



Высокоточная съемка промышленных объектов методом лазерного сканирования с последующим 3D-моделированием

Александр Вальдовский, Владимир Семькин, Галина Морозова

Проектные институты, специализирующиеся на проектировании промышленных или энергетических объектов, вынуждены постоянно решать две задачи: актуализация исполнительной документации на подлежащий реконструкции объект и контроль качества строительства нового объекта. В обоих случаях задачи традиционно решаются путем постоянных выездов на объект бригад изыскателей.

Изначально подобная технология обследования объектов кажется предельно экономичной.

Однако при таком подходе проектировщики вынуждены собирать необходимую информацию из множества мелких разрозненных кусочков, полнота и качество каждого из которых во многом зависит от профессионализма исполнителя. Кроме того, неизбежен перевод этой информации в цифровой вид, а здесь опять вступает в силу «человеческий фактор», в лучшем случае приводящий к задержкам по времени, а чаще всего — к искажениям, ошибкам, повторным выездам на объект и пр.

Расходы средств и времени нарастают как снежный ком, возникают постоянные неясности между проектированием в программных 3D-комплексах и сбором полевой информации на «бумажных ноутбуках». В конечном итоге это приводит к снижению качества проектов и конкурентоспособности института.

Давно назрела необходимость в комплексных технологиях сбора больших объемов точной информации об объектах строительства или реконструкции сразу в цифровом виде и методами, позволяющими свести к минимуму влияние человеческого фактора.

Технология лазерного сканирования является полностью адекватным решением этой проблемы в части, касающейся сбора информации о точной геометрии объектов.

Лазерное сканирование

Технология лазерного сканирования основана на измерении расстояния от лазерного дальномера до поверхности сканируемого объекта и двух углов (горизонтального и вертикального), определяющих направление вектора от лазерного дальномера до объекта в местной системе координат. Такой же набор измерений обеспечивают и цифровые тахеометры. Разница заключается в том, что при сравнимой точности тахеометров и лазерных сканеров (3-5 мм в определении координат отдельных точек), производительность сканера выше в тысячи раз. Производительность тахеометра — от одного до трех измерений в минуту. Производительность современных лазерных сканеров — от тысяч до сотен тысяч измерений в секунду.

Александр Вальдовский

Исполнительный директор
ООО «Навгеоком инжиниринг».

Владимир Семькин

Ведущий инженер
ООО «Навгеоком инжиниринг».

Галина Морозова

Заместитель главного инженера
по новым технологиям проектирования
ЗАО «ПИЦ УралТЭП».

Скорость измерений лазерного сканера регулируется оператором в зависимости от потребной плотности и точности измерений. Полученный набор миллионов точек называется «облаком точек» и впоследствии может быть представлен в виде твердотельной трехмерной модели объекта, плоского чертежа, набора сечений, поверхности и т.д.

В отличие от традиционных геодезических измерений, лазерное сканирование позволяет получить с беспрецедентной детальностью 1-2 см цифровую модель всего объекта, а не его отдельных частей.

Огромное количество избыточных измерений позволяет получить наиболее достоверные полевые данные, особенно о местах, труднодоступных для съемки традиционными технологиями (тахеометры, GPS).

За счет высокой скорости и автоматизации процесса сканирования технология лазерного сканирования обеспечивает существенный рост производительности съемки и сокращение количества полевых бригад. Однако для того, чтобы извлечь все преимущества технологии сканирования, требования к опыту и квалификации геодезиста предъявляются гораздо более высокие, нежели при использовании традиционных геодезических технологий.

