



Столыпинский

вестник

Научная статья

УДК 339.54.012+338.001.36

DOI: 10.55186/2713-1424-2026-19-26

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ТРЁХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ ВЫРАБОТОК В СРЕДЕ NANOCAD RECLOUDS

Подрядчикова Екатерина Дмитриевна, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация

Рассмотрена технология автоматизированной обработки маркшейдерско-геодезической информации, полученной методом лазерного сканирования карьерных выработок и складов сыпучих материалов. Цель исследования заключается в разработке последовательности преобразования исходного облака точек в цифровую трёхмерную модель, пригодную для анализа рельефа и вычисления объёмов горной массы. Обработка данных выполняется в программной среде nanoCAD с применением конфигурации ReClouds. Предложенная технологическая схема включает импорт облака точек формата PTS, настройку визуализации, удаление шумов и посторонних объектов, построение 2.5D TIN-поверхности, оконтуривание, упрощение и объединение фрагментов сети, расчёт объёмов и наложение растровой текстуры.

Ключевые слова: лазерное сканирование, облако точек, карьер, маркшейдерия, TIN-сеть, 2.5D-модель, nanoCAD ReClouds, трёхмерное моделирование, вычисление объёмов.

AUTOMATED PROCESSING OF LASER SCANNING DATA FOR THREE -
DIMENSIONAL MODELING OF OPEN-PIT MINING WORKINGS IN
NANOCAD RECLOUDS

Podrjadchikova E.D. associate Professor at the Department of Geodesy and Cadastral Activities, Tyumen Industrial University, Tyumen
podrjadchikovaed@tyuiu.ru

Annotation

The paper considers an automated workflow for processing mine-surveying and geodetic information obtained by laser scanning of open-pit mine workings and bulk material stockpiles. The study aims to develop a consistent method for converting an initial point cloud into a digital three-dimensional model suitable for terrain analysis and material volume calculation. Data processing is performed in the nanoCAD environment using the ReClouds configuration. The proposed workflow includes importing a PTS point cloud, adjusting visualization parameters, removing noise and foreign objects, generating a 2.5D triangulated irregular network, contouring, simplifying and merging mesh fragments, calculating volumes, and applying raster textures.

Keywords: laser scanning, point cloud, open-pit mine, mine surveying, TIN, 2.5D model, nanoCAD ReClouds, three-dimensional modelling, volume calculation.

Статья написана при поддержке гранта Некоммерческой организацией «Благотворительный фонд «ЛУКОЙЛ».

Цифровая трансформация горного производства сопровождается увеличением объёма пространственных данных, используемых при маркшейдерском сопровождении открытых разработок [1]. Традиционные методы съёмки обеспечивают получение координат отдельных характерных точек, однако их применение для детального моделирования сложной поверхности карьера или отвала может быть связано со значительными трудозатратами. При этом лазерное сканирование позволяет регистрировать поверхность в виде множества точек с координатами X , Y , Z и дополнительными атрибутами, среди которых интенсивность отражённого сигнала и значения цветовых каналов [2].

Само по себе облако точек не является готовой расчётной моделью. Оно может содержать измерительные шумы, точки растительности, техники, сооружений и других объектов, не относящихся к моделируемой поверхности [3]. Наличие таких данных приводит к формированию некорректных треугольников и может влиять на результаты вычисления объёмов. Поэтому достоверность итоговой модели определяется не только точностью лазерного сканирования, но и качеством всех этапов камеральной обработки [4].

Цель исследования заключается в разработке последовательности автоматизированной обработки облака точек карьерной выработки в среде nanoCAD ReClouds, обеспечивающую построение оптимизированной TIN-поверхности и подготовку модели к вычислению объёмов.

Для достижения цели решались задачи импорта и анализа исходных данных, выявления и удаления шумов, обоснования типа цифровой модели, построения и оптимизации TIN-сети, объединения её фрагментов, формализации расчёта объёмов и определения критериев контроля качества.

В качестве исходных данных рассматривается облако точек карьерной выработки, сохранённое в формате PTS. В зависимости от структуры файла также могут присутствовать интенсивность отражения и цветовые компоненты RGB.

Обработка выполнялась в программе nanoCAD с активированной конфигурацией ReClouds. Общая последовательности включала следующие этапы, показанные на рисунке 1.

