

# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ РАБОТ В ОБЛАСТИ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Д.Н. Рой («ПФ ГРАДО»)

В 2004 г. окончил Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры (Бишкек) по специальности «реставрация и реконструкция архитектурного наследия». С 2002 г. работал в НИПБ «Кыргызреставрация» (Бишкек), с 2005 г. — в Архитектурном бюро «АРТ» (Омск). С 2006 г. по настоящее время — архитектор-реставратор ООО «ПФ ГРАДО».

Каждый проект консервации<sup>1</sup>, реставрации или приспособления<sup>2</sup> начинается со сбора информации о памятнике, его истории и текущем состоянии. На этом этапе важную роль играет наличие качественной и полной документации о прошлых работах, проделанных на объекте, а также выбор наиболее оптимальной методики текущих обмеров и документации рабочего процесса. Это необходимо для эффективного управления проектными ресурсами, качественного отображения информации с учетом возможностей ее будущего использования для дальнейшего наблюдения за техническим состоянием объекта, долгосрочного хранения в архивах и удобства исследований.

Существует множество методик и возможностей, но, тем не менее, «мы нуждаемся в разработке руководств, основанных на оценке каждого метода по параметрам точности, эффек-

тивности, свойств отображения и т. д., чтобы можно было выбрать наиболее подходящий метод в соответствии с полевыми условиями и требованиями фиксации»<sup>3</sup> [1].

Одним из таких методов является метод наземного лазерного сканирования, который рассматривается в данной статье совместно с геодезическими и фотограмметрическими методами для обмеров памятников архитектуры с последующим созданием обмерных чертежей<sup>4</sup> и трехмерных моделей с высококачественными текстурами фасадов.

Почему в качестве основной технологии обмеров был выбран именно метод наземного лазерного сканирования? Многие профессионалы в области охраны памятников историко-культурного наследия, столкнувшиеся однажды с этой технологией, понимают ее неоспоримые преимущества и перспективы.

Большинство из существующих в настоящее время сканеров способны выполнять высокоточные трехмерные измерения на расстояниях около 50–100 м со скоростью несколько тысяч точек в секунду.

Наряду со скоростью и точностью, трехмерность также является важной чертой наземного лазерного сканирования. Ведь трехмерная модель — незаменимый элемент работы во многих областях. «Архитекторы нуждаются в точной и детальной текущей информации, необходимой для проектирования. Трехмерное отображение не только помогает архитектору в разработке проектов, но и позволяет другим людям, задействованным в проекте, увидеть существующее положение вещей, даже не посещая объект. Будь то презентация для общественности, инвесторов, или для пользования проектировщиками, трехмерная модель является весьма полезной вещью в архи-

<sup>1</sup>Консервация — это комплекс мероприятий по сохранению исторической структуры памятника.

<sup>2</sup>Термин «приспособление» обозначает мероприятия по приспособлению памятника к новому функциональному использованию.

<sup>3</sup>Цитаты со всех англоязычных ссылок даны в переводе автора.

<sup>4</sup>Обмерные чертежи отражают существующее положение на памятнике. Они являются основой любого проекта реставрации, консервации и т. д.

текстурном проекте» [2].

Еще одним свойством, отличающим метод наземного лазерного сканирования от других методов, является высокая плотность измерений. Уровень детализации, который может быть установлен сеткой сканирования во время получения данных, зависит от частных требований применения. Большинство сканеров, используемых при обмерах архитектурных сооружений, способны выполнять сканирование с дискретностью измерений в среднем 2x2 мм, вполне достаточной для точной передачи сложной пластики декора. Однако не существует какой-либо идеальной технологии или методики, подходящей на все случаи жизни, и лазерное сканирование не является исключением.

Недостатки наземного лазерного сканирования по большей части сводятся к некоторым ограничениям ввиду сравнительно недолгой истории этих приборов: первые сканеры появились только в 1998 г.

Так, с большинством из существующих сканеров производители рекомендуют работать при температуре не ниже 0°C, что устанавливает некоторые ограничения на полевые работы в зимнее время, хотя некоторые модели отлично работают и при -20°C.

