

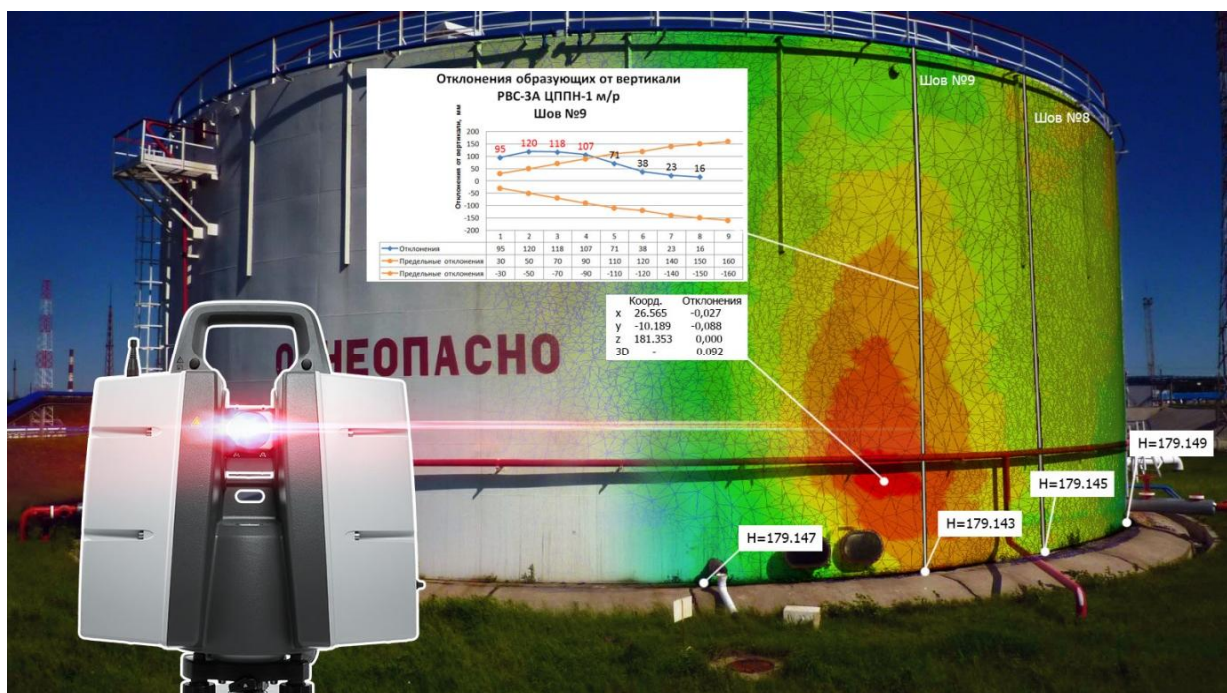
УДК 528.721.221.6

С.И.Котельников

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА НЕФТЕНАЛИВНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Аннотация.

Старые стандарты по съемке резервуаров не обеспечивают качественный, быстрый и надежный с точки зрения точности и объективности данных результат. Технология сканирования позволяет получать трехмерные модели резервуаров, по которым в результате обработки данных могут быть получены калибровочные таблицы, данные об отклонении формы резервуара от идеальной или проектной с анализом величины отклонений, оценка вертикальности стенок, отклонений от горизонтали наружного контура днища и т.д. Высочайшая производительность и автоматизация полевых работ при использовании метода лазерного сканирования позволяют провести эту работу максимально оперативно, точно и с высокой степенью объективности конечных данных.



Точное документирование геометрии нефтеноаливных резервуаров актуально не только для калибровки и поверки с целью определения объема, но и для мониторинга, который включает в себя периодическое инспектирование и анализ целого ряда геометрических параметров.

Несмотря на кажущуюся простоту формы резервуара, которая, в случае, например, вертикальных стальных резервуаров, близка к цилиндрической, их реальная геометрия далека от идеальной. Это касается как новых, так и в большей степени уже эксплуатирующихся объектов. Для резервуаров больших объемов (тысячи кубических метров и выше) процесс проведения измерений – достаточно трудоемкая процедура, и задача его оптимизации - крайне актуальна.

До недавнего времени самыми передовыми измерительными приборами для этих целей считались стандартные тахеометры и нивелиры, главный недостаток которых – большое количество измерений,

выполняемых вручную, что определяет высокую вероятность ошибок субъективного характера. Кроме того, из-за низкой скорости и автоматизации такой съемки нет гарантии того, что все необходимые детали геометрии резервуара будут отражены.

