

УДК 004.9: 528.721.221.6

DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-2-115-124

МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ И ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ

Александр Владимирович Комиссаров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: a.v.komissarov@sgugit.ru

Алексей Викторович Ремизов

Назарбаев Университет, 010000, Казахстан, г. Нур-Султан, пр. Кабанбай-батыра, 53, аспирант, e-mail: alexeyremizov88@gmail.com

В статье рассмотрено применение наземного лазерного сканирования с целью получения исходных данных при проектировании сложных объектов с применением BIM-технологий. Указаны программные BIM-продукты и пути их использования в конкретном проекте по реконструкции аэропорта Костанай. Описана технология получения исходных данных с помощью лазерного сканера Leica RTC360, оснащенного передовой визуально-инерциальной системой, в основе работы которой положен алгоритм SLAM, позволяющий автоматически объединять сканы с разных станций стояния по ходу производства работ, существенно экономя время. Описаны преимущества применения подобного оборудования по сравнению с традиционными обмерочными работами. Приведены среднеквадратические ошибки объединения сканов. В результате выполненных работ получена трехмерная модель здания, которая позволила восстановить проектную документацию в полном объеме, и выполнено проектирование нового здания аэровокзала. При этом процесс проектирования был сокращен примерно на 20 %.

Ключевые слова: модернизация, методика, наземное лазерное сканирование, скан, BIM-технологии

Введение

В настоящее время состояние, а также технический уровень авиатранспортной инфраструктуры в Республике Казахстан не удовлетворяют современным потребностям. После обретения Казахстаном независимости в 1991 г. и выхода страны на международный рынок авиаперевозок множество региональных аэропортов изменили или имеют возможность изменить свой статус на международный. В подобных обстоятельствах несоответствие аэропортов современным требованиям, их неразвитость существенным образом тормозят развитие рынка авиатранспортных услуг.

На сегодняшний день развитию воздушного транспорта и авиации в Казахстане уделяется значительное внимание. Начиная с 2006 г., в целях развития авиации в Казахстане реализовано несколько государственных программ, направленных на либерализацию регулирования воздушных перевозок, рост инвестиций в поддержку инфраструк-

туры авиаперевозок, повышение требований к безопасности полетов и авиационной безопасности. Развитие казахстанского рынка авиаперевозок пассажиров в последние годы определяется устойчивыми макроэкономическими показателями республики. Рост ВВП, в первую очередь, отражается на развитии деловой активности населения, повышает спрос на внутренние и международные перевозки [1].

По результатам аналитического доклада «О состоянии инфраструктуры аэропортов, аэродромного оборудования, аэронавигационного и радиотехнического обеспечения полетов воздушных судов государств-членов Евразийского экономического союза», составленного Евразийской экономической комиссией в 2019 г., в целом, проблемы по вопросу состояния инфраструктуры аэродромного, аэронавигационного и радиотехнического обеспечения полетов воздушных судов в Казахстане в настоящее время отсутствуют [2]. Однако состояние казахстанских аэропортов хотя и оценивается как удовлетворительное,

все же характеризуется значительным физическим и, еще более ярко выраженным, моральным износом. В связи с этим многие аэропорты необходимо реконструировать.

Аэропорт города Костанай относится к международным, однако остро нуждается в модернизации и реконструкции. В 2018 г. начаты работы по реализации проекта «Реконструкция искусственной взлетно-посадочной полосы и аэровокзала аэропорта города Костанай», который завершился в начале 2019 г. В настоящее время ВВП аэропорта Костанай способен принимать воздушные суда всех типов.

Следующим этапом реализации проекта является реконструкция здания аэровокзала. Здание аэровокзала, введенное в эксплуатацию в 1975 г., общий физический износ которого по состоянию на 2018 г. составляет по данным обследований 37 %, утратило значительную часть своих эксплуатационных качеств, устарело, в большей степени морально, и не может полностью соответствовать современным требованиям к плани-

ровке, благоустройству, безопасности и комфорта (рис. 1).