До настоящего времени ни одна из систем лазерного сканирования не могла использовать функции тахеометра по непосредственной привязке отдельных сканов в единую систему координат (уже появляются модели с такими возможностями), поскольку сканирование с каждой точки стояния проводится в системе координат прибора. Поэтому необходим, по крайней мере, один дополнительный прибор (тахеометр или теодолит) для определения координат контрольных точек (марок) сканера.

Пока еще слишком низка степень автоматизации при трехмерном моделировании сложных объектов на основе данных лазерного сканирования. Большинство программных средств сфокусировано на промышленных приложениях. В них принято, что большинство объектов могут быть описаны простыми геометрическими примитивами. Альтернативно, к данным можно подгонять предустановленные объекты из библиотеки, такие как стальные профили и трубы. Но для применения в области историко-культурного наследия такие решения обычно не подходят. «Здесь мы имеем дело с деликатными и сложными поверхностями орнаментов, статуй и других специфических объектов. Поэтому предпочтительней конвертировать данные лазерного сканирования в TIN-сетки, которые обеспечивают наиболее адекватное представление и позволяют с легкостью генерировать разрезы» [3].

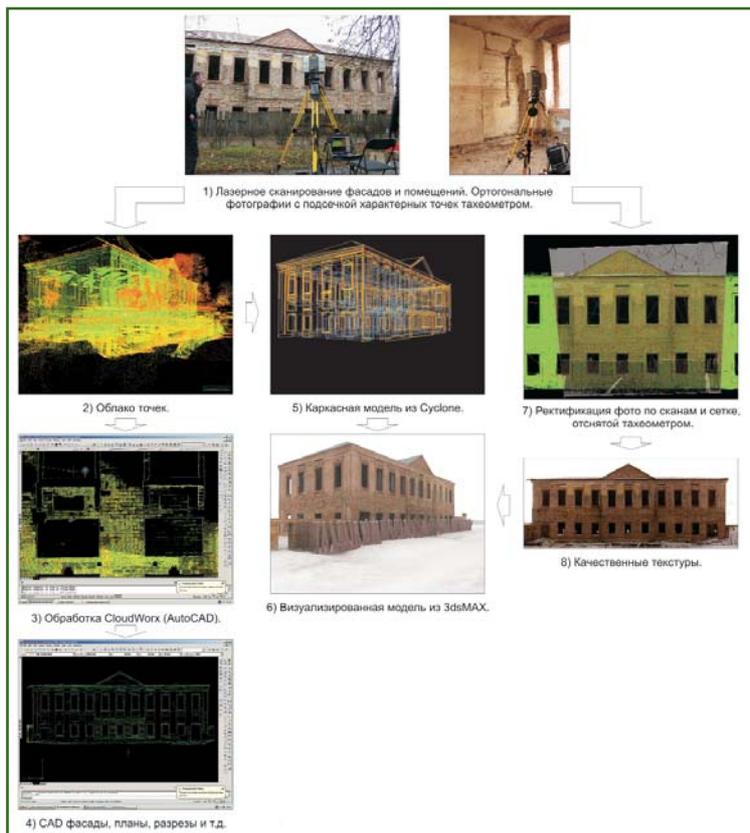
Кроме того, обычно RGB-изображения, получаемые лазерными сканерами, не обладают достаточно высоким качеством. Их главной задачей является упрощение для оператора в ориентировании среди огромного массива точек путем окрашивания их в реальные цвета. Для решения этой проблемы также существуют разнообразные решения. В основном они связаны с функциями и приемами фотограмметрии простого уровня. Например, методика ректифицированной фотографии, которая применяется для получения метрических фотоизображений мозаичных полов, орнаментальных композиций и т. д. с помощью неметрических фотокамер и тахеометра. Такое изображение может использоваться либо в качестве самостоятельного проектного материала, либо для текстурирования трехмерной модели объекта. Еще одной весьма популярной

идеей является применение неметрических фотоснимков высокого разрешения, пригодных для выполнения задач фотограмметрии при помощи специально разработанных программных средств. К примеру «Photomodeler позволяет работать как с метрическими, так и с обычными камерами. В этом случае, зная параметры внутренней ориентации камеры, трехмерный объект печатается, исходя из контрольных точек, полученных с помощью топографической съемки, и пар идентичных точек, расположенных на разных фотографиях» [4]. Упомянутое программное средство позволяет получать трехмерные модели на основе фотографий, а также генерировать метрические ортогональные фотоизображения. Вышеперечисленные и некоторые другие подходы позволяют компенсировать недостатки наземного лазерного сканирования в текстурах, значительно обогащая качество и возможность фиксации памятников историко-культурного наследия.