Наземное лазерное сканирование – современная технология трехмерной съемки объектов, которая уже показала свою эффективность при реконструкции промышленных объектов, в архитектуре, строительстве, горном деле и целом ряде других областей. Важно отметить, что сканер позволяет оперативно производить детализированную трехмерную съемку в существенно автоматизированном режиме, что минимизирует влияние оператора на процесс полевых работ. Последние модели систем сканирования от швейцарской компании Leica Geosystems – ScanStation P30 и P40 (с максимальной дальностью 120 м и 270 м соответственно) - обладают целым рядом уникальных особенностей, которые имеют принципиальное значение именно для мониторинга резервуаров (рис.1):

- Высокая скорость полевых работ. Здесь имеется в виду не только максимальная скорость измерений – до миллиона точек в секунду, которая уже

стала стандартом для современных приборов такого класса. Такая скорость в большинстве «быстрых» сканеров достигается лишь при минимальной величине параметра «Качество данных», при котором объекты оцифровываются с достаточно грубой точностью. Улучшение качества данных до приемлемого уровня достигается путем увеличения количества измерений на каждую точку и усреднения полученной информации, что приводит к существенному увеличению времени съемки. Реальная скорость при этом может упасть с миллиона до десятков тысяч точек в секунду. В настройках сканирования ScanStation P30/40 понятие «Качество данных» отсутствует – даже при одном измерении на каждую точку достигается миллиметровая точность дальномера. Этот нюанс оказывает существенное влияние на время нахождения на каждой станции, то есть на скорость проведения полевых работ в целом.

- Высокое качество данных. Точность дальномера ScanStation P30/40 согласно техническим характеристикам - 1.2 мм + 2ppm, то есть миллиметровую точность можно получить на всем диапазоне расстояний.

- Возможность работы при любых погодных и климатических условиях. Указанные выше характеристики скорости и точности обеспечиваются в диапазоне температур от -20 до +50°C, работать можно в дождь и снег. Рабочая температура - действительно важный параметр, так как часто возникают задачи сезонного мониторинга резервуаров, то есть необходимо выполнять съемку в том числе и зимой.



Максимальная дальность	120 м (P30), 270 м (P40)
Скорость сканирования	1 млн. измерений в секунду
Точность дальномера	1.2 + 2 ppm
Встроенная HDR-фотокамера	присутствует
Рабочая температура	От -20 до +50°C
Пылевлагозащита	IP54
Возможность самостоятельной калибровки	присутствует

Рис. 1. Основные технические характеристики сканеров Leica ScanStation P30 и P40

Для того, чтобы более полно раскрыть все преимущества технологии сканирования в целом и решения Leica Geosystems в частности, а также показать, что происходит на этапе постобработки данных и получения конечного результата, рассмотрим стандартную схему работы по съемке и обработке данных сканирования резервуара на практике.

Полевые работы, как уже было сказано выше, включают в себя создание геодезического обоснования и собственно выполнения сканирования. Коротко о некоторых важных особенностях этого этапа:

- плотность точек на большей части поверхности резервуара должна быть не ниже 5 мм. Основания для съемки с такой высокой детализацией есть. Во-первых, на результатах сканирования должны хорошо идентифицироваться вертикальные и горизонтальные швы, которые представляют собой узкие

- Интеграция систем сканирования Leica с традиционной геодезией. Для того чтобы проследить за изменениями геометрии резервуара во времени, требуется привязка данных сканирования к местной системе координат в рамках каждого цикла измерений. С помощью специальных адаптеров можно установить призму или GNSS-антенну на сканер и, таким образом, точно определить точку стояния прибора. Кроме этого, ScanStation P30/P40 – это фактически полноценный геодезический прибор. Его можно установить на точке с известными координатами, измеряя высоту сканера с помощью специальной рулетки с поправкой до оптического центра прибора, вводить координаты точек стояния сканера и марок во время полевого этапа или закачать эти координаты в прибор заранее. Внутреннее программное обеспечение сканера поддерживает все виды геодезической привязки в процессе полевых работ, при этом ее можно осуществить и на стадии постобработки данных.

