

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Максим Александрович Алтынцев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

Павел Александрович Карпик

Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1, магистрант, тел. (983)319-08-09, e-mail: karpikpavel@yandex.ru

Трехмерные метрические модели реальных физических объектов активно применяются при решении различных задач в процессе профессиональной деятельности человека. В строительной сфере трехмерное моделирование помогает зафиксировать все жизненные циклы сооружений от инженерных изысканий до проектирования, эксплуатации и демонтажа. Трехмерные модели позволяют оперативно выполнить все необходимые измерения в компьютерной среде, предоставлять возможность построения двумерных чертежей, вносить изменения в проектную документацию. Среди всех видов трехмерных моделей отдельно выделяют такие, которые дополнительно к геометрической информации обладают возможностями хранения различных атрибутивных сведений об объекте, позволяют существенно автоматизировать инженерные расчеты, выполняемые по трехмерной модели, а также предоставляют возможность автоматического создания различного рода документации. Данные виды трехмерных моделей называют информационными. В качестве источника данных для создания информационных моделей сооружений наиболее оптимальным является метод лазерного сканирования. В статье рассмотрен процесс трехмерного моделирования по данным лазерного сканирования. Проанализированы преимущества информационных трехмерных моделей сооружений перед простыми трехмерными моделями, созданными в специализированных программных продуктах обработки данных лазерного сканирования и системах автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: лазерное сканирование, трехмерная цифровая метрическая модель, информационная модель здания (BIM), система автоматизированного проектирования (САПР).

PECULIARITIES OF THREE-DIMENSIONAL METRIC MODEL CONSTRUCTION FROM LASER SCANNING DATA

Maxim A. Altyntsev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo, Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D, Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

Pavel A. Karpik

Novosibirsk State University, 1, Pirogova St., Novosibirsk, 630090, Russia, Graduate, phone: (983)319-08-09, e-mail: karpikpavel@yandex.ru

Three-dimensional metric models of real physical objects are actively used when solving various tasks in the process of a person's professional activity. In the construction industry, 3D modeling helps to capture all life cycles of buildings from engineering surveys to design, operation and demolition work.

Three-dimensional models allow quickly performing all the necessary measurements in a computer environment, provide the ability to build two-dimensional drawings and make changes to design documentation. Among all types of three-dimensional models, there are separately those that allow storing various attributive information about an object in addition to geometric information, significantly automate the process of many engineering calculations using a three-dimensional model and provide the ability to automatically create various types of documentation. These types of three-dimensional models are called building information models (BIM). The most appropriate method is laser scanning as a data source for creating BIM. The technique of three-dimensional modeling based on laser scanning data is discussed. The advantages of BIM over simple three-dimensional models created in specialized software for processing laser scanning data and computer-aided design systems are analyzed.

Key words: laser scanning, 3D digital metric model, building information model (BIM), computer-aided design (CAD).

Введение

Лазерное сканирование – это технология, которая зарекомендовала себя как надежный источник данных для построения цифровых трехмерных метрических моделей различных промышленных и гражданских сооружений. Благодаря высокой точности и плотности получаемого в результате сканирования массива точек лазерных отражений (ТЛО) стало возможным выполнять трехмерное моделирование сооружений с высокой степенью детализации. Построенные модели обеспечивают возможность осуществления любых измерений в компьютерной среде, аналогичных реальным измерениям на местности. В зависимости от назначения модели, программного обеспечения (ПО) для ее создания, требуемого значения точности и уровня детализации применяются определенные методики и способы трехмерного моделирования [1-4].

Существуют 3 основных способа трехмерного моделирования: каркасное, поверхностное и твердотельное. Как правило, при создании трехмерной модели сложного архитектурного сооружения или застроенной территории используется комплексный подход, когда каждый из способов находит свое применение в зависимости от вида моделируемого элемента сооружения [5].

