

УДК 004.925.83:004.4

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2025-30-6-80-88>

Поиск и редактирование ошибок в 3D-моделях, полученных из облака точек, формируемого по результатам съемки мобильным устройством

А. В. Пономарев¹✉, А. А. Колесников¹

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: ponomarev-anton1@mail.ru

Аннотация. В статье описаны ручные и автоматические методы очистки и обработки трехмерной модели, полученной при помощи встроенного в мобильное устройство датчика лазерного сканирования. В качестве объекта моделирования выступил забор с небольшим участком земли на территории жилого дома. Полученное облако точек, описывающих объект, было экспортировано в редактор трехмерной графики Blender для визуального осмотра и редактирования. Были использованы ручные методы редактирования трехмерной модели, а также автоматические методы для ее оптимизации. В результате использованных методов количество вершин и полигонов модели сократилось более чем в два раза; при использовании автоматизированных методов изначальная геометрия модели почти не изменилась. Топология модели была выполнена автоматизированным методом с применением ручного редактирования в местах с большими искажениями, что не повлияло на наложение изначальных текстур и развертки модели. В процессе выполнения работ изучен ручной метод очистки модели и автоматические способы (дополнения), с помощью которых возможно оптимизировать модель с меньшими затратами времени.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, методы обработки, мобильное лазерное сканирование, оптимизация, 3D-модель

Для цитирования:

Пономарев А. В., Колесников А. А. Поиск и редактирование ошибок в 3D-моделях, полученных из облака точек, формируемого по результатам съемки мобильным устройством. *Вестник СГУГиТ*. 2025. Т. 30, № 6. С. 80–88. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2025-30-6-80-88>

Error detection and correction in 3D models derived from mobile device-generated point clouds

A. V. Ponomarev¹✉, A. A. Kolesnikov¹

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: ponomarev-anton1@mail.ru

Abstract. The study evaluates manual and automated approaches for processing a 3D model derived from a mobile device's integrated laser scanner. The object was a fence and adjacent land parcel at a residential site. The generated point cloud was exported to Blender for visual assessment and editing. Manual correction techniques, alongside automated optimization methods, markedly reduced the mesh complexity by over 50% without significant alteration of the original geometry. Topology cor-

rection was performed via automated processes with manual refinement in distorted regions, preserving the original textures and UV mappings. The findings demonstrate that combined manual and automated strategies can efficiently optimize 3D models, reducing processing time while maintaining geometric integrity.

Keywords: 3D modeling, processing methods, mobile laser scanning, optimization, 3D model

For citation:

Ponomarev A. V., Kolesnikov A. A. (2025). Error detection and correction in 3D models derived from mobile device-generated point clouds. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT] Vol. 30, No. 6.* pp. 80–88. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2025-30-6-80-88>

Введение

Современные технологии трехмерной графики широко используются в таких областях, как архитектура, машиностроение, медицина, игровая индустрия и многие другие. Однако создание детальных трехмерных моделей требует не только технических знаний и творческого подхода к решению поставленной задачи, но и умений по обработке данных в соответствии с поставленными требованиями к качеству и визуализации пространственных данных [1].

В наше время появились различные малобюджетные устройства, с помощью которых можно осуществлять сбор пространственных данных. Например, датчик лазерного сканирования, встроенный в мобильное устройство (смартфон), позволяет получить облако точек исходного объекта, по которым строится его трехмерная модель с последующим редактированием и визуализацией как на самом мобильном устройстве, так и с помощью специализированного программного обеспечения, используемого на компьютере.

В последние годы наблюдается рост использования мобильных устройств с LiDAR-датчиками для 3D-сканирования, что открывает новые возможности в сфере создания цифровых моделей местности и объектов. Однако существующие методики преимущественно ориентированы на использование профессионального оборудования, что ограничивает доступность технологии. В этой связи разработка методологии для создания элементов крупномасштабного плана местности на основе мобильного LiDAR-сканирования представляет собой актуальную задачу,

способную расширить применение данной технологии в различных сферах, включая градостроительство, кадастровые работы и исследовательские проекты. Ряд зарубежных исследований демонстрируют успешное применение мобильного LiDAR-сканирования в архитектурной и геодезической практике [2, 3]. В России данный подход также развивается, однако публикации на эту тему ограничены и в основном касаются использования профессиональных лазерных сканеров [4, 5]. Недостаток исследований, посвященных применению LiDAR-датчиков мобильных устройств, подтверждает актуальность настоящего исследования.