Избыточный объем данных лазерного сканирования позволяет получить объективную информацию, предельно свободную от индивидуальных особенностей и ошибок исполнителей в поле и в камеральных условиях. Точечная 3D-модель объекта может состоять из миллиардов точек, что налагает очень высокие требования на производительность компьютеров и на способность ПО одновременно обрабатывать такие объемы информации. Так же как на полевом этапе работ, при камеральной обработке данных сканирования максимальная производитель-



Сканирование трубопроводов на ГРЭС



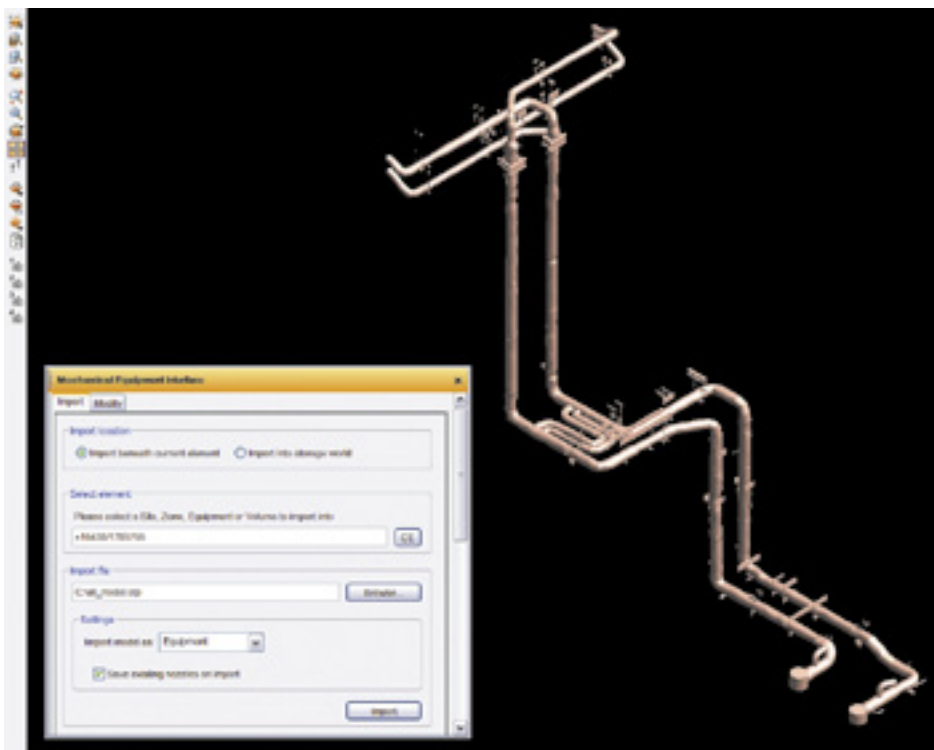
ность может быть достигнута только за счет высокой квалификации специалистов, способных правильно идентифицировать, выделять и моделировать только необходимые объекты при огромном объеме исходной измерительной информации.

Технология съемки и структура данных, получаемых с лазерных сканеров (в отличие от традиционных средств измерения), изначально ориентированы на их максимально простую передачу в программы для проектирования и ГИС. В то же время все основные производители программного обеспечения для проектирования объектов гражданского и промышленного строительства уже создали собственные модули для работы с данными лазерного сканирования. В результате взаимные усилия разработчиков сканеров и разработчиков программного обеспечения позволили проектировщикам существенно упростить импорт и работу с данными лазерного сканирования для проектировщиков.

Интеграция цифровой фотокамеры и лазерного сканера в одном устройстве позволяет осуществлять автоматическое фотографирование объекта в процессе съемки. Это существенно упрощает задачу идентификации объектов на скане и снижает зависимость камеральной обработки от описаний объектов полевой бригадой, а при необходимости дает возможность совмещения облака точек с цифровой фотографией.

Дополнительным, но в то же время важным отличием использования технологии лазерного сканирования совместно с программами для проектирования и ГИС является многообразие вариантов представления результатов сканирования:

- облако точек — непосредственный результат сканирования, позволяющий заказчику самостоятельно производить геометрические измерения или строить модель полезных объектов или его элементов;
- векторная 3D-модель объекта или с различной точностью и степенью детализации;



Передача данных в систему AVEVA PDMS с помощью модуля Mechanical Interface

- точная модель геометрии объекта с указанием контролируемых отклонений от строительной документации;
- 2D-чертежи — планы, проекции, разрезы, сечения;
- восстановленная исполнительная документация объекта с указанием всех элементов конструкции и элементов инфраструктуры в соответствии с требованиями СНиП.

