

**КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЕРЕНОСНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ 3D-СКАНИРОВАНИЯ**

И.А. Брич

bia17m260@student.bmstu.ru

SPIN-код: 6608-2793

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

**Аннотация**

Проанализированы основные области применения переносных систем 3D-сканирования. Выделены носные системы 3D-сканирования, категории, оказывающие наибольшее влияние на компьютерная 3D-модель, мониторинг, BIM-технологии, лидар, дирующие компании по производству 3D-систем и картографирование, портативные сканирующие системы. В качестве основных классов выделены сканирующие системы, используемые на беспилотных летательных аппаратах тяжелого класса; системы, устанавливаемые на беспилотных летательных аппаратах легкого класса; системы сканирования на базе колесного транспорта, а также сканеры, переносимые человеком или роботизированной платформой. Проанализированы технические решения и основные параметры, подчеркивающие специфику систем, относящихся к выделенным классам.

**Ключевые слова**

Лазерное 3D-сканирование, переносных систем 3D-сканирования, мониторинг, BIM-технологии, лидар, картографирование, портативные сканирующие системы

Поступила в редакцию 24.05.2021

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

**Введение.** С каждым годом технология трехмерного (3D) сканирования играет все более важную роль во многих сферах нашей жизни. Расцвет этой технологии пришелся на вторую половину XX века: первый 3D-сканер появился в 1960 г., а уже в 1985 г. для сканирования стали использовать лазеры. Зная скорость света и направление, с помощью отраженного от объекта лазерного луча можно создать облако точек, координаты которых передаются для обработки в ЭВМ. После фильтрации, применяемой для удаления из облака некорректных лазерных отражений и оптимизации, алгоритм формирует цифровую точечную и векторную трехмерную модель заданного объекта.

В современном мире 3D-сканирование объектов применяется во многих областях человеческой деятельности. Основными направлениями сканирования небольших объектов стали реверс-инжиниринг, промышленность, автопроектирование, медицина, дизайн рекламы, нефтегазовая отрасль и многие другие.

В рамках данной работы было принято решение проводить классификацию по критерию области применения. В то же время, поскольку область применения устройства диктует определенные технические и технологические решения, будут рассмотрены и те особенности конструкции, которые характерны для систем каждого из классов. Специфика статьи подразумевает рассмотрение групп

систем, специализирующихся на сканировании больших объектов и пространств, поэтому портативные сканеры для сканирования мелких объектов в данную классификацию включены не будут. Чтобы корректно выполнить классификацию, разумно подробно рассмотреть сферы использования систем, которыми на данный момент являются картографирование и строительные работы.

**Области применения систем 3D-сканирования как основной параметр классификации.** В рамках строительной отрасли системы 3D-сканирования получили наибольшее распространение благодаря стремлению государств и компаний перейти к документации, основанной на BIM-моделях (BIM (Building Information Model, или Building Information Modeling — информационная модель здания или информационное моделирование зданий) — цифровое представление объекта, содержащее его физические и функциональные параметры, в котором все детали связаны с базой данных и имеют подробное описание своих характеристик (материал, стоимость, долговечность, технология монтажа и т. д.). Изменение любого параметра модели влечет за собой изменение всей связанной с ним документации.

Такой подход к проектированию упрощает процесс внесения правок, долгосрочного планирования, а также значительно повышает скорость проектирования. Кроме конструкции здания BIM-модель содержит информацию о прокладке систем теплоснабжения, газоснабжения, водоснабжения, вентиляции, а также местах установки электрооборудования. Это позволяет проводить совместные расчеты и анализировать взаимное влияние этих систем [1].

В Соединенных Штатах Америки такая практика закреплена на государственном уровне — это стало обязательным требованием для получения госзаказа на постройку сооружений любой конфигурации. Эту тенденцию поддержали Великобритания, Дания, Нидерланды, Норвегия, Финляндия, Италия, Франция, и начиная с 2019 г. — и Российская Федерация. Согласно указу президента России Владимира Путина (Пр-1235 от 19 июля 2018 г.), было поручено начать переход к системе управления жизненного цикла объектов капитального строительства путем внедрения BIM-технологий. А к 2022 г. планируется сделать обязательным использование BIM-моделей для всех госструктур, занимающихся строительством зданий и сооружений [2].