Рис. 1. Состояние международного аэропорта Костанай до реконструкции

Основная часть

Основным объемом работ стала разработка нового зала вылета взамен существующему (рис. 2).



Рис. 2. План нового блока, проектируемый взамен существующему залу вылета

Объемно-планировочными решениями предполагалось сделать новый зал вылета двухэтажным, с четким функциональным зонированием комплекса, что требуется в соответствии с современными авиационными стандартами.

Помимо этого, в соответствии с заданием на проектирование, серьезной реконструкции подвергнется и существующее здание аэровокзала. Заданием оговариваются требования по обеспечению доступности здания для инвалидов и маломобильных групп населения. Кроме пандусов и специальных подъездных путей здание должно быть дооснащено устройствами для проезда инвалидов колясок. Системы инженерного оборудования аэровокзала подлежат полной замене. После реконструкции аэровокзал должен получить лифты, эскалаторы и телескопический трап. Существенным образом должен преобразиться фасад и внутренняя отделка здания, а территория вокруг

аэропорта должна быть благоустроена (рис. 3). При этом требованием технического задания является максимальное сохранение конструктивных элементов существующего здания. Кроме этого, большая часть проектной документации существующего здания к моменту выполнения работ была утеряна. Следовательно, для разработки проекта реконструкции целесообразнее использовать BIM-технологии, которая позволит более полно описать все элементы конструкции на основе полученной трехмерной модели и сохранившейся проектной документации. Кроме этого, использование BIM-технологии на этапе дальнейшего проектирования позволит в комплексе учесть физический износ существующих конструкций и смоделировать нагрузки, возникающие в процессе реконструкции и дальнейшей эксплуатации, а также выполнить расчет периода эксплуатации здания аэропорта до его следующего капитального ремонта.



Рис. 3. Проект отделки фасада международного аэропорта Костанай

В результате реконструкции произойдет увеличение площади застройки с 2 800 до 4 800 м². Общая площадь помещений аэровокзала увеличится с 4 700 до 9 000 м². Проектная пропускная способность увеличится с 200 до 250 человек в час, однако существенным образом изменится функционально.

Наземная лазерная съемка

В связи с большим количеством помещений и необходимостью выполнения проектных работ в BIM среде обмерные работы выполнялись с помощью лазерного сканера Leica RTC360 с использованием программ-

ного обеспечения Cyclone FIELD 360 и Cyclone REGISTER 360. Кроме того, для помещений малой площади (менее 4 м²) и различных ниш использовался ручной сканер DPI-8X, принцип работы которого изложен в работе [3]. Существенным преимуществом данного решения является его скорость, а также высокая автоматизация процессов сканирования, объединения сканов и уравнивания скантриангуляционных сетей, что позволило в разы сократить время выполнения полевых и камеральных работ [4]. Данные, полученные ручным сканером, экспортировались в программное обеспечение Cyclone для дальнейшего объединения с данными, полученными наземным лазерным сканером Leica RTC360.

Выбор лазерных сканеров Leica RTC360 и DPI-8X для решения поставленных задач обусловлен следующими преимуществами по отношению к конкурентам:

- получение панорамного снимка с использованием одновременно 3-х 12-мегапиксельных камер. Панорамное изображение имеет разрешение 423 Мпикс, что позволяет получать общий массив точек с высокой плотностью (2–3 точки на см²) в реальных

цветах, а процесс объединения данных сканирования и полученных фотографий производить в автоматическом режиме;

- наличие визуально-инерциальной системы (ВИС), способной автоматически выполнить взаимное ориентирование смежных перекрывающихся сканов. Данная система основана на технологии SLAM [5–8].

Общее количество сканерных станций при съемке здания аэровокзала Костанай составило 300 штук (рис. 4). Сканирование проводилось с пространственным разрешением 12 мм при расстоянии до снимаемого объекта 20 м, рассчитывалось на основании работы [9]. Для объединения сканов в единый массив точек использовалась технология скантриангуляции. Кроме этого, выполнялось сканирование внешних фасадов здания, а съемка прилегающей территории выполнялась с помощью ГНСС-аппаратуры. Максимальная погрешность объединения пары сканов составила 4 мм. Данные погрешности возникали в тех случаях, когда перекрытие между сканами составляло менее 30 %, а конфигурация помещения не позволяла обеспечить достаточной совместимости. Средняя СКО объединения всех сканов составила 1 мм (таблица).