Создание трехмерной модели трубопровода горячего промперегрева блока 800 МВт Пермской ГРЭС

По заказу проектного института «УралТЭП» специалистами компании «Навгеоком Инжиниринг» был выполнен комплекс работ по лазерному сканированию двух ниток трубопровода горячего промперегрева Пермской ГРЭС (объект работ).

Работы выполнялись для реализации последующей реконструкции объекта. Заказчик в своих проектных работах использует технологии 3D-моделирования. Так, с самого начала проект реконструкции

трубопроводов ведется в системе AVEVA PDMS. Современные решения компании AVEVA сопровождают объект на протяжении всего его жизненного цикла: от разработки технологической части и компоновки объекта в 3D-модели с выпуском рабочей документации до ввода в эксплуатацию, ремонтных работ и модернизации. Помимо этого AVEVA PDMS включает специализированный модуль AVEVA Laser Model Interface для работы с «облаками точек», полученных с помощью систем лазерного сканирования. Данный модуль позволяет работать с трехмерными объектами «как построено», тем самым делая процесс проектирования интуитивным и наглядным. Тесное взаимодействие технологии лазерного сканирования и системы AVEVA PDMS гарантирует получение точной и достоверной исходной информации об объекте.

Традиционно работы по проведению лазерного сканирования объектов выполняются в два этапа: полевой этап — сканирование; камеральный этап — обработка данных сканирования и

построение моделей интересных объектов.

Выполнение полевых работ на данном объекте осложнялось рядом обстоятельств:

- повышенная стесненность и большая насыщенность объекта технологическим оборудованием постоянно ограничивали видимость сканируемых элементов, а также установки сканера. Это серьезно затрудняло процесс сканирования и увеличивало количество сканов;
- работы проводились в условиях действующего производства объекта категории «опасный производственный объект». Имели место сильные вибрации и биения, а также повышенные температуры (до 70°C);
- вертикальная протяженность объекта превышала 80 м. На этой длине трубопровод проходил через восемь этажей здания ГРЭС с очень ограниченными зонами видимости между этажами, что значительно осложнило создание опорной геодезической сети, необходимой для привязки сканов в единую систему координат.



Все означенные проблемы были успешно преодолены благодаря уникальному опыту и высокому профессионализму исполнителей.

Лазерное сканирование выполнялось с помощью высокоточной фазовой сканирующей системы. Общее количество станций (точек стояния прибора) составило 182. Результат полевого этапа — сшитое облако точек, содержащее примерно 1,7 млрд единичных измерений. Гео-

дезическая привязка осуществлялась тахеометром с 32 точкой хода. Полевые работы выполнялись в течение 15 дней бригадой из четырех специалистов.

На камеральном этапе производилась обработка данных сканирования и 3D-моделирование. Эти работы были выполнены двумя специалистами за 28 дней.

3D-моделирование выполнялось в масштабе 1 : 1 методом вписывания в облако точек векторных примитивов. Сильно

деформированные участки трубопроводов моделировались поверхностями с последующим их преобразованием в твердые тела (Solid). Помимо трубопроводов моделировались элементы подвесов трубопроводов, металлоконструкции крепления подвесов и опор трубопроводов, врезки и видимые элементы КИП трубопровода. В результате моделирования создана детальная 3D-модель объекта, с высокой точностью соответствующая оригиналу.

