УДК 528.48:528.721.221.6

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-1-57-67

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМИ ДАННЫМИ В ТЕЧЕНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА

Анжелика Алексеевна Шарафутдинова

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 9, аспирант кафедры инженерной геодезии, тел. (911)279-56-07, e-mail: anzhelikaalexeevna@gmail.com

Михаил Ярославович Брын

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 9, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии, тел. (921)348-80-35, e-mail: bryn@pgups.ru

На протяжении всего развития промышленного объекта накапливается большое количество информации о его активах. Данная информация представляется в виде различных чертежей, паспортов, регламентов и иной технической документации. Одной из распространенных проблем большинства промышленных объектов является хранение технической документации об активах в разрозненном виде и в ограниченном доступе в различных производственных службах. Это значительно усложняет оперативный поиск информации об активах для обеспечения нормального функционирования объекта. Поэтому одной из актуальных задач становится формирование единого источника актуальных данных об активах объекта и обеспечение доступа к данным участников процессов проектирования, строительства и эксплуатации. В данной статье рассмотрено совместное применение цифровых информационных моделей (ЦИМ) и технологии наземного лазерного сканирования для решения задачи формирования единого источника актуальных данных об активах промышленного объекта и обеспечение доступа к данным участников процессов проектирования, строительства и эксплуатации. Приведены виды цифровых информационных моделей, описаны различия в их детализации, а также методы их формирования на различных этапах жизненного цикла. Рассмотрены задачи, которые решают цифровые информационные модели. Описана технология наземного лазерного сканирования в качестве источника исходных данных для формирования цифровой информационной модели. На реализованном проекте показаны результаты совместного применения информационного моделирования и лазерного сканирования на различных этапах жизненного цикла объекта. Приведен результат выявленных коллизий между разделами проектной документации. Также приведен результат выявленных коллизий между проектируемыми и существующими конструкциями. Приведены результаты выявленных отклонений на этапе строительства промышленных объектов. Полученные результаты показали эффективность использования наземного лазерного сканирования и цифрового информационного моделирования в решении инженерных задач.

Ключевые слова: геодезические измерения, жизненный цикл промышленного объекта, наземное лазерное сканирование, цифровая информационная модель, проектная ЦИМ, исполнительная ЦИМ, эксплуатационная ЦИМ, отклонения, коллизии

Введение

В процессе своего развития промышленный объект проходит через цепь последовательных этапов жизненного цикла (ЖЦ), среди которых можно выделить три основных: проектирование, строительство и эксплуатация [1–6].

На каждом этапе ЖЦ накапливается значительный объем информации об активах объекта. Данная информация представляется в виде различных чертежей, паспортов, регламентов и иной технической документации. Одной из распространенных проблем большинства промышленных объектов является хранение технической документации об акти-

вах в разрозненном виде и в ограниченном доступе в различных производственных службах. Это значительно усложняет оперативный поиск информации об активах для обеспечения нормального функционирования объекта. Кроме того, большое количество промышленных объектов были построены более 50 лет назад. За время эксплуатации они претерпели множество изменений, большинство из которых не были зафиксированы документально.

При этом проблемы с документацией возникают не только на стадии эксплуатации промышленного объекта. Одной из основных проблем на стадии разработки рабочей документации является несоответствие в проектных решениях между разделами рабочей документации. Данная проблема возникает в случае двухмерного проектирования, когда разделы документации разрабатываются обособленно и отсутствует инструмент совместного анализа проектных решений перед выпуском разделов документации. Несоответствия, возникающие на стадии проектирования, в дальнейшем переходят на стадию строительства и выявляются при проведении строительно-монтажных работ, что может привести к срывам сроков строительства и финансовым потерям. Также отсутствие инструмента для сплошного контроля смонтированных конструкций на соответствие проектным решениями приводит к возникновению так называемых эксплуатационных коллизий, влияющих на дальнейшую безопасную эксплуатацию зданий, сооружений и безопасное обслуживание оборудования или перемещение людей и техники по объекту в процессе его эксплуатации.

