

Д. Б. Новоселов^{1}*

Совместное использование наземного лазерного сканера и технологий информационного моделирования при обеспечении строительства и эксплуатации гражданских и промышленных сооружений

¹ ООО «ОК «Сибшахтострой», г. Новокузнецк,
Российская Федерация
* e-mail: Novoselob.db@okkshs.ru

Аннотация. В настоящее время при строительстве и эксплуатации гражданских и промышленных предприятий создаются трехмерные модели зданий и сооружений с использованием технологий информационного моделирования (ТИМ). Трехмерные модели создаются как при проектировании инженерных сооружений, так и во время изготовления строительных конструкций в конструкторских бюро на производственных площадках заводов по изготовлению металлоконструкций. Представлен опыт совмещения облаков точек, полученных с наземных лазерных сканеров с ТИМ-моделями на стадии строительства и эксплуатации. Рассмотрены автоматические способы совмещения. В результате было определено, что метод регистрации наилучшего приближения используется, когда есть только условная система координат, например, для контрольных сборок металлических конструкций. При строительстве и эксплуатации используются комбинированные методы совмещения. Проект, содержащий облако точек с объединенной трехмерной моделью инженерного сооружения, позволяет выявлять ошибки на раннем этапе при реконструкции промышленных предприятий, а также выявлять ошибки монтажа основных несущих конструкций сложной формы при строительстве.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, ТИМ-модель, контрольные сборки, Leica Cyclone, эксплуатация зданий и сооружений

D. B. Novoselov^{1}*

Joint use of a ground-based laser scanner and information modeling technologies in ensuring the construction and operation of civil and industrial structures

¹ LLC "OK "Sibshahtostroy", Novokuznetsk, Russian Federation
* e-mail: novoselov.db@okkshs.ru

Abstract. Currently, during the construction and operation of civil and industrial enterprises, three-dimensional models of buildings and structures are being created using building information model (BIM). Three-dimensional models are created both during the design of engineering structures and during the manufacture of building structures in design bureaus at the production sites of metal structures manufacturing plants. The experience of combining point clouds obtained from ground-based laser scanners with BIM models at the stage of construction and operation is presented. Automatic ways of combining are considered. As a result, it was determined that the method of registering the best approximation is used when there is only a conditional coordinate system, for example, for control assemblies of metal structures. Combined methods of combination are used during construction and operation. The project containing a set of points with a combined three-dimensional model of an engineering structure allows you to identify errors at an early stage during the reconstruction of

industrial enterprises, as well as to identify errors in the installation of the main load-bearing structures of complex shape during construction.

Keywords: terrestrial laser scanning, BIM model, control assemblies, Leica Cyclone, operation of buildings and structures

Введение

Сегодня в процессе строительства и эксплуатации гражданских и промышленных предприятий в проектных организациях и конструкторских бюро заводов по изготовлению металлоконструкций внедряются технологии информационного моделирования [1–3]. Все чаще встречаются современные инструменты по сбору и анализу геопространственных данных при строительстве, которые позволяют следить за ходом строительства [4]. Также выполняется перевод строительной области на электронный документооборот согласно Постановлению правительства РФ №1431 [5].

Для контроля за строительством и эксплуатацией зданий и сооружений используются современные геодезические инструменты, такие как наземные лазерные сканеры (НЛС). НЛС активно применяются во всех жизненных циклах инженерных сооружений, от проектирования, строительства до эксплуатации [6–11].

Наземный лазерный сканер выполняет съемку всех объектов в пространстве, которые находятся в зоне видимости. Дальность сканирования составляет от 70 до 270 метров, в зависимости от типа сканера. Каждая точка в пространстве получает координаты, реальный цвет, угол отражения, интенсивность отражения сигнала и время сканирования. НЛС позволяет выполнять съемку со скоростью до 2 млрд. точек в сек. и позволяет получать плотность точек около 1-2 мм, что значительно производительнее классических методов съемки [12–16].

Применение НЛС на гражданских и промышленных территориях позволяет решать следующие задачи:

- реверс-инжиниринг существующих зданий и сооружений;
- реконструкция зданий и сооружений;
- определение фактических отклонений основных конструкций сооружений от проекта;
- создание цифрового двойника предприятия;
- совмещение облаков точек с ТИМ-моделями и автоматическое выявление коллизий [17–22].