Переход к активному использованию BIM-технологии продиктован также и организациями финансового сектора. После перехода от долевого финансирования к проектному все риски при строительстве взяли на себя банки, которые стали принимать решения о выделении средств на финансирование проекта [3]. BIM-модели позволят облегчить оценку рисков и сократить перерасход средств на строительство, а также ускорить одобрение и контроль проектов.

Обобщая вышеописанные факторы, такой подход позволяет:

- снизить количество ошибок и погрешностей в проектной документации;
- сократить время проектирования;
- уменьшить время проверки и одобрения проекта;
- снизить погрешности бюджета при планировании;

- сократить сроки инвестиционной фазы проектов;
- сократить сроки строительства;
- ужесточить и оптимизировать процедуры финансово-технического надзора;
- упростить и ускорить экологический аудит проектов.

В рамках задач картографии системы 3D-сканирования выполняют не менее широкий спектр задач и в последнее время имеют наивысшее значение для развития отрасли. Особенно большой скачок произошел после середины 1990-х годов, когда данная технология стала доступна для коммерческого использования. К этому привело появление на рынке таких устройств, как волоконно-оптические гироскопы (FOG) и микроэлектромеханические системы (MEMS) [4]. Кроме того, этому способствовало увеличение количества общенациональных сетей базовых станций GNSS (Global Navigation Satellite System — спутниковая система навигации).

Чрезвычайная эффективность технологии лазерного 3D-сканирования объясняется в первую очередь возможностью проводить трехмерное сканирование целевых объектов путем проникновения луча сквозь растительность для получения информации о форме рельефа и расположении объектов под ней. При прохождении через растительность фронт световой волны дает информацию о растительности как о побочном объекте. Таким образом, применяя принципы лазерной локации, можно получить информацию, недоступную при использовании других методов, например, аэрофотосъемке.

Основа для картографирования обычно формируется благодаря топографической съемке с воздуха. При необходимости максимальной детализации съемку ведут с малых высот (50...300 м). Это можно применять для картографирования коммунальных объектов и гражданских строений. Для дорожного и городского планирования обычно применяют съемку со средних высот (400...1000 м). В масштабе страны картографирование ведут на больших высотах (2000 м и более).

Однако современное картографирование не останавливается на топографическом сканировании с воздуха. Лидар может быть установлен на наземное транспортное средство или перемещаться непосредственно человеком. Таким образом может происходить съемка городских территорий, естественной среды, промышленных установок и т. п. Данную технологию также можно использовать для построения моделей замкнутых пространств: сканирования тоннелей, подземных водохранилищ, шахт и т. п. Анализ построенной модели может позволить точно определить объем внутренних пространств, что впоследствии используется для геологических исследований.

Технология картографирования методом лазерного 3D-сканирования нашла свое применение и в робототехнике. Для планирования перемещений робота или группы роботов в большинстве случаев используют карты проходимости. На них формируются области, аналогичные непроходимым для данного робота участкам используемой территории.

Для оптимизации маршрутов можно использовать усложненную карту проходимости, в которой содержится информация о труднопроходимых участках, т. е. вводится коэффициент проходимости, который варьируется в некоторых пределах. Для получения информации такого рода используют сложные алгоритмы анализа, а сканирующие лазерные системы снабжают дополнительными устройствами: камерами, тепловизорами и т. п.

Подводя итоги всему написанному выше, можно констатировать, что картографирование с помощью средств лазерного 3D-сканирования позволяет:

- сократить время обработки исходных данных для получения готовой карты;
- сократить количество ручного труда;
- повысить качество и подробность данных;
- строить карты замкнутых пространств любой сложности и конфигурации;
- строить карты проходимости для нужд многоагентных робототехнических систем;
- проводить периодические сканирования для мониторинга динамики изменений природных ресурсов и биосферы;
- автоматизировать рабочие процессы моделирования и визуализации

**Классификация систем 3D-сканирования.** Отрасль систем 3D-сканирования относительно нова для рынка. Первые прототипы для гражданского использования начали появляться только в середине 2000-х годов, поэтому количество занявших эту нишу компаний невелико. Отметим, что в связи со спецификой данной работы к классификации принимались системы, способные выполнять и задачи, связанные со строительными и архитектурными работами, и задачи картографирования.

