

УДК 622.1 © А.А. Сыропятов<sup>1,2</sup>, С.И. Нефедов<sup>1,2</sup>, И.С. Торопов<sup>3</sup>, 2026UDC 622.1 © A.A. Syropyatov<sup>1,2</sup>, S.I. Nefedov<sup>1,2</sup>, I.S. Toropov<sup>3</sup>, 2026<sup>1</sup> ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук», 111020, г. Москва, Россия<sup>1</sup> Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences, Moscow, 111020, Russian Federation<sup>2</sup> ФГАОУ «Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, Россия<sup>2</sup> Higher School of Economics National Research University, Moscow, 111000, Russian Federation<sup>3</sup> ООО «Парма-Телеком», Группа компаний ITPS, 614015, г. Пермь, Россия<sup>3</sup> Parma-Telecom LLC, ITPS Group, Perm, 614015, Russian Federation

✉ e-mail: asyropyatov@hse.ru

✉ e-mail: asyropyatov@hse.ru

# Перспектива создания нового метрологически состоятельного метода определения объемов сыпучих материалов на складах

## Perspective of developing a new metrologically valid method for measurement the volumes of bulk materials in stockpiles

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2026-3-119-125>

Достоверный учет извлекаемых запасов полезного ископаемого на месторождении является одной из главных задач маркшейдерской службы горного предприятия. Геодезические методы в виде тахеометрической съемки при помощи оптико-электронных средств измерений, GNSS аппаратуры, а также лазерного сканирования и фотограмметрии нашли широкое применение для решения задач определения объемов сыпучих материалов. При этом наиболее производительными и технологически новыми решениями являются методы лазерного сканирования и фотограмметрии, позволяющие получать избыточное количество измерений, максимально точно описывая объект съемки и, как следствие, наиболее точно математически описывать поверхность насыпи для дальнейшего определения ее объема. Однако до сих пор некоторые такие высокопроизводительные методы не внесены в государственный реестр средств измерений Российской Федерации и не могут быть использованы в отчетной маркшейдерской документации в соответствии с правилами «О лицензировании производства маркшейдерских работ» [1].

**Ключевые слова:** маркшейдерское дело, фотограмметрия, лазерное сканирование, облако точек, средство измерения, учет объемов.

**Для цитирования:** Сыропятов А.А., Нефедов С.И., Торопов И.С. Перспектива создания нового метрологически состоятельного метода определения объемов сыпучих материалов на складах // Уголь. 2026;(3):119-125. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-3-119-125.

### СЫРОПЯТОВ А.А.

Младший научный сотрудник  
ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук»,  
111020, г. Москва, Россия,  
аспирант ФГАОУ «Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики»,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: asyropyatov@hse.ru

### НЕФЕДОВ С.И.

Заведующий лабораторией  
ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук»,  
111020, г. Москва, Россия,  
доктор тех. наук, профессор  
ФГАОУ «Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики»,  
10100, г. Москва, Россия,  
e-mail: s511n46@yandex.ru

**ТОРОПОВ И.С.**

Менеджер продукта  
Дирекции по продуктам  
ООО «Парма-Телеком»,  
Группа компаний ИПС,  
614015, г. Пермь, Россия,  
e-mail: itoropov@itps-russia.ru

**Abstract**

Accurate accounting of mineable mineral resources within a deposit is one of the main tasks of a mining company's surveying department. Geodetic methods such as tacheometric surveying using optical-electronic measuring instruments, GNSS equipment, as well as laser scanning and photogrammetry are widely used to determine the volume of bulk materials. Among these, the most productive and technologically advanced solutions are the laser scanning and photogrammetry methods, which make it possible to obtain an excessive number of measurements, describing the surveyed object with maximum accuracy and, as a result, mathematically describing the surface of the banked material most accurately for further calculation of its volume. However, some of these high-performance methods have not yet been included in the State Register of Measuring Instruments of the Russian Federation and cannot be used in surveying documentation in accordance with the rules "On Licensing of Surveying Operations" [1].

