

Научная статья

Original article

УДК 528.44

DOI 10.55186/25880209_2025_9_3_17

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ 3D-ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА
ОСНОВЕ ДАННЫХ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**
DEVELOPMENT OF A 3D OBJECT IDENTIFICATION TECHNIQUE BASED
ON TERRESTRIAL LASER SCANNING DATA



Шалая Алина Алексеевна, студент, Кубанский государственный технологический университет, кафедра кадастра и геоинженерии, г. Краснодар, e-mail: alinashalaya310303@mail.ru

Гура Дмитрий Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры кадастра и геоинженерии, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар; доцент кафедры геодезии, Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, e-mail: gda-kuban@mail.ru

Тихонов Тимофей Андреевич, лаборант-исследователь, магистрант, Кубанский государственный технологический университет, кафедра кадастра и геоинженерии, г. Краснодар, e-mail: timka2015@yandex.ru

Shalaya Alina Alekseevna, student, Kuban State Technological University, Department of Cadastre and Geoengineering, Krasnodar, e-mail: alinashalaya310303@mail.ru

Gura Dmitry Andreevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Cadastre and Geoengineering, Kuban State

Technological University, Krasnodar; Associate Professor of the Department of Geodesy, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, e-mail: gda-kuban@mail.ru

Tikhonov Timofey Andreevich, laboratory research assistant, master's student, Kuban State Technological University, Department of Cadastre and Geoengineering, Krasnodar, e-mail: timka2015@yandex.ru

Аннотация. Исследование посвящено разработке методики трехмерной идентификации объектов на основе данных наземного лазерного сканирования. В работе представлена комплексная методика, включающая этапы загрузки и обработки облака точек, автоматизированной классификации, построения цифровой модели рельефа, сегментации и распознавания объектов. Основное внимание уделено применению инструментов «NanoCAD» и «ReClouds» для создания точных 3D-моделей, на примере технологической эстакады. Разработанная методика позволяет сократить временные и финансовые затраты, повысить точность измерений и обеспечить наглядность за счет визуализации объектов. Также подчеркивается возможность интеграции 3D-моделей с другими информационными системами, включая градостроительные и муниципальные платформы. Результаты исследования могут быть использованы в сфере инженерных изысканий, мониторинге инфраструктуры и обследовании промышленных объектов.

Abstract. The study is devoted to the development of a three-dimensional object identification technique based on ground-based laser scanning data. The paper presents a comprehensive technique that includes the stages of point cloud loading and processing, automated classification, digital elevation model construction, object segmentation, and recognition. The focus is on the application of «NanoCAD» and «ReClouds» tools for creating accurate 3D models, using the example of a pipeline overpass. The developed technique allows for reducing time and financial costs, improving measurement accuracy, and providing visual

representation of objects. The possibility of integrating 3D models with other information systems, including urban planning and municipal platforms, is also emphasized. The results of the study can be used in the field of engineering surveys, infrastructure monitoring, and industrial facility surveys.

Ключевые слова: трехмерная идентификация, лазерное сканирование, точки лазерного отражения, распознавание, сегментация, инвентаризация

Keywords: 3D identification, laser scanning, laser reflection points, recognition, segmentation, inventory

Введение

Наземное лазерное сканирование (НЛС) выступает перспективным инструментом для создания высокоточных трехмерных информационных моделей объектов, открывая новые возможности для автоматизации процессов управления. Актуальность исследуемого направления заключается в улучшении существующих видов проектирования за счёт интеграции современных технологий трехмерного моделирования и обработки данных.

В контексте инженерных изысканий и управления пространственными данными ценность НЛС определяется не только высокой плотностью измерений, но и возможностью фиксировать фактическое состояние объекта в момент обследования. Для сооружений сложной формы это особенно важно, поскольку традиционные обмеры требуют значительного количества отдельных измерений, зависят от доступности конструктивных элементов и не всегда позволяют получить целостное представление о взаимном расположении деталей. Облако точек, сформированное по результатам сканирования, сохраняет пространственную структуру объекта в виде совокупности координат (X, Y, Z), что создает основу для последующего распознавания элементов, построения модели и контроля геометрических параметров.