Также стоит принять во внимание, что лазерное сканирование — не единственная технология, известная в наше время. Существуют также однофотонные лидары, базирующиеся на фотоумножителях и позволяющие проводить лазерную съемку с орбиты, не используя сверхмощные лазеры и не перегружая оптику. Однако применение этих технологий в коммерческом сегменте слишком ново. Все производители, которые занимаются разработкой подобных систем, утверждают, что технология нуждается в дальнейшем совершенствовании и оптимизации, поэтому, не смотря на все преимущества, удачного примера применения данной технологии на рынке пока нет [4].

При анализе присутствующих на рынке разработок их можно классифицировать по различным параметрам, например эффективной дальности сканирования или относительной суммарной погрешности. Однако в условиях данной работы выполним разбиение согласно конструкции системы 3D-сканирования, а также области применения, для которой она конструировалась.

На данный момент лидирующими по номенклатуре разработанных систем, годовой выручке и доходности активов (согласно данным Bloomberg L.P.) являются три компании:

- Trimble, Inc.;
- Leica Geosystems AG — part of Hexagon;
- RIEGL Laser Measurement Systems GmbH.

Именно на примерах продукции этих трех компании будет базироваться классификация. Проводя систематизацию по конструктивной области применения, можно выделить четыре группы систем 3D-сканирования. Рассмотрим их более подробно.

**Системы, предназначенные для установки на летательные аппараты самолетного и вертолетного типов, а также на беспилотные летательные аппараты (БПЛА) этих же типов.** Одни из первых систем, которые начали активно применяться. Не смотря на то, что они предназначены для установки на борту летательного аппарата, большинство систем данного класса не столь легки (рис. 1). Поскольку сканируемая поверхность всегда находится под летательным аппаратом, конструкция обычно предусматривает направленность съемки. Из-за высоких скоростей для данных систем критичным является частота сбора данных [5], а из-за высоты полета летательных аппаратов этих классов у системы должно быть как можно большее разрешение съемки, иначе построить достоверную модель не получится из-за слишком малого количества точек, приходящихся на единицу площади.

**Системы, предназначенные для установки на мультироторные БПЛА.** Сканирующие системы данного типа (рис. 2) появились недавно, что было обусловлено развитием мультироторных БПЛА. Из-за ограничений в грузоподъемности подобных аппаратов главное требование, применяемое к системам этого класса, — минимальный вес и минимальные габариты. Также острой является проблема энергоснабжения. По причине небольшой грузоподъемности БПЛА мультироторного типа сложно установить достаточное количество источников питания, поэтому необходимо оптимизировать энергопотребление системы сканирования. По тем же причинам обработка данных проводится на земле, а на борту происходит только сбор данных.



**Рис. 1.** Двухканальная воздушная лазерная сканирующая система VQ-1560i (RIEGL Laser Measurement systems GmbH)



**Рис. 2.** Малогабаритный сканер для лазерного сканирования с использованием БПЛА miniVUX-1UAV (RIEGL Laser Measurements Systems GmbH)

Немного упрощает проектирование подобных систем то, что для полета БПЛА требуются точные датчики позиционирования, поэтому вставлять их в систему

сканирования нет необходимости при достаточной точности датчиков, предусмотренных конструкцией БПЛА [6]. Высота полета мультироторных систем не столь велика, как у БПЛА самолетного и вертолетного типов, поэтому сканирующее устройство обычно не является направленным и осуществляет сканирование по всей плоскости, либо параллельной земле, либо перпендикулярной земле и направлению движения БПЛА.



Рис. 3. Мобильная система картографирования MX9 (Trimble Inc.)

**Системы, предназначенные для установки на наземном транспорте (автомобили, поезда и т. д.).** В подобных системах габариты и вес систем не так критичны, как в системах других классов. Зачастую для повышения частоты сбора данных и увеличения их объема применяют конструкторское решение, предполагающее установку двух лазерных сканеров. Такую конструкцию использовала компания Trimble Inc. в своей системе мобильного картографирования MX9 (рис. 3).

Лидар или лидары устанавливаются под углом к горизонту для максимально эффективного сбора данных при движении транспортного средства. Машины и поезда обладают средними скоростными характеристиками (по сравнению с летательными аппаратами и человеком) и передвигаются зачастую по ровным рельсам и асфальтированным дорогам, что практически сводит на нет высокоамплитудные колебания. Также в данном случае нет проблем, связанных с электроснабжением, поскольку существует возможность подключения не только компактных источников питания. На данный момент системы для использования на наземном транспорте, таком как машины или поезда, представлены на рынке наиболее широко.