Вследствие вышеуказанного одной из актуальных задач управления инженерными данными становится формирование единого источника актуальных данных об активах объекта и обеспечение доступа к данным участников процессов проектирования, строительства и эксплуатации.

В данной статье рассмотрено совместное применение цифровых информационных моделей и технологии наземного лазерного сканирования (НЛС) для решения вышеизложенной задачи.

Виды и формирование ЦИМ на разных этапах ЖЦ промышленного объекта

Под ЦИМ будем понимать комплекс взаимосвязанной информации в цифровом виде, описывающий физические, функциональные и другие свойства объекта, основанный на его трехмерном представлении и являющийся источником информации для принятия своевременных управленческих и операционных решений. ЦИМ подразделим в зависимости от этапов ЖЦ промышленного объекта на проектную ЦИМ, исполнительную ЦИМ и эксплуатационную ЦИМ (рис. 1).

Рис. 1. Виды ЦИМ

ЦИМ в промышленной отрасли имеет свою специфику и отличается сложной технологической частью. Поддержка таких объектов в рабочем состоянии с учетом требований безопасности является одним из приоритетных вопросов для инженерных служб промышленного объекта. Процесс формирования ЦИМ можно разделить на два этапа. Первым этапом является формирование геометрической 3D-модели, содержащей в себе информацию о габаритах и расположении конструкций и оборудования. Вторым этапом является формирование атрибутивной информации, основанной на технической документации. Следует отметить, что на разных этапах ЖЦ степень детализации и состав атрибутивной информации различаются [7–9]. Так, на этапе «Проектирование» модель должна содержать информацию, необходимую для формирования рабочей документации. В связи с этим степень детализации ЦИМ может быть ниже, чем на последующих этапах ЖЦ (напри-

мер, в ЦИМ могут быть не отображены узловые соединения металлоконструкций, условно отображено оборудование, закупаемое по опросным листам, и т. п.).

На этапе «Строительство» ЦИМ должна иметь степень детализации, достаточную для решения строительных задач. Например, для решения задач контроля физических объемов в модели должны быть отражены узловые соединения, атрибутивные данные должны иметь информацию для вычисления веса конструкций и коммуникаций. Для решения задачи формирования плана производства работ должны быть отображены оборудование и коммуникации. Для решения задачи строительного контроля должны быть детализированы строительные конструкции, подлежащие геодезическому контролю при проведении монтажных работ.

На этапе эксплуатации ЦИМ должна содержать информацию, достаточную для проведения плановых и капитальных ремонтов, для контроля технического состояния оборудования, а также для решения задачи безопасной эксплуатации промышленного объекта. Например, в эксплуатационной ЦИМ должна быть указана информация о детальном составе оборудования и зонах его обслуживания для проведения ремонтных работ. Для контроля технического состояния оборудования необходима информация о местах расположения и параметрах сварных соединений.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработанная на стадии проектирования ЦИМ является фундаментом для последующего формирования ЦИМ на стадии строительства и эксплуатации путем корректирования:

- 1) степени детализации геометрической модели;
- 2) степени детализации атрибутивного состава для каждого элемента геометрической модели;
- 3) структуры объектов внутри ЦИМ.

***Задачи, решаемые с помощью
ЦИМ на разных этапах ЖЦ
промышленного объекта***

В зависимости от этапа ЖЦ промышленного объекта сформированная ЦИМ может

решать различные задачи. Проанализировав реализованные авторами проекты, рассмотрим основные решаемые задачи на каждом этапе ЖЦ.