**Keywords**

Mine surveying, photogrammetry, laser scanning, point cloud, measuring instrument, volume accounting.

**For citation**

Syropyatov A.A., Nefedov S.I., Toropov I.S. Perspective of developing a new metrologically valid method for measurement the volumes of bulk materials in stockpiles. *Ugol'*. 2026;(3):119-125. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-3-119-125

**ВВЕДЕНИЕ И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ**

При разработке месторождений полезных ископаемых одним из важнейших основных требований по рациональному использованию и охране недр является достоверный учет извлекаемых и оставляемых в недрах запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов. На горнопромышленных предприятиях выполнение такого рода работ возлагается на специализированные маркшейдерские службы, деятельность которых направлена на обеспечение рационального освоения минеральных ресурсов и соблюдение требований по их охране.

На этапах проектирования, строительства, эксплуатации, ликвидации и рекультивации горного предприятия необходим контроль всех процессов, протекающих на таком предприятии [2], в том числе производства маркшейдерских работ и, в частности, маркшейдерских съемок.

Под маркшейдерской съемкой понимают совокупность геометрических измерений и вычислений, необходимых в том числе для аналитического решения различных геометрических и горнотехнических задач [3].

В настоящее время на горнопромышленных предприятиях для определения объемов складироваемых материалов маркшейдерские службы, как отечественные, так и зарубежные, используют несколько основных методов выполнения съемочных работ.

**1. Метод правильных геометрических тел**

В некоторых случаях при складировании полезных ископаемых формируемые насыпи обладают очертаниями, приближенными к правильным геометрическим фигурам – конусу, клину, обелиску или призматопиду. Если размеры конусообразной насыпи невелики, ее высота может быть определена прямым способом с использованием нивелирной рейки. При более значительных габаритах объекта высотная отметка вычисляется тригонометрическим нивелированием либо косвенно – по углу наклона образующей линии или с опорой на соседние ориентиры местности.

## 2. Методы оперативного учета

Объем складированного сыпучего материала может быть рассчитан по количеству транспортных средств (вагонов, скипов, самосвалов и др.), доставивших материал на площадку, при условии, что известна их вместимость. Также допускается определение объема по данным взвешивания добытого или переработанного полезного ископаемого.

## 3. Тахеометрическая съемка

Современная тахеометрическая съемка основана на определении пространственных координат характерных точек (пикетов), описывающих форму поверхности, с использованием теодолитов, электронных тахеометров или GNSS-приемников. Метод предусматривает последовательное измерение контуров и ключевых элементов насыпи [4], что позволяет получить детализированное представление о геометрии складированного материала с учетом рельефных неровностей и локальных особенностей площадки. GNSS-измерения могут выполняться исключительно на открытых участках, где обеспечено беспрепятственное прохождение радиосигнала. Для достижения требуемой точности построения модели необходимо наличие съемочного обоснования – сети опорных пунктов или закрепленных на местности маркшейдерских знаков, обеспечивающих пространственную привязку данных в принятой системе координат. Если форма основания склада неоднородна, перед началом складирования рекомендуется выполнить предварительную съемку пустой площадки. Это позволяет впоследствии определить объем материала как разность между поверхностями основания и насыпи. Несмотря на широкое применение, тахеометрическая съемка имеет ряд ограничений, связанных с безопасностью и труднодоступностью объектов, продолжительностью полевых работ и их стоимостью. Кроме того, фиксация ограниченного количества точек не всегда обеспечивает достаточную точность описания сложных форм поверхности.