Процесс трехмерного моделирования на основе данных лазерного сканирования может быть значительно автоматизирован. Для этого применяются специализированные инструменты автоматического вписывания трехмерных тел в массив ТЛО. Данные инструменты включаются в состав определенного ПО, заточенного на обработку результатов лазерного сканирования. Построенным таким образом трехмерным объектам может быть присвоена атрибутивная информация. Далее модели экспортируются в системы автоматизированного проектирования (САПР) или системы информационного моделирования (BIM) с целью дальнейшей обработки и окончательного оформления, в процессе которого трехмерным объектам может быть назначена текстура реального объекта.

Подходы к созданию трехмерных метрических моделей в среде САПР и BIM имеют свои особенности. Применение BIM является следующим шагом в области развития трехмерного моделирования.

Трехмерное моделирование в специализированном ПО для обработки данных лазерного сканирования

Каждая компания-производитель геодезического оборудования выпускает специализированное ПО, адаптированное на обработку получаемых данных. Наиболее мощным функционалом обладает ПО Cyclone, выпускаемое компанией Leica Geosystems. В Cyclone помимо модуля для осуществления полевого этапа наземного лазерного сканирования (НЛС) и инструментов предварительной обработки его данных, позволяющих выполнять фильтрацию и сшивку сканов, включена возможность создания сечений, двумерных чертежей, вычисления объемов и построения трехмерных моделей. В [2, 6] представлены методики построения трехмерных моделей в рассматриваемом ПО. Преимуществом трехмерного моделирования в данном случае является возможность применения инструментов автоматического вписывания геометрических примитивов в массив ТЛЮ. Моделирование сложных объектов выполняется путем комбинации построенных геометрических примитивов или посредством операции выдавливания по-автоматически или интерактивно построенным плоскостям. Для идентификации принадлежности трехмерного тела к реальному физическому объекту моделирование выполняют в предварительно созданных слоях. Каждому объекту может быть присвоена дополнительная атрибутивная информация в табличном виде.

В состав трехмерной модели часто включается цифровая модель рельефа (ЦМР). В ПО Cyclone ЦМР создается интерактивно по сечениям. Глубину сечения выбирают в зависимости от характера рельефа местности. В каждом сечении по нижним ТЛЮ вычерчивают полилинию или удаляют ТЛЮ, не принадлежащие поверхности земли. Далее по полилиниям или оставшимся ТЛЮ строят триангуляционную поверхность [6].

Основными недостатками трехмерного моделирования в ПО Leica Cyclone являются:

- отсутствие возможности объединения геометрических примитивов в единые тела и осуществления других логических операций, таких как вычитание и пересечение;
- нет возможности наложить фотореалистическую текстуру;
- операция выдавливания плоскостей возможна только по прямой, а не по траектории;
- привязка векторных объектов друг к другу возможна только после их построения и только по узлам.

Описанных недостатков лишены системы автоматизированного проектирования, такие как Autodesk AutoCad и Bentley Microstation, и системы информационного моделирования зданий.

Трехмерное моделирование в САПР на основе данных лазерного сканирования

Возможности трехмерного моделирования в любой САПР, как правило, значительно превышают такие возможности в специализированном ПО, таком как Leica Cyclone. САПР позволяют создавать сложные единые трехмерные тела, назначать фотореалистические текстуры, выполнять их оформление посредством размещения дополнительной текстовой информации, автоматизировано подготавливать двумерные чертежи на основе трехмерной модели, выполнять проектные работы с целью реконструкции объекта моделирования, формировать рабочую и проектную документацию [7].

Создание сложных трехмерных элементов в САПР выполняется с помощью геометрических примитивов на основе логических операций сложения, вычитания, пересечения, с помощью операции выдавливания по траектории и применения специальных инструментов, таких как «вращать», «сдвиг», «спираль» и других [8].

Моделирование в САПР может осуществляться по исходному массиву ТЛО, либо САПР применяется на завершающей стадии трехмерного моделирования объекта, начатого в ПО обработки данных лазерного сканирования. Второй вариант зачастую является более предпочтительным за счет наличия специализированных автоматических инструментов вписывания трехмерных деталей в массив ТЛО. Инструментарий САПР обычно позволяет использовать массив ТЛО только в качестве подложки и ограничивать область видимости определенной части массива. Моделирование в этом случае выполняется полностью интерактивно, где каждый тип объекта находится в своем слое.

