

Лазерные технологии в строительной отрасли: преимущества и недостатки

*С.О. Яценко, Т.А. Сабитова, О.И. Карпова, Е.Д. Соболева,
Д.А. Соболев*

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Применение инновационных технологий в строительстве необходимо на всех этапах производственного цикла от проектирования до эксплуатации, реконструкции и капитального ремонта зданий и сооружений. Одной из ведущих технологий, используемых для сбора и обработки данных о строительных объектах, площадках и территориях, является лазерное трехмерное сканирование. В данной работе рассмотрены особенности применения трехмерного лазерного сканирования в строительной отрасли, преимущества и недостатки данного метода, этапы и принципы осуществления измерительных проектировочных работ на местности.

Ключевые слова: управление затратами; лазерное трехмерное сканирование; облако точек; BIM – технологии.

Проектирование и строительство нуждаются в новых технологиях на всех этапах производственного цикла – от самого процесса моделирования до новейших методов управления им. Недостаточная производительность, неэффективное управление, устаревшее оборудование и длительные сроки производства работ не удовлетворяют современным требованиям постоянного развития строительной отрасли. Трехмерное моделирование используется все чаще и по сути становится стандартом в строительной отрасли. Трехмерные модели включают существенно больший объем информации об объекте и составляют основу технологии информационного моделирования зданий (BIM). В настоящее время применение технологий BIM лежит в основе решения всех текущих задач в сфере строительства и проектирования зданий и сооружений различного назначения [1]. Использование принципов BIM-моделирования позволяет систематизировать данные проекта, такие как геометрические и конструктивные особенности зданий, характеристики применяемых строительных материалов, что в итоге позволяет принимать обоснованные конструкторские и организационные

решения, и повышать экономическую эффективность проекта. 3D-модель позволяет создавать большое количество вариаций проекта за короткие сроки, что экономит не только временные, но и денежные ресурсы [2].

Качественный результат применения BIM возможен только при условии использования релевантной и точной исходной информации, собранной на одной стадии жизненного цикла проекта, в соответствии с проектными условиями, поставленными задачами и требуемой глубиной анализа. Сочетание BIM-технологий с современными автоматизированными информационными системами позволяет достичь управления полным жизненным циклом проекта с использованием единых методов и общего подхода, что значительно облегчает оперативный обмен данными, их корректировку и мобильность [3]. Применение BIM-технологий можно рассматривать также с точки зрения экономии ресурсов, поскольку существенно проще и финансово выгоднее устранить проблемы в процессе проектирования, нежели на стадии строительства [4].

Современный уровень развития лазерного сканирования позволяет захватывать фактические трехмерные модели зданий и сооружений. По сути трехмерное сканирование представляет собой считывание реальной окружающей обстановки в форме информационного облака (облака точек), которое при применении соответствующего программного обеспечения трансформируется в полноценную трехмерную модель сканируемого объекта. Можно сказать, что трехмерное сканирование – это особый вид отражения реальности, имеющий значительный потенциал использования в строительной отрасли, в том числе в процессе проектирования, подготовки строительной площадки, реконструкции имеющихся объектов и т.п. Трехмерное сканирование выступает закономерной эволюцией традиционных методов съемки [5], таких как тахеометр или измерительная

лента, позволяя уменьшать трудоемкость и стоимость работ, а также снижать долю ошибочных измерений.

Развитие технологий трехмерного сканирования сконцентрировано не только на техническом совершенствовании применяемого оборудования, но также и на постоянном улучшении программного обеспечения. Зачастую более важным и решающим фактором успешного проектирования является не сбор облака точек, с которым справляются все современные сканеры, а обработка полученной информации, оцифровка значительных объемов данных, фильтрация шума и иных паразитных включений.

Лазерное трехмерное сканирование все чаще используется для построения объемных моделей строительных объектов для широкого спектра задач, включая создание поэтажных планов и исполнительских чертежей, топографической съемки разных масштабов, подсчетов объемов земляных работ, предпроектные изыскания. Лазерные сканеры в совокупности с программным обеспечением представляют собой комплексное решение для сбора, хранения и анализа трехмерных данных о состоянии сканируемых объектов. Данные трехмерного облака точек, полученные от сканеров, могут в достаточной степени точно фиксировать геометрию объектов и близлежащей территории. Использование лазерного трехмерного сканирования для целей BIM позволяет охватывать одновременно несколько аспектов строительства, таких как пространственный анализ, визуализация, мониторинг, оценка стоимости и качества выполняемых работ.