Научная проблема заключается в том, что действующие методы идентификации объектов недостаточно эффективны и ограничены в

возможностях. В связи с чем возникает необходимость разработки современной методики идентификации с использованием российских программных комплексов в рамках импортозамещения.

Именно поэтому методика 3D-идентификации должна рассматриваться не как отдельная операция распознавания, а как последовательный технологический процесс. В него входят подготовка исходных данных, выбор режима прореживания, классификация опорных поверхностей, построение цифровой модели рельефа, выделение геометрически однородных участков и последующая проверка результатов. Такой подход позволяет снизить неопределенность при обработке облаков точек и обеспечить воспроизводимость результатов при работе с объектами аналогичного типа.

НЛС позволяет создавать высоко детализированные 3D-модели зданий и сооружений, что открывает широкие перспективы для их использования в проектировании, в отличие от метода фотограмметрии, основанного на анализе перекрывающихся фотографий и представляющего собой альтернативный метод создания 3D-моделей. В статьях [1-4] проведён сравнительный анализ НЛС и фотограмметрии, выявлены их сильные и слабые стороны. Фотограмметрия, как правило, более доступна с точки зрения стоимости оборудования, однако уступает наземному лазерному сканированию по точности и эффективности при работе со сложными объектами. Недостатком является зависимость от качества исходных фотографий и условий освещения, меньшая точность по сравнению с наземным лазерным сканированием, сложность обработки больших массивов данных [5-8].

Сопоставление НЛС и фотограмметрии показывает, что данные подходы целесообразно рассматривать не как взаимоисключающие, а как применимые к различным задачам источники пространственной информации. Фотограмметрическая обработка эффективна при необходимости получить визуально информативную модель и

текстурированное представление объекта, однако при обследовании инженерных сооружений с большим количеством металлических элементов, трубопроводов, опор, стыков и перекрытий решающее значение приобретает метрическая точность и устойчивость измерений. В таких условиях НЛС обеспечивает более надежное восстановление пространственного положения элементов.

В настоящее время сложившаяся практика в сфере наземного сканирования заключается в том, что осуществляется конвертация облака точек НЛС в условной системе координат в формат для интеграции данных в трехмерную среду. Результаты НЛС применяются в сфере проектно-исследовательских работ для трехмерного проектирования, моделирования проектов реконструкции и технического перевооружения, а также для визуальной оценки монтажа и оценки объемов работ. Качество облака точек позволяет осуществлять врезку или подключение вновь проектируемых трубопроводов к существующим, сделать привязку кабельных трасс или трубопроводов по точным высотным отметкам существующих эстакад, вывести фрагменты облака точек на чертеж в программном обеспечении. Такой комбинированный подход позволяет отказаться от этапа моделирования в трехмерной САПР существующих «второстепенных» объектов по отношению к зоне локальных интересов при проектировании, существенно снизив издержки работ [9-11].

Практическая значимость обработки облаков точек усиливается тем, что результаты НЛС могут использоваться на разных стадиях жизненного цикла объекта. На этапе обследования они позволяют получить актуальное состояние сооружения без полного демонтажа или остановки технологических процессов. На этапе проектирования данные сканирования дают возможность учитывать существующие ограничения пространства, проверять возможность размещения новых конструкций и минимизировать коллизии. На этапе эксплуатации трехмерная модель может применяться для

контроля изменений, оценки доступности элементов и планирования ремонтных мероприятий.

Материалы и методы

В ходе выполнения исследовательской работы для разработки методики 3D-идентификации объектов было использовано специализированное программное обеспечение «NanoCAD Облака точек», а также платформа «NanoCAD» с подключаемыми модулями ПО «Model Studio»: «Строительные решения», «Трубопроводы» и «ReClouds». Применение данного программного комплекса обеспечило возможность обработки облаков точек, построения 3D-моделей.

