



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

Листратов Ян Александрович

инженер

ООО «Восток-С»

Адрес организации: 420111, Россия, г. Казань, ул. Московская, д. 27, оф. 406

Строительный контроль методом наземного лазерного сканирования¹

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить преимущества применения наземного лазерного сканирования (НЛС) в качестве инструментального метода при проведении строительного контроля в составе комплекса цифровых и BIM-технологий при возведении и последующем мониторинге состояния строительных конструкций.

Результаты. Показана последовательность производства работ и методика оценки результатов сканирования при применении способа наземного лазерного сканирования как инструментального метода оценки качества строительно-монтажных работ.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в снижении сроков и в упрощении процедуры проведения строительного контроля; в ускорении принятия решений по конструкциям объектов строительства при выявлении критичных отклонений от проектных показателей; в возможности проведения непрерывного мониторинга при возведении строительных конструкций, как объектах в период строительства, так и в период их дальнейшей эксплуатации.

Ключевые слова: строительный контроль, наземное лазерное сканирование, 3D-модель, BIM-технология, облако точек.

Введение

В области осуществления строительного контроля, базовым документом является Градостроительный кодекс Российской Федерации, в соответствии с которым нормативная база регулируется законами и иными правовыми актами федерального, регионального уровня и местного самоуправления. Постановлением Правительства РФ от 21.06.2010 № 468 утверждено положение о проведении строительного контроля.

В соответствии с Градостроительным кодексом РФ, технический надзор или строительный (производственный) контроль – «это комплекс экспертно-проверочных мероприятий, осуществляемых с оптимальной регулярностью и по строгому контролю соответствия всего процесса строительных и ремонтных работ действующим нормам и правилам, а также проектной документации». В соответствии с ч. 2 ст. 53 Градостроительного кодекса РФ строительный контроль осуществляется заказчиком и иными указанными лицами.

Задача строительного контроля заключается в решении многоуровневой интегрированной системы, включающей ряд мероприятий и процедур, обязательных для выполнения на всех этапах (стадиях) строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства.

Строительный контроль складывается из строительного контроля застройщика (заказчика), лабораторного контроля, геодезического контроля, производственного контроля, авторского надзора, контроля качества инженерных изысканий и т.д.

На особо опасных, технологически сложных и уникальных объектах капитального строительства строительный контроль осуществляется инспекционными организациями, аккредитованными в Единой системе оценки соответствия.

¹Статья подготовлена по материалам специалиста по внедрению АЕС, САД, ВІМ, РDM Алешутина Ильи Алексеевича.

Строительный контроль и его задачи

В состав строительного контроля, по решению застройщика (заказчика), могут включаться задачи мониторинга технического состояния зданий и сооружений, отдельных конструкций, анализ конструкционных систем, систем мониторинга окружающей застройки и экологической обстановки.

В состав задач организации, осуществляющий строительный контроль, включается: своевременное оформление разрешительной документации на строительство и подготовительные работы, контроль выноса границ отвода земельного участка под строительство, контроль и приемка работ по разбивке осей зданий, инженерных сетей и коммуникаций, оценка сроков, состава и качества проектно-сметной документации, контроль сроков и качества строительно-монтажных работ, качества строительных материалов, полуфабрикатов, деталей и конструкций, наличие паспортов, результатов лабораторных анализов и испытаний, контроль своевременности и качества оформления производственно-технической и исполнительной документации, ведения общего и специальных журналов производства работ, рассмотрение текущих вопросов организации строительного контроля и участие в подготовке документации к сдаче объекта в эксплуатацию (СДОС-03-2009).

В задачи строительного контроля входит проведение независимой геодезической съемки и обмерных работ на объекте, с целью проверки соответствия данных исполнительной документации фактическим параметрам объекта. Обмерные работы в ходе технической экспертизы или строительного контроля выполняются для точного определения фактических геометрических параметров здания или сооружения. Отличительной особенностью обмерных работ, для целей технического надзора, от обычных архитектурных обмеров, является требование указания на обмерных чертежах отклонений по всем контролируемым элементам здания от проектного положения, отклонение несущих конструкций от вертикали, а перекрытий – от горизонта (СП 48.13330.2011).