**Мобильные системы, предназначенные для переноски человеком (упакованы в рюкзак или переносятся в руках).** Подобные системы появились только во второй половине 2010-х годов. Это связано с миниатюризацией электроники, развитием компактных источников питания, предоставляющих достаточное время автономной работы системы, а также значительным уменьшением веса сканирующих устройств.

Приоритетным в данной конструкции с учетом условий использования являются уменьшение веса и габаритов всех элементов и



Рис.4. Универсальная платформа для сканирования Pegasus: Backpack (Leica Geosystems AG)

повышение автономности системы. В дополнение к сканирующим устройствам такие системы необходимо снабжать точным модулем позиционирования. Лидары обычно располагают аналогично системам предыдущего класса: под углом к горизонту, однако можно встретить и системы, снабженные двумя лидарами, один из которых расположен горизонтально, а другой вертикально (рис. 4). Также необходимо уделять должное внимание фильтрации или стабилизации входных значений, получаемых со сканирующих устройств, поскольку человек при ходьбе сильно колеблется. Однако скорость перемещения невелика и легко варьируется, поэтому нет нужды в создании систем со сверхвысокой частотой сбора данных.

**Заключение.** В данной статье рассмотрены основные направления использования переносных систем 3D-сканирования и тенденция их развития. Также выполнена классификация по параметру области применения системы. На примерах продукции лидирующих компаний в данной отрасли рассмотрены технические особенности, присущие системам каждого из четырех выделенных классов.

## Литература

- [1] Анализ текущей ситуации на российском BIM-рынке в области гражданского строительства. *habr.com: веб-сайт*. URL: <https://habr.com/ru/company/nanosoft/blog/276587/> (дата обращения: 18.06.2020).
- [2] BIM не за горами. *archi.ru: веб-сайт*. URL: <https://archi.ru/russia/69222/bim-ne-zagorami> (дата обращения: 18.06.2020).
- [3] Что такое BIM и зачем новые технологии нужны девелоперам и госструктурам. *reality.rbc.ru: веб-сайт*. URL: <https://reality.rbc.ru/news/5ca1ceff9a794758d0568b37> (дата обращения: 18.06.2020).
- [4] Kukko A., Kaartinen H., Нуурпӓ J. Технологии будущего: лазерное сканирование. *sovzond.ru: веб-сайт*. URL: <https://sovzond.ru/press-center/articles/gis-mapping/5651/> (дата обращения: 18.06.2020).
- [5] RIEGL VQ-1560i. *riegl.ru: веб-сайт*. URL: [http://www.riegl.ru/images/stories/pdf/Infosheets-RIEGL\\_VQ-1560i.pdf](http://www.riegl.ru/images/stories/pdf/Infosheets-RIEGL_VQ-1560i.pdf) (дата обращения: 18.06.2020).
- [6] RIEGL miniVUX-1UAV. *riegl.ru: веб-сайт*. URL: [http://www.riegl.ru/images/stories/pdf/RIEGL\\_miniVUX-1UAV\\_Infosheet\\_2017-09-06\\_A4-RU.pdf](http://www.riegl.ru/images/stories/pdf/RIEGL_miniVUX-1UAV_Infosheet_2017-09-06_A4-RU.pdf) (дата обращения: 18.06.2020).
- [7] Технология BIM: пример практического междисциплинарного взаимодействия. *habr.com: веб-сайт*. URL: <https://habr.com/ru/company/nanosoft/blog/278115/> (дата обращения: 18.06.2020).
- [8] Цифра на стройке: как используют BIM генподрядные организации. *geosystems.ru: веб-сайт*. URL: <https://geosystems.ru/news/tsifra-na-stroyke-kak-ispolzuyut-bim-genpodryadnye-organizatsii/> (дата обращения: 18.06.2020).
- [9] Середович В.А., Середович А.В., Алтынцев М. и др. Способ трёхмерного (3D) картографирования. Патент РФ 2562368. Заявл. 30.09.2014, опубл. 10.09.2015.