Выбор программной среды был обусловлен необходимостью обеспечить полный цикл работы с облаком точек без разрыва между этапами предварительной обработки, анализа и построения модели. В рамках исследования важно было не только загрузить исходные данные, но и выполнить их упорядочивание, классификацию, построение поверхностей, сегментацию и последующее распознавание элементов в едином технологическом контуре. Это снижает вероятность потери данных при многократной конвертации форматов и облегчает контроль качества на каждом этапе обработки.

3D-идентификация объектов представляет собой процесс автоматизированного определения, распознавания и классификации объектов по их геометрическим и пространственным признакам на основе данных наземного лазерного сканирования.

В рамках данной работы под идентификацией понимается не простое обнаружение объекта в облаке точек, а установление его пространственного положения, геометрических границ и принадлежности к определенному типу конструктивных элементов. Такой подход предполагает, что каждая выделенная часть облака должна быть интерпретирована с учетом формы, протяженности, взаимного расположения и связи с соседними элементами. Например, для технологической эстакады важны не только общие габариты

сооружения, но и положение трубопроводов, опор, площадок, горизонтальных и вертикальных участков, а также переходных элементов.

В качестве объекта исследования, используемого для апробации предложенной методики, было выбрано облако точек, полученное при сканировании конструкции технологической эстакады (рисунок 1).

Выбор технологической эстакады в качестве объекта апробации обусловлен тем, что такие сооружения обладают выраженной пространственной сложностью. Они включают опорные конструкции, элементы трубопроводной инфраструктуры, площадки обслуживания, пересечения и примыкания, которые имеют различные формы и размеры. Для проверки методики это является преимуществом, поскольку позволяет оценить ее работоспособность не на условно простом объекте, а на конструкции, близкой к реальным задачам инженерного обследования и проектирования реконструкции.

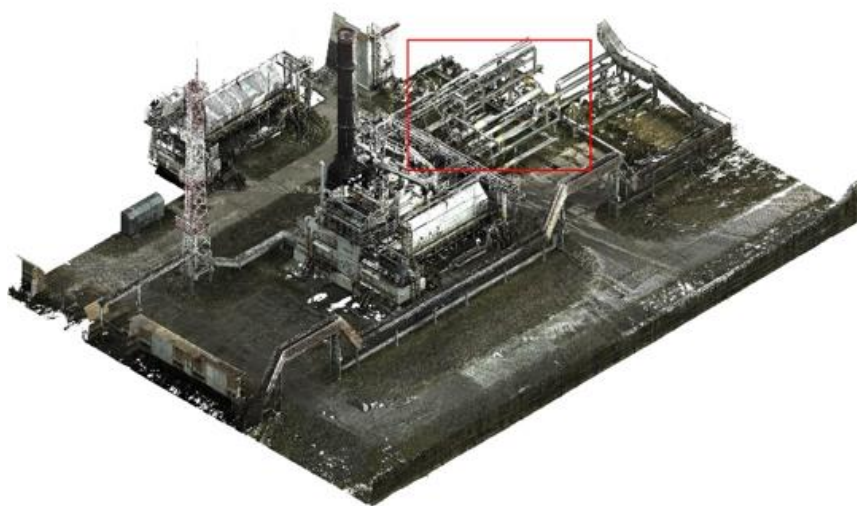


Рисунок 1 – Облако точек технологической эстакады

Результаты и обсуждения

Начальный этап предложенной методики включает в себя загрузку и предварительную обработку исходного облака точек в программном обеспечении «NanoCAD Облака точек». Далее выполняется прореживание

облака точек. Для этой цели использовался функционал плагинов, предусматривающий различные методы снижения плотности данных, включая равномерное прореживание, вокселизацию и прореживание на основе кривизны поверхности. В рамках данного исследования был выбран метод равномерного прореживания, показавший наилучшую применимость к исходным данным по сравнению с альтернативными подходами.

Предварительная обработка необходима для того, чтобы привести исходное облако точек к состоянию, пригодному для последующего анализа. На этом этапе оценивается полнота покрытия объекта, наличие разрывов, шумов, избыточных фрагментов и участков с чрезмерной плотностью данных. Если подобная проверка не выполняется, ошибки начального массива могут перейти на следующие этапы и привести к некорректному распознаванию отдельных элементов. Поэтому загрузка облака точек должна сопровождаться визуальным контролем, проверкой масштаба, ориентации и соответствия данных фактическому объекту.