Основной задачей ЦИМ на этапе «Проектирование» является формирование проектной документации в трехмерном виде [10–14]. Для обеспечения качества выпускаемой документации необходимо исключить коллизии (ошибки, допущенные при проектировании, заключающие в себе пересечение запроектированных конструкций) в трехмерной модели. Поиск пространственных коллизий осуществляется как между проектируемыми конструкциями, так и между проектируемыми и существующими конструкциями. Также ЦИМ может использоваться для формирования документации, которая используется в качестве исходных данных при реконструкциях. Это особенно важно в случае отсутствия или неактуальности существующей документации.

На этапе «Строительство» ЦИМ может служить инструментом выполнения разбивочных работ и контроля качества и объемов выполненных строительно-монтажных работ. ЦИМ содержит в себе информацию о пространственном положении всех конструкций и коммуникаций, которую можно экспортировать в виде координат для последующего выноса в натуру проекта. Периодически формируемая на этапе «Строительство» ЦИМ смонтированных конструкций и коммуникаций позволяет получать информацию о плановом и фактическом объеме выполненных работ, а также проводить анализ критичности отклонений смонтированных конструкций и коммуникаций от проекта. Это позволяет выявлять потенциальные опасные участки строительства и своевременно принимать решения о дальнейшем ходе работ [15–18]. Также ЦИМ позволяет более качественно разрабатывать план организации строительства, за счет того, что ЦИМ представляет собой цифровой прототип строительного объекта, содержащий в себе актуальную и исчерпывающую информацию о строительном объекте.

Таким образом снижается риск возникновения ошибок при разработке плана органи-

зации строительства и повышается последующая промышленная безопасность при проведении строительно-монтажных работ.

Основной задачей ЦИМ на этапе «Эксплуатация» является обеспечение инженерных служб промышленного предприятия необходимой и актуальной информацией для решения текущих производственных задач [19–24]. Так, например, ремонтно-механическая служба сможет заранее подготовиться и сформировать план проведения ре-

монтных работ. Также ЦИМ может использоваться для создания виртуальных тренажеров с целью обучения сотрудников действиям в аварийных ситуациях, детального ознакомления с промышленным объектом для новых сотрудников и использоваться в качестве визуальных инструкций по производственным процессам. Перечень решаемых задач с помощью ЦИМ в соответствии с СП 333.1325800.2017, дополненный авторами статьи, представлен на рис. 2.

Рис. 2. Задачи, решаемые с помощью ЦИМ на различных стадиях ЖЦ промышленного объекта

Источником данных для формирования 3D-модели в составе ЦИМ может являться как техническая документация, так и НЛС.

Технология формирования цифрового актива промышленного предприятия

Рассмотрим технологию формирования цифрового актива, содержащего актуальные технические данные, необходимые в процессах проектирования, строительства и эксплуатации металлургического комбината, кото-

рая была реализована на основе совместного использования ЦИМ и НЛС. Проект реконструкции включал в себя строительство новых и реконструкцию действующих цехов. Работы по реализации проекта выполнялись на 20 объектах в следующем порядке.

Этап 1. Формирование ЦИМ по проектной документации. Для создания ЦИМ в системе автоматизированного проектирования (САПР) AVEVA E3D были разработаны каталоги конструкций на основании спецификаций в проектной документации. Далее конструкции

из каталогов были расположены в пространстве ЦИМ в соответствии с данными из чертежей проектной документации. Таким образом, была создана проектная ЦИМ, которая позволила выполнить проверку на коллизии между всеми элементами модели. Процесс выявления коллизий выполнялся в автоматическом режиме в САПР путем поиска пересекающихся друг с другом элементов ЦИМ. По итогу формировался отчет, содержащий информацию о разделах проектной документации, конструкциях, участвующих в колли-

зиях, и их визуальное отображение в ЦИМ. Для одного из объектов проверка на коллизии позволила выявить 350 ошибок в проектной документации.

На рис. 3 приведен пример фрагмента отчета о выявленных коллизиях между разделами в проектной документации, на котором представлена коллизия элемента трубопровода с металлической балкой и коллизия элемента трубопровода с воздухопроводом, и приведены соответствующие данным элементам листы рабочей документации.