Оцифровка трехмерных объектов становится неотъемлемой частью процессов во многих направлениях наук о Земле [6]. При подготовке модели важно обеспечить максимально точную передачу топологии и формы объекта, исключить факторы, искажающие результат моделирования. Модели, в основе которых лежит облако точек лазерного сканирования, получают с очень сложной геометрией и неравномерной топологией [7]. В связи с этим при создании 3D-моделей цифровые редакторы трехмерной графики становятся незаменимыми инструментами для подготовки и обработки данных. Визуализация облака точек в таких редакторах позволяет детально изучать модели, выявлять и устранять ошибки моделирования [8, 9].

В работе рассматриваются основные инструменты и функции редактора трехмерной графики Blender, методы обработки пространственных данных, а также подходы, которые могут использоваться при создании и очистке трехмерных моделей, полученных

из облака точек. Кроме того, описываются ручные и автоматизированные методы оптимизации построения цифровой трехмерной модели.

Таким образом, проблема заключается в отсутствии единой методики использования мобильных LiDAR-датчиков для создания точных и достоверных цифровых моделей местности. Основные задачи исследования включают: разработку алгоритмов обработки данных мобильного LiDAR-сканирования, анализ точности и достоверности полученных облаков точек, оценку применимости метода к различным типам объектов.

Методы и материалы

Для создания облака точек использовался смартфон iPhone 12 Pro, оснащенный встроенным датчиком лазерного сканирования LiDAR. Этот сенсор предоставляет возможность проводить высокоточное сканирование окружающей среды, фиксируя данные о расстояниях до объектов и создавая трехмерные модели с высокой детализацией.

Технология LiDAR в iPhone 12 Pro работает по принципу измерения времени, за которое лазерный луч достигает поверхности объекта и возвращается обратно. Это позволяет формировать облако точек, представляющее собой совокупность координат, точно описывающих форму, размеры и расположение объектов в пространстве [10].

Использование такого метода сканирования на мобильном устройстве делает процесс создания облаков точек не только доступным, но и максимально удобным, особенно для задач, связанных с моделированием, архитектурой, дизайном или геодезией. Благодаря компактности iPhone 12 Pro и его LiDAR-сенсору можно быстро собирать данные даже в сложных условиях, сохраняя при этом точность и надежность результатов [11].

В качестве объекта исследования были выбраны фрагменты стационарных ограждений с прилегающим небольшим участком земли, расположенные на территории жилого дома. Съемка объекта проводилась с расстояния около 2 м, а общая продолжительность

процесса сканирования составила примерно десять минут для участка площадью 32 м².

В результате выполнения лазерного сканирования был сформирован облачный файл данных, содержащий пространственную информацию об объекте. Данный результат послужил основой для последующей обработки, включая очистку облака точек, оптимизацию и построение трехмерной модели с учетом особенностей сканируемого объекта. Затем файл был экспортирован для последующей обработки на ПК с помощью программного обеспечения Blender.

В начале работ с трехмерной моделью выполнялся ее визуальный осмотр с целью поиска видимых дефектов, таких как:

- отсутствующие или неполные части модели;
- шум (лишние точки);
- дефекты поверхности (неровности, дыры, артефакты) [12].

Визуальный осмотр осуществлялся в редакторе трехмерной графики Blender, позволяющем вращать, масштабировать и перемещать модель.

С помощью режима отображения Edit mode в Blender предоставляется возможность глубже изучить структуру модели. Этот режим позволяет пользователю видеть геометрическую основу объекта, включая вершины, ребра и грани, что открывает доступ к детальному редактированию и настройке формы.

Инструменты выделения, доступные в данном режиме, обеспечивают гибкость в работе с моделью. Можно выбрать отдельные элементы модели, такие как определенные вершины, линии или поверхности, и изолировать их для более детального изучения и обработки. Например, это полезно, если требуется сконцентрироваться на отдельной части сложного объекта, не затрагивая остальные элементы.