Все большее применение в строительстве находят информационные BIM-технологии. Большинство из них направлены на решение задач, связанных как с моделированием отдельно стоящих зданий, сооружений, так и застройки кварталов и городов, инженерных сетей, дорог и т.д. Помимо решения задач с проектированием объектов остается много смежных отраслей, в которых цифровые технологии еще не получили интенсивного развития. К примеру, строительный контроль за ходом строительства зданий или длительный мониторинг состояния конструктивной части объекта, его ограждающих конструкций.

Для общественных и ответственных зданий и сооружений, фабрик и заводов, необходимо проводить обязательные периодические инспекционные проверки состояния и отклонений конструктивных элементов здания при эксплуатации, в особенности в местах концентрации напряжений, с целью предупреждения наступления предельных состояний [1]. Для решения множества задач подходит метод наземного лазерного сканирования (НЛС).

Начиная с первых этапов строительства, периодические или постоянные геодезические измерения, выполняемые в интересах контроля строительства объектов, способны обеспечить технические и управленческие службы заказчика и инвестора, объективной информацией о ходе строительства, о допущенных нарушениях проекта, о фактически выполненных объемах строительного этапа. Своевременно обнаруженные отклонения от проекта позволяют уменьшить время на принятие решения по внесению изменений в проект и/или устранению недостатков работы строителей или монтажников [2]. Накоплен большой опыт, когда отклонение от проекта, выявлялось на конечных стадиях строительства, когда исправить ситуацию уже практически невозможно или это сопряжено с серьезными дополнительными затратами [3, 4].

Боле 17 лет осуществлением контроля методом НЛС в гражданском промышленном строительстве или при авторском надзоре занимаются все владельцы лазерных сканеров. При этом для заказчика строительства осуществление подобного контроля оказывается экономически обоснованным, в особенности учитывая то, что в

современных реалиях не существует иного быстрого и объективного метода сбора фактической информации об объекте [3-6].

К недостаткам применения метода НЛС можно отнести отсутствие нормативной документации и официальных методик проведения работ, а так же методик оценки стоимости работ. Ранее, в научном журнале «Известия КГАСУ» № 4 (46) авторы Богданов А.Н. и Алешутин И.А. приводили примерную рыночную стоимость производства работ и стоимость оборудования.

3D-сканирование – не всегда экономически обосновано. Существует ряд узконаправленных уникальных задач, с которыми лазерное сканирование не справится, или его применение окажется не оптимальным по затратам. Например, с задачей контроля небольшого числа локальных точек при монтаже балки, с успехом справится геодезист с тахеометром. Но, при монтаже сложных конструкций с необходимостью контроля множества параметров, в особенности в реальном режиме времени, или при сплошном контроле строительства, не обойтись без средств автоматизации. Многие авторы отмечали риски применения BIM-технологий в реальном режиме времени, к примеру, в работе «A review of risk management through BIM and BIM-related technologies» [7].

Производство работ в составе строительного контроля

Методика проведения и оценка результатов сканирования на соответствие проектной модели приведены на примере объекта «Северный вестибюль» станции метро «Пятницкое Шоссе» (г. Москва), схожа с результатами [8] для простых объектов.

При проведении работ решалась задача совмещения исходной проектной BIM-модели объекта с отсканированной фасадной частью уже построенного вестибюля станции метро, с целью определения наличия отдельных элементов в реальной конструкции и их отклонений от проектной. Похожие задачи решались ранее [9]. Сканирование производилось с помощью сканера Topcon GLS-2000, представляющего собой универсальный рабочий инструмент, предназначенный для проведения работ по сканированию объектов в диапазоне от 1 до 350 метров (технические характеристики сканера приведены в табл.). Инструмент имеет компактный размер, защищен от воздействия влаги и пыли.