Современные лазерные сканеры достигают производительности сканирования 1 миллион точек в секунду, имеют встроенную камеру высокого разрешения и расширенного динамического диапазона, с обзором до 360° и расстоянием сканирования до 450 м от точки расположения станции (например, TOPCON GLS-2000 – рис.1). Программные комплексы в свою очередь представляют собой эффективные решения для регистрации

облака точек, анализа, моделирования и визуализации результатов сканирования (например, ПО - Magnet Collage).



Рисунок 1 – Процесс сканирования местности

Важным условием получения качественной трехмерной модели сканируемого объекта является формирование и следование методике сканирования, которая может отличаться от объекта к объекту. Неравномерность распределения информационного поля в области мониторинга возведения объектов требует увеличения доли автоматизированных систем контроля и управления для парирования негативного воздействия акторов внешней и внутренней среды [6].

Так к примеру методика сканирования здания целиком может быть основана на захвате внешней оболочки здания с нескольких точек с различными углами, расстояниями и высотами, и создании целостной трехмерной модели внешних фасадов здания. Внутреннее сканирование предполагает сканирование интерьеров здания по отдельности, а затем объединение сканированных пространств в единую модель – внутреннюю оболочку здания. Выбор места расположения сканирующего устройства

должен обеспечивать формирование достаточного облака точек, охватывающего все сканируемые пространства, и не допускать избыточного дублирования точек и соответственно элементов модели.

Расположение сканирующего устройства на местности или внутри здания может ограничиваться имеющимися постройками, рельефом, геометрией здания и т.д. В этих случаях необходимо использовать большее количество точек сканирования, однако не допускать чрезмерного роста дублируемых данных.

При внешнем сканировании расстояние сканера от сканируемого объекта критично и должно быть минимальным, в связи с тем, что облако точек удаленных объектов может содержать недостоверные данные и так называемые размытые области, объекты на которых не удастся четко визуализировать в готовой модели. При внутреннем сканировании эта особенность менее выражена в связи с меньшими масштабами сканирования (например, поэтажное сканирование) и повторяемостью элементов.

Экспорт данных сканирования из сканирующего устройства в программный комплекс производится с использованием карты памяти или иного накопителя памяти. Обработка данных осуществляется в три этапа:

- регистрация облака точек;
- фильтрация данных;
- исследование полученной модели.

Регистрация облака точек осуществляется отдельно по результатам внешнего и внутреннего сканирования и может быть основана на двух методах. Автоматический метод предполагает объединение данных по совпадению поверхности или близости точек. Регистрации точек по целевому объекту осуществляется в соответствии с выбранной базовой поверхностью, плоской или объемной фигурой, или объектом. Автоматическая регистрация облака точек используется наиболее часто и

включает данные каждой станции, такие как плотность точек, высота станции, ошибки сопоставления, количество нечетких точек и наложения данных. Полученные данные в результате автоматической регистрации выглядят как заполненные участки местности, видимые из точки сканирования, и требуют еще одного этапа – ручной регистрации облака данных. На этом этапе выбирается эталонная точка сканирования, фиксирующая уровень поверхности, а данные всех остальных измерений накладываются на нее. Ручная регистрация обеспечивает соответствие данных нескольких станций или точек сканирования. Качество полученного ортоизображения оценивается путем сравнения его с соответствующим наземным изображением [7].

Лазерные сканеры захватывают и сканируют все физические объекты в поле зрения сканирования, в том числе растения, деревья, соседние здания и элементы ландшафта (рис. 2). Все эти объекты расширяют облако точек и излишне усложняют модель. Облака точек зачастую довольно «шумные», недостаточно плотные и имеют эффекты дрейфа из-за длительности регистрации изображения [8]. Фильтрация зарегистрированных данных предполагает снижение шума облака точек, т.е. исключение нежелательных физических объектов, захваченных в процессе сканирования. Программное обеспечение позволяет устранять большие площади нежелательных объектов (таких как окружающая среда и соседние здания), а также сегментно исключать отдельные нежелательные элементы модели и визуальные барьеры.

Удаление шума из облака точек снижает сложность и объем модели за счет устранения нежелательных физических объектов. Это удаление более эффективно во внешнем сканировании из-за огромного количества точек, полученных от различных элементов на площадке.