Рис. 3. Фрагмент отчета о коллизиях между разделами в проектной документации

Этап 2. Проведение НЛС площадки строительства или реконструкции. Лазерное сканирование проводилось на всех площадках, где планировалось возведение новых объектов или реконструкция действующих объектов. Измерения на всех объектах выполнялись с помощью наземного лазерного сканера Leica ScanStation P20 [25]. Работы по НЛС проводились в условиях промышленной среды, возникающей при эксплуатации объекта, а также без остановки производства и оборудования. Для исключения теневых зон установка прибора выполнялась с условием обеспечения максимального перекрытия измерений с двух соседних станций, при этом расстояние между станциями сканирования не превышало 7 м. В настройках программы в лазерном сканере был установлен шаг сканирования $6,3 \times 6,3$ мм на 10 м, что позволяло достаточно максимально точно идентифицировать в облаке точек малогабаритные объекты при создании ЦИМ. Для ориентирования облака точек в требуемую систему координат на площадках реконструкции использовались пункты геодезической разбивочной основы (ГРО) для строительства.

Этап 3. Формирование ЦИМ по данным НЛС (далее – исполнительная ЦИМ). Для создания исполнительной ЦИМ результаты НЛС были импортированы в САПР, где проводилась идентификация групп точек в составе облака точек, соответствующим тем или иным реальным конструкциям и коммуникациям (железобетонные фундаменты, металлические колонны и балки, трубопроводы, оборудование, элементы электрических сетей и т. д.). По идентифицированным группам точек выбирался тип конструкции из каталога САПР и выполнялось размещение выбранного элемента в пространстве исполнительной ЦИМ.

Этап 4. Выявление коллизий между проектной и исполнительной ЦИМ. В рамках проекта требовалось проведение анализа на отсутствие коллизий между существующими и проектируемыми конструкциями и коммуникациями до начала строительно-монтажных работ. Для этой цели использовалась исполнительная ЦИМ, сформированная по данным НЛС и содержащая в себе конструкции,

расположенные на площадке реконструкции до начала строительно-монтажных работ. Для автоматизированного выявления коллизий проектная и исполнительная ЦИМ были размещены в едином пространстве САПР. Далее проводился поиск пересечений между группами элементов ЦИМ, соответствующим определенным разделам документации. Сформированный по результатам работ отчет о коллизиях содержал данные о количестве выявленных коллизий, визуализацию мест их расположения и участвующих в коллизиях конструкциях. В табл. 1 приведено количество коллизий для одного из объектов реконструкции.

Таблица 1

Количество выявленных коллизий
в проектной документации
с существующими конструкциями
на одном из объектов реконструкции

Раздел документации	Количество коллизий
КМ (конструкции металлические)	11
АТХ (автоматизация технологии производства)	25
ВК (внутренние системы водоснабжения и канализация)	2
КЖ (конструкции железобетонные)	14
ОВ (отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха)	5
ТК (технологические коммуникации)	14
ТХ (технология производства)	11

Этап 5. Периодическое проведение НЛС на объектах. В период проведения строительно-монтажных работ на объектах периодически, не реже одного раза в два месяца, выполнялось НЛС. Цель проведения НЛС заключалась в фиксации реального расположения и габаритов смонтированных конструкций, оборудования и коммуникаций на определенную дату. Технология проведения НЛС была идентична технологии, описанной на втором этапе. Исключением являлось только периодическое сгущение ГРО, что было обусловлено деформациями некоторых пунктов. Сводная информация об общем количестве проведенных съемок объектов с применением НЛС за весь период строительства и реконструкции представлена на рис. 4.

Рис. 4. Количество съемок объектов с применением НЛС

Этап 6. Формирование отчетов об отклонениях смонтированных конструкций от проекта. По ходу строительства актуализировалась исполнительная ЦИМ, которая содержала смонтированные конструкции на момент проведения НЛС. Посредством совмещения исполнительной и проектной ЦИМ проводился анализ отклонений в габаритах и расположениях конструкций. По завершении проведения анализа формировались отчеты, содержащие информацию о фактических и допустимых отклонениях в габаритах и расположении конструкций согласно техническому заданию. В табл. 2 приведена информация по выявленным отклонениям за период строительно-монтажных работ одного из объектов.