Для решения поставленной задачи применялись системы, представленные на рис. 1 в виде сквозного технологического процесса обработки результатов (AutoDesk ReCap, AutoDesk Navisworks, AutoDesk Revit, Point Layout).



Рис. 1. Программные комплексы [10]

Таблица

Метрологические и технические характеристики сканера Topcon GLS-2000 [11]

Наименование характеристики	Значение характеристики
Диапазон измерения расстояний, м:	от 1 до 350
Допустимая средняя квадратическая погрешность измерения расстояний, мм:	$\pm 3,5$
Угловое поле сканирования, ...°: - в горизонтальной плоскости: - в вертикальной плоскости:	от 0 до 360 ± 135
Допустимая средняя квадратическая погрешность измерения углов, ...°:	6
Диапазон рабочих температур, °С:	от - 5 до + 30
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм, не более:	152×293×412
Масса, кг, не более:	11

Производство работ по наземному лазерному сканированию (НЛС)

На первом этапе, перед началом сканирования определяются места закрепления связующих марок. Связующие чёрно-белые круглые марки располагаются из учёта минимальной видимости 2-х марок. Впоследствии, при обеспечении условия попадания марок в поле зрения сканера с каждой станции сканирования, для объединения облаков точек, полученных в результате лазерного сканирования, достаточно двух связующих марок (минимального количества марок, требуемого для регистрации сканов в единую систему координат). В случае если потребуется объединение результатов сканирования, полученных последовательно один за другим, следуя по определённому маршруту, необходимо обеспечивать наличие в поле видимости сканера большего количества связующих марок. При необходимости сгущения сети связующих точек можно использовать местные предметы и элементы ситуации. К примеру, программное обеспечение «Торсон» позволяет производить регистрацию сканирований посредством сферических объектов. Объединенное облако точек с допустимыми погрешностями, при отсутствии черно-белых марок, можно получить, используя в поле зрения сканера сферические объекты (например, фонари освещения).

Выбор мест сканирования проводился с учетом большого количества деталей сооружения (как мелких, так и крупных), которые могут быть причиной возникновения «теней» (участков, не покрытых облаком точек). Источниками теней может быть любой угол, навес, выступающая часть фасада, колонна, элементы ландшафта и многое другое. В результате приходится увеличивать количество станций, наряду с увеличением дополнительных марок.

Для максимально полного охвата поверхности объекта было сделано 8 станций (сканирование выполнено с 8 разных точек для покрытия всей поверхности объекта точками).

На этом подготовительный период заканчивается. На следующем этапе производится лазерное сканирование с заданной плотностью фасадной части вестибюля. Для покрытия поверхности точками с достаточной степенью плотности требуется сканирование с разных позиций вокруг объекта с перестановкой сканера. Например, авторы [12] указывают на необходимость улучшения качества облака точек для повышения достоверности результатов при мониторинге строительства объекта. Вестибюль имеет овальную форму, поэтому необходимо перемещать сканер вокруг него. Непосредственно процесс сканирования объекта занимает около двух часов.

Инструментальный контроль методом НЛС

По окончании сканирования, результаты объединяются в единую модель.

Эта задача решается, например, в программном модуле «AutoDesk ReCap», где проводится объединение сканов в единую модель с целью последующей обработки. Сначала проводится регистрация облаков точек с объединением их в единый массив данных (рис. 2). Данная операция может проводиться как в ручном, так и в автоматическом режиме. Для регистрации или привязки облаков точек в ручном режиме,

достаточно отметить либо три общие характерных точки, либо три специальных мишени на перекрывающихся сканах, одновременно оценивая результат скана, и проводя повторную регистрацию в случае неудовлетворительного результата. По результатам регистрации выводится отчет.

