

Е. Е. Бовдун^{1}, О. И. Черкасский¹*

Вычисление объемов горных масс средствами фотограмметрии

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: egoromes@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается метод вычисления объемов горных масс мобильным устройством. Оценка объемов горных масс является одной из основных задач маркшейдера на месторождении. Статья посвящена проблеме измерения объемов малогабаритных объектов. Целью статьи является проведение анализа метода вычисления объемов горных масс мобильными устройствами. При проведении измерений использовался метод ведения съемки мобильным устройством. В дальнейшей работе используются методы анализа и сравнения. Проведён обзор существующих методов измерения объемов и мобильных приложений для 3D-сканирования. По результатам проведённых измерений получены данные, на основании которых выявлены факторы, влияющие на точность съемки, такие как количество фотографий объекта, использование режимов обработки снимков «Raw» и «Full», сканирование объекта в программе «Polycam», установка базисной линии в зоне съемки с наименьшим числом фотографий. Сделан вывод об актуальности данного метода при оценке объемов негабаритных объектов объемом до 1 м³. Данный метод применим при выполнении контроля доли негабаритных объектов после взрыва, при проектировании отвалов для горных масс для маркшейдеров и геодезистов. Разработаны рекомендации по повышению эффективности метода вычисления объемов горных масс мобильными устройствами, добавление функции вычисления объема объекта съемки в мобильные приложения по 3D-моделированию с возможностью создания облака точек без построения 3D-модели, расширение настроек камеры.

Ключевые слова: фотограмметрия, вычисление объемов, маркшейдерия

Е. Е. Bovdun^{1}, O. I. Cherkasskiy¹*

Volume calculation rock masses by means of photogrammetry

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: egoromes@mail.ru

Abstract. This article discusses a method for calculating the volume of rock masses using a mobile device. Estimating the volume of rock masses is one of the main tasks of a mine surveyor. The article is dedicated to the problem of measuring the volumes of small objects. The purpose of the article is to analyze the method for calculating the volume of rock masses using mobile devices. When carrying out measurements, the method of shooting with a mobile device was used. Used methods: analysis, comparison. A review of existing methods for measuring volumes and mobile applications for 3D scanning was carried out. Based on the results of the measurements, data was obtained on the basis of which factors influencing the accuracy of shooting were identified, such as the number of photographs of the object, the use of the special image processing modes, scanning the object in «Polycam», setting the baseline in the shooting area with the least number of photos. A conclusion is made about the relevance of this method when estimating the volumes of oversized objects up to 1 m³. This method is applicable for monitoring the percentage of oversize and designing dumps for rock masses for surveyors. Recommendations were developed to improve the efficiency of the method with mo-

ble devices for calculating the volume of rock masses, adding the function of calculating the volume of a shooting object to modeling applications with the ability to create a point cloud without building a 3D model, and expanding camera settings.

Keywords: photogrammetry, volume calculation, mine surveyor

Введение

Вычисление объемов является одной из основных задач маркшейдера на месторождении. Существует ряд задач, в которых требуется вычисление объема горных масс: определение объема выемки, оценка объема добычи полезных ископаемых, вычисление объема не взорванной горной массы или негабаритных объектов.

Цели исследования: проанализировать метод вычисления объемов горных масс мобильными устройствами на примере малогабаритного объекта.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть метод вычисления объемов горных масс мобильными устройствами и другие методы;
- провести съемку малогабаритного объекта для оценки точности измерений с помощью мобильного устройства;
- проанализировать, в каких случаях метод наиболее эффективен;
- составить рекомендацию по дальнейшему совершенствованию метода вычисления объемов горных масс мобильными устройствами.

Существует несколько вариантов выполнения оценки объема: тахеометрическая съемка, спутниковые измерения, лазерного сканирование, аэрофото-съемка.

Тахеометрический способ является самым энергозатратным, поскольку с одного пункта вести измерения не предоставляется возможным.