Кроме того, с помощью этих инструментов можно не только выделять, но и разделять модель на части. Это дает возможность модифицировать отдельные области, создавать новые элементы или исправлять ошибки в геометрии. Такой подход особенно удобен при сложных операциях, таких как оптимизация

структуры модели, подготовка к текстурированию или анимации.

В сочетании с другими функциями Blender режим Edit mode становится незаменимым инструментом для работы над любой 3D-моделью [13].

В процессе работы был проведен анализ статистических характеристик модели, включая среднее расстояние между точками, отклонение от плоскости, степень искажения геометрии, а также наличие отраженных полигонов. Эти параметры позволили оценить качество модели и выявить ее основные недостатки.

Модель, созданная с использованием технологии лазерного сканирования, демонстрировала определенные дефекты поверхности, вызванные особенностями процесса сбора данных. Среди них были обнаружены артефакты в виде избыточных точек, нарушение равномерности распределения и локальные искажения формы. Эти проблемы являются типичными для моделей, полученных методом лазерного сканирования, и требуют дальнейшей обработки для улучшения геометрии и устранения неточностей (рис. 1) [14].



Рис. 1. Дефекты трехмерной модели, полученной с помощью лазерного сканирования: А – искажение геометрии; Б – нарушение топологии

Затем вручную удалялись лишние точки, искажающие геометрию трехмерной модели. Чтобы не повредить модель и не нарушить целостность ее геометрии, в процессе работы тщательно выбирались удаляемые точки. Подобные модели требуют не только ручного выделения точек, но также пропорциональ-

ного изменения геометрии и режима Sculpting, в котором геометрия модели изменяется редактированием групп точек и объема между ними.

Производилась обработка трехмерной модели для удаления отдельных ошибок, представляющих собой двойные точки, и элементов геометрии, искажающих модель. С помощью инструментов привязки по осям, полигонам, ребрам и точкам возможно сравнить точки с основной геометрией, при этом изначальная форма геометрии не искажается.

Автоматическое удаление посредством встроенных дополнений программного обеспечения Blender может быть выполнено с помощью условных алгоритмов фильтрации геометрии модели. Например, дополнение Decimate позволяет удалять лишние точки трехмерной модели (с количеством точек >1 млн), сокращая их количество и увеличивая расстояние между ними (рис. 2).



Рис. 2. Трехмерная модель после применения дополнения «Decimate»

Дополнение Remesher в Blender позволяет реконструировать геометрию модели, полностью перестраивая ее топологию. Этот инструмент полезен для упрощения или оптимизации структуры модели, особенно в случаях, когда исходная геометрия содержит избыточные полигоны, неправильные соединения или хаотичное распределение элементов.

При использовании Remesher исходная форма модели сохраняется практически неизменной, что делает его удобным инструментом для работы с моделями, требующими упрощения структуры без потери деталей

[15]. Это достигается за счет перераспределения вершин, ребер и граней модели, создавая более равномерную и организованную сетку, которая лучше подходит для последующей обработки, таких как текстурирование, анимация или физическая симуляция.

Благодаря Remesher можно легко преобразовать сложные модели, полученные, например, при 3D-сканировании или из других источников, в чистую и удобную для работы топологию. Это значительно упрощает процесс дальнейшего редактирования и позволяет добиться оптимального баланса между качеством модели и ее производительностью в сцене.

С помощью этого дополнения возможно не только исправлять отдельные участки структуры модели, но и выполнить моделирование по новой форме, совмещая с дополнением Decimate.

Модификатор Decimate в Blender используется для оптимизации моделей за счет сокращения количества полигонов. Он позволяет уменьшить сложность геометрии, сохраняя при этом основные характеристики формы объекта. Этот инструмент полезен для подготовки моделей к использованию в реальном времени, например, в играх, а также для уменьшения нагрузки на рендеринг сложных сцен.

Принцип работы модификатора основан на слиянии ребер и граней в модели с учетом указанного пользователем уровня редукции. Значение параметра Ratio позволяет регулировать степень упрощения: при уменьшении коэффициента модель становится менее детализированной, но сохраняет основные контуры. Такой подход позволяет добиться оптимального баланса между качеством визуализации и производительностью.