Прореживание облака точек выполняется не с целью уменьшения информативности данных, а для ускорения обработки. Избыточная плотность точек может затруднять классификацию и сегментацию, особенно при работе с крупными промышленными объектами. При этом чрезмерное снижение плотности, напротив, приводит к потере мелких деталей, ухудшению границ элементов и снижению точности распознавания. Поэтому выбор параметров прореживания должен учитывать назначение модели: для общей визуализации допустима более высокая степень разрежения, тогда как для инженерной идентификации трубопроводов и сопряжений требуется сохранение значимых геометрических признаков.

На третьем этапе выполняется автоматизированная классификация облака точек и формирование цифровой модели рельефа. Классификация представляет собой процесс автоматического присвоения каждой точке определённого класса, отражающего её принадлежность к конкретному типу объектов (например, земля, здания, растительность). В рамках данного

исследования применялся инструмент ReClouds «Классифицировать землю», в результате работы которого участок облака точек был разделён на три класса:

Классификация облака точек позволяет разделить исходный массив на группы, различающиеся по назначению и пространственному положению. Для рассматриваемого объекта данный этап важен прежде всего потому, что технологическая эстакада расположена в реальной среде, где вместе с конструкциями в облако попадают земля, растительность, открытые площадки и иные фрагменты окружающего пространства. Если эти элементы не отделить от целевой конструкции, они могут быть ошибочно включены в сегменты и исказить результат распознавания.

- неклассифицированные точки;
- низкая растительность;
- поверхность земли.

Выделение поверхности земли имеет значение, поскольку позволяет отделить основание объекта от надземных конструкций и корректнее интерпретировать высотное положение элементов. Для технологической эстакады это важно при определении отметок опор, взаимного расположения нижних частей конструкций и участков примыкания к рельефу. Класс низкой растительности в данном случае используется как вспомогательный, так как он позволяет исключить из дальнейшего распознавания фрагменты, которые не относятся к конструктивным элементам, но могут иметь близкое пространственное положение к объекту.

Формирование цифровой модели рельефа может осуществляться с применением различных методов, включая триангуляцию, интерполяцию, а также построение нерегулярной треугольной сети (TIN – Triangulated Irregular Network) на основе точек, отнесённых к классу «земля» [12]. В рамках данного исследования цифровая модель рельефа была построена с использованием инструмента «ReClouds» «Создание TIN».

Построение TIN-поверхности на основе точек класса «земля» позволяет получить цифровое представление рельефа, которое может использоваться для оценки высотного положения объекта и пространственной связи конструкций с основанием. Нерегулярная треугольная сеть удобна тем, что сохраняет исходную геометрию измеренных точек и не требует обязательного преобразования данных в регулярную сетку. Это особенно важно на участках, где плотность точек меняется и где присутствуют локальные перепады высот.

На следующем этапе выполнена автоматизированная сегментация облака точек лазерных отражений, включающая настройку параметров сегментации и распознавание плоских элементов трубопроводной инфраструктуры. Наиболее эффективным для данной задачи является метод сегментации на основе плоскостей, обеспечивающий высокую точность выделения плоских поверхностей. По завершении процессов сегментации и распознавания объектов может потребоваться выполнение этапов постобработки, включая удаление мелких фрагментов, сглаживание границ и объединение близко расположенных сегментов (рисунок 2). Также, при необходимости, применяются 2 дополнительных этапа обработки облака точек лазерного отражения. Первым этапом является полуавтоматическая и ручная доработка распознанных форм, с целью добавления отвода нераспознанного участка, которая происходит с помощью инструмента ReClouds «Добавить отвод».

Сегментация на основе плоскостей позволяет выделять участки облака точек, обладающие близкой ориентацией и геометрической однородностью. Для технологической эстакады это особенно важно при распознавании площадок, опорных элементов, участков настилов, стенок и других конструкций, которые могут быть представлены плоскими поверхностями. Настройка параметров сегментации включает выбор допустимого отклонения точек от аппроксимирующей плоскости, минимального размера сегмента и условий объединения смежных участков. От этих параметров

напрямую зависит баланс между полнотой выделения объекта и риском объединения различных элементов.