На загрузку данных и сшивку отдельных сканов в единое облако точек для восьми станций уходит порядка полутора часов. Результат рассмотрения сканирований на каждой станции приведен на рис. 2.

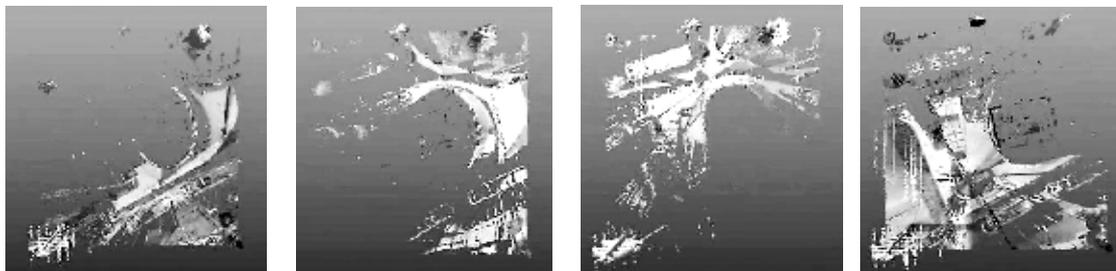


Рис. 2. Покрытие облака точек с четырех станций [10]

Для вестибюля, регистрация 6 отдельных сканов из 8, выполнена автоматически, для 2-х сканов потребовалось указание общих точек, поскольку на модели оказалось большое количество повторяющихся деталей, и, в подобном случае, программный комплекс не всегда успешно справляется с задачей.

Возможности ReСap позволяют отобразить облако точек в виде 3D-модели, перемещаться и выполнять промеры расстояний в любом направлении в ее пределах (рис. 2). Созданные размеры можно интерактивно редактировать, настраивать стили отображения облака точек, переключаться с отображением градиентов цветов для отображения высот, интенсивности отраженного сигнала и направления нормалей поверхности (рис. 3).

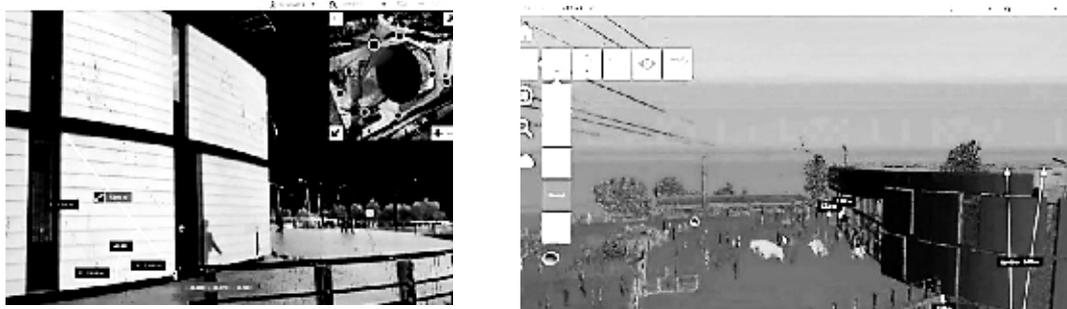


Рис. 3. Обмерные работы на 3D-модели [10]

По окончании объединения сканов в единую модель (регистрации) выполняется очистка облака точек от «артефактов». Съемка проводится в дневное время и в сканированное облако точек попадают «следы» от нежелательных объектов, предметов, людей и т.д. Система выбирает эти «следы» по ряду критериев. Основной критерий – сравниваются несколько сканов, на которых выделяются объекты, не имеющие постоянного положения, или отсутствующие на отдельных сканах, подлежащие удалению (рис. 4). Затем проводится оценка результатов методом визуального контроля. В случае необходимости можно вернуться на площадку сканирования и дополнительно сделать достаточное число стоянок для обеспечения полного покрытия объекта точками.

Сравнение исходной (проектной BIM-модели) и, полученной в результате сканирования, моделей проводится методом наложения, позволяющего оценить отклонения или изменения конфигурации реального объекта от проектных решений (рис. 5).