Таблица 2

Сводная таблица выявленных отклонений за период строительно-монтажных работ

Период СМР	Октябрь 2017	Декабрь 2017	Февраль 2018	Апрель 2018	Июнь 2018	Август 2018	Октябрь 2018	Декабрь 2018	Февраль 2019
Количество смонтированных конструкций	50	85	127	342	588	50	166	183	5
Количество конструкций, смонтированных с недопустимыми отклонениями от проекта	36	35	62	80	190	17	84	100	1

Этап 7. Формирование отчетов о физических объемах выполненных строительно-монтажных работ. Исполнительная ЦИМ, сформированная на этапе 6, позволяла, помимо выявления отклонений смонтированных конструкций от проекта, проводить анализ объемов выполненных строительно-монтажных работ. Для этой цели использовалась атрибутивная информация ЦИМ, содержащая информацию, необходимую для расчета объемов каждой строительной конструкции. Анализ проводился на основании данных об объемах смонтированных конструкций, предоставленных строительной организацией, и данных об объемах, содержащихся в исполнительной ЦИМ.

Этап 8. Формирование эксплуатационной ЦИМ. По завершении строительно-монтажных работ было выполнено итоговое НЛС, что позволило дополнить периодически

формируемую исполнительную ЦИМ всеми смонтированными конструкциями, оборудованием и коммуникациями. Для каждого элемента в ЦИМ была сформирована атрибутивная модель, содержащая информацию, необходимую в процессе эксплуатации объекта: технические и технологические параметры, данные о материально-компонентном составе, данные о производителях, данные о плановых ремонтах и т. д.

Заключение

Результаты, полученные в ходе реализации проекта, показали эффективность применения двух технологий для решения инженерных задач в ЖЦ промышленного объекта. Применение данных технологий позволило выявить ошибки проектирования и строительства на ранних этапах, при этом повысив качество вы-

полняемых работ. Также следует отметить, что сформированная ЦИМ позволила обеспечить доступ к инженерным данным о промышленном объекте всем участникам строительства, проектирования и эксплуатации.

Приведенные в данной статье теоретические и практические результаты исследования совместного применения ЦИМ и НЛС в ЖЦ промышленного объекта могут быть полезны кругу исследователей в области ЦИМ и НЛС. Авторами предложено определение ЦИМ. Выделены основные виды ЦИМ в зависимости от ЖЦ объекта и приведены их раз-