Рисунок – Последовательность автоматизированной обработки облака точек карьерной выработки в среде nanoCAD ReClouds



При импорте PTS-файла выполнялось сопоставление столбцов исходного набора данных с координатами X, Y, Z, интенсивностью и цветовыми каналами. Для текстового формата задавались разделитель полей, знак десятичной части и порядок следования атрибутов.

Для первичного анализа использовалась раскраска облака по координате Z. Диапазон высот разделялся на десять интервалов. Такой способ отображения позволяет выделять подошву карьера, площадки и откосы уступов, бровки, верхнюю часть борта, а также точки с аномальными высотами. Количество интервалов не влияет на координаты точек и применяется только для визуальной интерпретации.

Дополнительно может применяться раскраска по интенсивности отражённого сигнала. Интенсивность зависит от отражающих свойств материала, угла падения луча, расстояния до объекта и характеристик лазерного сканера. Поэтому данный атрибут целесообразно использовать как вспомогательный признак, а не как самостоятельный критерий классификации поверхности.

Шумом считались точки, пространственное положение которых не соответствовало реальной поверхности карьерной выработки или склада материала. К таким данным относятся единичные выбросы, отражения от атмосферных частиц, растительность, техника и другие посторонние объекты [5].

Для удаления крупных фрагментов применялась геометрическая обрезка прямоугольником, полигоном или сферой. Полигональная область удобна для отделения поверхности карьера от окружающей территории, а сферическая – для удаления локальных групп ошибочных точек.

Фильтрация должна выполняться с сохранением исходного облака. Рекомендуется создавать отдельную очищенную версию данных, поскольку чрезмерное удаление точек в области бровок или откосов может привести к сглаживанию характерных форм рельефа [6].

Для представления поверхности карьера использовалась 2.5D-модель, описываемая функцией

$$z = f(x, y) \quad (1)$$

, где z – высотное положение точки, определяет её положение относительно плоскости в трёхмерном пространстве, x – абсцисса точки, определяет её горизонтальное положение, y – ордината точки, определяет её вертикальное положение на плоскости.

В такой модели каждой паре плановых координат x, y соответствует одно значение высоты z . Отличительной особенностью 2.5D-моделей от 3D-моделей является то, что полная 3D-сеть допускает наличие нескольких значений z для одной плановой позиции и необходима при моделировании вертикальных стен, сооружений и технологического оборудования. Однако для объёмных расчётов между поверхностью и основанием 2.5 D-модель обладает более простой геометрической интерпретацией [7].

Очищенное облако преобразовывалось в нерегулярную триангуляционную сеть TIN. Вершинами сети являются исходные или отобранные точки, а треугольные грани формируют непрерывное приближение поверхности.

При построении поверхности применяется принцип триангуляции Делоне, направленный на исключение чрезмерно острых треугольников. Однако этот алгоритм не учитывает физические границы карьера. При отсутствии точек за пределами объекта крайние вершины могут соединяться длинными рёбрами, образуя ложные грани. Для их удаления требуется последующее оконтуривание [8].

Оконтуривание выполнялось по критерию максимальной длины граничного ребра. В исследуемой технологической схеме использовалось значение 0,7 м. Треугольники, имеющие граничные рёбра больше установленного порога, рассматривались как потенциально некорректные и исключались из поверхности.

Значение 0,7 м не является универсальной константой. Оно должно соотноситься со средней плотностью облака, расстоянием между соседними точками, масштабом модели и требуемой детализацией. Если порог меньше характерного расстояния между точками, в поверхности могут возникнуть разрывы. Завышенный порог, напротив, приводит к сохранению ложных соединений [9].

Плотное облако точек формирует высокополигональную модель, обработка которой требует значительных вычислительных ресурсов. Для уменьшения числа треугольников применялось упрощение сети с сохранением её топологии и характерных перегибов [3].

Целевое количество составляло 8000 граней для каждого обрабатываемого фрагмента данного карьера. При этом контролировалось среднеквадратическое отклонение упрощённой поверхности от исходной по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2}$$

где d_i – расстояние между контрольной точкой исходной поверхности и соответствующей точкой упрощённой модели; n – количество контрольных точек.

Предельное значение RMS принималось равным 0,05 м. Для отдельных производственных задач допустимый диапазон может быть расширен до 0,10 м при условии соответствия требованиям технического задания и точности исходной съёмки.

