



УДК 69.058.3

Богданов Андрей Николаевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: BogdanovAN@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Алешутин Илья Алексеевич

Специалист по внедрению АЕС, CAD, BIM, PDM

ООО «АСКОН-КАМА Консалтинг»

Адрес организации: 420111, Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 5

Наземное лазерное сканирование в строительстве и BIM-технологиях

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследований – поиск методик осуществления контроля в строительстве с использованием наземного лазерного сканирования. Строительный контроль позволяет выявить нарушения на первых этапах строительства, предупреждая возникновение аварийных ситуаций в ходе дальнейших работ и при эксплуатации здания.

Результаты. Основные результаты состоят в определении преимуществ использования наземного лазерного сканирования при осуществлении контроля строительства, а также в BIM-технологиях. Показаны стадии жизненного цикла объекта, на которых наиболее эффективно использование этих технологий. Определены случаи, в которых необходим BIM: при контроле за соответствием геометрических параметров, при корректировке проекта в процессе строительства, при исполнительной съёмке в процессе строительства и после его окончания.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности с помощью технологии наземного лазерного сканирования выявить коллизии, ошибки строительства на раннем этапе, сократить риски выхода за пределы графика и бюджета строительства.

Ключевые слова: лазерное сканирование, 3D-модель, BIM-технология.

Введение

До настоящего времени для получения метрической информации об пространственных объектах применялись очень трудоемкие, не позволяющие сформировать подробную трехмерную модель объекта, методы. Принято считать, что применение технологии наземного лазерного сканирования в строительстве взяло свое начало в области реконструкции памятников архитектуры. Как правило, таким объектам свойственно наличие сложных элементов (например, резные фасады), которые невозможно представить набором простых геометрических примитивов (с помощью цилиндров, сфер, плоскостей и т.д.) [1]. На протяжении последних 10 лет в практику топографо-геодезического производства внедряется технология наземного лазерного сканирования [2]. Наземное лазерное сканирование является самым оперативным и высокопроизводительным средством получения точной и наиболее полной информации о пространственном объекте [3].

Благодаря высокой автоматизации процесса сбора информации, участие оператора заключается лишь в качественной подготовке сканера к работе. Более полные цифровые данные невозможно представить никаким другим из известных способов.

Идея осуществления контроля строительства с использованием 3D-технологий лазерного сканирования – не нова. С момента появления первых 3D-сканеров в гражданском и промышленном строительстве (2002-2004 гг.) с разным успехом этим занимаются почти все владельцы лазерных сканеров. Однако приходится констатировать, что до сих пор отсутствуют какие-либо официальные методики выполнения подобных работ и отраслевая нормативная документация в целом.

Технология наземного лазерного сканирования

Принцип работы технологии сканирования заключается в определении пространственных координат точек объекта. Процесс выполняется с помощью измерений расстояния до всех определяемых точек посредством фазового или импульсного безотражательного дальномера. Измерения производятся с очень высокой скоростью – тысячи, десятки тысяч, а порой и миллионы измерений в секунду. На пути к объекту импульсы лазерного дальномера сканера проходят через систему, которая состоит из одного подвижного зеркала. Именно оно отвечает за вертикальное смещение луча. Горизонтальное смещение луча лазера осуществляется путем поворота верхней части сканера относительно нижней, жестко прикрепленной к штативу. Зеркало и верхняя часть сканера управляются прецизионными сервомоторами. В конечном итоге именно они обеспечивают точность направления луча лазера на снимаемый объект. Зная угол разворота зеркала и верхней части сканера в момент наблюдения и измеренное расстояние, процессор вычисляет координаты каждой точки [3].

Важным отличием лазерного сканера от других инструментов сканирования, является тот факт, что он может производить съемку объектов, находящихся в любом месте сферы – полный круг по горизонтали 360° и 270° по вертикали. Точность измерения расстояния и СКО при работе с 3D-сканером согласно инструкции МИ СМК 71.12.12 представлены в табл. 1. Альbedo является показателем отражательной способности поверхности снимаемого объекта.