**Брич Иван Александрович** — студент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Рубцов Василий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Брич И.А. Классификация и анализ конструктивных особенностей переносных лазерных систем 3D-сканирования. *Политехнический молодежный журнал*, 2021, № 06(59). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-06-707>



## CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF DESIGN FEATURES OF PORTABLE 3D SCANNING LASER SYSTEMS

I.A. Brich

bia17m260@student.bmstu.ru

SPIN-code: 6608-2793

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

The authors analyzed the main areas of application of portable 3D scanning systems and highlighted the categories that have the greatest impact on technical solutions and design. The leading companies for the production of 3D systems were named and a classification was carried out on the examples of their products. The main classes are the scanning systems used on unmanned aerial vehicles of the heavy class; systems installed on light unmanned aerial vehicles; wheeled vehicle scanning systems; and hand scanners or scanners using robotic platform. The authors analyzed technical solutions and basic parameters that emphasize the specificity of systems related to the selected classes.

### Keywords

3D laser scanning, portable 3D scanning systems, computer 3D model, monitoring, BIM technologies, lidar, mapping, portable scanning systems

Received 24.05.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

---

### References

- [1] Analiz tekushchey situatsii na rossiyskom BIM-rynke v oblasti grazhdanskogo stroitel'stva [Analysis of technical situation on Russian BIM-market in area of civil construction]. *habr.com: website* (in Russ.). URL: <https://habr.com/ru/company/nanosoft/blog/276587/> (accessed: 18.06.2020).
- [2] BIM ne za gorami [BIM is around the corner]. *archi.ru: website* (in Russ.). URL: <https://archi.ru/russia/69222/bim-ne-za-gorami> (accessed: 18.06.2020).
- [3] Chto takoe BIM i zachem novye tekhnologii nuzhny developeram i gosstrukturam [What is BIM and why new technologies are needed by developers in government entities]. *realty.rbc.ru: website* (in Russ.). URL: <https://realty.rbc.ru/news/5ca1ceff9a794758d0568b37> (accessed: 18.06.2020).
- [4] Kukko A., Kaartinen H., Hyypä J. Tekhnologii budushchego: lazernoe skanirovanie [Technologies of the future: laser scanning]. *sovzond.ru: website* (in Russ.). URL: <https://sovzond.ru/press-center/articles/gis-mapping/5651/> (accessed: 18.06.2020).
- [5] RIEGL VQ-1560i. *riegl.ru: website* (in Russ.). URL: [http://www.riegl.ru/images/stories/pdf/Infosheets-RIEGL\\_VQ-1560i.pdf](http://www.riegl.ru/images/stories/pdf/Infosheets-RIEGL_VQ-1560i.pdf) (accessed: 18.06.2020).
- [6] RIEGL miniVUX-1UAV. *riegl.ru: website* (in Russ.). URL: [http://www.riegl.ru/images/stories/pdf/RIEGL\\_miniVUX-1UAV\\_Infosheet\\_2017-09-06\\_A4-RU.pdf](http://www.riegl.ru/images/stories/pdf/RIEGL_miniVUX-1UAV_Infosheet_2017-09-06_A4-RU.pdf) (accessed: 18.06.2020).
- [7] Tekhnologiya BIM: primer prakticheskogo mezhdistsiplinarnogo vzaimodeystviya [BIM technology: an example of practical interdisciplinary interaction]. *habr.com: website* (in Russ.). URL: <https://habr.com/ru/company/nanosoft/blog/278115/> (accessed: 18.06.2020).
- [8] Tsifra na stroyke: kak ispol'zuyut BIM genpodryadnye organizatsii [Digital at construction: how to use BIM general contractors]. *geosystems.ru: website* (in Russ.).

URL:<https://geosystems.ru/news/tsifra-na-stroyke-kak-ispolzuyut-bim-genpodryadnye-organizatsii/> (accessed: 18.06.2020)

- [9] Seredovich V.A., Seredovich A.V., Altyntsev M., et al. Sposob trekhmernogo (3D) kartografirovaniya [Three-dimensional (3D) mapping method]. Patent RU 2562368. Appl. 30.09.2014, publ. 10.09.2015 (in Russ.).

**Brich I.A.** — Student, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Rubtsov V.I., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Brich I.A. Classification and analysis of design features of portable 3D scanning laser systems. *Politekhnichestkiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2021, no. 06(59). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-06-707.html> (in Russ.).