Рис. 4. Расположение станций сканирования при съемке аэровокзала

Результаты частичной оценки точности объединения сканов

Название связи	Название станции 1	Название станции 2	Перекрытие, %	СКО, м
Связь 1	sbppodv-Setup 001	sbppodv-Setup 002	43	0,002
Связь 2	sbppodv-Setup 002	sbppodv-Setup 003	40	0,001
Связь 3	sbppodv-Setup 003	sbppodv-Setup 004	58	0,000
Связь 4	sbppodv-Setup 004	sbppodv-Setup 005	30	0,000
Связь 5	sbppodv-Setup 004	sbppodv-Setup 006	50	0,001
Связь 6	sbppodv-Setup 004	sbppodv-Setup 008	27	0,001
Связь 7	sbppodv-Setup 004	sbppodv-Setup 012	19	0,001
Связь 8	sbppodv-Setup 006	sbppodv-Setup 007	42	0,001
Связь 9	sbppodv-Setup 008	sbppodv-Setup 009	44	0,001
Связь 10	sbppodv-Setup 008	sbppodv-Setup 010	20	0,001
Связь 11	sbppodv-Setup 008	sbppodv-Setup 011	28	0,001
Связь 12	sbppodv-Setup 012	sbppodv-Setup 013	38	0,001
Связь 13	sbppodv-Setup 012	sbppodv-Setup 014	51	0,001
Связь 14	sbppodv-Setup 014	sbppodv-Setup 015	51	0,000
Связь 15	sbppodv-Setup 014	sbppodv-Setup 017	42	0,000
Связь 16	sbppodv-Setup 015	sbppodv-Setup 016	40	0,001
Связь 17	sbppodv-Setup 017	sbppodv-Setup 018	51	0,000
Связь 18	sbppodv-Setup 017	sbppodv-Setup 019	58	0,001
Связь 19	sbppodv-Setup 019	sbppodv-Setup 020	44	0,000
Связь 20	gallery-Setup 001	gallery-Setup 002	37	0,001
Связь 21	gallery-Setup 002	gallery-Setup 003	47	0,001
Связь 22	gallery-Setup 003	gallery-Setup 004	44	0,000
Связь 23	gallery-Setup 004	gallery-Setup 005	71	0,000
Связь 24	gallery-Setup 005	gallery-Setup 006	45	0,001
Связь 25	gallery-Setup 006	gallery-Setup 007	25	0,001
Связь 26	gallery-Setup 006	gallery-Setup 012	61	0,001
Связь 27	gallery-Setup 006	gallery-Setup 017	61	0,001
Связь 28	gallery-Setup 007	gallery-Setup 008	57	0,001
Связь 29	gallery-Setup 008	gallery-Setup 009	79	0,001
Связь 30	gallery-Setup 009	gallery-Setup 010	43	0,001
Связь 31	gallery-Setup 010	gallery-Setup 011	37	0,001

В результате сравнения данных сканирования с материалами топографической съемки средняя квадратическая погрешность (СКП) единого массива точек составила менее 1,5 см, что является удовлетворительным результатом согласно требованиям проектировщиков.

Кроме этого, полученные результаты сканирования позволили сделать практические исследования, которые показали следующее:

- использование технологии SLAM позволило значительно сократить (примерно на 35–42 % в зависимости от конфигурации) геодезическое обеспечение при скантриангуляционных построениях по сравнению с рекомендациями в работе [4];

- при использовании технологии SLAM сканы объединяются по измерениям от объектов съемки, что снижает итоговую точность построения скантриангуляционной всей сети по сравнению с использованием специальных марок для подсоединения смежных сканов примерно на 12–16 %.