Для этих целей использовалась программная среда Navisworks. При визуальном анализе видны основные отличия от проектной модели, которые можно оценить

инструментально. Последовательность и результат наложения моделей приведены на рис. 5. Здесь слева приведена проектная BIM-модель, в центре – результат сканирования реального объекта и справа – результат наложения облака точек на проектную BIM-модель.



Рис. 4. Очистка облака точек [10]
(слева – исходное; в середине – обнаружение объектов; справа – после очистки)



Рис. 5. Совмещение облака точек с проектной моделью [10]
(слева – проектная модель; в середине – облако точек; справа – результат наложения)

При сравнении видны отличия проектной BIM-модели от реального объекта. К примеру, отсутствие дополнительного входа на проектной модели.

Система Revit также позволяет выполнить наложение облака точек на имеющуюся BIM-модель объекта. Результаты можно оценить как в трехмерном, так и в двухмерном виде, планов этажей, фасадов и разрезов (рис. 6).



Рис. 6. Трехмерное и двухмерное отображение облака точек [10]

На планах этажей видны отклонения геометрии объекта от геометрии проектной модели в горизонтальной плоскости. В программной среде можно количественно оценить размеры и отклонения. К примеру, на плане верхнего этажа хорошо видно нарушения формы фасада, отличаются размеры и параметры эллипса, неплпвность очертаний (рис. 7). Анализ вертикального разреза (рис. 7) позволяет оценить отклонения фасада от проектных значений по вертикали. Видно, что вертикальность сооружения не нарушена.

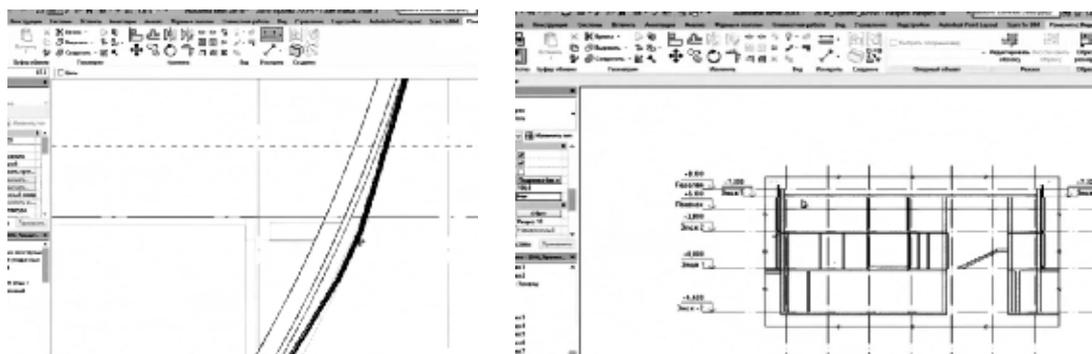
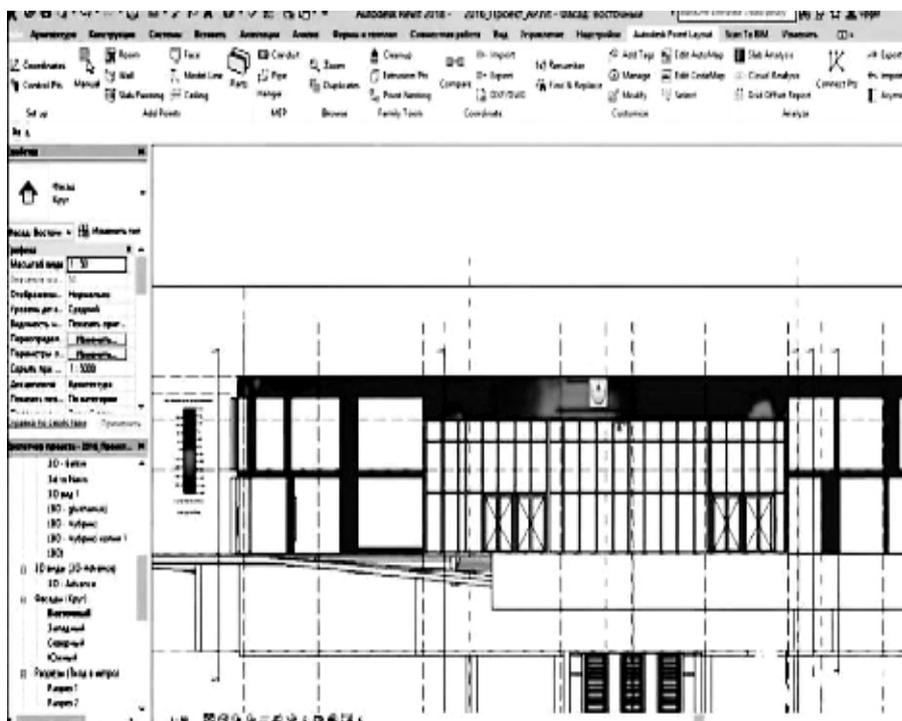