В случае импорта из Cyclone предварительно созданной трехмерной модели особенно актуальным является применение логических операций. Отсутствие поддержки в Cyclone данных видов операций делает необходимым построение трехмерных моделей таким образом, чтобы затем было возможно завершить моделирование в САПР. На рис. 1, а показан фрагмент результата трехмерного моделирования, выполненного в Cyclone. Карниз представленного здания имеет сложную форму. Его моделирование выполнялось с каждой стороны здания отдельно на основе операции выдавливания плоскости, описывающей его сечение, по прямой. В области стыка на углах здания необходимо было обрезать лишнее, что осуществлялось в ПО AutoCAD (рис. 1, б).

После завершения основного этапа моделирования возможно выполнить наложение фотореалистичной текстуры на любую поверхность модели. На рис. 2 показан пример наложения текстуры тротуарной плитки на участке модели АЗС. В дальнейшем модель может применяться в качестве основы для осуществления проектных работ.

Часто для САПР выполняют создание дополнительных модулей, которые позволяют автоматизировать различные процессы. Одним из таких модулей является Leica Cloudworx, который позволяет загружать базу данных Cyclone в AutoCAD и пользоваться автоматическими инструментами трехмерного моделирования, реализованными в Cyclone. За счет совместного применения инструментов

Cyclone и Autocad значительно повышается удобство и скорость трехмерного моделирования [9].