В ходе практических работ установлено, что перекрытие между сканами должно быть не менее 10 %, а при перекрытии от 10 до 20 % точки в зоне перекрытия должны располагаться в различных плоскостях. При перекрытии между сканами более 20 % на точность подсоединения влияют в основном метрологические свойства сканируемого объекта.

Полученные выводы соответствуют работам [10–12].

Камеральная обработка данных и создание чертежей

Камеральная обработка данных лазерного сканирования состояла из следующих этапов:

- объединение данных лазерного сканирования, полученных Leica RTC360 и с DPI-8X, в единый массив точек в программе Leica

Register 360 и выгрузка данных в AutoCAD (рис. 5);

- сегментация данных на блоки для упрощения дальнейшей работы в связи с большим объемом данных;
- создание чертежей всех разделов проектной документации в Autodesk AutoCAD (рис. 6).

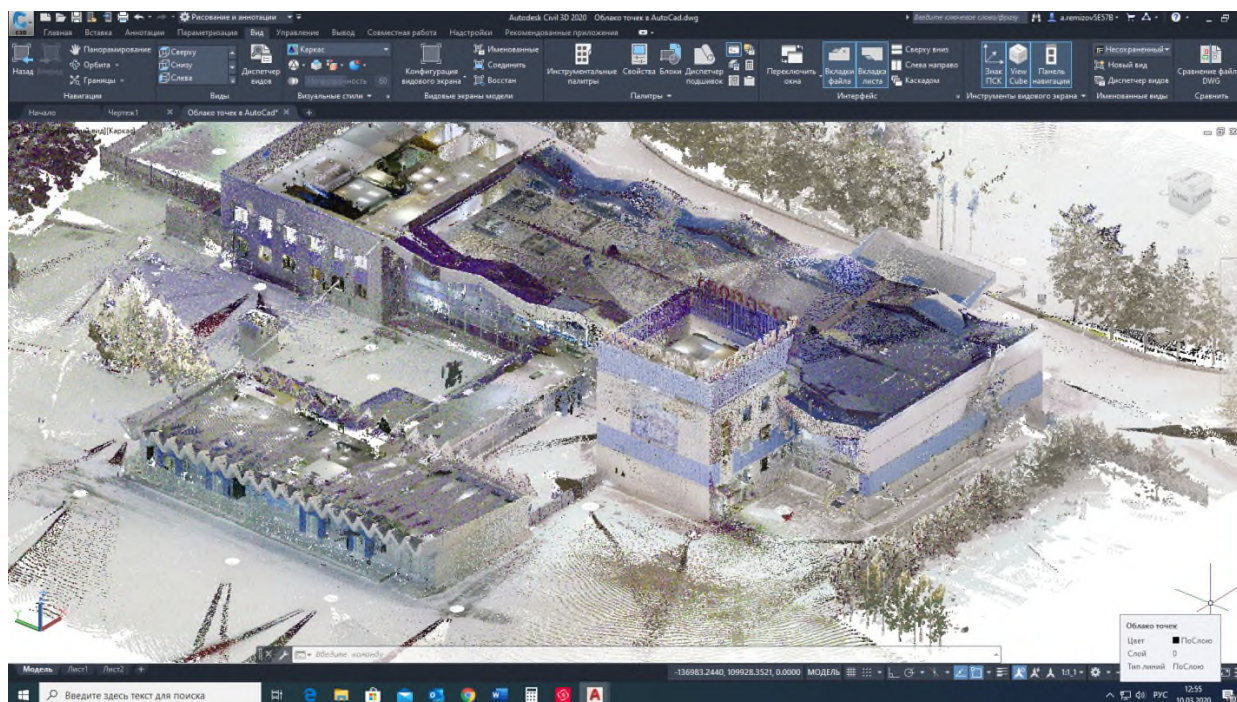


Рис. 5. Массив точек в программе AutoCAD

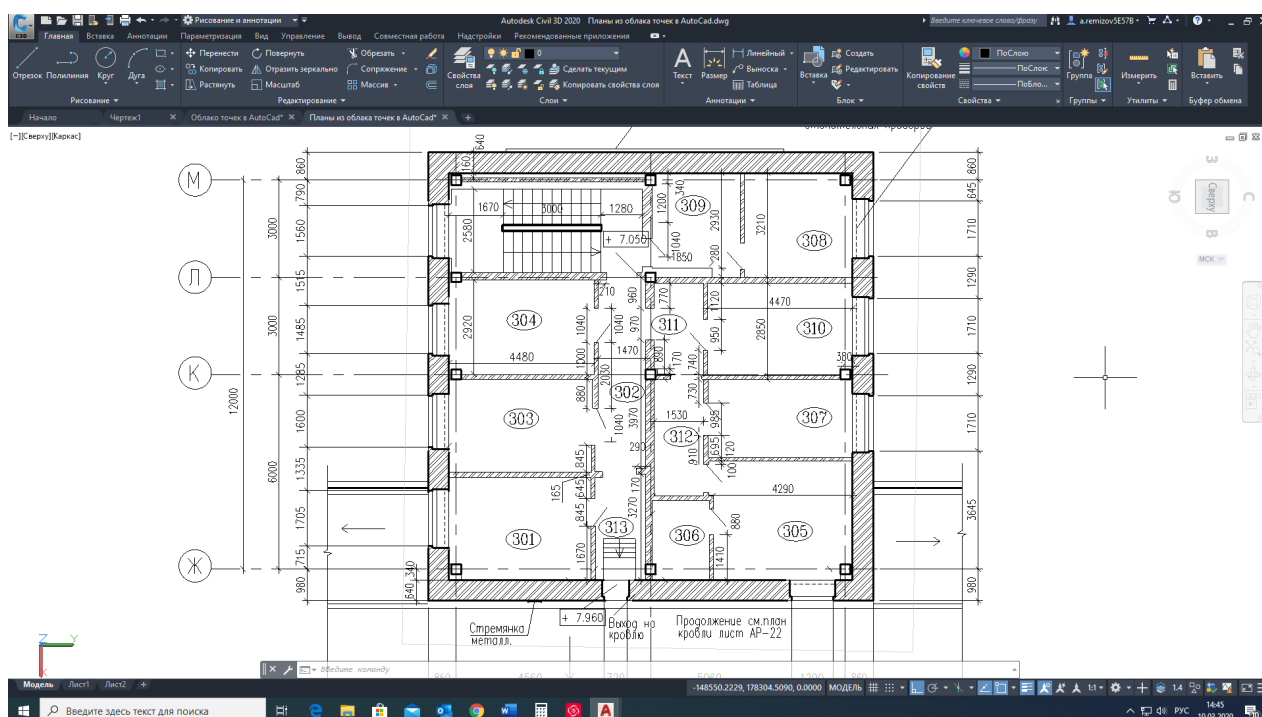


Рис. 6. План этажа в AutoCAD, созданный по массиву точек

Для объединения данных полученным ручным сканером DPI-8X с материалами сканирования Leica RTC360 исследовались два способа: с использованием зон перекрытия между массивами данных и на основе специальных марок. В результате этих экспериментов установлено, что использование специальных марок для подсоединения не способствует существенному повышению точности, но при этом усложняет процесс проведения работ. Также установлено, что для создания более точной модели при обработке данных, полученных DPI-8X, необходимо учитывать рекомендации, указанные в работе [3].

Применение BIM-технологии в ходе проектирования

В настоящее время ведется разработка рабочего проекта реконструкции здания терминала международного аэропорта города Костанай. Проектирование выполняется на основе BIM-технологий.

Основным инструментом BIM-моделирования выступал программный продукт Autodesk Revit. На стадии эскизной разработки для создания архитектурного концептуального решения наружного и внутреннего обликов здания использовались две программы Autodesk Revit и 3d Max. В Revit осуществлялось проектирование конструктивной части здания, в частности решалось приемыкание нового блока к существующему зданию без вмешательства в существующие конструкции. Для разработки генерального плана использовались два программных продукта Autodesk Revit и Civil 3D. Помимо процессов проектирования, применение BIM-технологий позволило рассчитать точные объемы демонтируемых конструкций и инженерных сетей, помогло подобрать оптимальные решения для проекта производства работ. Использование BIM-технологий [13] способствовало максимально приблизить сметный расчет к реальным затратам. Разработка подобных проектов без использования BIM-технологий потребовало бы значительно больше времени.