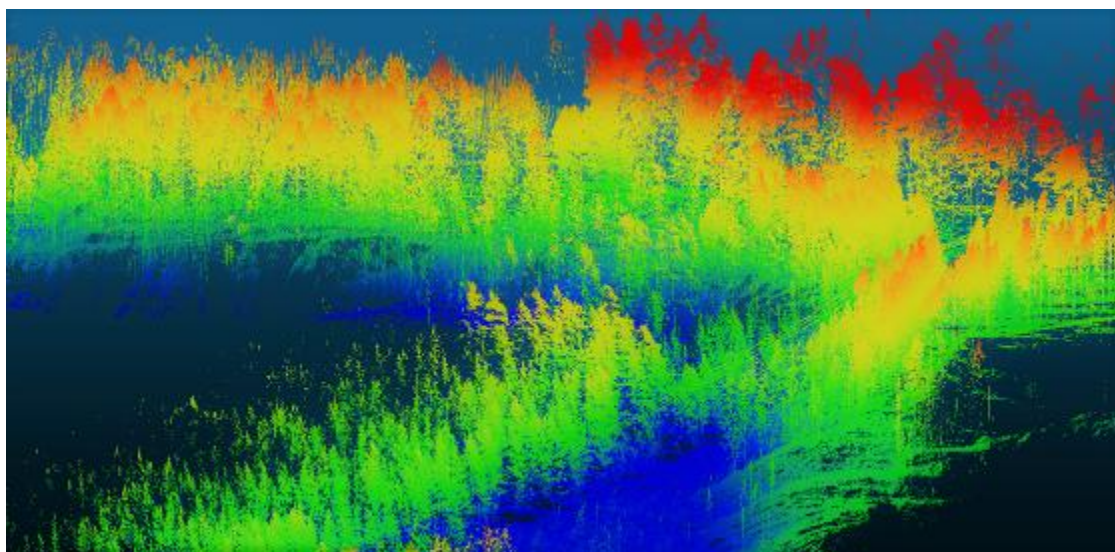


Рисунок 2 - облако точек

Исследование облака точек проводится после регистрации и устранения шума с помощью набора инструментов, предоставляемых в программном обеспечении, с целью проверки точности полученной модели. Исследование облака точек должно учитывать две основных особенности: выбранные инструменты, методики и точностью измерения, а также проницаемость лазерных лучей через строительные конструкции. Программное обеспечение может предоставлять различные инструменты, включая горизонтальные, вертикальные, угловые, плоскостные и иные геометрические измерения. Часть точек в облаке принимаются опорными и связываются между собой через систему координат. Проницаемость лазерных лучей сканера через различные поверхности зависит от выбранного диаметра луча (6 мм, 10 мм или 34 мм), расстояния до ближайшей поверхности, а также технических характеристик конструктивных элементов, свойств поверхности, материалов, цвета. К примеру непрозрачные элементы (фасад зданий, перегородки, перекрытия, потолок и т.д.) собирают большое количество точек и отражают лазерные лучи, в то время как прозрачные материалы (оконные проемы, стеклянный потолок и т.п.) проводят лучи и

дают низкую интенсивность точек в облаке. Поверхности с высокой интенсивностью точек сканируются с большей точностью, а поверхности с низкой интенсивностью точек дают незначительные ошибки в значениях.

Для реализации максимального числа преимуществ лазерного трехмерного сканирования полученная модель или облако точек должно быть экспортировано в форматы файлов, совместимые с различными типами программного обеспечения BIM, среди которых *.dwg, *.dxf, *.ifc, *.skp, *.obj, *.kmz, *.fbx, *.pdf, *.dgn, *. acis и др.

Несмотря на очевидные достоинства описываемой технологии, многие профессиональные строители скептически настроены по поводу практического повсеместного использования данного оборудования и технологии. Первостепенной проблемой внедрения BIM в России является недостаточная заинтересованность строительных организаций [9]. Причинами является дороговизна лазерных сканеров и программного обеспечения, необходимость дополнительного обучения персонала и внесения изменений в действующие бизнес процессы и технологические цепочки. Кроме того, ошибки в применении оборудования и софта могут существенно усложнить проектирование и строительство, повысить стоимость работ и растянуть сроки реализации проекта. К примеру, сбор недостаточного количества данных может стать очевидным на позднем этапе постобработки и сделать модель бесполезной для использования. В то же время слишком большое количество данных (технология позволяет получать более миллиона точек в секунду) существенно усложнит процесс обработки, потребует больше времени и производительности компьютеров. Промышленность, ученые и государственные органы должны работать, совместно прилагая усилия, чтобы заполнить пробелы, сначала признав текущие потребности, ограничения и тенденции применения BIM в строительной отрасли [10].