Спутниковые измерения представляют собой оптимальное решение маркшейдерских задач, связанных с вычислением объемов, однако при невыполнении требований, таких как отсутствие препятствий, допустим, в виде рядом стоящего отвала, или наличие хорошего сигнала со спутниками точность съемки будет ниже требуемой [1].

Лазерное сканирование принято считать самым точным способом оценки объема, но и самым дорогостоящим, так как стоимость оборудования начинается от одного миллиона рублей [2].

В горном деле инструменты фотограмметрии широко используются на открытых горных работах, которые приводят к негативному влиянию на компоненты окружающей среды, а также к снижению устойчивости карьера. Периодическая съемка изменяющейся формы карьера и его элементов: бермы, высоты уступов, уклонов – позволяет правильно оценить состояние месторождения и составить перспективный план развития горных работ, для этого в основном используются беспилотные летательные аппараты. Для оценки объемов горных выработок и отвалов также используются беспилотные летательные аппараты,

но при небольших габаритах этих объектов сеанс съемки и обработки продолжителен. К тому же для корректной работы инструмента необходима соответствующая погода: светлое время суток, отсутствие сильного ветра, дождя [3].

Безусловно, существуют и другие способы вычисления объемов горных масс, однако все самые оптимальные на данный момент приведены. Тем не менее, они имеют свои недостатки. Современные мобильные устройства стали неотъемлемой частью жизни человека, вследствие чего в архитектуре, медицине и строительстве используются инструменты, предоставляемые ими, для создания 3D-моделей различных объектов с сохранением их форм и размеров.

Методы и материалы

Существует два метода расчёта объемов с помощью мобильного устройства: метод пост-обработки и метод реального времени. Основное их отличие – это обработка изображений в разное время. Второй метод менее трудозатратен и занимает меньшее время обработки, так как экспортировать снимки и проводить их обработку в другом программном обеспечении не требуется.

Для проведения эффективного сканирования объекта и получения достоверного облака точек или 3D-модели можно использовать такие приложения как: «MagiScan», «RealityScan», «Polycam» [5-7].

Для обработки изображений программа «MagiScan» [5] выполняет облачные вычисления и предоставляет несколько вариантов настройки качества. Особенностью мобильного приложения является режим «Колесо 360 градусов», с помощью которого программа автоматически определяет лучшие фотографии, что исключает необходимость повторной фотосъемки объекта. После обработки изображений программа позволяет экспортировать файл в форматах: .echo3d, .gltf, .glb, obj, .stl, .fbx, .ply [5].

В программе «RealityScan» существует режим «Auto Capture», который по своей сути схож с режимом «Колесо 360 градусов» в «MagiScan». Функция «Live Guidance» позволяет предварительно оценить результат съемки во время сканирования. Для обработки снимков используются технические характеристики мобильного устройства. Программа предлагает два варианта настройки качества: гладкий и подробный. Экспорт файла съемки возможен только в формате 3D-модели: .fbx, .gltf, .usdz, .uasset [6].

Функция «Видео» в приложении «Polycam» позволяет автоматизировать съемку объекта измерений для построения облака точек и создания 3D-модели. Для обработки снимков программа проводит облачные вычисления и предлагает несколько вариантов настройки качества обработки: Optimized, Medium, Full, Raw. Инструмент «Rule» используется для проведения первоначального контроля измерений, а функция «Rescale» – и для изменения масштаба получившейся модели. Мобильное приложение требует не менее 20 снимков для получения результатов измерений и позволяет экспортировать файл в виде облака точек или модели в форматах: .ply, .las, .pts, .xyz, .dxf, .obj, .gltf, .fbx, .dae, .stl, .usdz [7].