Упрощение считается корректным, если сохраняются бровки и подошвы уступов, отсутствует инверсия нормалей, не появляются самопересечения и разрывы, а установленный показатель RMS не превышен.

Если поверхность представлена несколькими частями, выполняется их последовательное объединение. Допуск сшивки принимается в пределах 0,05–0,10 м. После объединения контролируются зоны контакта: в них не

должны появляться дублирующие грани, резкие ступени, отверстия или самопересечения. При различной плотности исходных фрагментов упрощение целесообразно выполнять до объединения, используя сопоставимые показатели точности [10].

Расчёт объемов выполняется между фактической TIN-поверхностью и поверхностью основания либо между моделями, соответствующими двум циклам наблюдений. Пусть

$$\Delta z(x, y) = z_{\phi}(x, y) - z_o(x, y)$$

, где z_{ϕ} – отметка фактической поверхности, z – отметка поверхности основания или сравнения.

Положительный и отрицательный объёмы определяются выражениями:

$$V_+ = \iint_S \max(\Delta z, 0) dS$$

$$V_- = \iint_S \max(-\Delta z, 0) dS$$

Балансовый объём рассчитывается как

$$V_6 = V_+ - V_-$$

а суммарный объём изменений:

$$V_c = V_+ + V_-$$

Балансовый показатель характеризует результирующее изменение модели, тогда как суммарный отражает общий объём положительных и отрицательных изменений без взаимного погашения.

Расчёт может производиться для всей поверхности или внутри замкнутого контура. Использование контура позволяет исключить участки, не относящиеся к рассматриваемому штабелю или зоне горных работ. Помимо числовых значений результатом является линия пересечения

сравниваемых поверхностей, которая может быть представлена в виде трёхмерной полилинии [11].

Предложенная схема показывает, что точность объёмных расчётов определяется совокупным влиянием нескольких факторов. Ошибки могут возникать вследствие наличия выбросов, чрезмерного упрощения сети, неправильного задания контура, несовпадения систем координат и некорректного формирования поверхности основания [12].

Особое значение имеет разделение геометрической точности и визуальной реалистичности. Наложение ортофотоплана улучшает интерпретацию объекта, но само по себе не повышает координатную точность TIN-поверхности. Текстурирование следует рассматривать как заключительный этап, выполняемый после проверки геометрии и результатов расчётов.

Использование целевого количества граней без контроля RMS может привести к неодинаковой точности для объектов различного размера и сложности. Поэтому показатель 8000 граней целесообразно применять совместно с оценкой отклонений. Если установленное число граней достигается при превышении допустимой ошибки, упрощение необходимо остановить раньше либо увеличить целевое количество элементов.

Аналогичным образом длина граничного ребра 0,7 м должна уточняться с учётом плотности конкретного облака. Обоснованный выбор параметра может выполняться на основании статистического распределения расстояний до ближайших точек. Это позволяет перейти от фиксированного порога к адаптивному оконтуриванию.

Разработанная последовательность может применяться при решении следующих производственных задач:

- инвентаризации штабелей щебня, песка и других сыпучих материалов;
- вычислении объёмов выемки и насыпи;
- сравнении моделей карьера, полученных в разные периоды;

- контроле соответствия фактической поверхности проектным решениям;
- подготовке материалов маркшейдерской документации;
- формировании цифровой пространственной модели горного объекта [13].

Разработана методика автоматизированной обработки данных лазерного сканирования карьерных выработок в среде nanoCAD ReClouds. Методика охватывает полный цикл преобразования исходного PTS-файла в оптимизированную 2.5D TIN-поверхность, подготовленную к вычислению объёмов и оформлению графических материалов. Дальнейшее развитие исследования может быть связано с экспериментальной оценкой влияния плотности точек, параметров оконтуривания и степени упрощения сети на погрешность вычисления объёмов.