личия. На основании реализованных проектов описаны основные задачи, которые решает ЦИМ, а также предложены дополнения к нормативной литературе в рамках задач, которые может решать ЦИМ. Приведены практические результаты совместного применения НЛС и ЦИМ на этапах проектирования, строительства и эксплуатации промышленного объекта. Описана технология проведения НЛС и формирования ЦИМ. Показаны результаты выявления коллизий в проектной документации и отклонений смонтированных конструкций от проекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шульц Р. В. Наземное лазерное сканирование в задачах инженерной геодезии. – Германия : Palmarium Academic Publishing, 2013. – 339 с.
2. Азаров Б. Ф. BIM-технологии: проектирование, строительство, эксплуатация // Ползуновский альманах. – 2018. – № 2. – С. 8–11.
3. Азаров Б. Ф., Карелина И. В. Наземное лазерное сканирование как инструмент для формирования информационных моделей зданий и сооружений // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80, № 6. – С. 16–23.
4. Алтынцев М. А., Карпик П. А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 131–139.
5. Волкович Е. В. Разработка технологии получения электронных крупномасштабных планов сложных инженерных сооружений по результатам наземной лазерной съемки: дис. ... кандидата техн. наук. – М., 2007. – 117 с.
6. Комиссаров А. В. Теория и технология лазерного сканирования для пространственного моделирования территорий: дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 2015. – 278 с.
7. Smith D. K., Tardif M. Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers. – New Jersey : John Wiley and Sons, 2009.
8. Рыбин Е. Н., Амбарян С. К., Аносов В. В., Гальцев Д. В., Фахратов М. А. BIM-технологии // Изв. вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2019. – Т. 1, № 1 (28). – С. 98–105.
9. Badenko V., Fedotov A., Zotov D., Lytkin S., Volgin D., Garg R.D., Min L. Scan-to-BIM methodology adapted for different application // Int. Arch. Photogramm., Remote Sens. Spatial Inf. Sci. – 2019. – Vol. 42. – P. 49–55.
10. Азаров Б. Ф. Опыт использования сканера GLS-1500 при выполнении инженерно-геодезических изысканиях автодорог // Инженерные изыскания. – 2019. – Т. 13, № 2. – С. 26–35.
11. Hyojoo Son, Changmin Kim, Changwan Kim. 3D reconstruction of as-built industrial instrumentation models from laser-scan data and a 3D CAD database based on prior knowledge // Automation in Construction. – 2015. – Vol. 49. – P. 193–200.
12. Kuznetsova A. A. The Use of Terrestrial Laser Scanning for the Development and Control the Design Documentation of Reconstruction Projects // Transportation Soil Engineering in Cold Regions. – 2019. – Vol. 2. – P. 177–184.
13. Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques // Automation in Construction. – 2010. – Vol. 19. – P. 829–843.
14. Tejkal M. The application of laserscan system in the field of building documentation // GEODIS news. English edition. – 2004. – Vol. 2. – P. 26–27.
15. Bassier M., Vergauwen M., Van Genechten B. Standalone terrestrial laser scanning for efficiently capturing AEC buildings for as-built BIM // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sens. Spatial Inf. Sci. – 2016. – Vol. III-6. – P. 49–55.

16. Kuznetsova A. A., Bryn M. Ja. The terrestrial laser scanning during the industrial object construction results analysis // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 698, No. 4. – P. 1–5.
17. Галахов В. П., Жуков Г. А. Вынос BIM модели на строительную площадку и контроль строительства // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От введения до внедрения : сборник материалов II международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербургская ассоциация геодезии и картографии. – 2017. – С. 216–222.
18. Кузнецова А. А. Применение наземного лазерного сканирования для выявления отклонений конструкций от их проектных значений // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 79, № 12. – С. 2–7.
19. Афонин Д. А., Богомоллова Н. Н., Брынь М. Я., Никитчин А. А. Опыт применения наземного лазерного сканирования при обследовании инженерных сооружений // Геодезия и картография. – 2020. – Т. 81, № 4. – С. 2–8.
20. Шоломицкий А. А., Лагутина Е. К., Соболева Е. Л. Применение лазерного сканирования для мониторинга большепролетных сооружений // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 43–57.
21. Cong Hong, Phong Nguyena, Young Choi. Comparison of point cloud data and 3D CAD data for on-site dimensional T inspection of industrial plant piping systems // Automation in Construction. – 2018. – Vol. 91. – P. 44–52.
22. Herle S., Becker R., Wollenberg R., Blankenbach J. GIM and BIM. PFG // Journal of Photogrammetry, Remote Sens. Spatial Inf. Sci. – 2020. – Vol. 88. – P. 33–42.
23. Schäfer T. et al. Deformation measurement using terrestrial laser scanning at the hydropower station of Gabeikovo // INGEO and Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying. – Bratislava, Slovakia, 2004. – P. 11–13.
24. Бударова В. А., Мартынова Н. Г., Шереметинский А. В., Привалов А. В. Наземное лазерное сканирование объектов промышленных площадок на территории нефтегазовых месторождений // Московский экономический журнал. – 2019. – № 6. – С. 8–14.
25. Компания «Русгеоком», 2020. Техническое описание и характеристики на наземный лазерный сканер «Leica ScanStation P20» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://spb.rusgeocom.ru/products/nazemnyj-lazernyj-skaner-leica-scanstation-p20> (дата обращения: 12.05.2020).