При использовании модификатора Decimate Blender автоматически перераспределяет полигоны, анализируя их значимость для общей формы объекта. Это делает инструмент особенно удобным для работы с моделями, полученными из 3D-сканирования или импорта из других программ, где топология может быть избыточной или неупорядоченной.

Результат, полученный подобным способом, требует ручной доработки с применением ряда других дополнений (рис. 3).

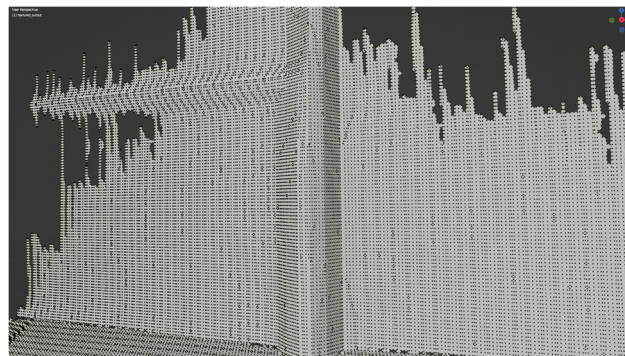


Рис. 3. Трехмерная модель после применения дополнения Remesher

Также в Blender предусмотрены встроенные инструменты, такие как By Distance и Dissolve, которые предоставляют пользователю возможности для выполнения ручной очистки и оптимизации модели. Эти инструменты ориентированы на улучшение топологии объекта, позволяя избавляться от избыточной геометрии без потери формы или структуры модели.

Функция By Distance позволяет удалить лишние вершины путем их объединения (слияния) на основе заданного пользователем расстояния. Это особенно полезно при работе с моделями, где есть необходимость сократить количество вершин, но при этом сохранить общий силуэт или детали геометрии. Применяя этот инструмент, можно избежать визуальных искажений и одновременно уменьшить количество полигонов, что важно для оптимизации производительности в сценах с высокой плотностью объектов.

Инструмент Dissolve, в свою очередь, предоставляет возможность удалять не только вершины, но и ребра или грани. При этом Blender автоматически подстраивает оставшуюся геометрию таким образом, чтобы форма модели сохранялась максимально точной. Это делает инструмент удобным для упрощения топологии или удаления ненужных деталей, например, при исправлении ошибок сканирования или обработки импортированных моделей.

Оба инструмента работают в гармонии, предоставляя пользователю гибкость в управлении геометрией. Это особенно актуально

для работы с объектами, которые требуют высокой степени детализации, но при этом должны оставаться достаточно легкими для обработки.

Исследование основано на анализе данных, полученных с помощью LiDAR-датчика мобильного устройства iPhone 12 Pro в программе Blender. Для подтверждения универсальности методики рассмотрены возможности ее применения для других типов объектов (например, столбов, деревьев). Для получения облаков точек высокого качества использовались специализированные приложения (Polycam, 3D Scanner App, Lidar Scanner 3D), которые позволяют экспортировать данные в стандартизированных форматах (.ply, .las, .obj) и поддерживают функции пространственной привязки и фильтрации.

Использование LiDAR-сканера на других устройствах с операционной системой Android возможно, но главная проблема заключается в типе этого датчика; у Android-устройств это датчик Time-of-flight (ToF). Лидар в iPhone «распыляет» свет непрерывно, отправляя в пространство множество последовательных импульсов, а ToF-сенсоры в Android-устройствах «выстреливают» им лишь единожды; принцип работы лидара в исполнении Apple – это обширное облако точек.

Преимуществами LiDAR перед ToF являются:

- пространственный охват у лидаров гораздо шире, чем у ToF-сенсоров;
- ToF-сенсоры не так эффективны в работе с дополненной реальностью, поскольку не могут непрерывно сканировать пространство для более точного размещения AR-объектов;
- ToF-сенсоры посредственно работают при прямых солнечных лучах, а также наличии отражающих поверхностей – сигнал либо преломляется, либо выдает ошибочные значения дальности;
- LiDAR обладает большей дальностью. Сейчас Apple искусственно ограничивает их потенциал лишь 5 метрами, но в перспективе его можно будет увеличить весьма ощутимо.