Литература

1. Подрядчикова Е. Д. Методы автоматизированной обработки маркшейдерско-геодезической информации: методические указания по разработке практического задания «Трёхмерное моделирование карьерных выработок и подсчёт объёмов сыпучих материалов в среде nanoCAD ReClouds». Тюмень: ТИУ, 2026. 48 с.
2. Комиссаров Д. В., Семочкин А. А. Технологии лазерного сканирования для задач маркшейдерии и горного дела. Новосибирск: СГУГиТ, 2022. 184 с.
3. Медведев А. А., Новиков В. Е. 3D-сканирование в геодезии и маркшейдерии: практическое руководство. Санкт-Петербург: ГИС-Ассоциация, 2022. 156 с.
4. Каштанов А. С. Обработка облаков точек в среде nanoCAD ReClouds: учебное пособие. Москва: Нанософт, 2023. 96 с.
5. АО «Нанософт». nanoCAD Облака точек. ReClouds: официальный сайт. URL: <https://www.nanocad.ru/products/reclouds/> (дата обращения: 27.05.2026).

6. Сидоров К. Е., Полевич О. В. Цифровые модели рельефа и их использование в инженерной геодезии. Томск: Издательство ТПУ, 2021. 128 с.
7. Иванов А. А. 3D-моделирование в ГИС: от цифровой модели рельефа к полноценной трёхмерной сцене // Геопрофи. 2023. № 2. С. 38–44.
8. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03–84. Москва: Минстрой России, 2017. 56 с.
9. Petrasova A., Harmon B., Petras V., Tabrizian P., Mitasova H. Tangible Modeling with Open Source GIS. 2nd ed. Cham: Springer, 2018. 202 p.
10. ГОСТ Р 71863–2024. Фототопография. Лазерное сканирование. Общие положения. Москва: Российский институт стандартизации, 2024. 28 с.
11. Приказ Ростехнадзора от 19.05.2023 № 186 «Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности». Москва, 2023.
12. Воронов А. В. Методика подсчёта объёмов горной массы на карьерах по данным воздушного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. Новосибирск: СГУГиТ, 2024. Т. 2. С. 134–139.
13. Ветошкина Ю. А., Морозов А. А. Оценка точности определения объёмов штабелей сыпучих материалов по данным лазерного сканирования // Геодезия и картография. 2024. № 2. С. 15–22.

Literature

1. Podryadchikova E. D. Methods of automated processing of mine surveying and geodetic information: guidelines for developing a practical assignment “Three dimensional modeling of quarry workings and calculation of the volumes of bulk materials in the nanoCAD ReClouds environment.” Tyumen: TIU, 2026. 48 p.
2. Komissarov D. V., Semochkin A. A. Laser scanning technologies for mine surveying and mining tasks. Novosibirsk: SSUGT, 2022. 184 p.
3. Medvedev A. A., Novikov V. E. 3D scanning in geodesy and mine surveying: a practical guide. Saint Petersburg: GIS Association, 2022. 156 p.

4. Kashtanov A. S. Processing Point Clouds in the nanoCAD ReClouds Environment: a textbook. Moscow: Nanosoft, 2023. 96 p.
5. Nanosoft. nanoCAD Point Clouds. ReClouds: official website. URL: <https://www.nanocad.ru/products/reclouds/>.
6. Sidorov K. E., Polevich O. V. Digital Elevation Models and Their Use in Engineering Geodesy. Tomsk: TPU Publishing House, 2021. 128 p.
7. Ivanov A. A. 3D modeling in GIS: from a digital terrain model to a fullfledged threedimensional scene // Geoprofi. 2023. No. 2. Pp. 38–44.
8. SP 126.13330.2017. Geodetic works in construction. Updated edition of SNiP 3.01.03–84. Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2017. 56 p.
9. Petrasova A., Harmon B., Petras V., Tabrizian P., Mitasova H. Tangible Modeling with Open Source GIS. 2nd ed. Cham: Springer, 2018. 202 p.
10. GOST R 71863–2024. Phototopography. Laser scanning. General provisions. Moscow: Russian Standardization Institute, 2024. 28 p.
11. Order of Rostekhnadzor dated 19.05.2023 No. 186 “On Approval of the Rules for Carrying Out Mine Surveying Activities.” Moscow, 2023.
12. Voronov A. V. Methodology for calculating the volumes of rock mass in quarries based on airborne laser scanning data // Interexpo GEOMETRY Siberia. Novosibirsk: SGUGiT, 2024. Vol. 2. Pp. 134–139.
13. Vetoshkina Yu. A., Morozov A. A. Assessment of the accuracy of determining the volumes of bulk materials stacks based on laser scanning data // Geodesy and Cartography. 2024. No. 2. Pp. 15–22.