## 4. Лазерное сканирование

Принцип лазерного сканирования основан на использовании импульсных и фазовых безотражательных методов измерения расстояний, а также метода прямой угловой засечки. Во время работы сканера фиксируются направление распространения лазерного луча и расстояние до каждой точки объекта. Результатом является растровое изображение (скан), в котором каждая точка характеризуется тремя основными параметрами: расстоянием, интенсивностью отраженного сигнала и цветовой составляющей (RGB). Положение точки в растре определяется измеренными углами по вертикали и горизонтали. В большинстве моделей информация о цвете формируется с помощью встроенной неметрической цифровой камеры [5]. Наземное лазерное сканирование (НЛС) можно рассматривать как дальнейшее развитие тахеометрических методов. При этом человеческий фактор сводится к минимуму благодаря автоматическому режиму работы сканера, осуществляющего многократные измерения с круговым обзором до 360°. Для объединения отдельных стоянок сканирования в единую систему координат используется съемочное обоснование – чаще всего настенные марки, хорошо различимые при камеральной обработке.

Помимо наземных систем активно применяются воздушное лазерное сканирование (ВЛС), при котором оборудование размещается на летательных аппаратах, и мобильное лазерное сканирование (МЛС) – с установкой на наземный транспорт. Эти разновидности позволяют значительно повысить производительность съемок и охват площадей при сохранении высокой точности. Также, в последнее время появились еще более новые разновидности лазерного сканирования, при которых система устанавливается на рюкзак [6] или смартфон при пешей съемке [7]. Еще одним новейшим направлением в развитии систем лазерного сканирования стала новая картографическая платформа, получившая название «Технология мониторинга и отчетности о запасах» (Stockpile Monitoring and Reporting Technology (SMART)), которая разработана и интегрирована как экономичное по времени и затратам решение для мониторинга запасов [8].

## 5. Фотограмметрическая съемка

Фотограмметрия – научно-техническая дисциплина, занимающаяся определением геометрических характеристик объектов (форма, размеры, положение в пространстве и т.д.) по их изображениям [9].

Метод определения объема при помощи стереофотограмметрической съемки широко используется на больших открытых площадных складах [10], когда производство тахеометрической съемки или лазерного сканирования на таком складе несет большие временные- и трудозатраты. Стереофотограмметрическая съемка, как правило, выполняется с беспилотных летательных аппаратов, обеспечивая необходимое перекрытие снимков для дальнейшей камеральной обработки и построения плотного облака точек в специализированном ПО. Потенциал и перспектива применения БПЛА в горном деле, в частности на открытых горных работах, постоянно подтверждаются естественным образом, так как данный прибор маркшейдерского обеспечения уже стал настоящим незаменимым инструментом для специалиста. Кроме того, исследования в работе Аранго и Моралеса [11] показывают, что фотограмметрический способ с БПЛА в некоторых случаях по точности превосходит традиционные способы определения объемов.

## ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ЦЕНТРОВ ФОТОГРАФИРОВАНИЯ

Помимо аэрофотосъемки в инженерной практике применяется также наземная стереосъемка (или фототеодолитная съемка), выполнение которой требует наличия наземного съемочного обоснования. При воздушной фотограмметрии координаты центров фотографирования, как правило, определяются с использованием GNSS-позиционирования либо по заранее заложенным опорным точкам (*Ground Control Points*), расположенным на поверхности земли. Ключевым фактором, влияющим на качество получаемых фотограмметрических данных, является точность определения координат центров фотографирования. Из-за движения летательного аппарата и ограниченной точности GNSS-приемников данный параметр нередко становится источником систематических погрешностей. Для повышения точности внешнего ори-

ентирования снимков при аэрофотосъемке обычно используют наземные опорные точки, хорошо различимые на изображениях. Однако процесс их закладки и идентификации связан со значительными материальными, временными и трудовыми затратами, что увеличивает общую стоимость и продолжительность работ.