Таблица 1

Точности измерений при работе с лазерными сканерами

Расстояние	Альbedo 14 %	Альbedo 37 %	Альbedo 80 %
10 м	0,5 мм	0,4 мм	0,3 мм
25 м	1 мм	0,6 мм	0,5 мм
50 м	2,7 мм	1,2 мм	0,8 мм
100 м	10 мм	3,8 мм	2 мм

В итоге результатом такой съемки является облако точек (рис. 1). Облако точек содержит в себе миллионы измерений. Высокая степень автоматизации наземного сканирования имеет некоторое превосходство перед другими способами информации. Во-первых, лазерное сканирование может определить координаты, заданные точки объекта в полевых условиях. Затем трехмерная визуализация в режиме реального времени предоставляет возможность на этапе полевых работ сформировать нерабочие зоны. Во-вторых, при этом методе отсутствует потребность обеспечения сканирования заданных точек объекта с двух расположений стояния, так как точность измерений предельно высока. Также, при съемке в опасных и труднодоступных районах, благодаря удаленному получению результатов сканирования, обеспечивается безопасность работника [4].

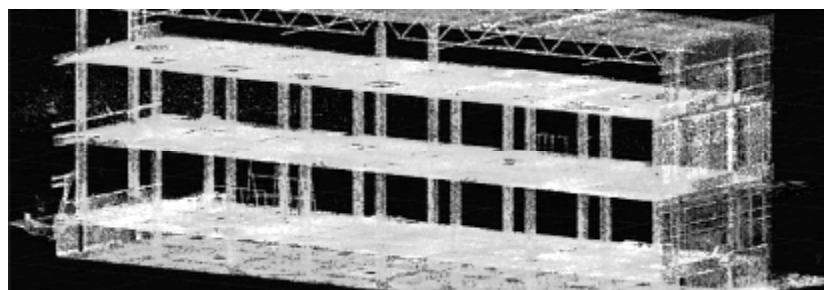


Рис. 1. Облако точек 3D-сканирования строящегося производственного корпуса
(http://www.ngce.ru/pg_projects240.html)

Для геопривязки, обработки и «объединения» информации, полученной в процессе сканирования, применяется специальный программный комплекс (рис. 2). На этапе «сшивки» облака точек формируется карта сферических панорам здания, которая позволяет просматривать панорамы с любой точки сканирования, оставлять заметки,

аннотации, проводить замеры и др. Такой подход значительно упрощает взаимодействие с застройщиками, строителями, проектировщиками и другими заинтересованными лицами. Впоследствии «облако точек» значительно дорабатывается и детализируется до степени, пригодной для создания на его основе качественной BIM-модели объекта [5].

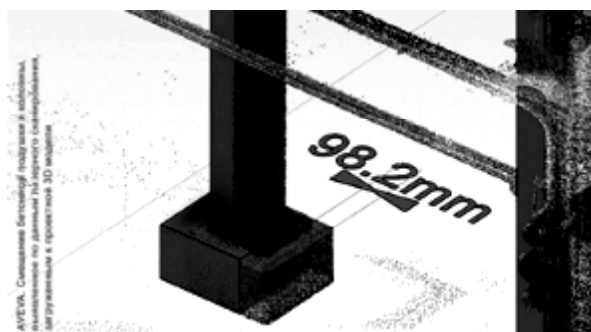


Рис. 2. Смещение бетонной подушки и колонны, выявленное по данным лазерного сканирования, загруженным к проектной 3D-модели (<http://acropol-geo.ru/o-texnologii/119-kontrol-stroitelstva>)

Исходя из этого, есть возможность создания исполнительной информационной модели непосредственно в процессе строительно-монтажных работ, к концу которых у вас будет достоверная BIM-модель объекта, готовая к доработке в эксплуатационную.

Актуальные цены лазерной съемки в зависимости от площади снимаемой поверхности приведены в табл. 2 [6].

Таблица 2

Стоимость лазерного сканирования зданий и сооружений

Площадь сканирования, м ²	Цена, руб./м ²
0-500	150 (мин. цена 40000 руб.)
500-1000	130 (мин. цена 75000 руб.)
1000-2000	100 (мин. цена 130000 руб.)
2000-5000	70
5000-10000	50

В табл. 3 приведены основные технические характеристики и стоимость современных профессиональных лазерных приборов от иностранных производителей. Скорость сканирования таких инструментов от 40000 до 1200000 точек/сек. Точность в зависимости от дальности измерений от 0,2 до 7 мм [7].