Постобработка результатов имеет принципиальное значение для устранения типичных ошибок автоматизированного распознавания. Мелкие фрагменты могут появляться в результате шумовых отражений, разрывов плотности или пересечения элементов. Сглаживание границ необходимо для получения более корректной геометрии сегментов, а объединение близко расположенных участков позволяет восстановить целостность элемента, если он был разделен алгоритмом на несколько частей. Тем самым постобработка выполняет функцию согласования автоматического результата с конструктивной логикой реального объекта.

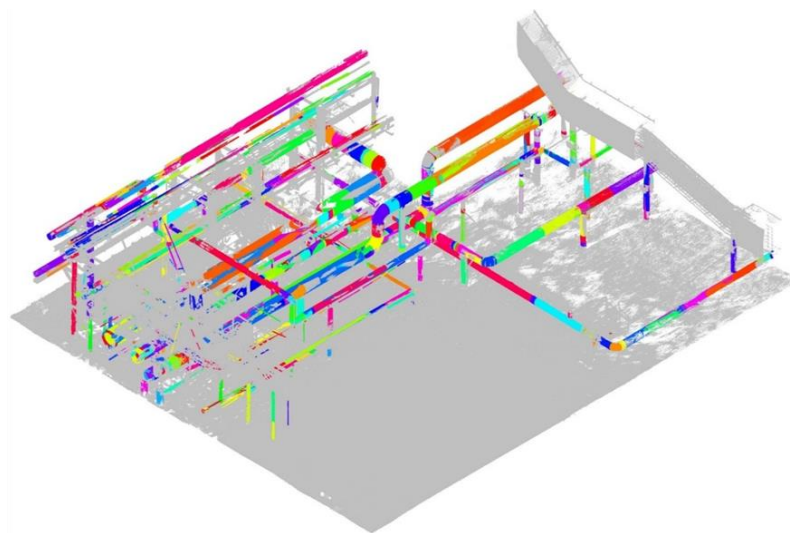


Рисунок 2 – Результат распознавания трубопроводов

Полуавтоматическая и ручная доработка распознанных форм не противоречит общей идее автоматизации, а дополняет ее. При обработке сложных инженерных объектов полностью автоматическое распознавание может пропускать участки, имеющие недостаточную плотность точек, частичные перекрытия или нестандартную форму. Инструмент «Добавить отвод» позволяет уточнить такие элементы, восстановить непрерывность

трубопроводной линии и включить в модель фрагменты, которые были недостаточно уверенно определены на предыдущем этапе.

Результатом предложенной методики 3D-идентификации объектов является трехмерная модель, которая полностью отражает геометрические параметры реального объекта (рисунок 3).