Методы и материалы

Основные способы совмещения облаков точек с ТИМ-моделями:

- при новом строительстве – облако точек является неподвижным, ТИМ-модель переносится в строительную систему координат;
- при контрольных сборках – облако точек переносится и накладывается на ТИМ-модель в системе координат проекта;
- при реконструкции – облако точек является неподвижным по высоте, совмещается методом переноса с ТИМ-моделью по общим точкам в плоскости XY;

– при создании ТИМ-моделей по облакам точек – ТИМ-модель создается в системе координат облака точек.

Для приведения облаков точек в строительную систему координат и высот необходимо использовать специализированные марки. Марка представляет собой цель, которая печатается на листе формата А4 или А3 и приклеивается на несущие конструкции [23].

При разработке информационной модели конструкторское бюро завода по изготовлению металла задает обычно крайнее левое нижнее пересечение главных осей за начало координат – ось А-1 Стеллы трудовой славы (рис. 1). В конструкторском бюро в качестве программного обеспечения для создания ТИМ-моделей используется Tekla Structures. Для совмещения облаков точек с такими моделями необходимо рассчитать приращение координат в соответствии со строительной системой координат, принятой на текущем объекте. ТИМ-модель создается в относительной системе высот, где за 0.000 принимается определенная абсолютная отметка, поэтому облако точек, полученное с НЛС, необходимо задавать в относительной системе высот. Совмещение облаков точек с ТИМ-моделями происходит в программном продукте Leica Cyclone 3dr, в данном ПО можно использовать несколько систем координат и в любой момент времени переключаться из локальной системы в строительную или из относительной системы высот в абсолютную систему.

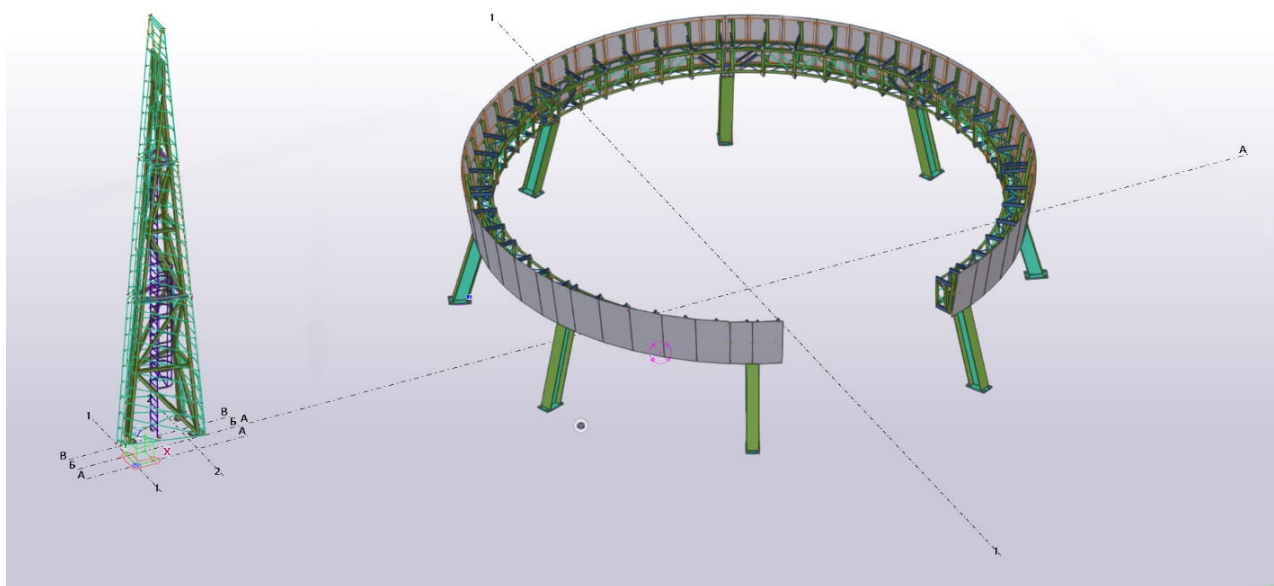


Рис. 1. ТИМ-модель Стеллы трудовой доблести г. Новокузнецк

Результаты

При контрольных сборках металлоконструкций необходимо проверять геометрические параметры основных конструкций. Для конструкций сложной формы рекомендуется использовать наземное лазерное сканирование. Данный метод позволять получать точность около 2-3 мм и плотность облака точек около 1 мм. Для совмещения облака точек с ТИМ-моделью конструкции облако точек