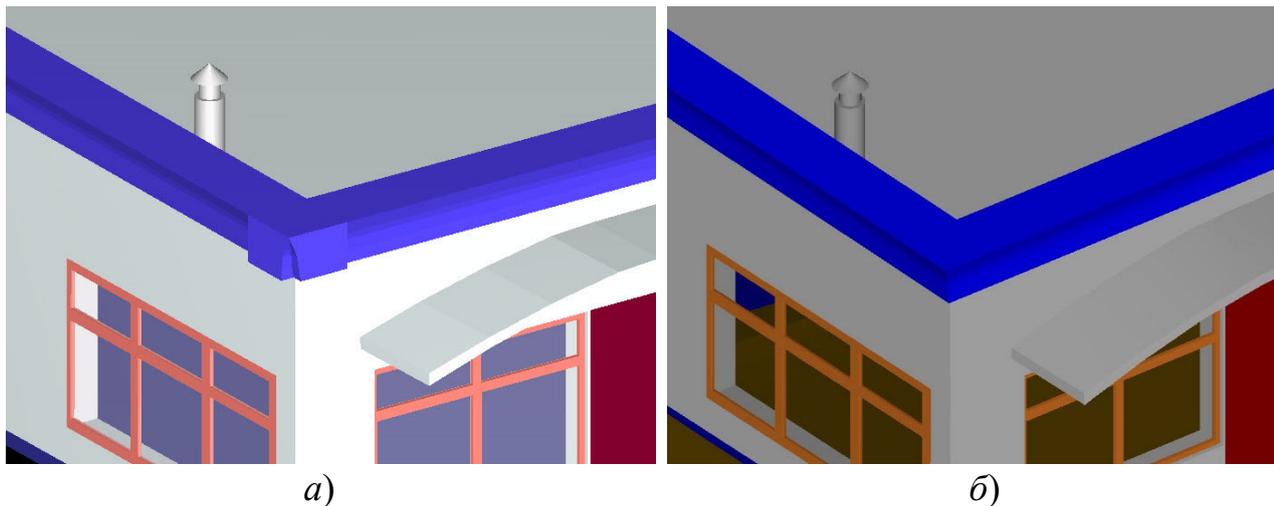


Рис. 1. Результат трехмерного моделирования:
а) в Cyclone; б) в AutoCAD

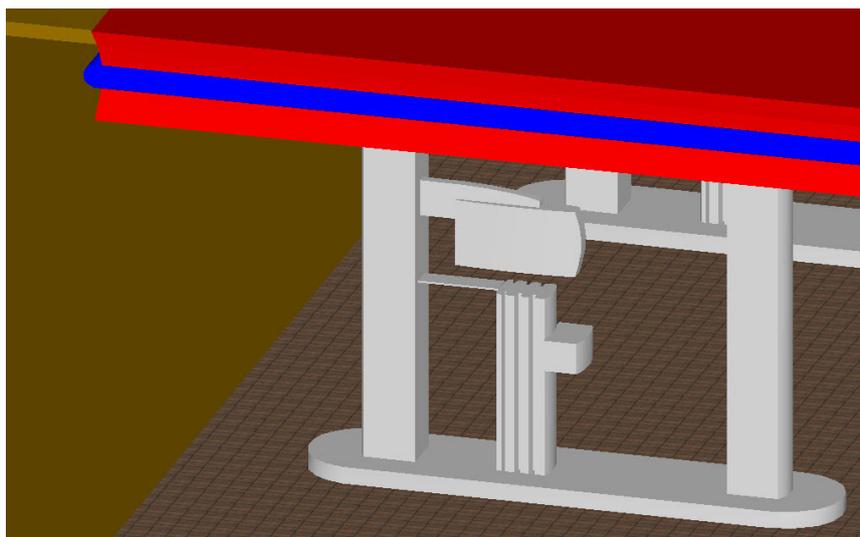


Рис. 2. Наложение фотореалистичной текстуры

Трехмерное моделирование в BIM на основе данных лазерного сканирования

Программное обеспечение информационного моделирования обладает еще большим числом возможностей, чем САПР. Теория информационного моделирования представлена концепцией BIM (информационное моделирование зданий). Главная идея данной концепции заключена в подходе, когда при проектировании создается трехмерная модель, позволяющая автоматически извлекать необходимую информацию, включая различного рода рабочую документацию, расчетные схемы, смету. На основе построенной информационной модели со-

ставляют график выполнения строительных работ, ведут бухгалтерский учет. Информационная модель максимально приближена к реальности. Работу над ее созданием осуществляют сразу несколько специалистов смежных областей: архитекторы, конструкторы, технологи, специалисты по инженерным сетям и другие. Для этого применяется режим совместной работы [10].

Преимуществом применения BIM технологии является значительное сокращение количества случайных ошибок и нестыковок во время соединения отдельных элементов трехмерной модели и разделов проектной документации. Возможно оперативно отслеживать текущее состояние здания и своевременно принимать меры по его капитальному ремонту, реставрации и реконструкции. На основе построенной комплексной информационной модели сооружения осуществляется прогнозирование окончательной стоимости осуществления проекта. Внедрение BIM позволяет уменьшить денежные расходы и сократить срок ввода сооружения в эксплуатацию. Принятие решения на основе информационной модели возможно, как будто бы рассматривается уже построенное сооружение [11–12].

Наиболее востребованным ПО для создания информационных моделей являются Autodesk Revit, ArchiCAD, Tekla Structures, MagiCAD, Allplan, Renga Architecture, Autodesk Revit. Revit является наиболее популярным ПО среди данных систем BIM, востребован при проектировании, планировании, строительстве и эксплуатации сооружений и их инфраструктуры [13].

Данные лазерного сканирования часто являются основой для создания трехмерных информационных моделей в системах BIM. По ним получают фактические модели сооружений с миллиметровой точностью, которые в дальнейшем могут применяться в ходе реконструкции. В Autodesk Revit для решения задачи реконструкции сооружений служит инструмент «Стадии». Фактической модели присваивают стадию возведения «Существующие» и в случае необходимости демонтажа отмечают в свойствах, что планируется снос. Всем возводимым объектам назначается новая стадия, что дает возможность создавать документацию на разные стадии и формировать трехмерные виды с соответствующими настройками отображения элементов [14].

Если в САПР моделируемый компонент сооружения выбирается из библиотеки элементов и размещается в определенном слое, то в BIM для моделирования компонента сооружения указывается определенное семейство [15]. Семейства в BIM являются аналогами библиотек в САПР. В Autodesk Revit такими семействами являются стены, потолки, окна, двери, пол, крыша балки, колонны, ограждения, лестница, пандус, шахта, ферма и другие.

