с разных проездов.
  - 3.4. Совмещение траекторных данных с материалами тепловизионной съемки.
  - 3.5. Раскрашивание (текстурирование) лазерных данных по материалам мобильной фотосъемки и тепловидения (рис. 3).
4. Камеральная обработка
  - 4.1. Создание различной картографической продукции.
  - 4.2. Создание твердотельных и полигональных 3D моделей рельефа и местности.
  - 4.3. Составление технической документации по исследуемым объектам.
  - 4.4. Проектирование новых объектов.
  - 4.5. Дешифрирование и анализ проблемных мест на объектах ТЭК. Разработка проектов работ по устранению выявленных дефектов.

#### Решаемые задачи

Виды задач, решаемые с использованием технологий мобильного лазерного сканирования и тепловидения объектов топливно-энергетического комплекса:

- Выполнение инженерно-геодезических изысканий.
- Высокоточное определение пространственного положения объектов ТЭК.
- Высокоточное определение

геометрических параметров объектов ТЭК.

- Мониторинг состояния объектов ТЭК.
- Предотвращение аварийных ситуаций.
- Инвентаризация объектов ТЭК.
- 2D\3D проектирование новых объектов ТЭК.
- Обеспечение единой системы привязки геопространственных данных.

В настоящее время управляющие компании ТЭК сталкиваются с недостоверностью и неполнотой исполнительной документации, которая присутствует на многих инженерных сооружениях РФ (газораспределительные и нефтеперерабатывающие предприятия, электрические подстанции, открытые распределительные узлы, гидроэлектростанции, объекты транспортной инфраструктуры и т.д.). В связи с чем, при реконструкции и строительстве новых объектов требуется актуальная и высокоточная информация о текущем состоянии объекта. Используя систему мобильного лазерного сканирования, становится возможным в сжатые сроки выполнять полевую часть геодезических изысканий, свести к минимуму нахождение человека на особо опасных объектах, а также простой оборудования и связанные с этим материальные потери. Например, полевые работы по мобильному лазерному сканированию ПС Балашовская (площадью 17,5 га) заняли не более 2 часов, а обработка данных, включая создание топографического плана 1:500 масштаба, заняла не более 2-х недель.

Мобильное лазерное сканирование обеспечивает абсолютную точность получения данных на уровне 3-5см, что позволяет точно определить положение объектов в пространстве. При этом, внутренняя точность составляет — 8 мм, что позволяет производить точные измерения и определять геометрические параметры объектов по облаку точек лазерного отражения.

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

- обнаружение дефектных контактов соединений коммутационных аппаратов и ошиновки распределительных устройств;
- контроль систем охлаждения, трансформаторов, электродвигателей, выпрямителей и т.д.;
- проверка маслоснаполненного оборудования;
- теплоизоляция паро- и трубопроводов;
- нарушение теплоизоляции подземных объектов;
- обнаружение утечек сырья на трубопроводах;
- проверка эффективности работы градирен;
- и др.

При необходимости, облака точек лазерных отражений могут быть раскрашены по геопривязанным тепловизионным изображениям (термограммам). Такой подход позволяет более точно идентифицировать интересные участки объектов ТЭК. Своевременное выявление дефектов оборудования и принятие необходимых мер по их устранению позволяют избежать аварийных ситуаций.

Плотность данных мобильного сканирования составляет несколько тысяч измерений на квадратный метр и зависит от скорости движения. В сочетании с данными мобильной

фотосъемки и тепловидения, выполняемых во время сканирования, мы получаем подробную 3-х мерную картину объектов местности в истинном цвете и пропорциях. Полученные данные позволяют определять различные параметры объектов, производить их инвентаризацию, использовать для 3D проектирования новых объектов.

Все перечисленные виды данных получают в единой системе координат и временной шкале. Результаты обработки данных (картографические материалы, 3D модели, профили) получают с той же пространственной привязкой, что и исходные данные. Это позволяет комбинировать данные между собой и получать максимально возможное количество информации о снимаемом объекте.

Следует отметить, что точностные и количественные характеристики данных сканирования значительно превышают требования к топографической съемке 1:500 масштаба. При необходимости данные могут быть использованы для создания точных 3D моделей, контроля деформаций объектов, создания ГИС и т.д.

#### Виды готовой продукции

По результатам мобильного лазерного сканирования и тепловизионной съемки могут быть получены следующие виды материалов:

1. Облака точек лазерного отражения раскрашенные по фотоснимкам и термограммам (рис.4).
2. Геопривязанные фотоизображения и термограммы.
3. Термические модели.