Рис. 7. Несоответствие формы фасада проектной модели [10]

Окончательный, более точный анализ конкретных значений отклонений выполняется в приложении Autodesk Revit совместно с Autodesk Point Layout (рис. 8). С помощью этих программных комплексов проводится оценка величин отклонений, по результатам которых готовятся отчеты, например, в виде картограммы, поддающиеся визуализации. Впоследствии, руководствуясь отчетами, можно принимать решения о внесении изменений на объекте (рис. 8).

Рис. 8. Картограммы объекта с отклонениями [10]
(допуски и отклонения обозначены градиентом цвета)

На картограмме (рис. 8), допуски и отклонения от проектных значений обозначены градиентом цвета. Видно, что ряд конструкций имеет отклонения от проектных превышающие 20 см.

При редактировании элементов модели можно ее актуализировать, осуществив привязку облака точек.

Заключение

Таким образом, наглядно показаны преимущества применения метода НЛС при проведении строительного контроля, обеспечивающего получение информации о соответствии объекта строительства любой сложности и конфигурации в плане, проектной документации, в реальном режиме времени. Применяя метод НЛС в качестве

инструментального метода можно определить наличие отклонений строительных конструкций от проектных значений, сделать их качественную и количественную оценку и, с большой вероятностью, в сжатые сроки принять решение о необходимости внесения изменений в проект или объект строительства. Метод НЛС применим для проведения строительного контроля, как новых объектов строительства, так и при мониторинге напряженных состояний строительных конструкций зданий и сооружений в период их эксплуатации.

Список библиографических ссылок

1. Chao Chen, Llewellyn Tang BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance // Automation in Construction. November 2019. Volume 107. Article 102944.
2. Jovita Cepurnaite, Leonas Ustinovicus, Mantas Vaisnoras Modernization with BIM technology through scanning building information // Procedia Engineering. 2017. Vol. 208. P. 8–13.
3. Лазерное сканирование в интересах авторского надзора и контроля строительства // URL: <https://acropol-geo.ru/o-texnologii/119-kontrol-stroitelstva> (дата обращения: 22.10.2018).
4. Кошан Е. К. Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. С. 27–30.
5. 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.
6. 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.
7. Yang Zou, Arto Kiviniemi, Stephen W. Jones A review of risk management through BIM and BIM-related technologies // Safety Science. August 2017. Vol. 97. P. 88–98.
8. Hamzah A., Nathan M., R. Raymond Issa. Laser scanning technology and BIM in construction management education // ITcon Vol. 21. 2016. P. 206–207.
9. Mahmoud Ahmed, Yelda Turkan, Carl T. Haas, Ralph Haas The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM-techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components // Automation in Construction. 2015. Vol. 49. Part B. P. 201–213.
10. Алешутин И. А. Контроль в строительстве и BIM-технологиях с использованием лазерного сканирования. Казань : КГАСУ, 2019.
11. Лазерный сканер TOPCON // URL: <http://geo-teh.ru/upload/iblock/bb9/bb9aa647236c792b512d0ef766e7bd26.pdf> (дата обращения 03.05.2019).
12. Danijel Rebolj, Zoran Pučko, Nenad Čuš Babič, Marko Bizjak, Domen Mongus Point cloud quality requirements for Scan-vs-BIM based automated construction progress monitoring // Automation in Construction. December 2017. Vol. 84. P. 323–334.