переносится в систему координат проекта. Одним из способов совмещения облаков точек и ТИМ-моделей является команда «регистрация наилучшего приближения» в ПО Leica Cyclone 3dr. Этот способ актуален при совмещении сложных конструкций, где используется строительная система координат (рис. 2). Команда анализирует геометрию облака точек и ТИМ-модели, определяет общие элементы и вычисляет наилучшее совмещение. В результате ТИМ-модель является неподвижным объектом, а облако точек накладывается на модель. Для получения хорошего результата рекомендуется, чтобы основные металлоконструкции были отсканированы со всех сторон со средней плотностью сканирования не меньше 5 мм [24].

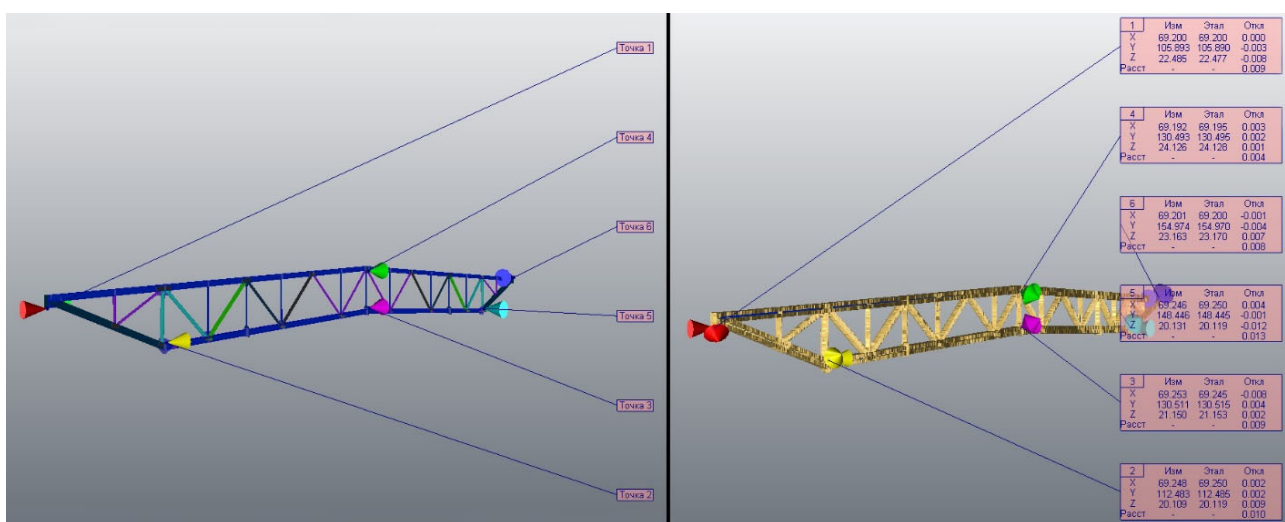


Рис. 2. Совмещение облака точек с ТИМ-моделью контрольной сборки фермы

На рис. 2 представлена контрольная сборка фермы длиной 50 метров и высотой 6 метров. Точность совмещения составляет 10 мм. Данный параметр служит для оценки качества изготовления металлоконструкций.

Самое сложное совмещение облака точек с ТИМ-моделями выполняется при реконструкции промышленных предприятий. В этом случае привязка осуществляется по существующим основным конструкциям. Вычисляется проектное и фактическое положение центров основных колонн. Фактическое положение центров колонн определяется с помощью сечения по высоте облака точек и вписыванием профиля колонн в сечение облака точек. Затем осуществляется перевод облака точек в систему координат ТИМ-модели в плоскости XY (рис. 3). По высоте облако точек привязывается к существующим реперам. Рекомендуется в зоне реконструкции иметь не меньше трех высотных реперов. Затем, после совмещения, выполняется анализ критичности отклонений смонтированных конструкций и коммуникаций от проекта.