Одним из эффективных способов устранения проблемы позиционирования является фиксация камер в стационарном положении. Такое решение невозможно при съемке с летательных аппаратов, но может быть реализовано при жестком закреплении фотокамер на складе, особенно в случае закрытых складских помещений, где съемка осуществляется из постоянных точек с известными координатами – если координаты центров фотографирования предварительно определены относительно опорных точек, то дальнейшее позиционирование камер не требуется, поскольку они закреплены стационарно и сохраняют неизменное пространственное положение в течение всего времени эксплуатации склада. Подобная схема организации измерений позволяет полностью исключить проведение полевых наблюдений и значительно упростить процесс получения данных. Оператор при необходимости инициирует фотосъемку через веб-интерфейс системы, после чего программный комплекс автоматически выполняет обработку снимков и вычисляет объем сыпучего материала по результатам пространственного моделирования.

### НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РАБОТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЪЕМОВ

В соответствии с частью третьей статьи 24 Закона Российской Федерации от 21 февраля 1992 г. № 2395-1 «О недрах» [12], пунктом 1 Положения о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору [13], утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 401, а также в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 № 1467 «О лицензировании производства маркшейдерских работ» производство маркшейдерских работ должно выполняться в соответствии с утвержденными «Правилами осуществления маркшейдерской деятельности» от 19 мая 2023 г. [14].

Требования к учету и обоснованию объемов горных разработок при разработке месторождений твердых полезных ископаемых представлены в главе 5 «Правил осуществления маркшейдерской деятельности».

Согласно пункту 2 Правил, все пространственные измерения в рамках выполнения маркшейдерских работ должны осуществляться в соответствии с методиками (методами) измерений с **применением средств измерений, включенных в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.**

В этой связи не все упомянутые выше методы определения объема могут быть использованы для осуществления пространственных измерений, так как часть из них не включена в реестр средств измерений и не является утвержденным типом СИ. К включенным методам и средствам относятся рулетки, спутниковая аппаратура, электронные тахеометры и часть лазерных сканеров пре-

имущественно наземного использования. Методы мобильного и портативного лазерного сканирования, а также фотограмметрический способ не являются средствами измерения и не включены в реестр Росстандарта [15], соответственно, данные методы не могут быть официально использованы для решения задач маркшейдерской службы, имея при этом высокую производительность и точность, существенно сокращая время производства таких работ.

### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА НАСЫПНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Независимо от применяемой технологии процесс определения объема складированных сыпучих материалов включает несколько основных этапов:

- получение данных о поверхности объекта путем съемки характерных точек и линий;
- построение трехмерной модели, максимально приближенной к реальной форме и размерам объекта;
- геометризация и разбиение полученного тела на элементарные объемы для дальнейших расчетов.

Выбор конкретных методов для каждого из перечисленных этапов определяется целью измерений, геометрическими характеристиками объекта (его формой, размерами, положением в пространстве), а также условиями складирования. Поэтому перед началом расчетов необходимо выполнить детальное обследование площадки хранения и провести анализ применимости возможных методик.

### ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА ОБЪЕМА

На итоговую точность вычислений оказывают влияние следующие параметры:

- количество измеренных пикетов и их пространственная точность;
- способ построения и аппроксимации поверхностей;
- наличие предварительно созданной модели основания (поверхности склада до заполнения);
- сложность конфигурации и степень неровности поверхностей насыпи.

### ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ВЫЧИСЛЕНИЮ ОБЪЕМОВ

В практике маркшейдерских работ различают три основных метода расчета объемов [16]:

1. По поперечным сечениям;
2. По горизонтальным сечениям;
3. Метод призм между двумя поверхностями.

Выбор конкретного метода зависит от геометрической формы и степени сложности исследуемого тела. Метод поперечных сечений, традиционно применяемый для относительно простых по форме объектов, основан на вычислении объема между двумя сечениями известной площади. Формулы, используемые при этом подходе, могут различаться в зависимости от характеристик тела, формы его поперечных контуров и шага между сечениями. В простейших случаях используются выражения, аналогичные классическим инженерным формулам вычисления объема усеченных геометрических фигур, тогда как для сложных поверхностей применяются уточненные методы с учетом интерполяции промежуточных площадей:

$$V_i = \frac{d_i}{6} \left( P_1 + 4 \left( \frac{\sqrt{P_1} + \sqrt{P_2}}{2} \right)^2 + P_2 \right) \quad (1)$$

или, в более простых случаях:

$$V_i = d_i \frac{P_1 + P_2}{2}, \quad (2)$$

где  $d_i$  – расстояние между сечениями,  $P_i$  – площадь сечения.