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

Listratov Jan Alexandrovitch

engineer

LLC «Vostok-S»

The organization address: 420111, Russia, Kazan, Moscovskaya st., 27, of. 406

Construction control by ground laser scanning

Abstract

Problem statement. The aim of the research is to identify the advantages of using ground laser scanning (GLS) as an instrumental method during construction control as part of a complex of digital and BIM-technologies during construction and subsequent monitoring of the state of construction structures.

Results. The sequence of works performance and the method of evaluation of scanning results at application of the method of ground laser scanning as an instrumental method of assessment of quality of construction and installation works are shown.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry consists in reducing the time frame and simplifying the procedure for carrying out construction control, accelerating the adoption of decisions on the structures of construction objects with the detection of critical deviations from the design indicators, the possibility of continuous monitoring during the construction of construction structures, both during the construction and during their further operation.

Keywords: construction control, ground laser scanning, 3D-model, BIM-technology, point cloud.

References

1. Chao Chen, Llewellyn Tang BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance // Automation in Construction. November 2019. Volume 107. Article 102944.
2. Jovita Cepurnaite, Leonas Ustinovicus, Mantas Vaisnoras Modernization with BIM technology through scanning building information // Procedia Engineering. 2017. Vol. 208. P. 8–13.
3. Laser scanning in the interests of architectural supervision and construction control // URL: <https://acropol-geo.ru/o-texnologii/119-kontrol-stroitelstva> (reference date: 10.22.2018).
4. Koshan E. K. Opportunities, advantages and disadvantages of ground-based laser scanning // Interexpo Geo-Sibir'. 2017.P. 27-30.
5. Shevchenko G. G., Gora D. A., Akopyan G. T. Application of ground-based laser scanning in construction and BIM-technologies // Nauchnye trudy KubGAU. 2018. № 2. P. 254–256.
6. Kiyamov I. K., Mingazov R. Kh., Muzafarov A. F., Ibragimov R. A., Sibgatullin I. A. Volumetric design using laser scanning technology // Uchenye Zapiski Almetyevskogo gosudarstvennogo neftyanogo instituta. 2014. Volume 12. № 3. P. 88–93.
7. Yang Zou, Arto Kiviniemi, Stephen W. Jones A review of risk management through BIM and BIM-related technologies // Safety Science. August 2017. Vol. 97. P. 88–98.
8. Hamzah A., Nathan M., R. Raymond Issa. Laser scanning technology and BIM in construction management education // ITcon Vol. 21. 2016. P. 206–207.
9. Mahmoud Ahmed, Yelda Turkan, Carl T. Haas, Ralph Haas The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM-techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components // Automation in Construction. 2015. Vol. 49. Part B. P. 201–213.
10. Aleshutin I. A. Control in construction and BIM-technologies using laser scanning. Kazan: KGASU, 2019.
11. Laser scanner TOPCON // URL: <http://geo-teh.ru/upload/iblock/bb9/bb9aa647236c792b512d0ef766e7bd26.pdf> (reference date: 05.05.2019).
12. Danijel Rebolj, Zoran Pučko, Nenad Čuš Babič, Marko Bizjak, Domen Mongus Point cloud quality requirements for Scan-vs-BIM based automated construction progress monitoring // Automation in Construction. December 2017. Vol. 84. P. 323–334.