Порядок оценки объема с помощью мобильных устройств состоит из процессов: фотосъемки, обработки изображений и обработки облака точек. Главным

этапом является фотосъемка, поскольку в основном от неё зависит результат вычислений объемов с помощью камеры мобильного устройства. Перед началом измерений нужно установить базисную линию на объекте съемки либо рядом с ним и выполнить настройку камеры в зависимости от условий, в которых проходит съемка. К параметрам камеры относятся: светочувствительность, фокусное расстояние, приоритет диафрагмы и выдержка. Процесс настройки камеры не обязателен, так как на данный момент в программах, в которых проходит сканирование и обработка объекта измерений, исключена возможность изменения параметров камеры. Необходимо полностью заполнять кадр мобильного устройства объектом съемки, что значительно уменьшает время обработки изображений ввиду отсутствия лишних деталей на фоне. Снимки производятся с таким интервалом, чтобы покрытие соседнего изображения составляло не менее 80 %. С повышением высоты объекта измерений увеличивается количество горизонтов съемки.

После обработки снимков облако точек или 3D-модель импортируется в программы для 3D-моделирования, в которых, используя инструменты построения, вычисляется объем объекта съемки [4].

Результаты

Проведены исследования, в которых, используя программу «Polycam», отсканирован кейс для транспортировки лазерного оборудования с целью оценки точности измерений. Кейс имеет следующие линейные размеры согласно паспорту:

- высота 71 см;
- ширина 76 см;
- длина 107 см.

Для обработки в мобильном приложении фотографий по рекомендации разработчиков оптимально использовать значение качества обработки «Raw» и «Full» для высокой точности сохранения геометрических размеров объектов.

Исходные данные к исследованию представлена в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные

№	Количество фотографий	Условия видимости	Покрытие объекта измерений снимками	Длина базисной линии, м	Режим обработки	Используемое приложение для съемки
1	31	Удовлетворительные	Удовлетворительное	-	Full	«Polycam»
2	51	Хорошие	Удовлетворительное	-	Raw	«Polycam»
3	31	Хорошие	Удовлетворительное	0.10	Full	«Polycam»
4	31	Хорошие	Удовлетворительное	0.06	Full	«Polycam»
5	51	Хорошие	Хорошее	-	Full	Встроенное приложение «Камера»
6	31	Хорошие	Хорошее	0.06	Full	Встроенное приложение «Камера»

В опыте № 4 базисная линия была установлена в зоне съемки, на который приходится наименьшее число фотографий. В процессе измерений построено облако точек и на основании рассчитанных карт глубины создана 3D-модель. С помощью инструмента «Rule» выполнены контрольные измерения, а с помощью функции «Rescale» выполнено изменение масштаба.

Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений

№	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Относительная погрешность длины, %	Относительная погрешность ширины, %	Относительная погрешность высоты, %	Относительная погрешность объема, %
1	0,89	0,64	0,60	17	18	16	29
2	0,96	0,69	0,66	11	12	7	18
3	1,09	0,78	0,73	2	3	3	5
4	1,07	0,76	0,72	1	1	1	2
5	0,92	0,67	0,62	14	14	13	24
6	1,04	0,78	0,68	3	3	4	6

Полученное облако точек импортировалось в программу «Micromine», в которой создан солид с указанием максимальной длины треугольника. Во вкладке «Свойства» указано значение объема фигуры.

При соблюдении определенных условий съемки относительная погрешность объема составляет до 2 %. При их несоблюдении относительная погрешность объема может составлять до 29 %.

Обсуждение

Погрешность измерений в проведённых опытах сильно различается по причине различий в условиях ведения съемки. Ключевыми факторами, влияющими на погрешность, являются количество фотографий, длина и расположение базисной линии, процент покрытия снимками объекта съемки, режим обработки.

Опытным путём установлено, что базисную линию необходимо устанавливать в зоне съемки с наименьшим числом фотографий. Также установлено, что сканирование объекта осуществляется точнее, чем его обычная фотосъемка даже при обработке в том же приложении, так как программа собирает метаданные по центру снимка, что не может выполнять камера мобильного устройства при её стандартных настройках.

Данный метод можно рекомендовать для таких специалистов, как горный инженер или геодезист при проведении вычисления объемов не взорванной горной массы или негабаритных объектов, при выполнении контроля доли негабаритных объектов после взрыва, при проектировании отвалов для горных масс. Наиболее достоверные результаты при использовании данного способа получаются при вычислении объемов объектов до 1 м³, что обуславливает эффективность способа при работе с негабаритными объектами.