Метод горизонтальных сечений основан на использовании классических контурных линий, расположенных через равные интервалы по высоте. При этом исследуемый объем разделяется на ряд более простых геометрических тел, ограниченных горизонтальными плоскостями, которые соответствуют отметкам этих контурных линий. Расчет объема выполняется по формулам, аналогичным выражениям (1) и (2), где выбор конкретного уравнения определяется геометрической формой рассматриваемого тела. Данный подход удобен при наличии детализированной топографической информации и обеспечивает достаточную точность для объектов регулярной формы.

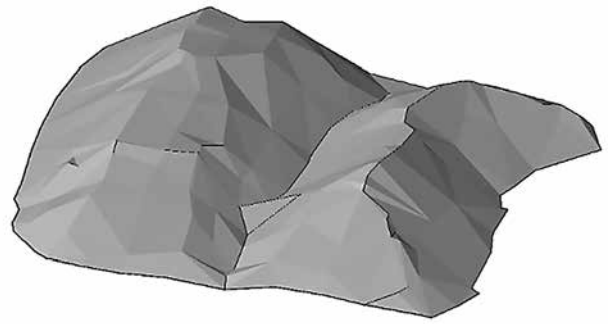
Метод призм между двумя поверхностями предполагает построение двух пространственных моделей, сформированных путем интерполяции трехмерных координатных данных. Одна из них представляет собой действительную поверхность складированного материала (верхняя поверхность), а вторая выполняет роль опорной или исходной (нижняя поверхность). Объем между этими двумя поверхностями определяется как сумма элементарных объемов призм, образованных сеткой взаимосвязанных треугольников или трапеций. Каждая элементарная призма формируется на основании соответствующих треугольных или трапециевидных ячеек сетки, а ее объем вычисляется по формуле (для треугольной призмы):

$$V_i = P_i \frac{\sum_{i=1}^3 H_i}{3}, \quad (3)$$

где  $P$  – основание призмы,  $H_i$  – высота ребра призмы.

### ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА МЕТОДОВ И ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА

Для объектов, имеющих преимущественно линейное развитие (например, дорожные насыпи, транспортные пути или конвейерные галереи), на практике чаще всего применяется метод поперечных сечений. В случае тел, близких по форме к трапеции, допустимо использование как трапециевидного метода, так и классического метода поперечных сечений – выбор подхода определяется конфигурацией исследуемого объекта и требованиями к точности вычислений. Метод, основанный на построении призм между двумя поверхностями, лежит в основе алгоритмов большинства современных программных комплексов, предназначенных для автоматизированного вычисления объемов. Следует отметить, что выбранный способ съемки напрямую влияет на количество фиксируемых точек и точность их пространственного позиционирования. Достоверность получаемой цифровой модели поверхности в реальных условиях определяется



TIN модель насыпи

TIN model of the banked material

именно сочетанием этих двух факторов. Практические исследования показывают, что наибольшая точность и плотность пространственных данных достигаются при использовании лазерных сканеров [17], а также наземных [18] и беспилотных фотограмметрических систем [19]. Эти технологии позволяют формировать детализированные облака точек и получать трехмерные модели, наиболее близкие к реальной геометрии объекта.

### ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА

Среди современных подходов к построению цифровых моделей рельефа (DTM) при реализации метода призм между двумя поверхностями наибольшее распространение получили два направления:

- векторное моделирование (триангулированная нерегулярная сеть – TIN),
- растровое моделирование (цифровая модель рельефа – DEM).