Кроме этого, практический опыт использования данных лазерного сканирования, сов-

мещенных со снимками высокого разрешения, позволил конструкторам более полно описать элементы конструкции, на которые не сохранилась проектная документация.

Выводы и заключения

Несомненно, наземное лазерное сканирование является самым оперативным и высокопроизводительным средством получения точной и полной информации о пространственном объекте [5]. При реконструкции архитектурно сложных зданий и сооружений, учитывая наличие большого количества инженерных сетей и технологического оборудования, немалое значение имеет корректная пространственная информация об объекте реконструкции и его элементах. 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 здания способствует не только правильному проектированию, но и способна существенно (до 10 %) снизить затраты на устранение ошибок на этапе строительно-монтажных работ, что, в конечном счете, удешевляет и ускоряет весь процесс реконструкции [14–17].

Необходимость использования в проектировании и строительстве лазерного сканирования объясняется рядом безусловных преимуществ, среди которых можно выделить: существенно более быстрые измерения, большую полноту данных и в целом более качественный результат, что также подтверждается описанным проектом. По сути, результатом сканирования является так называемый «электронный двойник» объекта. Неоспоримо, что в таком случае характерная при лазерном сканировании и зачастую ненужная избыточность данных, в случае реконструкции сложных объектов, подобных описанному в статье, становится уже необходимым условием качественных проектных данных. Это позволяет существенно повысить точность полученных трехмерных данных и возможность обраче-

ния, в случае необходимости, к «электронному двойнику», лазерное сканирование становится единственно возможным средством в получении качественных предпроектных данных в условиях сложных проектов реконструкции. Стоит также отметить, что эффективность технологии лазерного сканирова-

ния, ее простота и доступность для непрофессионалов, ранее немислимые на столь высоком уровне, делают BIM универсальным решением для цифровизации широкого перечня различных объектов как для нужд проектирования и реконструкции, так и для многих других прикладных задач.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Разработка теории и технологических решений контроля состояния защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов методами активного дистанционного зондирования», № 0807-2020-0002).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абиляпатта Е., Каирова Ш. Г. Проблемы развития авиатранспортной инфраструктуры Республики Казахстан (на примере авиакомпании «Air Astana») [Электронный ресурс]. – Павлодар, Казахстан : Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова. – Режим доступа: <http://be5.biz/ekonomika1/r2015/2121.htm>.
2. Евразийская экономическая комиссия. Аналитический доклад «О состоянии инфраструктуры аэропортов, аэродромного оборудования, аэронавигационного и радиотехнического обеспечения полетов воздушных судов государств-членов Евразийского экономического союза» [Электронный ресурс]. – М., 2019. – Режим доступа: <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/energetikaiinfra/transport/air/Documents/Preview.pdf>.
3. Комиссаров А. В. и др. Исследование ручных трехмерных лазерных сканеров // Геодезия и картография. – 2019. – № 10. – С. 46–53.
4. Михайлов А. П., Чибуничев А. Г. Фотограмметрия : учебник для вузов / Под общ. ред. А. Г. Чибуничева. – М. : МИИГАиК, 2016. – 294 с.
5. Кошан Е. К. Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 27–30.
6. Khoshelham K., Oude Elberink S. Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for Indoor Mapping Applications [Electronic resource] // Sensors. – 2012. – Vol. 12(2). – P. 1437–1454. – Mode of access: <https://www.mdpi.com/1424-8220/12/2/1437/htm>.
7. Li R. Depth sensors are the key to unlocking next level computer vision applications [Electronic resource] // Comet Labs Research Team. – July 28, 2017. – Mode of access: <https://blog.cometlabs.io/depth-sensors-are-the-key-to-unlocking-next-level-computer-vision-applications-3499533d3246>.
8. Li R. Time-of-Flight Camera – An Introduction [Electronic resource] // Technical White Paper SLOA190B. – January 2014. Revised May 2014. – Mode of access: <http://www.ti.com/lit/wp/sloa190b/sloa190b.pdf>.
9. Комиссаров А. В., Середович В. А., Комиссаров Д. В., Широкова Т. А. Наземное лазерное сканирование : монография. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.
10. Franc J, Hullo J, Thibault G, et al. Probabilistic feature matching applied to primitive based registration of TLS data // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2012. – Vol. I-3. – P. 221–226. – DOI: 10.5194/isprsannals-I-3-221-2012.
11. Thoma C. T., Makridou K. N., Bakaloudis D. E., Vlachos C. G. Evaluating the Potential of Three-Dimensional Laser Surface Scanning as an Alternative Method of Obtaining Morphometric Data // Annales Zoologici Fennici. – 2012. – Vol. 55(1-3). – P. 55–66. – DOI: 10.5735/086.055.0106.
12. Wang J., Zhang C. Deformation monitoring of earth-rock dams based on three-dimensional laser scanning technology // Chinese Journal of Geotechnical Engineering. – 2014. – Vol. 36(12). – P. 2345–2349. – DOI: 10.11779/cjge201412026.
13. Добрынин А. П. и др. Цифровая экономика – различные пути к эффективному применению технологий (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA и другие) // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4, №. 1. – С. 4–11.