Как видно, несмотря на ограничения, грамотное использование возможностей различных методов может существенно ускорить процесс, а «их интеграция — это единственный путь к оптимизации и автоматизации сложной процедуры обмеров» [5].

Так мы и поступили при выполнении проекта. На рис. 1 изображена общая структура и последовательность этапов рабочего процесса.

Объектом исследований стал памятник федерального значения — Дом городского в Торжке (Тверская область), который был интересен по ряду параметров. Фасады здания обладают довольно грубой поверхностью, где разбитая кирпичная кладка затрудняет распознавание границ плоскостей для обмера геодезическим способом. Каждое



**Рис. 1**

*Технологическая последовательность обработки данных наземного лазерного сканирования и ортофотографий с целью получения двумерных чертежей, трехмерной модели и качественных текстур*

помещение имеет сводчатые перекрытия. Главный фасад огорожен забором, без предварительного демонтажа которого было бы сложно выполнить качественную съемку для стереофотограмметрического обмера. Целью работ было тестирование метода наземного лазерного сканирования для комплексного обмера здания с последующим получением трехмерной модели и обмерных чертежей. Также хотелось сделать некоторые практические выводы по достоинствам и недостаткам данной технологии, возможной оптимизации процедуры, чтобы в дальнейшем выработать соответствующие методики, которые были бы применимы к подобным объектам.

При выполнении работ был использован наземный лазерный сканер Leica HDS3000

(Leica Geosystems, Швейцария).

Перед проведением сканирования вокруг здания была построена геодезическая опорная сеть с помощью тахеометра Sokkia SET5 30RK3, которая служила основой для привязки марок лазерного сканера. Такой способ давал возможность не только сводить сканы в единую систему координат, но и проверять точность регистрации «облаков точек».

Полевые работы, включая фотофиксацию и тахеометрическую съемку, были проведены группой специалистов из 5 человек за 4 дня. Лазерный сканер позволяет снимать даже в полной темноте, поэтому работы велись до позднего вечера. Температура окружающей среды держалась выше 0°C, что удовлетворяло техническим параметрам прибора. Для полного

сканирования фасадов и интерьеров с дискретностью примерно 3x3 мм понадобилось 30 точек стояния. Регистрация сканов проводилась в программном обеспечении Cyclone. После регистрации по маркам с известными координатами, полученными с помощью тахеометра, был создан единый массив «облака точек», расположенный в единой системе координат и покрывающий здание с достаточной детальностью. Средняя погрешность при регистрации составила менее 1 см. Итоговый файл размером 840 Мбайт содержал примерно 60 млн точек.

Камеральную обработку выполняли 2–3 человека в течение месяца. На рис. 2 показано распределение временных затрат по каждому этапу работы. Следует отметить, что временные затраты могут варьировать в зависимости от сложности объекта и необходимой отчетной документации.

Существует несколько путей создания трехмерных моделей на основе данных лазерного сканирования. Выбор исходит из конкретных целей, для которых необходима такая модель: нужна ли автоматическая генерация каких-либо разрезов на



**Рис. 2**

*Временные затраты на получение и обработку данных лазерного сканирования*

ее основе (хотя, в большинстве случаев, чертежи создаются вручную), или же нужен объект, который можно было бы использовать в мультимедийных приложениях. Для первого случая при моделировании сложных объектов наилучшим образом подходит TIN-поверхность. При больших размерах объекта и его детализации файл получается слишком громоздким из-за значительного количества полигонов в сетке. Нам была нужна модель исключительно для презентаций, поэтому выбрали другой путь трехмерного моделирования. В программе Cyclone построили каркасную модель, послужившую основой для создания трехмерной модели в 3dsMAX и последующей визуализации. Имея качественные текстуры, вполне можно было имитировать грубую кирпичную кладку с трещинами и остатками штукатурки с достаточной степенью точности.