На рис. 3 приведено совмещение облака точек и ТИМ-модели при реконструкции действующего промышленного предприятия. В данном случае перемещение облака точек ограничено в направлении Z, так как облако точек привязано

к высотной сети данного предприятия. Плановая точность совмещения составляет 55 мм. Это обусловлено тем, что здание давно находится в эксплуатации, и текущие конструкции находятся на отметке +21.000 м.

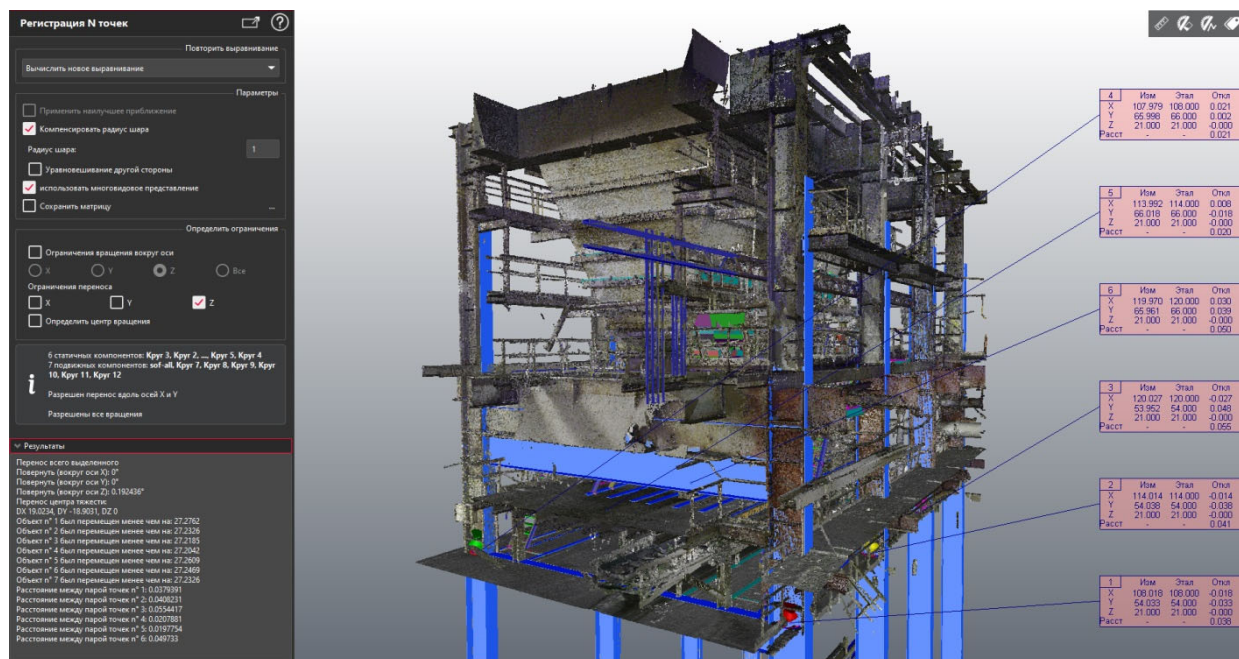


Рис. 3. Совмещение облака точек с BIM-моделью при реконструкции промышленного предприятия

Таким образом применение современных программных продуктов по обработке геопространственных данных позволяет автоматизировать процесс обработки информации, полученной с помощью НЛС, ТИМ-моделей для комплексного решения различных инженерных задач в процессе контроля за возводимыми зданиями и сооружениями и в процессе их последующей реконструкции.

Заключение

Совместное использование наземного лазерного сканера и ТИМ-технологий при строительстве и эксплуатации промышленных и гражданских сооружений позволяет:

- выявлять на раннем этапе ошибки проектирования при реконструкции промышленных предприятий;
- выявлять ошибки монтажа основных конструкции сложной формы при новом строительстве;
- выполнять контроль всех геометрических параметров изготовленных конструкций при контрольных сборках;
- создавать проект дизайна помещений сложной формы и точно рассчитывать объём отделочных материалов.