На завершающем этапе результаты обработки данных были выгружены в систему AVEVA PDMS. Импорт осуществлялся посредством модуля Mechanical Interface, доступного в версии 12.0SP5. Mechanical Interface позволяет обмениваться данными через нейтральный формат STEP AP203 практически со всеми известными машиностроительными 3D-пакетами. Размер импортируемого файла составил 43 Мбайт. Общее вре-

3D-проектирование трубопроводов на основе лазерного сканирования

Институт ЗАО «ПИЦ УралТЭП» — это современное предприятие по проектированию объектов энергетики. Почти с самого своего основания институт в своей работе применяет новые технологии — он активно сотрудничает с фирмой AVEVA, используя передовую систему трехмерного проектирования PDMS (Plant Design Management System).

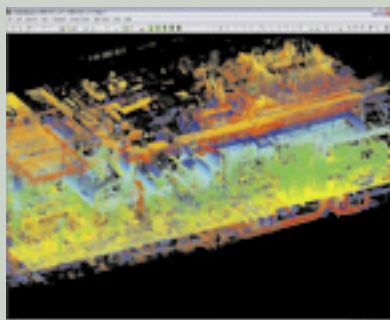


Рис. 1

Одним из этапов внедрения новых технологий в проектировании стало трехмерное лазерное сканирование¹, которое применялось для выполнения проекта по реконструкции трубопроводов горячего промперегрева Пермской ГРЭС с учетом фактической трассировки ближайших трубопроводов и расположения металлоконструкций, находящихся в зоне трассы паропровода.

Не обладая опытом работы подобного рода в предпроектных обследованиях, на первоначальном этапе необходимо было правильно учесть в техническом задании цели и задачи лазерного сканирования, чтобы в результате получить работоспособную модель в системе PDMS.

Для решения задачи по трехмерному лазерному сканированию, созданию точечной трехмерной модели (единого «облака точек») и векторной трехмерной модели паропроводов ГПП была привлечена компания ООО «НАВГЕОКОМ ИНЖИНИРИНГ», имеющая опыт сканирования промышлен-

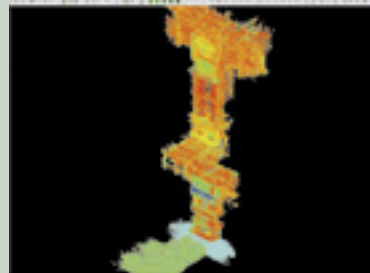
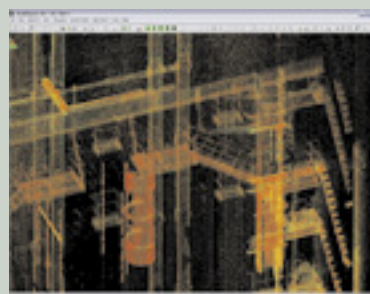
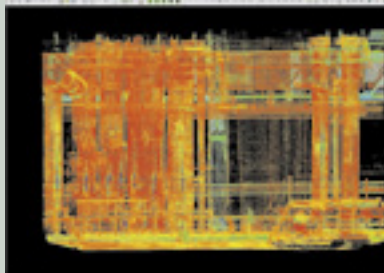
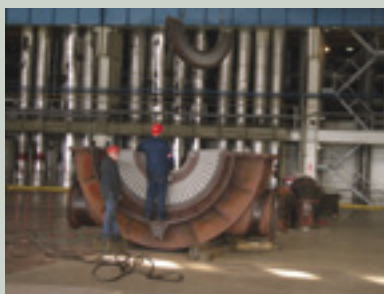


Рис. 1

ных объектов, которая выполнила следующие работы:

- лазерное сканирование трубопроводов ГПП (две нитки) от границы присоединения к котлу до границы присоединения к стопорному клапану турбины;
- фильтрацию и «сшивку» сканов² в единое «облако точек» в формате Leica HDSCyclon3 (*.imp);
- привязку сканов к единой системе координат, где за начало координат принята точка пересечения ряда А и оси 1, а за нулевую отметку принят уровень чистого пола машинного зала;
- создание векторной трехмерной модели (в виде примитивов) трубопроводов ГПП с опорно-подвесной системой и элементами строительных конструкций. Работы по обследованию точечной трехмерной модели и векторной трехмерной

² Во время съемки объекта для полного покрытия поверхности требуется провести несколько сканов (съемок). Для создания единого скана производят процедуру объединения — «сшивки» сканов.