Получено 29.09.2020

© А. А. Шарафутдинова, М. Я. Брынь, 2021

THE EXPERIENCE IN USING LASER SCANNING AND BUILDING INFORMATION MODELING FOR ENGINEERING DATA MANAGEMENT DURING THE LIFE CYCLE OF AN INDUSTRIAL OBJECT

Anzhelika A. Sharafutdinova

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovskiy Prospect St., Saint-Petersburg, 190031, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy, phone: (911)279-56-07, e-mail: anzhelikaalexeevna@gmail.com

Michael Ja. Bryn

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovskiy Prospect St., Saint-Petersburg, 190031, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy, phone: (921)348-80-35, e-mail: bryn@pgups.ru

An industrial object accumulates a great deal of information about its assets throughout its whole development period. This information is provided in the different drawings, passports, regulations, and other technical documentation. One of the common problems of most industrial objects is the disorganized storage of technical documentation on assets and its limited access to different industrial services. This greatly complicates the retrieval of information about the assets to ensure the steady operation of the industrial object. As a consequence, one of the ongoing important tasks becomes the creation of a unified source of up-to-date information about the object's assets and the facilitation of the access to that data for all the participants of the project, construction, and operation process. Exactly these issues are tackled in the article alongside with the solutions

based on using BIM and terrestrial laser scanning. This article also describes the types of BIM and detailed differences between them, the methods to form a BIM, as well as how the methods change at different stages of the life cycle. As well, the typology of tasks for which BIM solutions are applicable. TLS technology is described as a source of initial data for the formation of BIM. This article describes the results of the combined use of BIM and TLS at the stages of design, construction, and operation of an industrial object based on the implemented project. The article provides the result of clash detection in design documentation. The result of clash detection between designed and existing structures is also given. The article also provides the deviations at the construction stage of industrial objects, which were discovered. The acquired results demonstrated the effectiveness of using terrestrial laser scanning and BIM in engineering solutions.

Keywords: geodetic measurements, life cycle of an industrial object, terrestrial laser scanning, BIM, as-design BIM, as-built BIM, BIM for facility management, deviations, clash detection