- Возможность самостоятельной калибровки сканера пользователем. Плотная эксплуатация прибора со временем приводят к раскалибровке и потере точности данных. Сервисные центры лазерных сканеров находятся за рубежом, таким образом, калибровка – это очень затратный процесс, как по времени, так и с точки зрения финансов. Калибровку приборов Leica ScanStation P-серии пользователь может провести самостоятельно, процедура занимает около часа. При этом основные точностные характеристики будут соответствовать уровню заводских настроек.

(около 1 см) тонкие выпуклые линии. Оценка целого ряда параметров в процессе мониторинга резервуаров происходит именно вдоль этих швов. Во-вторых, для определения горизонтальности окрайки (наружного контура днища) необходимо иметь достаточно плотное облако нижней части резервуара, где видимость может частично перекрываться растительностью. В ScanStation P30/40 присутствует функция задания разрешения (шага сканирования) на заданном пользователем расстоянии до объекта, которое сканер может точно измерить.

- количество станций сканирования может составлять от 6 и более, что определяется размером резервуара и расположением элементов, которые перекрывают поверхность сканирования.

Этап обработки полевых данных начинается со сшивки и геопривязки, то есть соединения данных

ИНФОРМАЦИЯ

сканирования с разных станций в единое облако точек и привязки этих данных к местной системе координат. Как уже говорилось, при использовании ScanStation P30/40 это можно сделать еще в полевых условиях, но в большинстве случаев эта операция осуществляется в программе Cyclone REGISTER. Важная особенность программы – возможность комбинирования разных типов сшивки/геопривязки между собой, используя для этого специальные марки (их можно распознавать как в поле, так и в программе Cyclone), перекрывающиеся участки облаков точек и даже построенные в Cyclone векторные элементы (например, участки трубопроводов). При необходимости некоторым объектам, участвующим в процессе сшивки/геопривязки, может быть задан меньший «вес» при общем уравнивании, например, в случае плохого качества сканирования некоторых марок. Конечный результат – отчет, генерируемый программой, который позволяет оценить точность и качество сшивки/геопривязки.

Геопривязанное облако точек очищается от измерений, соответствующих посторонним элементам на поверхности резервуара – трубам, лестницам и т.д. Далее пошагово рассмотрим, как происходит работа с облаком точек и получение конечного результата в программе 3DReshaper французской компании Technodigit.

1. Создание триангуляционной модели, то есть преобразование облака точек в поверхность из треугольников. При этом окончательно убираются посторонние измерения, которые не были удалены на стадии очистки облака точек, а также корректно затягиваются «дырки» – следы элементов, закрывающих поверхность резервуара от сканера (рис.2).

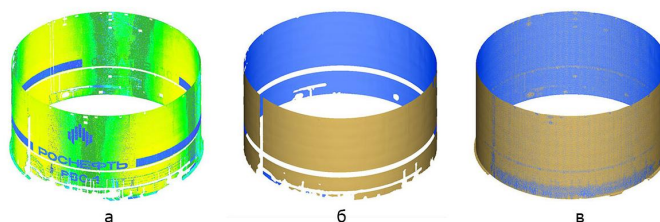


Рис.2. Облако точек резервуара (а), триангуляционная модель до (б) и после (в) редактирования

2. Анализ дефектов поверхности резервуара путем сравнения его формы с идеальным цилиндром. Такое сравнение в 3DReshaper визуализируется в виде трехмерной цветовой карты отклонений. Можно получить информацию об отклонениях в каждой конкретной точке, оценить размер и величину вмятин и выпуклостей, сравнить результаты с допусками, которые существуют для резервуаров разного размера и срока эксплуатации (рис.3). Настроенная для резервуаров разного типа цветовая шкала может быть сохранена в качестве шаблона и использована для анализа других резервуаров.

Подобным же образом можно оценить изменение геометрии резервуара во времени, сравнив данные текущей и прошлых съемок. При этом для корректного анализа важно, чтобы съемки производились при приблизительно одинаковой степени заполнения резервуаров.

Трехмерная цветовая карта действительно наглядна и информативна, но для формирования отчетов в двухмерном варианте можно также провести сравнение с идеальной геометрией по сечениям, сделанным вдоль горизонтальных швов (рис.4).

3. Анализ отклонения резервуара от вертикали. Он производится вдоль каждого вертикального шва – вот почему важна хорошая читаемость швов на облаке точек (рис.5).