Каждое семейство принадлежит определенному типу: загружаемое, системное или контекстное. Загружаемые семейства являются неделимыми, они доставляются на площадку строительства и устанавливаются отдельно: окна, двери, арматура трубопроводов. К системным семействам относятся компоненты сооружения, которые собираются непосредственно на строительной площадке: стены, крыши, трубопроводы, перекрытия. Контекстные семейства создаются для текущего проекта, содержат уникальные компоненты, которые не предназначены для использования в другом проекте. Каждый тип семейства включает различные типоразмеры, то есть набор однотипных компонентов с заданными размерами [16, 17].

Для привязки элементов моделей, которые называются экземплярами, в Revit применяются уровни – бесконечные горизонтальные плоскости. Проект обычно разбивают на несколько уровней. Например, для многоэтажного здания каждому этажу может соответствовать только один уровень. При изменении высотных границ уровня смещаются все привязанные к нему элементы: стены, окна, двери, трубы и т.д.

Для того чтобы загрузить массивы точек в Revit, необходимо сначала выполнить их конвертирование в формат «rcs». Это осуществляется с помощью ПО Autodesk Rescap, которое поддерживает импорт из большинства стандартных форматов данных лазерного сканирования. Чтобы система координат массива ТЛЮ сохранилась, необходимо при импорте в проект указать правило его размещения: по общим координатам. Далее задают условную систему координат, в которой ось ординат размещают вдоль самой длинной стороны сооружения. Проект разбивают на уровни и моделируют по отдельным экземплярам путем выбора необходимого семейства и его типоразмера. При размещении каждого отдельного экземпляра указывают, к каким уровням он будет привязан снизу и сверху и на какое расстояние будет от них смещен [16–18]. На рис. 3 показан фрагмент результата трехмерного моделирования в Revit на территорию складского помещения, где показано, что модель была разбита на 7 уровней. Привязка каждого этажа сооружения выполнялась от соответствующего уровня с указанием смещения от его начала.