Для обработки данных мобильного LiDAR-сканирования был выбран Blender,

поскольку он обладает рядом преимуществ перед другими 3D-редакторами. Во-первых, Blender является бесплатным и открытым программным обеспечением, что делает его доступным для широкого круга исследователей и практиков. Во-вторых, Blender поддерживает работу с облаками точек, импорт форматов, полученных с мобильных LiDAR-сканеров, а также предоставляет мощные инструменты для визуализации и анализа данных. В отличие от других программных решений, таких как AutoCAD или 3ds Max, Blender не требует дорогостоящих лицензий и предоставляет возможность кастомизации с помощью Python-скриптов, что значительно расширяет его функциональные возможности в научных исследованиях. Также нужно отметить, что все рассмотренные операции не являются уникальными для программы Blender, но могут быть выполнены в другом программном обеспечении, обладающем аналогичной функциональностью.

Результаты и обсуждение

В ходе работы были рассмотрены: основные инструменты и функции редактора трехмерной графики Blender, методы обработки пространственных данных, а также подходы, которые могут использоваться при создании и очистке трехмерных моделей построенных из облака точек (рис. 4). Для получения оптимизированного и геометрически корректного результата в работе применялось сочетание методов ручной и автоматической очистки трехмерной модели. Ручная обработка исходных данных позволила с высокой точностью удалить избыточные точки, исправить локальные дефекты и устранить артефакты, возникающие в процессе сканирования. Этот подход обеспечил индивидуальный контроль над каждым элементом модели, что было особенно важно для сложных участков геометрии.

Автоматические методы очистки, такие как использование встроенных инструментов Blender, например, By Distance и Dissolve, значительно ускорили процесс обработки. Эти инструменты позволили систематически устранять лишние элементы и оптимизиро-

вать топологию модели, сохраняя ее исходную форму. Комбинирование ручного и автоматического подходов обеспечило высокую степень точности и одновременную экономию времени на этапе постобработки.

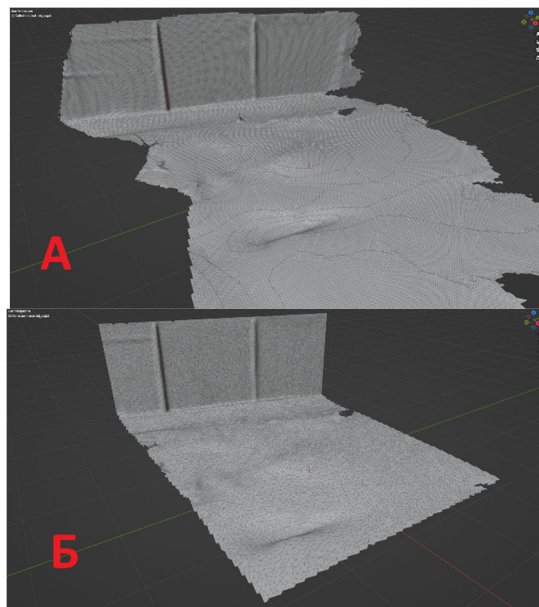


Рис. 4. Трехмерная модель: А – до обработки; Б – после обработки

Используя ручные и автоматизированные методы обработки данной трехмерной модели, удалось сократить количество полигонов более чем в два раза, оптимизировать и упорядочить топологию модели. Сочетание методов обработки трехмерной модели в программе Blender значительно сокращает время работы по сравнению с другим программным обеспечением.

Совмещение ручных и автоматизированных методов очистки и оптимизации трех-

мерной модели является одним из наиболее эффективных подходов для достижения высококачественного результата. В этом процессе ручные методы предоставляют возможность точной и детализированной работы с моделью, в то время как автоматизированные способы, реализованные через дополнения в Blender, позволяют ускорить и упростить обработку. Особенно важным преимуществом автоматизированных методов является возможность их повторного применения при изменении параметров, а также наличие процедурного характера, что делает процесс гибким и масштабируемым.

Для оценки точности полученного облака точек необходимо учитывать систему координат, в которой производится сканирование. В данной работе использована система координат WGS84, привязанная к геоаналитическим устройствам. При переносе в Blender значения координат преобразовывались в декартовы относительно трехмерной сцены. Базовые измерения соответствующих геометрий объектов показали общую точность в 1–3 см, с отдельными выбросами в 5–12 см в зависимости от условий съемки, удаленности от камеры и типа фиксируемого объекта.