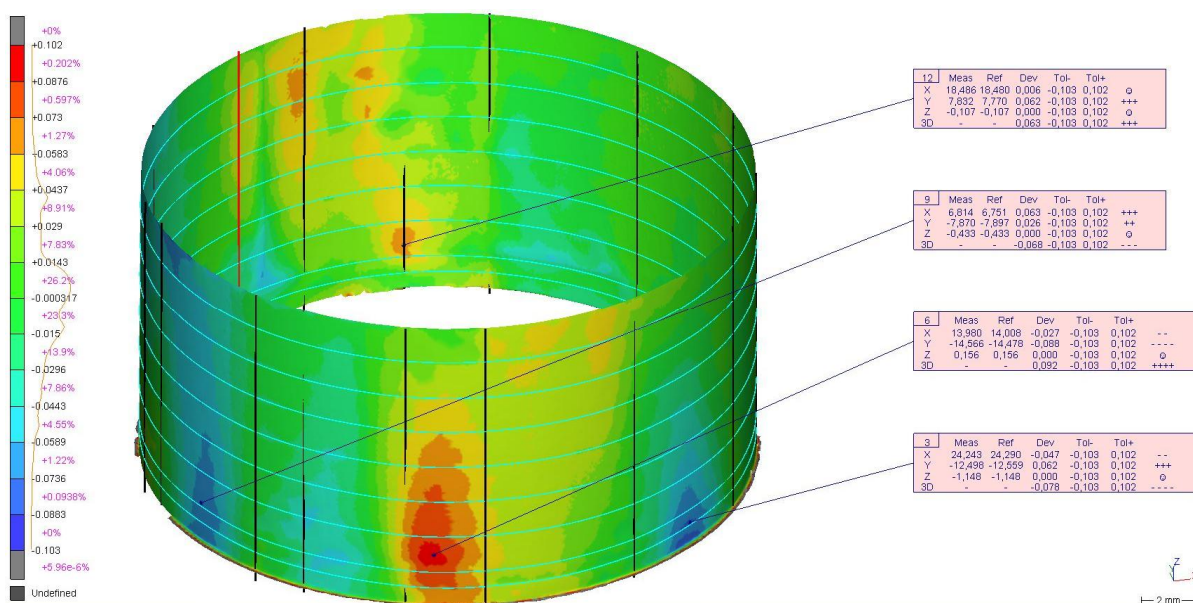


Рис.3. Карта отклонений геометрии резервуара от идеальной модели

Лестница

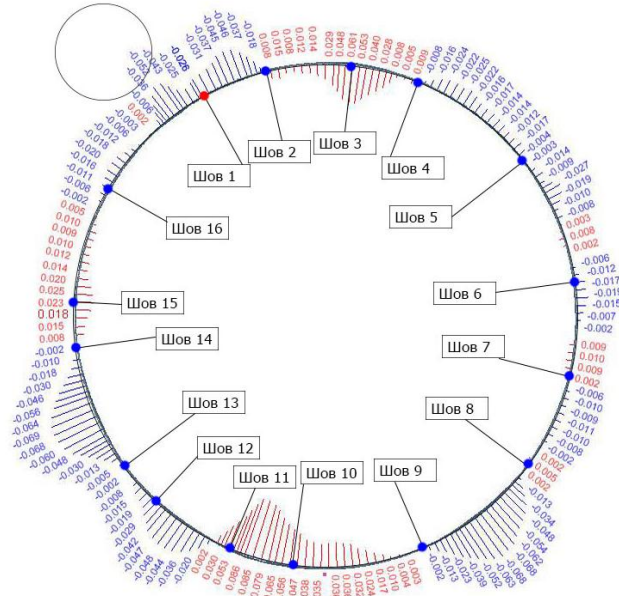


Рис.4. Отклонения геометрии резервуара от идеальной модели по горизонтальным поясам



Рис.5. Оценка наклона резервуара по вертикальным поясам

4. Анализ наклона окрайки резервуара. Измерение высотных отметок точек окрайки резервуара производится у основания первого пояса, это можно делать по облаку точек (рис.6). Как уже указывалось выше, при наличии растительности важным преимуществом лазерного сканирования оказывается высокая плотность измерений (рис.7).

5. Построение сплайновой (NURBS) модели резервуара для выполнения расчетов деформаций и напряжений. Триангуляционная модель в 3DReshaper преобразуется в сплайновую, редактируется и экспортируется в формат IGES для проведения соответствующих вычислений, например, в программном комплексе ANSYS (рис.8).