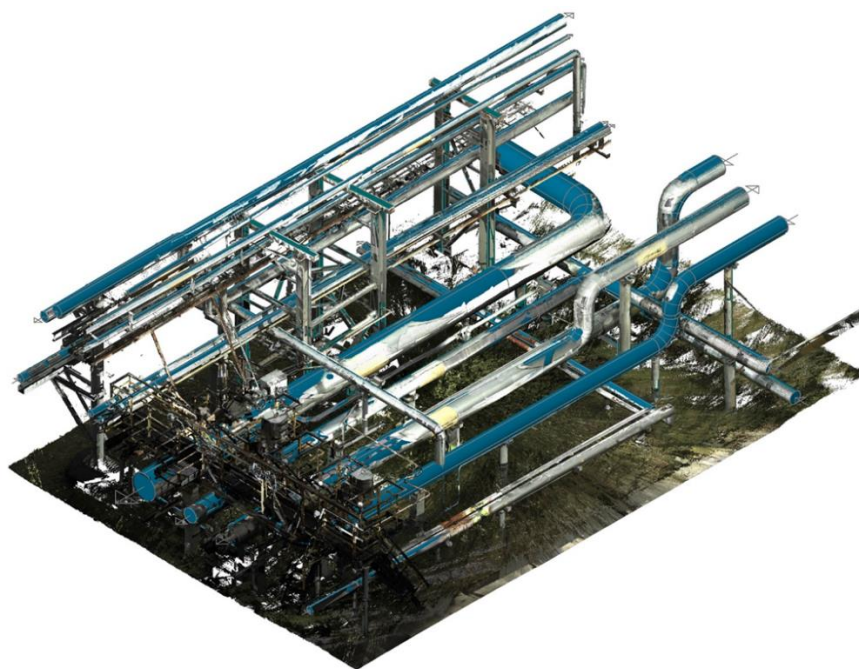


Рисунок 3 – Трехмерная модель, совмещенная с облаком точек

Совмещение трехмерной модели с исходным облаком точек является необходимым приемом контроля качества, поскольку позволяет визуально проверить, насколько построенные элементы соответствуют фактическим лазерным отражениям. Если модель отклоняется от облака, это может свидетельствовать о недостаточной точности распознавания, ошибках сегментации или необходимости дополнительной ручной корректировки. Таким образом, облако точек сохраняется не только как исходный материал, но и как контрольная основа, позволяющая подтверждать достоверность полученной модели.

Предложенная методика 3D-идентификации объектов на основе данных наземного лазерного сканирования открывает новые перспективы

для оптимизации работ в сфере проектирования. Более того, трехмерные модели, полученные с помощью НЛС, предоставляют исчерпывающие данные о геометрических параметрах объектов, включая высоту, площадь, объем и другие характеристики, необходимые для формирования отчетной документации.

Для проектных организаций такая методика может быть полезна при подготовке исходных данных для реконструкции и технического перевооружения. Наличие трехмерной модели существующего объекта позволяет заранее выявлять возможные пространственные конфликты, оценивать доступность монтажных зон и уточнять положение проектируемых элементов относительно фактических конструкций. В результате снижается вероятность ошибок, связанных с использованием устаревших чертежей или неполных обмерных данных.

Таким образом, предложенная архитектура интеграционного решения, состоящая из модулей сбора и обработки данных НЛС и 3D-идентификации объектов, обеспечивает полный цикл работы с данными: от сбора информации посредством НЛС до использования 3D-моделей в повседневной практике.

Важным преимуществом предложенной архитектуры является возможность ее поэтапного применения. При необходимости отдельные этапы могут быть адаптированы под конкретный объект, однако общая логика остается неизменной: сначала выполняется подготовка и упорядочивание данных, затем выделяются базовые классы и поверхности, после чего осуществляется сегментация и распознавание конструктивных элементов. Такая последовательность делает методику универсальной для объектов, имеющих сходную пространственную структуру, и одновременно сохраняет возможность экспертной корректировки результата.

Заключение

В рамках исследования была разработана методика 3D-идентификации объектов на основе данных наземного лазерного сканирования. В научной работе были выполнены следующие задачи:

Полученные результаты показывают, что использование данных НЛС позволяет перейти от разрозненных измерений и визуального анализа к структурированному представлению инженерного объекта. На примере технологической эстакады показано, что облако точек может быть преобразовано в трехмерную модель при условии последовательного выполнения операций предварительной обработки, прореживания, классификации, построения поверхности, сегментации и распознавания элементов.

- разработана и апробирована методика 3D-идентификации объектов на конкретном объекте – технологической эстакаде;
- раскрыта структура и содержание каждого этапа предложенной методики.

Разработанная последовательность действий может быть использована как основа для дальнейшего совершенствования технологий распознавания объектов по облакам точек. Наиболее перспективным направлением является повышение степени автоматизации при сохранении возможности экспертной корректировки, поскольку именно сочетание алгоритмической обработки и инженерной интерпретации обеспечивает достоверность результата. Кроме того, методика может быть адаптирована для обследования других объектов трубопроводной и промышленной инфраструктуры, если они имеют сопоставимую пространственную сложность.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках проекта № ЛАБ-24.1/2.