Таблица 3

Технические характеристики современных лазерных сканеров

№ п/п	Модель сканера	Цена, руб
1	Лазерный сканер Trimble TX8	3 490 000
2	Leica HDS8800	2 390 000
3	Лазерный сканер Trimble TX5	1 600 000
4	Лазерный сканер SURPHASER 25HSX MRX	1 680 000

Использование лазерного сканирования на разных зданиях жизненного цикла объекта.

Информационное моделирование зданий (Building Information Modeling, BIM) – это гораздо больше, чем технология проектирования. Это целая стратегия, комплексный подход, применяемый на всех уровнях строительной цепочки (проектировании, строительстве и эксплуатации). Для наиболее значительно повышенной эффективности в процессе создания точных интеллектуальных 3D-моделей используют преимущества лазерного сканирования [8].

Основным отличием информационного моделирования от иных видов проектирования является сбор и комплексная обработка всей архитектурно-конструкторской, экономической, эксплуатационной, технологической и иной информации о здании в единой информационной среде. В то же время абсолютно все элементы модели являются взаимосвязанными и взаимозависимыми, что, по сути, делает модель реалистичной (приближенной к реальному зданию и реальной ситуации) [9]. Поэтому применение данной технологии в этом случае позволяет проводить на основе данных съемки модернизацию объектов, создавать координацию между проектами и оптимизировать рабочие процессы.

Использование наземного лазерного сканирования в строительстве и BIM технологиях производится следующих случаях:

- При исполнительной съёмке в процессе выполнения строительного-монтажных работ и после их окончания;
- При корректировке проекта в процессе строительства;
- При контроле за соответствием геометрических параметров заново построенных объектов и проектной документации на эти объекты;
- При обновлении генплана и воссоздании утраченной строительной документации действующего объекта;
- При мониторинге изменения геометрических параметров эксплуатируемых зданий, сооружений и промышленных установок;
- При оптимальном планировании и контроле перемещения и установки сооружений и оборудования.

При проведении контроля за строительством промышленных и гражданских зданий и сооружений рационально использовать лазерное 3D-сканирование. В этом случае основное преимущество лазерного сканирования – оперативность получаемых данных. На объектах с большим количеством объектов, с высокой плотностью и высокими темпами строительства требуется держать бригаду специалистов, ежедневно проводящих геодезические измерения. Кроме, непосредственно, высокой стоимости таких работ неизбежен человеческий фактор, который приводит, во-первых, к затягиванию сроков, а во-вторых, к удорожанию строительных работ. За счет высокой степени автоматизации процесса сбора данных, использование 3D-лазерного сканирования способствует уменьшению влияния человеческого фактора. Мониторинг строительного-монтажных работ с помощью лазерного сканирования позволяет регулярно актуализировать информацию о текущем состоянии строительства, оперативно корректировать календарно-сетевой график, а также контролировать ход работ [10]. Совмещение исходной модели с проектной моделью позволяет выявить коллизии, ошибки строительства на раннем этапе, сократить риски выхода за пределы графика и бюджета строительства. Таким образом, есть возможность создания исполнительной информационной модели непосредственно в процессе строительного-монтажных работ, к концу которых у вас будет достоверная BIM-модель объекта, готовая к доработке в эксплуатационную.

При реконструкции промышленных зданий, насыщенных технологическим оборудованием, большое значение имеет пространственная информация о существующем технологическом оборудовании и строительных конструкциях. Подобная информация может храниться и обрабатываться в виде плоских чертежей на бумажном носителе (которые, к тому же нередко не соответствуют действительности), а может – в виде актуальной трехмерной модели, которая может быть построена с помощью лазерного сканера. Такая 3D-модель существующего производства способствует не только правильному проектированию реконструкции, но и существенно (от 0,4 % до 10 %) снизить затраты на устранение ошибок на этапе строительного-монтажных работ, что в конечном счете удешевляет и ускоряет весь процесс реконструкции предприятия [11].

В свою очередь лазерное сканирование также используют для средней детализации, то есть в техническом задании устанавливается ограничение предметного интереса. Например, такой набор: «сканированию подлежат трубопроводы диаметром от 118 мм. И более; металлоконструкции – только несущие; остальные элементы лишь в случае, если хоть один их габаритный размер превышает 210 мм (рис. 3). Так в одном из гражданских зданий было необходимо вычислить взаимное расположение нескольких

металлоконструкций для дальнейшего решения поставленных задач, имея при этом точнейшие данные, полученные при обработке результатов лазерного сканирования [12].