4. Полигональные 3-х мерные модели рельефа и объектов ТЭК.
5. Твердотельные 3-х мерные модели объектов ТЭК (рис.5).
6. Параметрические 3-х мерные модели объектов ТЭК позволяющие рассчитывать нагрузки, давление, напряжение и др. параметры для интересующих агрегатов.
7. Текстурированные (раскрашенные) 3-х мерные модели объектов ТЭК.
8. Крупномасштабные цифровые топографические и инженерно-топографические планы масштаба 1:200 и мельче (рис.6).
9. Продольные и поперечные профили рельефа вдоль объектов ТЭК.
10. Различная техническая документация по объектам ТЭК: ведомости отклонений, технические отчеты (включая, отчеты о результатах тепловизионного обследования), карточки объектов, перечень и схемы расположения потенциально опасных участков и др.
11. ГИС, содержащая базу данных с разнообразной информацией об объектах ТЭК. позволяющая проводить анализ, моделировать ситуации, формировать запросы, рассчитывать дополнительные характеристики.

Все виды данных могут быть представлены как в электронном, так и в печатном виде, в единой системе координат. В электронном виде, данные могут быть представлены 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

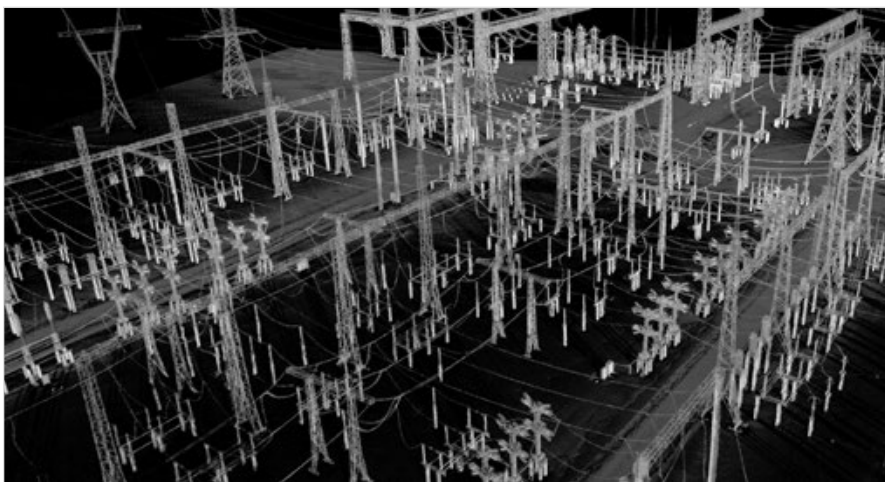


Рис. 4 — Облако точек мобильного лазерного сканирования

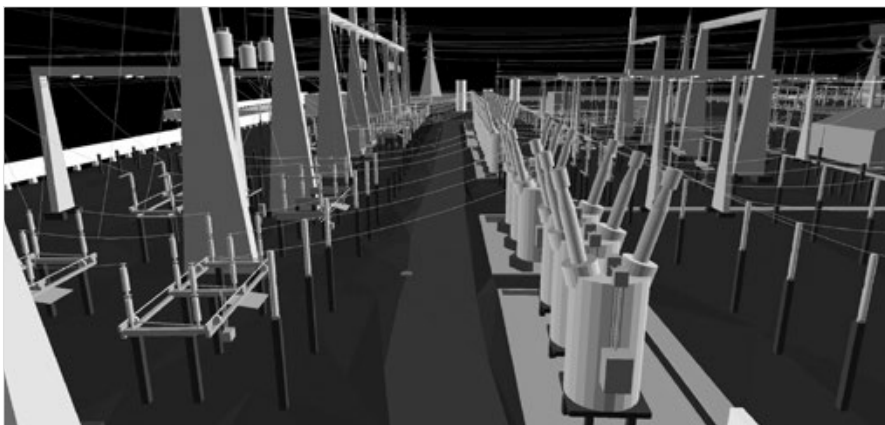


Рис. 5 — Трехмерная модель электрической подстанции

необходимо особо выделить - облака точек лазерного отражения. Данный вид продукции не требует существенных затрат на его получение. В тоже время, данный вид продукции несет большой объем точной информации о геометрии, пространственном положении и поверхностном состоянии объектов. Данные могут быть загружены в любое известное программное обеспечение САПР (AutoCad, MicroStation, Revit и др.) и использоваться для проектирования, мониторинга и учета объектов.

### Итоги

На данный момент, общая протяженность Единой Газотранспортной Системы России составляет 150 тыс.км. и является крупнейшей в мире. Одной из основных задач является удовлетворение растущей потребности в природном газе на европейском рынке и повышения надежности газоснабжения. В сфере электроэнергетики страны, также стоят глобальные задачи по модернизации объектов и наращиванию мощностей. В рамках программы модернизации российской электроэнергетики до 2020 года планируется ввести более 150 новых подстанций в магистральных сетях, 8,5 тыс. единиц подстанций в распределительных сетях, а также строительство и реконструкция свыше 300 тыс. км линий электропередачи.

### Выводы

Для выполнения поставленных задач, требуется выполнения большого комплекса работ по инженерным изысканиям объектов ТЭК. Для выполнения изыскательских

работ в сжатые сроки и с высокой точностью потребуются использование новейшего геодезического оборудования и технологий. Мобильное лазерное сканирование, фото-съемка и тепловизионное обследование в сочетании с воздушным лазерным сканированием, наилучшим образом подходят для выполнения инженерных изысканий площадных и протяженных объектов ТЭК. Позволяют существенно снизить трудозатраты на производство работ, получить широкий набор информации с высокой точностью и качеством для всеобъемлющего изучения снимаемых объектов.