Список используемых источников

1. Пархоменко, Д.В. Лазерное сканирование в государственном кадастре недвижимости: технологические и правовые аспекты / Д.В.

Пархоменко, И.В. Пархоменко // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Т. 1, № 33. – С. 114–124.

2. Шевченко, Г.Г., Гура Д.А., Акопян Г.Т. Применение наземного лазерного сканирования в строительстве и BIM технологиях / Г.Г. Шевченко, Д.А. Гура, Г.Т. Акопян // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2018. - № 2. – С. 251-260.

3. Афонин, Д.А. Опыт применения наземного лазерного сканирования при обследовании инженерных сооружений / Д. А. Афонин, Н. Н. Богомоллова, М. Я. Брынть, А. А. Никитчин // Геодезия и картография. – 2020. – Т. 81, № 4. – С. 2-8. – DOI 10.22389/0016-7126-2020-958-4-2-8;

4. Алтынцев, М.А. Применение технологии наземного лазерного сканирования для создания обмерных чертежей фасадов зданий / М.А. Алтынцев // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 3. – С. 5-18. DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-3-5-18.

5. Алтынцев, М. А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного лазерного сканирования / М.А. Алтынцев, П.А. Карпик // Вестник СГУГиТ. – 2020. Т. 25, № 2. – С. 121-139. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-121-139.

6. Шалая, А.А. Геоинформационная система пространственного анализа данных на основе результатов трехмерного лазерного сканирования / А. А. Шалая, Д. А. Гура, Р. А. Дьяченко, П. А. Косолапов // Нелокальные краевые задачи и родственные проблемы математической биологии, информатики и физики : Материалы VII Международной научной конференции, Нальчик, 04–08 декабря 2023 года. – Нальчик: Принт-центр. – 2023. – С. 297-298.

7. Долгополов, Д.В. Моделирование объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования / Д.В. Долгополов // Геодезия и картография. – 2023. Т. 84, № 5. – С. 43-51. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-995-5-43-51.

8. Комиссаров, А.В. Методика использования BIM-технологий и лазерного сканирования для реконструкции и модернизации объектов / А.В. Комиссаров, А.В. Ремизов // Вестник СГУГиТ. – 2022. Т. 27, № 2. – С. 115-124. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-115-124.

9. Гура, Д.А. Методика мониторинга объектов недвижимости с помощью трехмерного лазерного сканирования в специфике городских земель / Д.А. Гура, И.Г. Марковский, С.К. Пшидаток // Геодезия и картография. – 2021. Т. 82, № 4. С. 45-53. – DOI 10.22389/0016-7126-2021-970-4-45-53.

10. Авренюк, А.Н. 3D моделирование объектов ПАО «НК «Роснефть» на различных этапах их жизненного цикла / А.Н. Авренюк, Э.А. Хвостик, И.Г. Гаевский и др. // Нефтяное хозяйство. -2024. -№8. С. 34-37.

11. Авренюк, А.Н. 3D инжиниринг при обустройстве объектов ПАО «НК «Роснефть» / А.Н. Авренюк, Д.Г. Дидичин, В.А. Павлов и др. // Нефтяное хозяйство. -2022. -№11. С. 64-67.

12. Выстрчил, М.Г. Алгоритм оценки точности полигональных TIN-поверхностей, получаемых из разреженных облаков точек // М.Г. Выстрчил, Т.И. Балтыжаков, А.В. Савина // Вестник СГУГиТ. – 2024. Т. 29, № 3. – С. 5-19. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-5-19.

References

1. Parkhomenko, D. V. Lazernoe skanirovanie v gosudarstvennom kadastro nedvizhimosti: tekhnologicheskie i pravovye aspekty / D.V. Parkhomenko, I.V. Parkhomenko // Vestnik SGUGiT. – 2016. – Т. 1, № 33. – С. 114–124.
2. Shevchenko, G.G., Gura D.A., Akopyan G.T. Primenenie nazemnogo lazernogo skanirovaniya v stroitel'stve i BIM tekhnologiyakh / G.G. Shevchenko, D.A. Gura, G.T. Akopyan // Elektronnyy setevoy politematicheskiy zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU". – 2018. - № 2. – С. 251-260.
3. Afonin, D.A. Opyt primeneniya nazemnogo lazernogo skanirovaniya pri obsledovanii inzhenernykh sooruzheniy / D. A. Afonin, N. N. Bogomolova, M.