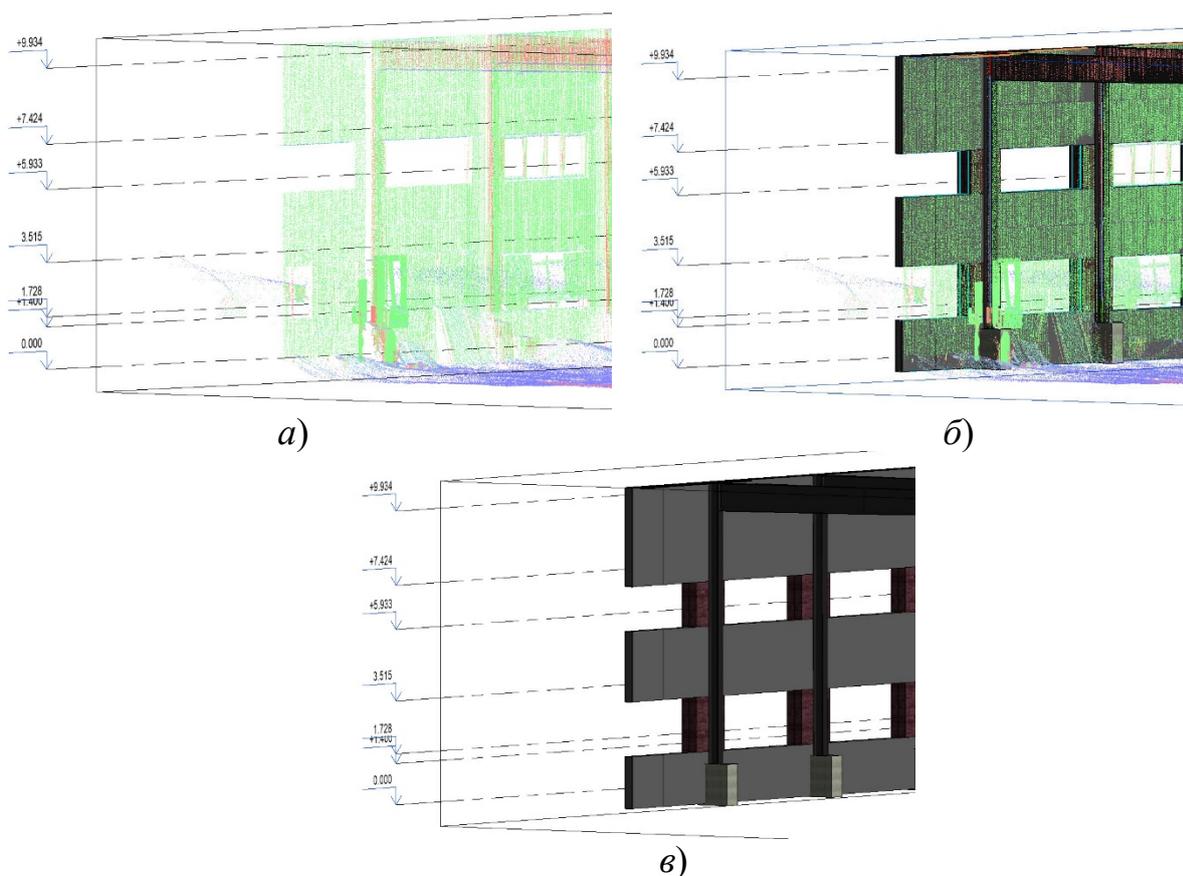


Рис. 3. Результат трехмерного моделирования в BIM:
а) массив ТЛЮ; б) массив ТЛЮ и трехмерная модель; в) трехмерная модель

Размещение экземпляров семейства выполняют путем их интерактивного вписывания в массив ТЛО. В отличие от САПР в Revit присутствует ряд ограничивающих критериев, соблюдение которых по умолчанию обязательно должно выполняться. При соблюдении этих критериев программа контролирует топологические связи между экземплярами модели. Например, это соблюдение условия вертикального размещения стен и горизонтального размещения межэтажных перекрытий. При моделировании существующих сооружений данное условие зачастую не соблюдается, и приходится дополнительно выполнять разворот предварительно вертикально размещенной стены или перекрытия вокруг горизонтальной оси с целью совмещения с массивом ТЛО. В САПР возможно разместить трехмерные элементы в любом необходимом положении за один прием. Преодолеть данные ограничивающие критерии помогает дополнительный модуль Leica Cloudworx. Как и для ПО AutoCAD, данный модуль позволяет значительно ускорить скорость работы посредством применения инструментов автоматического вписывания экземпляром модели в массив ТЛО [18, 19].

Revit также позволяет выполнить импорт готовой трехмерной модели из САПР, но в этом случае не каждый элемент может быть корректно распознан в BIM. Какие-то трехмерные элементы могут не передаваться совсем, а остальным нужно будет назначать соответствующие семейства, их типоразмеры и свойства.

Таким образом, итоговый результат трехмерного моделирования в BIM может быть получен тремя способами:

- полностью интерактивное моделирование по массиву точек в BIM;
- моделирование в BIM с помощью дополнительных плагинов, такого как Leica Cloudworx;
- импорт результата моделирования из другого ПО и его редактирование в соответствии с требованиями BIM.

Заключение

Технология лазерного сканирования позволяет выполнять съемку любых сложных сооружений с целью построения высокоточных и детализированных метрических трехмерных моделей. Для моделирования по данным лазерного сканирования к настоящему времени было разработано большое количество различных методик. Каждая из них имеет свои особенности, которые прежде всего определяются требуемым уровнем детализации, характером трехмерной модели и типом применяемого программного обеспечения. Процесс моделирования в BIM по сравнению с моделированием в САПР обладает большим количеством особенностей. Так как BIM чаще всего применяют для решения проектных задач, главной особенностью данного типа моделирования является то, что каждый элемент модели обладает своими уникальными свойствами, идентифицируется посредством указания типа семейства, его вид и положение может быть легко автоматически изменены в ходе реконструкции сооружения благодаря наличию сложной системы привязок по уровням и между примыкающими элементами.