14. 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.

15. Талапов В. В. Информационное моделирование зданий – современное понимание. – Новосибирск : ФГБОУ ВО «НГАСУ (Сибстрин)», 2015. – 115 с.

16. 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.

17. Biasion A., Moerwald T., Walser B., Walsh G. A new approach to the Terrestrial Laser Scanner workflow: the RTC360 solution [Electronic resource] // FIG Working Week 2019, Geospatial information for a smarter life and environmental resilience. Hanoi, Vietnam, 2019. – Mode of access: https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2019/papers/ts05f/TS05F_biasion_et_al_9968.pdf.

Получено 15.12.2021

© А. В. Комиссаров, А. В. Ремизов, 2022

APPLICATION BIM-TECHNOLOGIES AND LASER SCANNING FOR RECONSTRUCTION AND MODERNIZATION OF OBJECTS

Alexander V. Komissarov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Associate Professor, Head of the Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-01-59, e-mail: a.v.komissarov@sgugit.ru

Alexey V. Remizov

Nazarbayev University, 53, Kabanbay-batyr Prospect St., Nur-Sultan, 010000, Kazakhstan, Ph. D. Student, e-mail: alexeyremizov88@gmail.com

The paper discusses the use of terrestrial laser scanning in order to obtain initial data in the design of complex objects using BIM technologies. BIM software products and ways of their use in a specific project for the reconstruction of Kostanay airport are indicated. The authors described the technology for obtaining source data using a Leica RTC360 laser scanner equipped with an advanced visual inertial system based on the SLAM algorithm. This allows automatically combining scans from different standing stations during the production process, and significantly saves time. The advantages of using such equipment in comparison with traditional measuring works are described. The root mean square errors of combining scans are presented. As a result a three-dimensional model of the building was obtained, which made it possible to restore the design documentation and the design of the new terminal building. At the same time, the design process was reduced by about 20%.

Keywords: modernization, technique, terrestrial laser scanning, scan, BIM-technologies

REFERENCES

1. Abilpatta, E., & Kairova, Sh. G. (n. d.). *Problems of development of air transport infrastructure of the Republic of Kazakhstan (on the example of Air Astana)*. Pavlodar, Kazakhstan: Pavlodar State University named after S. Toraigyrova. Retrieved from <http://be5.biz/ekonomika1/r2015/2121.htm> [in Russian].

2. The Eurasian Economic Commission. Analytical report "On the state of the infrastructure of airports, aerodrome equipment, aeronautical and radio engineering support for aircraft flights of the Member States of the Eurasian Economic Union". (2019). Moscow. Retrieved from <http://www.eurasiancommission.org/en/act/energetikaiinfr/transport/air/Documents/Preview.pdf> [in Russian].