Одним из перспективных направлений в данной области является актуализация элементов планов крупного масштаба на основе мобильной съемки, интегрированной с информацией, поступающей от профессионального геодезического оборудования. Комбинирование данных от тахеометров, GNSS-приемников, беспилотных летательных аппаратов и наземных лазерных сканеров позволяет добиться высокой точности при сохранении мобильности и доступности технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рудов И. Н. Комбинированный метод оптимизации 3d-моделей археологических объектов для мобильных приложений. Цифровая гуманитаристика: ресурсы, методы, исследования : материалы Международной научной конференции. В 2-х частях, Пермь, 16–18 мая 2017 года. Часть 2. Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2017. С. 199–203.
2. Cong Y., Chen C., Li J., Wu W., Li S., Yang B. Mapping without dynamic: robust LiDAR-SLAM for UGV Mobile Mapping In Dynamic Environments. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2020. Vol. XLIII-B1-2020. P. 515–520. DOI 10.5194/isprs-archives-xliii-b1-2020-515-2020.

3. Zhang H., Zou Yu., Yan Zh., Cheng H. Rapid-Mapping: LiDAR-Visual Implicit Neural Representations for Real-Time Dense Mapping. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2024. Vol. 9, № 9. P. 8154–8161. DOI 10.1109/Ira.2024.3440729.
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. 121–139. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-121-139.
5. Новаковский Б. А., Кудрявцев А. В., Энтин А. Л. Использование материалов воздушного лазерного сканирования при картографировании рельефа. *Геоинформатика*. 2020. № 2. С. 27–34.
6. Бояршинов А. Д., Ромин Е. А. Методы оптимизации высокополигональных 3D моделей. *Инновационные технологии: теория, инструменты, практика*. 2014. Т. 1. С. 304–310.
7. Ипатов Э. Р. Методологии и технологии системного проектирования информационных систем : учебник. М. : Флинта, 2008. 256 с.
8. Татарникова Т. М., Яготинцева Н. В. Методическое обеспечение проектирования инфраструктуры географических информационных систем динамического объекта. Программные продукты и системы. 2019. № 3. С. 377–383.
9. Abd Mukti S. N., Tahar K. N. Detection of potholes on road surfaces using photogrammetry and remote sensing methods (review). *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2022. Vol. 22, № 3. P. 459–471. DOI 10.17586/2226-1494-2022-22-3-459-471.
10. Miller S., Hashemian A., Gillihan R., Helms E. A Comparison of Mobile Phone LiDAR Capture and Established Ground based 3D Scanning Methodologies. *SAE Technical Paper 2022-01-0832*. 2022. DOI 10.4271/2022-01-0832.
11. Saba N. Accuracy Assessment of Horizontal Measurements from LiDAR Available in Mobile Phones. *International journal of engineering research & technology (IJERT)*. 2021. Vol. 10. 11.
12. Miller S., Hashemian A., Gillihan R., Benes S. Accuracy and Repeatability of Mobile Phone LiDAR Capture. *SAE Technical Paper 2023-01-0614*. 2023. DOI 10.4271/2023-01-0614.
13. Краснобородько Д. А., Сомова С. С., Шапошникова А. В., Хахулина Н. Б. Обзор технологий последнего поколения для получения 3d-моделей. *Студент и наука*. 2021. № 4 (19). С. 91–96.
14. Суранов Н. А., Романчиков А. Ю., Вальков В. А. Исследование применения лидаров в смартфоне iPhone 12 Pro при выполнении обмеров помещений для целей государственного кадастрового учета. *Вестник СГУГиТ*. 2023. Т. 28, № 3. С. 33–46. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-3-33-46.
15. Погорелов А. В., Бойко Е. С., Вертлиб Э. М. Использование технологий лидарной съемки для создания высокоточной 3D модели города: опыт моделирования города Краснодара, Россия. *Известия Ошского технологического университета*. 2023. № 2-1. С. 70–76.