С целью получения текстур с помощью цифровой камеры OLIMPUS CAMEDIA E-20p с разрешением 5.0 Мпикселей сделали множество фотоснимков, параллельных поверхностям, насколько это было возможно. Их снимали небольшими участками, чтобы избежать сильных искажений и получить максимально возможное разрешение. Используя функцию фотокамеры «aerial», мы смогли выдержать цветовой баланс между разными фотоснимками. Затем, в соответствии с методикой трансформирования фотографий [6], тахеометром сняли характерные точки, из расчета не менее трех для каждого снимка. По этим точкам и по скану фотоснимки в графическом редакторе подгонялись к верной конфигурации и собирались в единые изображения. В конечном итоге получили изображения в реальных пропорциях и масштабе. Ввиду недостаточного разрешения ка-

меры и некоторых искажений при съемке верхних частей здания с земли, метрическая точность фотографий получилась недостаточно высокой для использования их в качестве достоверного основания для промеров, но приемлемой для аккуратного текстурирования модели.

Чертежи строились вручную на основе «облаков точек». Эта часть камеральной обработки проводилась в модуле CloudWorx, который позволяет загружать «облака точек» в среду AutoCAD и пользоваться другими возможностями данной программы.

Документация является неотъемлемой частью процесса реставрации и консервации памятников историко-культурного наследия. Главными свойствами качественной документации являются:

— содержание, которое должно охватывать все подробности о памятнике и его окружении, а также обо всех процессах вмешательства в историческую структуру;

— доступность, сохранность и удобство пользования для исследователей и профессионалов как в настоящее время, так и в будущем.

С течением времени совершенствуются технологии и методики для выполнения этих задач. Одной из таких технологий стал метод наземного лазерного сканирования, который позволяет проводить точные обмеры значительно быстрее, чем это было ранее, и содержит полную информацию об объекте в едином массиве «облака точек» или трехмерной модели. Это значительно упрощает процесс управления информацией и дает возможность получать разнообразные данные из единого источника. А при правильном совместном использовании различных методов и технологий можно со-

провождать проекты удобной в использовании и исчерпывающей по содержанию документацией, которая не только облегчит выполнение текущих работ, но и станет великолепным подспорьем в будущих проектах.

#### ▼ Список литературы

1. R. Kadobayashi, N. Kochi, H. Otani, R. Furukawa. Comparison and evaluation of laser scanning and photogrammetry and their combined use for digital recording of cultural heritage // ISPRS, Commission V, WG V/4.
2. Sam Klimoski. Using 3D terrestrial laser scanning to model the interior of an abandoned theater for renovation purposes // Minneapolis, USA 2006 <http://www.gis.smumn.edu/Pages/GraduateProject.htm>
3. Jan Bohm, Norbert Haala, Yahya Alshwabkeh. Automation in laser scanning for cultural heritage applications // Stuttgart, Germany.
4. M. Caprioli, M. Minchilli, A. Scognamiglio, G. Strisciuglio. Architectural and natural heritage: Virtual Reality with photogrammetry and laser scanning // CIPA, WG VI.
5. Claudio Alessandry, Marcello Balzani, Nicola Zaltron, Federico Uccelli. A 3D laser scanner model as virtual database for integrated analyses // 22<sup>nd</sup> International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC 2005 // September 11–14, 2005, Ferrara (Italy).
6. D.P. Andrews, N.J. Beckett, M. Clowes, S.M. Tovey A comparison of rectified photography and orthophotography as applied to historic floors with particular reference to Croughton Roman Villa. CIPA 2005 XX International Symposium // 26 September — 01 October, 2005, Torino, Italy.

#### RESUME

A brief description is given for the terrestrial laser scanning technique applied for outward measuring monuments of architecture. This technique is combined with the geodetic and photogrammetric techniques. On the survey completion the data obtained is used to create measurement diagrams and 3D models with the top-quality facades textures.