- Ya. Bryn', A. A. Nikitchin // Geodeziya i kartografiya. – 2020. – T. 81, № 4. – S. 2-8. – DOI 10.22389/0016-7126-2020-958-4-2-8;
4. Altyntsev, M.A. Primenenie tekhnologii nazemnogo lazernogo skanirovaniya dlya sozdaniya obmernykh chertezhey fasadov zdaniy / M.A. Altyntsev // Vestnik SGUGiT. – 2022. – T. 27, № 3. – S. 5-18. DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-3-5-18.
5. Altyntsev, M. A. Metodika sozdaniya tsifrovyykh trekhmernyykh modeley ob"ektov infrastruktury neftegazodobyvayushchikh kompleksov s primeneniem nazemnogo lazernogo skanirovaniya / M.A. Altyntsev, P.A. Karpik // Vestnik SGUGiT. – 2020. T. 25, № 2. – S. 121-139. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-121-139.
6. Shalaya, A.A. Geoinformatsionnaya sistema prostranstvennogo analiza dannykh na osnove rezul'tatov trekhmernogo lazernogo skanirovaniya / A. A. Shalaya, D. A. Gura, R. A. D'yachenko, P. A. Kosolapov // Nelokal'nye kraevye zadachi i rodstvennye problemy matematicheskoy biologii, informatiki i fiziki : Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, Nal'chik, 04–08 dekabrya 2023 goda. – Nal'chik: Print-tsentr. – 2023. – S. 297-298.
7. Dolgoplov, D.V. Modelirovanie ob"ektov truboprovodnogo transporta po dannym distantsionnogo zondirovaniya / D.V. Dolgoplov // Geodeziya i kartografiya. – 2023. T. 84, № 5. – S. 43-51. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-995-5-43-51.
8. Komissarov, A.V. Metodika ispol'zovaniya BIM-tekhnologiy i lazernogo skanirovaniya dlya rekonstruktsii i modernizatsii ob"ektov / A.V. Komissarov, A.V. Remizov // Vestnik SGUGiT. – 2022. T. 27, № 2. – S. 115-124. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-115-124.
9. Gura, D.A. Metodika monitoringa ob"ektov nedvizhimosti s pomoshch'yu trekhmernogo lazernogo skanirovaniya v spetsifike gorodskikh zemel' / D.A. Gura, I.G. Markovskiy, S.K. Pshidatok // Geodeziya i kartografiya. – 2021. T. 82, № 4. S. 45-53. – DOI 10.22389/0016-7126-2021-970-4-45-53.

10. Avrenyuk, A.N. 3D Modeling of PJSC "NK "Rosneft" Objects at Various Stages of Their Life Cycle / A.N. Avrenyuk, E.A. Khvostik, I.G. Gaevsky, et al. // Oil Industry. -2024. -No. 8. P. 34-37.
11. Avrenyuk, A.N. 3D Engineering in the Development of PJSC "NK "Rosneft" Objects / A.N. Avrenyuk, D.G. Didichin, V.A. Pavlov, et al. // Oil Industry. -2022. -No. 11. P. 64-67.
12. Vystrchil, M.G. Algoritm otsenki tochnosti poligonal'nykh TIN-poverkhnostey, poluchaemykh iz razryazhennykh oblakov toчек // M.G. Vystrchil, T.I. Baltyzhakov, A.V. Savina // Vestnik SGUGiT. – 2024. T. 29, № 3. – S. 5-19. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-5-19.

© Шалая А.А., Гура Д.А., Тихонов Т.А., 2025. *International agricultural journal*, 2025, № 3, 943-960

Для цитирования: Шалая А.А., Гура Д.А., Тихонов Т.А. Разработка методики 3D-идентификации объектов на основе данных наземного лазерного сканирования// *International agricultural journal*. 2025, №3, 943-960