REFERENCES

1. Rudov I. N. (2017) Combined method for optimizing 3D models of archaeological objects for mobile applications. *Tsifrovaya gumanitaristika: resursy, metody, issledovaniya : Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. [Digital Humanities: Resources, Methods, Research: Proceedings of the International Scientific Conference]*, Perm, May 16–18, 2017. Perm: Perm State National Research University, 199–203 [in Russian].
2. Cong Y., Chen C., Li J., Wu W., Li S., Yang B. (2020) Mapping without dynamic: robust LiDAR-SLAM for UGV Mobile Mapping In Dynamic Environments. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLIII-B1-2020, 515-520. DOI 10.5194/isprs-archives-xliii-b1-2020-515-2020.
3. Zhang H., Zou Yu., Yan Zh., Cheng H. (2024) Rapid-Mapping: LiDAR-Visual Implicit Neural Representations for Real-Time Dense Mapping. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 9(9), 8154-8161. DOI 10.1109/Ira.2024.3440729.

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), 121-139. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-121-139.
5. Novakovskiy B.A., Kudryavtsev A.V., Entin A.L. (2020) Using of airborne laser scanning data to topography mapping *Geoinformatika [Geoinformatics]*, 2, 27-34.
6. Boyarshinov A. D., Romin E. A. (2014) Methods for optimizing high-polygon 3D models. *Innovatsionnyye tekhnologii: teoriya, instrumenty, praktika [Innovative technologies: theory, tools, practice]*, 1, 304-310 [in Russian].
7. Ipatova E. R. (2008) *Metodologii i tekhnologii sistemnogo proyektirovaniya informatsionnykh sistem [Methodologies and technologies of system design of information systems]*. Moscow: Flinta, 256 p., ISBN 978-5-89349-978-0 [in Russian].
8. Tatarnikova T. M., Yagotintseva N. V. (2019) Methodological support for designing the infrastructure of geographic information systems of a dynamic object. *Programmnyye produkty i sistemy [Software products and systems]*, 3, 377-383 [in Russian].
9. Abd Mukti S. N., Tahar K. N. (2022) Detection of potholes on road surfaces using photogrammetry and remote sensing methods (review). *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 22(3), 459-471. DOI 10.17586/2226-1494-2022-22-3-459-471.
10. Miller S., Hashemian A., Gillihan R., Helms E. (2022) A Comparison of Mobile Phone LiDAR Capture and Established Ground based 3D Scanning Methodologies. *SAE Technical Paper*, 2022-01-0832. DOI 10.4271/2022-01-0832.
11. Saba N. (2021) Accuracy Assessment of Horizontal Measurements from LiDAR Available in Mobile Phones. *International journal of engineering research & technology (IJERT)*, 10, 11.
12. Miller S., Hashemian A., Gillihan R., Benes S. (2023) Accuracy and Repeatability of Mobile Phone LiDAR Capture. *SAE Technical Paper*, 2023-01-0614. DOI 10.4271/2023-01-0614
13. Krasnoborodko D. A., Somova S. S., Shaposhnikova A. V., Khakhulina N. B. (2021) Review of the latest generation technologies for obtaining 3D models. *Student i nauka [Student and Science]*, 4(19), 91-96 [in Russian].
14. Suranov N. A., Romanchikov A. Y., Valkov V. A. (2023) Study of the use of lidars in the iPhone 12 Pro smartphone when taking measurements of premises for the purposes of state cadastral registration. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 28(3), 33-46. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-3-33-46 [in Russian].
15. Pogorelov A. V., Boyko Y. S., Vertlib E. M. (2023) Using lidar survey technologies to create a high-precision 3D model of the city: experience of modeling the city of Krasnodar, Russia. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Osh Technological University]*, 2-1, 70-76 [in Russian].

Об авторах

Пономарев Антон Владимирович – магистрант кафедры картографии и геоинформатики.

Колесников Алексей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики.

Author details

Anton V. Ponomarev – Master's Student of the Department of Cartography and Geoinformatics.

Aleksey A. Kolesnikov – Ph. D., Associate Professor of the Department of Cartography and Geoinformatics.

Получено / Received 16.01.2025

Поступила после рецензирования / Revised 04.03.2025

Принята к публикации / Accepted 14.03.2025