Метод TIN-моделирования считается более гибким и универсальным, поскольку позволяет точно воспроизводить участки с резкими изменениями уклонов и неровностями поверхности, а также корректно описывать ломаные линии. Модель строится непосредственно на основе исходных измеренных точек, каждая из которых становится вершиной треугольной сетки. Исключение составляют случаи, когда выполняются последующее упрощение или интерполяция данных. Благодаря этому достигается высокая точность геометрического описания рельефа (см. рисунок).

### ОСОБЕННОСТИ РАСТРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ БАЗОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В растровых цифровых моделях рельефа (ЦМР), основанных на регулярной сетке, отсутствуют непосредственно измеренные точки, поскольку значения высот в любом случае формируются путем интерполяции. Вследствие этого такие модели менее гибки при отображении участков с резкими изменениями уклонов или сложным рельефом. Точность растровой модели напрямую зависит от размера ячейки сетки: чем меньше шаг дискретизации (в пределах допустимых значений), тем выше репрезентативность модели. Однако следует учитывать, что уменьшение размера ячейки приводит к существенному увеличению объема данных и, как следствие, к росту вычислительной нагрузки и времени обработки. Выбор

параметров сетки должен быть согласован с целями исследования, характеристиками рельефа и требуемым уровнем детализации. Как уже отмечалось, метод призм между двумя поверхностями предполагает построение как верхней, так и нижней поверхностей исследуемого объекта. Верхняя поверхность в большинстве случаев определяется достаточно просто – с использованием фотограмметрических или лазерных методов съемки. Основная сложность заключается в определении нижней (опорной) поверхности, которая редко может быть зафиксирована напрямую. Если информация о ней отсутствует, ее положение оценивается путем интерполяции по значимым точкам, расположенным на прилегающих участках основания. Подобный подход обеспечивает хорошие результаты для относительно ровных площадок, однако при наличии резких перепадов высот или сложных форм рельефа процесс определения базовой поверхности значительно усложняется. Это особенно важно учитывать, поскольку ошибки в определении высотных отметок в основании насыпи оказывают значительно большее влияние на итоговую оценку объема, чем аналогичные погрешности в верхней части модели. Таким образом, точное определение опорной поверхности является ключевым элементом методики и должно быть заложено в проект геодезической съемки на стадии подготовки. Для

объектов с относительно плоскими или слабонаклонными основаниями целесообразно формировать базовую поверхность на основе высокоточной съемки характерных точек окружающего рельефа с последующей интерполяцией данных в формате TIN или растровой ЦМР. Если же используется комплексное обследование с применением лазерного сканирования или фотограмметрии, точки, необходимые для построения опорной поверхности, могут быть определены с помощью GNSS-RTK-измерений. Альтернативно такие точки можно выделить непосредственно в пределах облака точек, полученного в результате общего сканирования территории, прилегающей к месту складирования материала.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ  
НОВЫХ МЕТОДОВ СЪЕМКИ**

В табл. 1 представлены результаты фотограмметрической съемки и расчета при помощи запатентованного программно-аппаратного комплекса (ПАК) [20] в сравнении с традиционными методами, включенными в реестр СИ. Принятый продукт для съемки – минеральные удобрения в гранулах (3-5 мм). Для определения объема традиционными методами съемки использовался AutoCAD Civil 3D 2021, для ПАК – внутренний модуль расчета на основе детерминированного метода интерполяции.