³ Оборудование компании Leica Geosystems для лазерного сканирования.

модели трубопроводов ГПП, ее сравнение с проектной моделью, выполненной специалистами ЗАО «ПИЦ УралТЭП», проверка опорно-подвесной системы, коллизий и т.д. велась в несколько стадий.

Обследование единого «облака точек»

Формат Leica HDSCyclon (*.imp) не позволяет проводить проектные и исследовательские работы с моделью, поэтому специалисты ЗАО «ПИЦ УралТЭП» с помощью Laser Model Interface — модуля PDMS, предоставленного фирмой AVEVA, провели интеграцию и получили в Laser Model Interface модель в виде «облака точек».

«Облако точек» представляет собой гигантский набор точек (от сотен тысяч до нескольких миллионов), имеющих координаты с точностью в несколько миллиметров, поэтому стало понятно, что проверка проектируемого трубопровода ГПП с окружающими его системами на коллизии невозможна без дополнительной обработки точечной трехмерной модели. После обработки «облака точек» можно получить реальные виды отсканированных систем.



мя загрузки геометрии в PDMS не превысило минуты. Все элементы модели трубопровода (трубы, подвески, конструкции здания) интерпретируются системой как твердые тела. После импорта файла в графическом окне можно получить визуальное представление об отсканированном объекте. Более того, импортированная геометрия также может быть использована при проверках на коллизии и получении чертежей. В итоге

готовая 3D-модель, созданная в AVEVA PDMS, была передана заказчику.

В результате выполненных работ были получены и переданы заказчику следующие материалы:

- точечная 3D-модель объекта с прилегающими конструкциями и оборудованием, находящимся в радиусе 3 м. Итоговое облако точек состоит из ~430 млн единичных измерений и представлено в формате IMP;

- технический отчет;
- подробная 3D-модель в формате AVEVA PDMS.

По мнению заказчика, полученная 3D-модель позволяет полностью актуализировать исполнительную документацию по реконструируемому трубопроводу и осуществлять проектирование новых линий трубопроводов в реальной конструктивной обстановке.

Поскольку измерения, выполняемые лазерным сканером,

избыточны, помимо объектов, указанных в техническом задании, в область съемки попали все прилегающие элементы: несущие конструкции здания, технологическое оборудование, соседние трубопроводы. При необходимости облака точек, содержащие эти элементы, могут быть использованы для решения дополнительных задач заказчика или организации, эксплуатирующей Пермскую ГРЭС. ►



Рис. 3. «Облако точек» и векторная 3D-модель из примитивов

Из представленных на рис. 1 и 2 видов понятно, что «облако точек» позволяет оценить положение некоторых систем, например металлоконструкций, трубопроводов и т.д., на соответствие действующим рабочим чертежам и принять правильное решение при креплении опорно-подвесной системы.

Векторные трехмерные модели трубопроводов ГПП

По результатам лазерного сканирования компанией ООО «НАВГЕОКОМ ИНЖИНИРИНГ» методом вписывания в «облако точек» векторных примитивов была выполнена векторная трехмерная модель трубопроводов ГПП с элементами опорно-подвесной системы (рис. 3). Модель выполнена в масштабе 1:1, начало координат соответствует пересечению ряда А и оси 1. За нулевую отметку принят уровень чистого пола машинного зала. Данная векторная трехмерная модель трубопроводов ГПП с помощью фирмы AVEVA была интегрирована в формат PDMS — интегрированная модель, которая показывает реальное положение трубопроводов ГПП и их опорно-подвесной системы. В интегрированной модели хорошо видны коллизии трубопроводов ГПП (рис. 4).