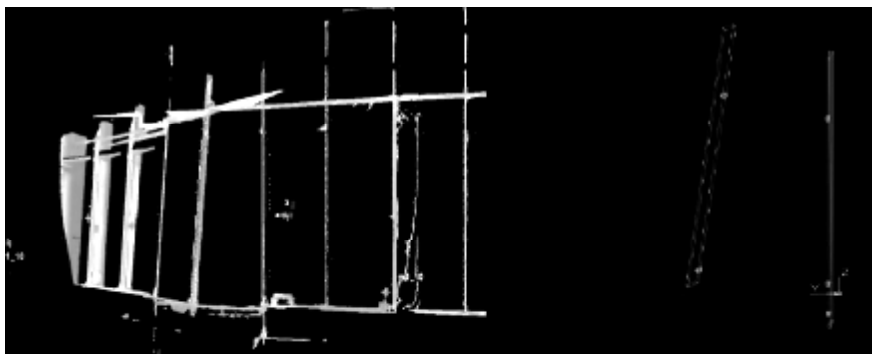


Рис. 3. Пример обработки результатов лазерного сканирования средней детализации [11]

Заключение

Проведя литературный обзор, изучив большой объем информации, мы пришли к выводу, что, несмотря на практическое применение метода наземного лазерного сканирования для обследования отдельных объектов [13], в России, на сегодняшний день, отсутствуют какие-либо официальные методики выполнения подобных работ и отраслевая нормативная документация в целом.

В строительстве есть ряд уникальных задач, в которых применение лазерного сканирования становится по-настоящему необходимым, это касается, во-первых, сложных конструкции со множеством контрольных параметров и во-вторых, если необходимо осуществить сплошной контроль всего этапа строительства.

Современные работы по 3D-контролю (наземному лазерному сканированию) со временем появятся с приходом информационного моделирования, поскольку экономическая эффективность их проведения, как правило, оказывается достаточно высокой для заказчика. Более того, в будущее время не будет существовать иного объективного способа быстрого и точного сбора фактической информации об объекте.

Список библиографических ссылок

1. Середович В. А., Комиссаров Д. В., Комиссаров А. В., Широкова Т. А. Наземное лазерное сканирование // СГГА. 2009. № 3 (28). 261 с.
2. Середович В. А., Комиссаров Д. В. Состояние, проблемы и перспективы применения технологии наземного лазерного сканирования // СГГА. 2009. № 4 (29). С. 205–216.
3. Кошан Е. К. Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. С. 27–30.
4. Hamzah A., Nathan M., Raymond R. Issa. Laser scanning technology and BIM in construction management education // ITcon Vol. 21. 2016. Shanbari et al. P. 206–207.
5. Gleason D. Laser Scanning for an Integrated BIM, 4D-Scheduling, 5D-Quantity and Cost // Trimble Navigation, Ltd. 2013. P. 8–16.
6. Применение технологий лазерного сканирования // GEOSYSTEMS.RU : интернет-изд. 2017. URL: <https://geosystems.ru/use/> (дата обращения: 29.09.2018).
7. Геодезическое и измерительное оборудование // FGEO.RU : ежедн. интернет-изд. 2018 URL: <https://www.fgeo.ru/catalog/scanner/> (дата обращения: 03.10.2018).
8. Припутин Н. А., Леонова А. Н. Применение BIM-технологии в строительстве // Молодежь и новые информационные технологии. Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых в рамках Программы развития

- деятельности студенческих объединений Череповецкого государственного университета «РАЙОН IT». 2016. С. 301–304.
9. Талапов В. В. Информационное моделирование зданий – современное понимание // ФГБОУ ВО «НГАСУ (Сибстрин)». 2015. 115 с.
 10. Capturing BIM Data: Construction Laser Scanning // E-ARCHITECT.CO.UK : daily. In internet-edit. 2014. URL: <https://www.e-architect.co.uk/articles/laser-scanning-for-bim> (дата обращения: 03.10.2018).
 11. Шевченко А. А., Мелитонян А. А. Методология создания BIM-моделей и творческая составляющая процесса BIM проектирования // Международный центр инновационных исследований «OMEGA SCIENCE». 2017. С. 168–172.
 12. Шевченко Г. Г., Гура Д. А., Акопян Г. Т. Применение наземного лазерного сканирования в строительстве и BIM технологиях // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2018. № 2. С. 254–256.
 13. Киямов И. К., Мингазов Р. Х., Музафаров А. Ф., Ибрагимов Р. А., Сибгатуллин И. А. Объемное проектирование путем применения технологии лазерного сканирования // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. 2014. Том 12. № 3. С. 88–93.