Таблица 1

**Сравнение различных методов определения объема насыпи**

Comparison of different methods to determine the banked material volume

Номер измерения	Дата и время измерения	ПАК, м <sup>3</sup>	Лазерный сканер, м <sup>3</sup>	Δ (ПАК и ЛС), %	Электронный тахеометр, м <sup>3</sup>	Δ (ПАК и ЭТ), %
Измерение № 1	09.02.2023, 11:30	1481	1525	2,9	1498	1,1
Измерение № 2	09.02.2023, 13:00	1486	1529	2,8	1496	0,7
Измерение № 3	09.02.2023, 15:00	1487	1521	2,2	1485	0,1
Измерение № 4	09.02.2023, 17:55	1486	1519	2,2	1491	0,3
Измерение № 5	09.02.2023, 19:00	1483	1530	3,0	1496	0,9
Измерение № 6	14.02.2023, 11:05	1927	–	–	–	–
Измерение № 7	14.02.2023, 13:30	2091	2154	2,9	2135 <sup>3</sup>	2,0
Измерение № 8	14.02.2023, 15:00	2236	2279	1,9	2271	1,5
Измерение № 9	14.02.2023, 16:25	2388	2324	2,7	2394	0,2
Измерение № 10	14.02.2023, 19:10	2514	2572	2,2	2553	1,5

Таблица 2

**Анализ точности портативного лазерного сканирования**

Analysis of portable laser scanning accuracy

Номер измерения	Тип продукта	Leica TS15 + Civil 3D, м <sup>3</sup>	iPhone + Civil 3D, м <sup>3</sup>	Δ (одинаковое ПО), %	iPhone + 3D Scanner, м <sup>3</sup>	Δ (разные методы с разным ПО), %
Измерение № 1	Щебень	381,65	350,35	8,2	353,48	7,4
Измерение № 2	Уголь	31,42	32,88	4,6	31,52	0,3
Измерение № 3	Снег	51,67	54,11	4,7	53,90	4,3
Измерение № 4	Песок	42,75	41,2	3,6	42,05	1,6
Измерение № 5	Песок	6,48	6,24	3,7	6,90	6,5
Измерение № 6	Песок	84,79	79,52	6,2	–	–
Измерение № 7	Снег	10,18	9,99	1,9	10,26	0,8
Измерение № 8	Песок	29,91	30,33	1,4	29,94	0,1
Измерение № 9	Песок	72,65	72,56	0,1	76,72	5,6
Измерение № 10	Песок	39,19	37,12	5,3	39,4	0,5
Измерение № 11	Песок	2,11	2,15	1,9	2,21	4,7

В табл. 2 представлены результаты портативного лазерного сканирования при помощи встроенного датчика Lidar в смартфоне (iPhone 15 Pro) в сравнении с традиционной съемкой электронным тахеометром (Leica TS15). Материал для съемки – песок и щебень. Расчет объема выполнялся в AutoCAD Civil 3D 2021 и во внутреннем приложении смартфона (3D Scanner App).

## ВЫВОДЫ

Анализируя приведенные выше результаты, а также результаты и опыт применения аналогичных систем за рубежом [21], можно с уверенностью сказать, что новые методы фотограмметрии и лазерного сканирования сопоставимы по точности с традиционными способами, а учитывая скорость производства работ, намного их превосходят. В этой связи, использование данных методов в горной промышленности целесообразно, однако вопрос регистрации таких методов все еще остается открытым.