REFERENCES

1. Schulz, R. V. (2013). *Nazemnoye lazernoye skanirovaniye v zadachakh inzhenernoy geodezii [Terrestrial laser scanning in engineering geodesy]*. Germany: Palmarium Academic Publishing, 339 p. [in Russian].
2. Azarov, B. F. (2018). BIM-technologies: design, construction, exploitation. *Polzunovsky almanac [Polzunovsky Almanac]*, 2, 8–11 [in Russian].
3. Azarov, B. F., & Karelina, I. V. (2019). Ground laser scanning as a tool for creating buildings-and-structures information modeling (BIM). *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 80(6), 16–23 [in Russian].
4. Altyntsev, M. A., & Karpik, P. A. (2020). The technique for creating digital three-dimensional models of oil and gas manufacturing facility object infrastructure using terrestrial laser scanning. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), 131–139 [in Russian].
5. Volkovich, E. V. (2007). Development of technology for obtaining large-scale electronic plans of complex engineering structures based on the results of ground laser survey. *Candidate's thesis*. Moscow, 117 p. [in Russian].
6. Komissarov, A. V. (2015). Theory and technology of laser scanning for spatial modeling of territories. *Doctor's thesis*. Novosibirsk, 278 p. [in Russian].
7. Smith, D. K., & Tardif, M. (2009). *Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers*. New Jersey: John Wiley and Sons.
8. Rybin, E., Ambaryan, S., Anosov, V., Galtsev, D., & Fakhratov, M. (2019). BIM technologies. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost [Proceedings of Universities. Investments. Construction. The property]*, 1, 1(28), 98–105 [in Russian].
9. Badenko, V., Fedotov, A., Zotov, D., Lytkin, S., Volgin, D., Garg, R. D., & Min, L. (2019). Scan-to-BIM methodology adapted for different application. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives*, 42, 49–55.
10. Azarov, B. F. (2019). The experience of using the GLS-1500 scanner when performing engineering and geodetic surveys of roads. *Inzhenernyye izyskaniya [Engineering Survey]*, XIII–2, 26–35 [in Russian].
11. Hyojoo Son, Changmin Kim, & Changwan Kim. (2015). 3D reconstruction of as-built industrial instrumentation models from laser-scan data and a 3D CAD database based on prior knowledge. *Automation in Construction*, 49, 193–200.
12. Kuznetsova, A. A. (2019). The Use of Terrestrial Laser Scanning for the Development and Control the Design Documentation of Reconstruction Projects. *Transportation Soil Engineering in Cold Regions*, 2, 177–184.
13. Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., & Lytle, A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19, 829–843.
14. Tejkal, M. (2004). The application of laserscan system in the field of building documentation. *GEODIS News. English Edition*, 2, 26–27.
15. Bassier, M., Vergauwen, M., & Van Genechten, B. (2016). Standalone terrestrial laser scanning for efficiently capturing AEC buildings for as-built BIM. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, III–6, 49–55.

16. Kuznetsova, A. A., & Bryn, M. Ja. (2019). The terrestrial laser scanning during the industrial object construction results analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 698(4), 1–5.
17. Galahov, V. P., & Jukov, G. A. (2017). Lay out of the BIM model for the construction site and construction control. In *Sbornik materialov II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Geodeziya, kartografiya, geoinformatika i kadastry. Ot vvedeniya do vnedreniya [Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Geodesy, Cartography, Geoinformatics and Cadasters. From Introduction to Implementation]* (pp. 216–222). St. Petersburg: St. Petersburg Association of Geodesy and Cartography Publ. [in Russian].
18. Kuznetsova, A. A. (2018). The use of laser scanning to detect deviations of structures from their design values. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 79(12), 2–7 [in Russian].
19. Afonin, D. A., Bogomolova, N. N., Bryn, M. Ya., & Nikitchin, A. A. (2020). The experience of using terrestrial laser scanning in the inspection of engineering structures. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 81(4), 2–8 [in Russian].
20. Sholomitskiy, A. A., Lagutina, E. K., & Soboleva, E. L. (2018). Using laser scanning for large-span structures monitoring. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(2), 43–57 [in Russian].
21. Cong Hong, Phong Nguyena, & Young Choi. (2018). Comparison of point cloud data and 3D CAD data for on-site dimensional T inspection of industrial plant piping systems. *Automation in Construction*, 91, 44–52.
22. Herle, S., Becker, R., Wollenberg, R., & Blankenbach, J. (2020). GIM and BIM. PFG. *Journal of Photogrammetry, Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 88, 33–42.
23. Schäfer, T., & et al. (2004). Deformation measurement using terrestrial laser scanning at the hydro-power station of Gabeikovo. *INGEO and Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying* (pp. 11–13). Bratislava, Slovakia.
24. Budarova, V. A., Martynova, N. G., Sheremetevsky, A. V., & Privalov, V. A. (2019). Ground-based laser scanning of industrial sites on the territory of oil and gas fields. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal [Moscow Journal]*, 6, 8–14 [in Russian].
25. Company "Rusgeokom" (2020). "Technical description and characteristics of the TLS Leica ScanStation P20". Retrieved from <https://spb.rusgeocom.ru/products/nazemnyj-lazernyj-skaner-leica-scanstation-p20> (accessed data 12.05.2020).

Received 29.09.2020

© A. A. Sharafutdinova, M. Ja. Bryn, 2021