### Список используемой литературы

1. Распоряжение правительства РФ от 13 ноября 2009г. №1715-Р: Энергетическая стратегия России на период до 2030 года.
2. Проведение инженерно-геодезических изысканий крупных инженерных сооружений методами мобильного, воздушного и наземного лазерного сканирования // Инженерные изыскания. №5. 2012.
3. Медведев Е.М., Мельников С.Р., Данилин И.М. Лазерная локация земли и леса (учебное пособие). 2007. По материалам сайтов: [www.minenergo.gov.ru](http://www.minenergo.gov.ru) и [www.gazprom.ru](http://www.gazprom.ru)

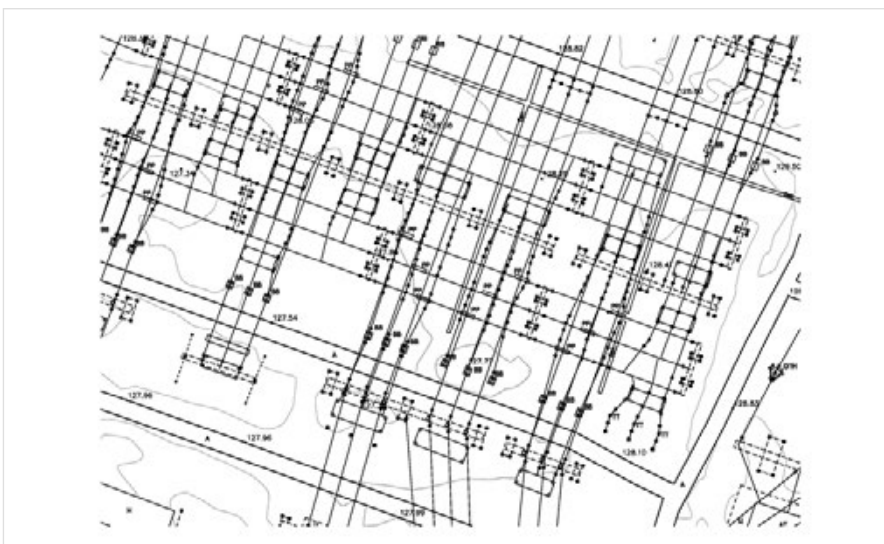


Рис. 6 — Топографический план М 1:500 созданный по данным мобильного лазерного сканирования

ENGLISH

DIAGNOSTICS

## Carrying out topographical survey of the fuel and energy complex, using mobile laser scanning technology and thermal imaging survey

UDC 620.1

### Authors:

Kirill Yu. Shurshin — head of prospective developments<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NIPISstroyTEK LLC, Moscow, Russian Federation

### Abstract

The purpose of this paper is to examine the experience of using a mobile laser scanning objects FEC, description of the methods of work and analysis of the accuracy of the data. It will also consider types of finished products. The relevance of the method in the article due to the necessity of obtaining, additions and updated large amounts map materials a tight schedule, what interested the design departments and operators.

### Materials and methods

Mobile scanning technology and thermal imaging survey.

### Results

Currently, the total length of the

Unified Gas Transportation Systems of Russia is 150 thousand km and is the largest in the world. One of the main tasks is the satisfaction the increasing demand for natural gas in the European market and increase reliability of gas supply. In energy, the country also faces global challenges to modernize facilities and expand capacity. As part of the modernization of the Russian power industry until 2020 to introduce more than 150 new substations in backbone networks, 8.5 thousand units of substations in distribution networks, as well as construction and renovation of more than 300 thousand km of transmission lines.

### Conclusions

To perform the tasks need to doing a lot of works on engineering research facilities FEC.

To carry out survey work a tight terms and with high accuracy require the use of modern surveying equipment and technology. Mobile laser scanning, photography and thermal imaging survey in conjunction with airborne laser scanning are best suited to carry out engineering studies of area and extended objects FEC. Considerably reducing labor costs for production work, get a wide range of information with high precision and quality for a comprehensive study subjects.

### Keywords

mobile scanning technology, thermal imaging survey

### References

1. Disposal of the Government of the Russian Federation of November 13, 2009. № 1715-R: *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda* [Energy Strategy of Russia until 2030].
2. *Provedenie inzhenerno-geodezicheskikh*

*izyskaniy krupnykh inzhenernykh sooruzheniy metodami mobil'nogo, vozdushnogo i nazemnogo lazernogo skanirovaniya* [Carrying out topographical survey of major engineering structures methods of mobile, airborne and terrestrial laser scanning]. *Engineering*

- survey, issue 5, 2012.
3. Medvedev E.M., Melnikov S.R., Danilin I.M. *Lazernaya lokatsiya zemli i lesa* [Laser ranging land and forests]. Tutorial, 2007. Based on materials: [www.minenergo.gov.ru](http://www.minenergo.gov.ru) and [www.gazprom.ru](http://www.gazprom.ru)