Благодаря применению наземных лазерных сканеров при строительстве и эксплуатации гражданских и промышленных объектов происходит более пол-

ный геодезический контроль и своевременное выявление больших отклонений от проекта с использованием ТИМ-моделей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азаров Б. Ф., Опара В. В. BIM-технологии: проектирование, строительство, эксплуатация // Ползуновский альманах. – 2018. – № 2. – С. 8–11.
2. Jernigan F., Jernigan F. BIG BIM little bim. Second edition // Salibrary: 4 Site Press, 2008. – 328 p.
3. 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.
4. Развитие системы контроля за ходом строительно-монтажных работ на основе комплексного применения программных продуктов Primavera P6 Professional R8.3.2 и ArchiCAD 17.0.0 / В. П. Грахов, Ю. Г. Кислякова, У. Ф. Симакова, Д. А. Мушаков // Наука и техника – 2017. – Т.16, № 6. – С. 466–474.
5. Об утверждении правил «Формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов» : постановление Правительства РФ от 15.09.2020 № 1431 [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. Комиссаров А. В. Обоснование направлений использования данных цифровой съемки при наземном лазерном сканировании // Вестник СГУГиТ. – 2016. – № 1 (33). – С. 95–100.
7. Наземное лазерное сканирование / А. В. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова : монография. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.
8. Наземное лазерное сканирование объектов промышленных площадок на территории нефтегазовых месторождений / В. А. Бударова, Н. Г. Мартынова, А. В. Шереметинский, А. В. Привалов. // Московский экономический журнал. – 2019. – № 6. – С. 8–14.
9. Комиссаров А. В., Калинина М. С. Методика совместного получения и обработки данных наземного лазерного сканирования и цифровой съемки // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 4. – С. 39–42.
10. Алтынцев М. А., Алтынцева М. А. Применение технологии лазерного сканирования для контроля состояния защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 377–393.
11. 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.
12. Мустафин М. Г., Шокер Ч. М. Оценка влияния линейно-угловых параметров лазерно-сканирующей съемки на точность построения модели объекта // Маркшейдерский вестник. – 2020. – № 6(139). – С. 45–50.
13. Комиссаров А. В., Алтынцев М. А. Метод активного дистанционного зондирования: лазерное сканирование : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 254 с.
14. Шарафутдинова А. А., Брынь М. Я. Требования к точности наземного лазерного сканирования для решения инженерно-геодезических задач с помощью цифрового информационного моделирования // Геодезия и картография. – 2021. – № 8. – С. 2–12. DOI: 10.22389/0016-7126-2021-974-8-2-12.
15. Кузнецова А. А. Применение наземного лазерного сканирования для выявления отклонений конструкций от их проектных значений // Геодезия и картография. – 2018. – № 12. – С. 2–7. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-942-12-2-7.
16. 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.

17. 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.
18. 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.
19. Nguyen C. H. P. Choi Y (2018) Comparison of point cloud data and 3D CAD data for on-site dimensional inspection of industrial plant piping systems. *Automation in Construction*, 91, pp. 44–52. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.03.008.
20. Ochmann S., Vock R., Klein R. (2019) Automatic reconstruction of fully volumetric 3D building models from oriented point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 151, pp. 251–262. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2019.03.017.
21. Son, H., Kim, C., Kim, C. (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, pp. 193–200. DOI: 10.1016/j.autcon.2014.08.007.
22. Шарафутдинова А. А., Брынь М. Я. Опыт применения наземного лазерного сканирования и информационного моделирования для управления инженерными данными в течение жизненного цикла промышленного объекта // *Вестник СГУГиТ.* – 2021. – Т. 26. – № 1. – С. 57–67. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-1-57-67.
23. Неволин А. Г., Новоселов Д. Б. Создание и ведение цифровых дежурных планов при строительстве горнодобывающих предприятий Кемеровской области // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия».* – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 25–34. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-1-25-34.
24. Новоселов Д. Б. Применение наземных лазерных сканеров при геодезическом сопровождении строительства горнодобывающих промышленных предприятий // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия».* – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – С. 104–112. DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-104-112.

© Д. Б. Новоселов, 2023