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. Построение трехмерных моделей спортивных сооружений средствами лазерного сканирования (на примере Новосибирского биатлонного комплекса) / Д. В. Комиссаров, Е. В. Миллер, М. А. Аверков, В. В. Загородний // ГЕО-Сибирь-2005 : сб. материалов науч. конгр., 25–29 апр. 2005 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА, 2005. – Т. 5. – С. 216–220.
2. Наземное лазерное сканирование: монография / В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.
3. Катрич А. Е., Барина Т. А. Обработка данных наземного лазерного сканирования для получения 3D-моделей объектов: в сб.: «Научные достижения и открытия современной молодежи» // Сборник статей победителей международной научно-практической конференции: в 2-х частях. – Пенза: Наука и просвещение, 2017. – С. 1213–1215.
4. Алтынцев М. А., Чернов А. В. Применение технологии лазерного сканирования для моделирования объектов недвижимости в 3D-кадастре // Геодезия и картография. – 2018. – Т. 79. – № 9. – С. 52–63.
5. Косников Ю. Н. Поверхностные модели в системах трехмерной компьютерной графики. Учебное пособие. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2007. – 60 с.
6. Комиссаров А. В., Аманова А. К., Широкова Т. А. Разработка методики трехмерного моделирования объектов ситуации и рельефа городской территории по данным наземного лазерного сканирования г. Томска // ГЕО-Сибирь-2010. Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, № 3. – С. 79–83.
7. Технология лазерного сканирования в 3D проектировании / Киямов И. К., Мингазов Р. Х., Музафаров А. Ф., Ибрагимов Р. А., Сибгатуллин А. А. // Экспозиция Нефть Газ. – 2013. – Вып. 7 (32). – С. 41–43.
8. Аветян Д. Л. 3D-моделирование в AutoCAD // XI Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и современные информационные технологии». – Томск: ТПУ, 2013. – С. 407–408.
9. Плагины цифровой реальности Leica CloudWorx для САПР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://leica-geosystems.com/ru/products/laser-scanners/software/leica-cloudworx> (дата обращения: 10.07.2020).
10. Шевченко А. А., Мелитонян А. А. Методология создания BIM моделей и творческая составляющая в процессе BIM проектирования // Экологические, инженерно-экономические, правовые и управленческие аспекты развития научно-практической конференции (27-28 ноября 2017 г., г. Краснодар). – Уфа: ОМЕГА САЙНС, 2017. – С. 168–172.
11. Римшин В. И., Черкас А. Д. Инновационные технологии проектирования в области BIM-систем при эксплуатации недвижимости зданий и сооружений // Недвижимость: экономика, управление. – 2016. – №3. – С. 53–56.
12. Лушников А. С. Проблемы и преимущества внедрения BIM-технологий в строительных компаниях // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – №6 (53). – С. 252–256.
13. BIM технологии в строительстве: что такое и зачем они нужны. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dmstr.ru/articles/bim> (дата обращения: 10.07.2020).
14. 100 лет истории в BIM. Применение лазерного сканирования в BIM-проекте реконструкции здания 1899 года. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://bim.vc/feedbacks/alllevels_100_years (дата обращения: 10.07.2020).

15. 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. 121–139.
16. САПР-журнал. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sapr-journal.ru/uroki-revit/uroki-revit-2-osnovnye-terminy> (дата обращения: 10.07.2020).
17. BIM-технологии / Е. Н. Рыбин, С. К. Амбарян, В. В. Аносов, Д. В. Гальцев, М.А. Фахратов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2019. – Т1, № 1(28). – С. 98–105.
18. Программное обеспечение Leica CloudWorx Revit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geooptic.ru/product/leica-cloudworx-revit> (дата обращения: 10.07.2020).
19. Herban I., Vilceanu, C. B. Terrestrial laser scanning used for 3D modeling // 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 2012.

© М. А. Алтынцев, П. А. Карпик, 2020