## Список литературы • References

1. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 № 1467 «О лицензировании производства маркшейдерских работ».
2. Ямщиков В.С. Контроль процессов горного производства: Учеб. для горн. спец. М.: Недра, 1989. 445.
3. Маркшейдерское дело. Учебник для вузов по специальности «Маркшейдерское дело». Под общ. ред. проф., доктора техн. наук Д.Н. Оглоблина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1972. 584 с.
4. Сальников В.Г., Басаргин А.А., Астапов А.М. Анализ способов подсчета объемов штабеля сыпучих материалов. Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо Гео-Сибирь». Новосибирск: СГУГиТ, 2019.
5. Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. Новосибирск: СГГА, 2009. 261 с.
6. Schonberger J.L., Frahm J.M. Structure-from-Motion Revisited. In Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2016, Las Vegas, NV, USA, 27-30 June 2016.
7. Сыропятов А.А. Анализ точности портативных лидарных съемок сыпучих материалов. В кн.: Сборник трудов 6 Конференции международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр». М.: ИПКОН РАН, 2024. С. 366-369.
8. Manish R., Hasheminasab S.M., Liu J., Koshan Y., Mahlberg J.A., Lin Y.-C., Ravi R., Zhou T., McGuffey J., Wells T. et al. Image-Aided LiDAR Mapping Platform and Data Processing Strategy for Stockpile Volume Estimation. *Remote Sens.* 2022;(14):231.
9. Чебуничев А.Г. Фотограмметрия: учебник для вузов. М.: МИИГАиК, 2022. 328 с.
10. Комиссаров А.В., Аврунев Е.И., Ямбаев Х.К. Сравнение точности определения объемов сыпучих материалов по данным съемки с беспилотных летательных аппаратов и геодезическим измерениям // Вестник СГУГиТ, том 24, номер 4, стр. 70-77, 2019. Komissarov A.V., Avrunev E.I., Yambaev Kh.K. Comparison of accuracy determination of bulk material pile volumes based on pictures from unmanned aircraft and geo-design measurements. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tehnologij.* 2019;24(4)70-77. (In Russ.).
11. Arango C., Morales C.A. Comparison between Multicopter UAV and Total Station for Estimating Stockpile Volumes. *ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2015;(40):131-135.
12. Закон Российской Федерации от 21.02.1992 N 2395-1 «О недрах», в редакции от 29.12.2022.
13. Постановление Правительства РФ от 30.07.2004 № 401 (ред. от 31.10.2023) «О Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024).
14. Приказ Ростехнадзора от 19.05.2023 № 186 «Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности» (зарегистрировано в Минюсте России 31.05.2023 № 73638).
15. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «Об обеспечении единства измерений».
16. Labant S., Staňková H., Weiss R. Geodetic determining of stockpile volume of mineral excavated in open pit mine. *GeoSci. Eng.* 2013;(LIX):30-40.
17. Zhu J., Yang J., Fan J., Ai D., Jang Y., Song H., Wang Y. Accurate measurement of granary stockpile volume based on fast registration of multi-station scans. *Remote Sens. Lett.* 2018;(9-6):569-577.
18. Yakar M., Yilmaz H.M., Mutluoglu O. Performance of Photogrammetric and Terrestrial Laser Scanning Methods in Volume Computing of Excavation and Filling Areas. *Arab. J. Sci. Eng.* 2014;(39):387.
19. Park H.J., Turner R., Rak Lee D., One Lee J. 3D modelling of coal stockpiles using UAV data in an open cut mine environment. In Proceedings of the 16th International Congress for Mine Surveying ISM 2016, Brisbane, Australia, 12-16 September 2016; Jarosz A., Ed.; Ellipsis Media: Toowoomba, Australia, 2016, pp. 77-79.
20. Фотограмметрический способ определения объема насыпи в закрытых складах. Патент RU 2 788 855 С2.
21. Mahlberg J.A., Malackowski H., Joseph M., Koshan Y., Manish R., DeLoach Z., Habib A., Bullock D.M. Statewide Implementation of Salt Stockpile Inventory Using LiDAR Measurements: Case Study. *Remote Sens.* 2024;(16):410.

## Authors Information

**Syropyatov A.A.** – Junior Researcher, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences, Moscow, 111020, Russian Federation, Postgraduate student, Higher School of Economics National Research University, Moscow, 111000, Russian Federation, e-mail: asyropyatov@hse.ru

**Nefedov S.I.** – Head of the Laboratory, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences, Moscow, 111020, Russian Federation, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Higher School of Economics National Research University, Moscow, 111000, Russian Federation, e-mail: s511n46@yandex.ru

**Toropov I.S.** – Product Manager, Product Directorate, Parma-Telecom LLC, ITPS Group, Perm, 614015, Russian Federation, e-mail: itoropov@itps-russia.ru

## Информация о статье

Поступила в редакцию: 25.09.2025

Поступила после рецензирования: 17.02.2026

Принята к публикации: 27.02.2026

## Paper info

Received September 25, 2025

Reviewed February 17, 2026

Accepted February 27, 2026