3. Komissarov, A. V., & et al. (2019). Research of hand-held three-dimensional laser scanners. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 10, 46–53 [in Russian].

4. Mikhailov, A. P., & Chibunichev A. G. (2016). *Fotogrammetriya [Photogrammetry]*. A. G. Chibunichev (Ed.). Moscow: MIIGAiK Publ., 294 p. [in Russian].
5. Koshan, E. K. (2017). Features, advantages and disadvantages of ground-based laser scanning. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2017: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2017: International Scientific Conference. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 27–30). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
6. Khoshelham, K., & Oude Elberink, S. (2012). Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for Indoor Mapping Applications. *Sensors*, 12(2), 1437–1454. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1424-8220/12/2/1437/htm>
7. Li, R. (2017). Depth sensors are the key to unlocking next level computer vision applications. *Comet Labs Research Team*. Retrieved from <https://blog.cometlabs.io/depth-sensors-are-the-key-to-unlocking-next-level-computer-vision-applications-3499533d3246>.
8. Li, R. (2014). Time-of-Flight Camera – An Introduction. *Technical White Paper SLOA190B*. Retrieved from <http://www.ti.com/lit/wp/sloa190b/sloa190b.pdf>.
9. Komissarov, A. V., Seredovich, V. A., Komissarov, D. V., & Shirokova, T. A. (2009). *Nazemnoe lazernoe skanirovanie [Terrestrial laser scanning]*. Novosibirsk: SSGA Publ. 261 p. [in Russian].
10. Franc, J, Hullo, J, Thibault, G, & et al. (2012). Probabilistic feature matching applied to primitive based registration of TLS data. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, I-3*, 221-226. doi: 10.5194/isprsannals-I-3-221-2012.
11. Thoma, C. T., Makridou, K. N., Bakaloudis, D. E., & Vlachos, C. G. (2012). Evaluating the Potential of Three-Dimensional Laser Surface Scanning as an Alternative Method of Obtaining Morphometric Data. *Annales Zoologici Fennici*, 55(1-3), 55–66. doi:10.5735/086.055.0106.
12. Wang, J., & Zhang, C. (2014). Deformation monitoring of earth-rock dams based on three-dimensional laser scanning technology. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 36(12), 2345–2349. doi: 10.11779/cjge201412026.
13. Dobrynin, A. P., & et al. (2016). Digital economy - various paths to the effective application of technologies (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA and others). *International Journal of Open Information Technologies*, 4(1), 4–11 [in Russian].
14. Priputin, N. A., & Leonova, A. N. (2016). Application of BIM-technology in construction. In *Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh v ramkakh Programmy razvitiya deyatel'nosti studencheskikh ob"edineniy Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta "RAYON IT": Molodezh' i novye informatsionnye tekhnologii [Proceedings of All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists in the Framework of the Development Program Activities of Student Associations of the Cherepovets State University "Rayon IT": Youth and New Information Technologies]* (pp. 301–304) [in Russian].
15. Talapov, V. V. (2015). *Informatsionnoe modelirovanie zdaniy – sovremennoe ponimanie. [Information modeling of buildings – a modern understanding]*. Novosibirsk: NGASU (Sibstrin) Publ., 115 p. [in Russian].
16. Shevchenko, A. A., & Melitonya, A. A. (2017). Methodology for creating BIM models and the creative component of the BIM design process. *International Center for Innovative Research "OMEGA SCIENCE"* (pp. 168–172) [in Russian].
17. Biasion, A., Moerwald, T., Walser, B., & Walsh, G. (2019). A new approach to the Terrestrial Laser Scanner workflow: the RTC360 solution. *FIG Working Week 2019, Geospatial Information for a Smarter Life and Environmental Resilience*. Hanoi, Vietnam. Retrieved from https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2019/papers/ts05f/TS05F_biasion_et_al_9968.pdf.

Received 15.12.2021

© A. V. Komissarov, A. V. Remizov, 2022