Для повышения эффективности способа авторы предлагают следующие рекомендации:

- расширение настроек камеры мобильного устройства для получения файла в формате «.json»;
- создание специализированного программного обеспечения для обработки измерений со встроенной функцией вычисления объема;
- добавление возможности создания облака точек без последующего построения 3D-модели в целях экономии времени, так как не всегда существует потребность в наличии 3D-модели.

Для дальнейшего развития данного метода необходимо исследование базисной линии, так как до конца неизвестно влияние её размеров на точность измерений.

Заключение

Были рассмотрены следующие способы оценки объема: тахеометрическая съемка, спутниковые измерения, лазерное сканирование, аэрофотосъемка, съемка мобильным устройством. У каждого способа есть свои особенности: тахеометрический способ энергозатратный, спутниковые измерения требовательны к условиям местности, лазерное сканирование обеспечивает наилучшую точность, но является самым дорогостоящим методом, для аэрофотосъемки необходима хорошая погода, а при съемке мобильным устройством необходимо соблюдать ряд требований, касающихся работы с программами и числом снимков, для обеспечения точности измерений.

Была проведена съемка мобильным устройством кейса объемом до 1 м³. При выполнении исследования проведено шесть опытов в различных условиях. Были измерены линейные размеры кейса, вычислены погрешности измерений и объема. На основании этих данных были выявлены следующие факторы, влияющие на точность измерений:

- более высокая точность измерений средствами фотограмметрии достигается путём сканирования объекта с помощью специализированных ПО, так как программа задаёт координаты центру снимка;
- количество фотографий объекта и горизонтов съемки;
- для высокой точности сохранения геометрических размеров объектов рекомендуется использовать значения качества обработки «Full» и «Raw»;
- базисную линию необходимо устанавливать в зоне съемки с наименьшим числом фотографий.

Данный метод эффективен для съемки негабаритных объектов объемом до 1 м³ при проведении геодезических и маркшейдерских работ. Погрешность метода составляет 2 % при соблюдении необходимых условий.

Был предложен ряд мер по повышению точности ведения съемки мобильным устройством: расширение настроек камеры мобильного устройства; создание специализированного программного обеспечения для обработки измерений со встроенной функцией вычисления объема; добавление возможности создания облака точек без последующего построения 3D-модели.

В результате проведенного исследования выявлено, что способ вычисления объемов горных масс с помощью камеры мобильного устройства актуален. Данный способ позволит уменьшить время съемки объекта и обработки измерений, а также исключает потребность в дорогостоящем оборудовании для выполнения оценки объемов горных масс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шевчук С. О., Косарев Н. С., Мелеск А. Х., Рындин Р. И. Исследование систем высот навигационных ГНСС-приемников // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. С. 276–284.
2. 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.
3. Инструкция по производству маркшейдерских работ РД 07-603-03 / [Электронный ресурс] // Библиотека нормативной документации : [сайт]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/43/43121/index.htm#i11513> (дата обращения: 3.05.2024).
4. Дарабаев, Д. Д. Технология создания 3-х мерных моделей объектов с использованием смартфона / Д. Д. Дарабаев // Инженерная графика и трехмерное моделирование. Молодежная научно-практическая конференция : сб. научных докладов (3 марта 2021 г., Новосибирск). – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 35–38.
5. 3d scanner app Powered by AI / [Электронный ресурс] // 3D MagiScan : [сайт]. – URL: <https://magiscan.app> (дата обращения: 3.05.2024).
6. PRODUCTS [Электронный ресурс] // RealityScan : [сайт]. – URL: <https://www.unrealengine.com/en-US/realityscan> (дата обращения: 03.05.2024).
7. PHOTOGTAMMETRY [Электронный ресурс] // polycam : [сайт]. – URL: <https://poly.cam> (дата обращения: 03.05.2024).

© Е. Е. Бовдун, О. И. Черкасский, 2024