Bogdanov Andrey Nikolaevich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: BogdanovAN@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelyonaya st., 1

Aleshutin Ilya Alekseyevich

Specialist in introduction of AEC, CAD, BIM, PDM

LLC «ASCON-KAMA Consulting»

The organization address: 420111, Russia, Kazan, Karl Marks st., 5

Land laser scanning in construction and BIM-technologies

Abstract

Problem statement. The aim of the research is to identify methods of control in construction using ground laser scanning. Construction control allows you to identify violations in the early stages of construction, preventing accidents in the course of further work and in the operation of the building.

Results. The main results consist in the definition of the advantages of using terrestrial laser scanning during the monitoring of construction, and BIM technology. The stages of the life cycle of the object at which the use of these technologies is the most effective. Identified cases requiring BIM: when monitoring for compliance of geometrical parameters, the adjustment of the project in process of construction, when built survey during the construction process and after its completion.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry consists in the possibility of using the land laser scanning technology to identify collisions, construction errors at an early stage, to reduce the risks of going beyond the limits of the construction schedule and budget.

Keywords: laser scanning, 3D-model, BIM-technology.

References

1. Seredovich V. A., Komissarov D. V., Komissarov A. V., Shirokova T. A. Land-based laser scanning // SGGA. 2009. № 3 (28). 261 p.
2. Seredovich V. A., Komissarov D. V. State, problems and prospects of application of ground laser scanning technology // SGGA. 2009. № 4 (29). P. 205–216.

3. Koshan E. K. Possibilities, advantages and disadvantages of land laser scanning // Interexpo geo-Siberia. 2017. P. 27–30.
4. Hamzah A., Nathan M., Raymond R. Issa. Laser scanning technology and BIM in construction management education // ITcon Vol. 21. 2016. Shanbari et al. P. 206–207.
5. Gleason D. Laser Scanning for an Integrated BIM, 4D-Scheduling, 5D-Quantity and Cost // Trimble Navigation, Ltd. 2013. P. 8–16.
6. Application of laser scanning technologies // GEOSYSTEMS.RU : daily. internet-edit. 2017. URL: <https://geosystems.ru/use/> (reference date: 29.09.2018).
7. Geodetic and measuring equipment // FGEO.RU : daily. internet-edit. 2018. URL: <https://www.fgeo.ru/catalog/scanner/> (reference date: 03.10.2018).
8. Priputin N. A., Leonova, A. N. Application of BIM-technology in construction // Youth and new information technologies. All-Russian scientific and practical conference of young scientists in the framework of the Program of development of student associations of Cherepovets state University «RAYON IT». 2016. P. 301–304.
9. Talapov V. V. Building Information Modeling – modern understanding // FSBEI of HE «NGASU (Sibstrin)». 2015. 115 p.
10. Capturing BIM Data: Construction Laser Scanning // E-ARCHITECT.CO.UK : daily. internet-edit. 2014. URL: <https://www.e-architect.co.uk/articles/laser-scanning-for-bim> (reference date: 03.10.2018).
11. Shevchenko A. A., Melitonyan A. A. Methodology for the creation of BIM-models and creative part of the process of BIM design // Mezhdunarodny tsentr innovatsionnyh issledovaniy «OMEGA SCIENCE». 2017. P. 168–172.
12. Shevchenko G. G., Gura D. A., Hakobyan G. T. Application of terrestrial laser scanning in construction and BIM technologies // Nauchniye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo technologicheskogo universiteta. 2018. № 2. P. 254–256.
13. Kiyamov I. K., Mingazov R. H., Muzafarov A. F., Ibragimov R. A., Sibgatullin I. A. Volume design by use of technology of laser scanning // Uchenye zapiski Almetevskogo gosudarstvennogo neft'yanogo instituta. 12. № 3. P. 88–93.