Для вышеперечисленных операций требуется построение целого ряда стандартных графиков и выполнение однотипных вычислений, которые к тому же повторяются от резервуара к резервуару. Существенно автоматизировать процесс получения результатов в 3DReshaper позволяет как создание сценариев – определенной последовательности действий и команд, которая может быть записана и сохранена, так и сохранение шаблонов отчетов, например для графиков или настроек цветowych карт отклонений.

Таким образом, описанная выше система лазерного сканирования, состоящая из сканера Leica ScanStation P30 или P40 и программных комплексов Leica Cyclone и Technodigit 3DReshaper, может быть эффективно использована для мониторинга нефтеналивных резервуаров. Технология имеет существенные преимущества перед традиционными методами за счет высокой скорости полевых работ, полноты и детализации полученных данных, а также существенной автоматизации процесса обработки при использовании сценариев и шаблонов.

ИНФОРМАЦИЯ



Рис. 6. График изменения отметки высоты окрайки резервуара

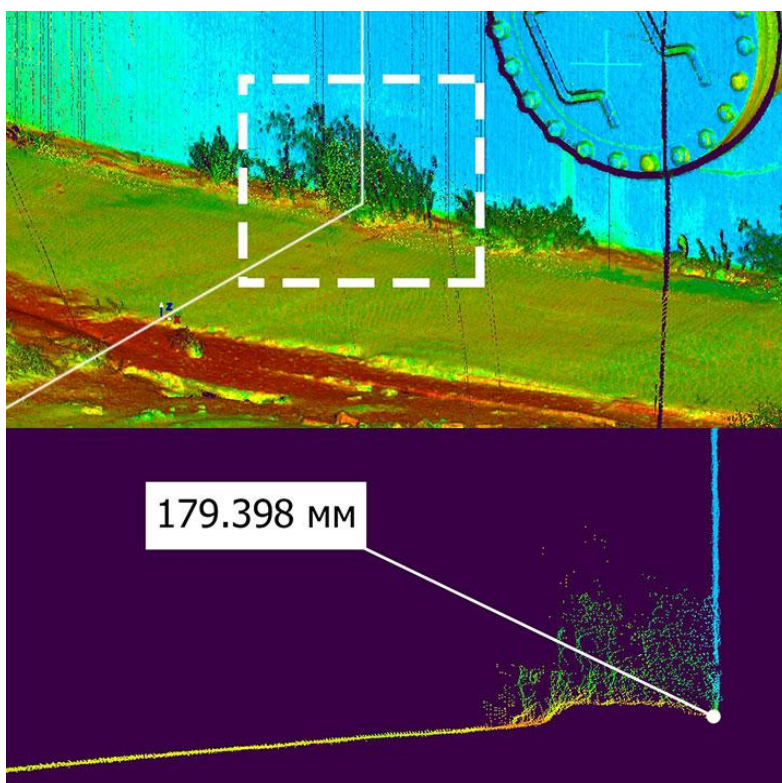


Рис. 7. Высокая плотность сканирования позволяет получить информацию о высотной отметке окрайки даже если она частично закрыта растительностью

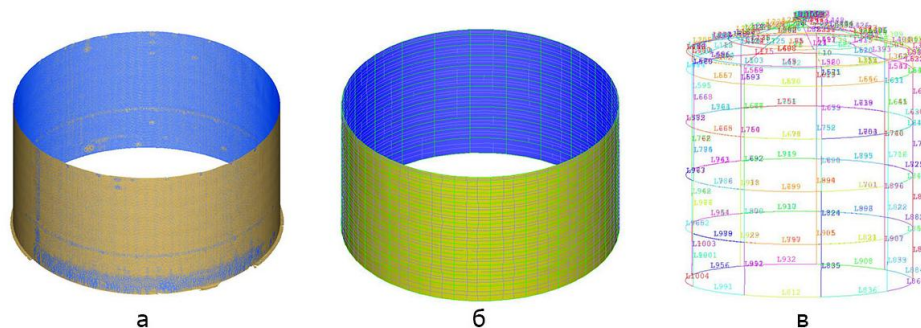


Рис. 8. Триангуляционная (а), сплайновая (б) модель резервуара и результаты расчетов программе ANSYS (в)

Сергей И. Котельников, канд. геол.-минер. наук, руководитель
отдела лазерного сканирования, ООО «НАВГЕОКОМ»,
г. Москва, тел. (495) 781-77-77, E-mail: info@navgeocom.ru