Строительная отрасль в современном мире также находится на острие научно-технологического прогресса и ей не чужды повсеместная информатизация и цифровизация. Лазерное сканирование в совокупности с программными средствами и BIM-технологиями позволяют многократно упростить процесс построения моделей, предварительных сметных расчетов и визуализации проектов. Однако вопросы экономической эффективности выходят на первый план в контексте стоимости данных технологических решений, росте эксплуатационных затрат и результативности проектов в плане рентабельности и сроков.

Литература

1. Абрамян С.Г., Бурлаченко О.В., Оганесян О.В., Бурлаченко А.О., Плешаков В.В. Возможности цифровых технологий для каждого этапа жизненного цикла строительной системы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2022. - Вып. 2 (87). - С. 317-325.
2. Петров К.С. Швец Ю.С, Корнилов Б.Д., Шелкоплясов А.О. Применение BIM-технологий при проектировании и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5255
3. Сабитова Т.А., Ященко С.О., Соболева Е.Д., Махов И.Д. Управление проектом в строительной отрасли с использованием BIM-технологий // Журнал прикладных исследований. - 2023. - № 4. - С. 93-98. – DOI: 10.47576/2949-1878_2023_4_93.
4. Абрамян С.Г., Бурлаченко О.В., Оганесян О.В., Соболева Е.Д., Бурлаченко А.О., Плешаков В.В. К вопросу о стадиях жизненного цикла строительных систем в контексте принципов информационного моделирования // Инженерный вестник Дона. - 2022. - № 6. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7743.

5. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings, *Autom.in Constr.* 38 (2014) 109–127
6. Зеленцов Л.Б., Цапко К.А., Беликова И.Ф., Пирко Д.В. Совершенствование процесса строительства с использованием BIM-технологий // *Инженерный вестник Дона*, 2020, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6346.
7. Prieto S.A., Adán A. & Quintana B. Preparation and enhancement of 3D laser scanner data for realistic coloured BIM models. *Vis Comput* 36, 113–126 (2020). DOI: 10.1007/s00371-018-1584-9
8. Previtali M., Banfi F., Brumana R. (2020). Handheld 3D Mobile Scanner (SLAM): Data Simulation and Acquisition for BIM Modelling. In: Parente C., Troisi S., Vettore A. (eds) *R3 in Geomatics: Research, Results and Review. R3GEO 2019. Communications in Computer and Information Science*, vol 1246. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-62800-0_20
9. Шеина С.Г., Петров К.С., Федоров А.А. Исследование этапов развития BIM – технологий в мировой практике и России // *Строительство и техногенная безопасность*. – 2019. – №1 (66). С. 7 – 14.
10. Jin RY, Zou Y., Gidado K., Ashton P., Painting N. Scientometric analysis of BIM-based research in construction engineering and management. *Engineering Construction and Architectural Management*. 2019. Vol. 26 (Iss. 8), pp. 1750-1776. DOI: 10.1108/ECAM-08-2018-0350.

References

1. Abramyan S.G., Burlachenko O.V., Oganessian O.V., Burlachenko A.O., Pleshakov V.V. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitelstvo i arhitektura*. 2022. Vyp. 2 (87). pp. 317-325.
-



2. Petrov K.S. Shvecz Yu.S, Kornilov B.D., Shelkoplyasov A.O. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5255
3. Sabitova T.A., Yaschenko S.O., Soboleva E.D., Maxov I.D. Zhurnal prikladnykh issledovaniy. 2023. № 4. pp. 93-98. DOI: 10.47576/2949-1878_2023_4_93.
4. Abramyan S.G., Burlachenko O.V., Oganesyanyan O.V., Soboleva E.D., Burlachenko A.O., Pleshakov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7743.
5. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Autom.in Constr. 38 (2014) 109–127
6. Zelenczov L.B., Czapko K.A., Belikova I.F., Pirko D.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6346.
7. Prieto S.A., Adán A. & Quintana B. Vis Comput 36, 113–126 (2020). DOI: 10.1007/s00371-018-1584-9
8. Previtali M., Banfi F., Brumana R. (2020). R3 in Geomatics: Research, Results and Review. R3GEO 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1246. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-62800-0_20
9. Sheina S.G., Petrov K.S., Fedorov A.A. Stroitelstvo i texnologennaya bezopasnost. 2019. №1 (66). pp. 7 – 14.
10. Jin RY, Zou Y., Gidado K., Ashton P., Painting N. Engineering Construction and Architectural Management. 2019. Vol. 26 (Iss. 8), pp. 1750-1776. DOI: 10.1108/ECAM-08-2018-0350.