Параллельно с обследованием единого «облака точек» специалисты ЗАО «ПИЦ УралТЭП» в системе PDMS выполнили следующие модели:

- вновь проектируемых трубопроводов ГПП с элементами металлоконструкций каркаса — проектная модель;

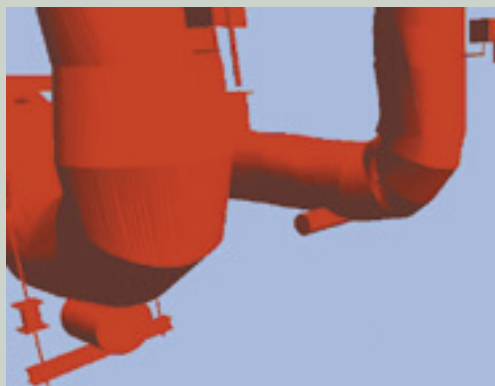


Рис. 4. Коллизии ГПП с соседними трубопроводами и их опорно-подвесной системой

- трубопроводов ГПП для горячего состояния по результатам расчета на прочность — расчетная модель.

Проектная и расчетная модели выполнены в той же системе координат, что и интегрированная модель.

После получения всех моделей было проведено их совмещение: проектной и интегрированной моделей, а также расчетной и интегрированной моделей. На рис. 5 показано совмещение проектной (желтый цвет) и интегрированной (красный цвет) моделей.

Результаты совмещения моделей

Результаты сравнительного анализа проектной и интегрированной, а также расчетной и интегрированной моделей, выявили реальное смещение трубопроводов ГПП в местах подсоединения к котлу на 525 мм в сторону оси 9. В районе стопорного клапана турбины отклонений не выявлено.

Специалисты ЗАО «ПИЦ УралТЭП» оценили значение интегрированной модели при выполнении опорно-подвесной системы трубопроводов горячего промперегрева. Многие металлоконструкции, к которым выполнено крепление опор, не отражены в действующих чертежах. На модели также хорошо видны места установки указателей тепловых перемещений, отмечены места сварных швов и показано реальное положение растяжек в районе котла и стопорного клапана турбины (рис. 6).

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что лазерное сканирование суще-

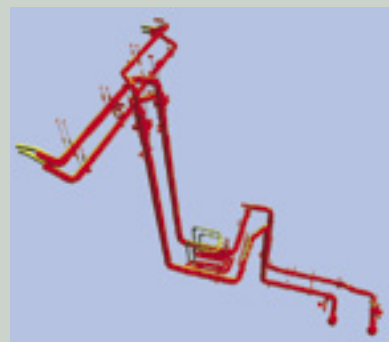


Рис. 5. Общий вид трубопроводов ГПП

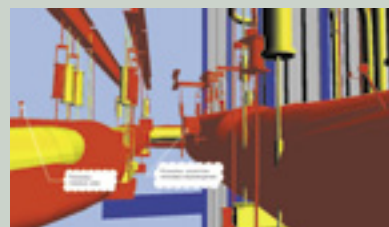


Рис. 6. Сварные швы и указатели тепловых перемещений

ственным образом влияет на проектные работы при реконструкции различных систем, показывая их реальное состояние. Важную роль играет векторная трехмерная модель, которая должна быть максимально полной. Например, для трубопроводов ГПП в модели выполнены только небольшие фрагменты металлоконструкций — правильной было бы воссоздать часть каркаса в районе этих трубопроводов, а особенно в районе котла.

Применение лазерного сканирования обеспечивает следующие преимущества:

- сокращение времени на выполнение проекта;
- сохранение существующих металлоконструкций при выполнении опорно-подвесной системы вновь проектируемых трубопроводов;
- правильное расположение сварных швов;
- возможность проанализировать и показать заказчику тепловые перемещения оборудования и металлоконструкций;
- сокращение времени монтажа;
- уход от старых коллизий при выполнении проекта.