ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ
УДК 528.88:622.1
https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-22-29

ORIGINAL ARTICLE
UDC 528.88:622.1

Технологии лазерного сканирования в комплексе маркшейдерского обеспечения открытых горных работ на золоторудном месторождении

К. Ю. Москаленко✉
Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», г. Кемерово, Российская Федерация
✉ *moskalenkoky@gmail.com*

Резюме. Приведены результаты исследований основных параметров добычи и применяемых систем разработки на золоторудном месторождении «К». Установлены горнотехнические условия, рельеф и геологическое строение участка, а также технология ведения открытых горных работ в суровых климатических условиях. Описана методика съемки фактического положения горных выработок с использованием различных систем лазерного сканирования: наземного (RIEGL VZ-4000), воздушного (DJI Matrice 350 RTK) и мобильного (GoSLAM). В соответствии с технологическим циклом описаны методы маркшейдерского обеспечения буровзрывных работ, включая высокоточное GNSS-позиционирование буровых станков и регламенты действий маркшейдерской службы при технических сбоях навигационных систем. Рассмотрена технология контроля параметров развала горной массы с использованием датчиков смещения и лазерных сканирующих систем. Результаты исследований могут быть использованы при выборе и дальнейшем внедрении систем лазерного сканирования в технологический цикл на открытых горных работах в целях повышения точности маркшейдерского учета добычи, а также минимизации потерь полезного ископаемого на месторождениях со сложной морфологией рудных тел.

Ключевые слова: золоторудное месторождение, маркшейдерское обеспечение, лазерное сканирование, БПЛА, буровзрывные работы, ГНСС-мониторинг, открытые горные работы, КузГТУ

Благодарность: Автор выражает благодарность руководству месторождения «К» и кафедре маркшейдерского дела и геологии (МДиГ) КузГТУ за помощь в организации и проведении исследований.

Для цитирования: Москаленко К.Ю. Технологии лазерного сканирования в комплексе маркшейдерского обеспечения открытых горных работ на золоторудном месторождении. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (5): 22-29. https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-22-29.

Laser scanning technologies in the complex of mine surveying support for open-pit mining at a gold deposit

K. Yu. Moskalenko✉
T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation
✉ *moskalenkoky@gmail.com*

Abstract. The article presents the results of research describing the main production parameters and mining systems applied at the "K" gold deposit. The mining and technical conditions, topography, and geological structure of the site are established, along with the technology for open-pit mining in harsh climatic conditions. The methodology for surveying the actual position of mine workings using various laser scanning systems - terrestrial (RIEGL VZ-4000), aerial (DJI Matrice 350 RTK) and mobile (GoSLAM) - is described. In accordance with the technological cycle, methods for mine surveying support of drilling and blasting operations are detailed, including high-precision GNSS positioning of drilling rigs and the surveying department's protocols for technical failures of navigation systems. The technology for monitoring muck pile parameters using displacement sensors and laser scanning systems is considered. The research results can be applied to the selection and further implementation of laser scanning systems into the operational cycle of open-pit mining to improve the accuracy of mine survey production accounting, as well as to minimize mineral losses in deposits with complex ore body morphology.

© Москаленко К. Ю., 2026

Keywords: gold deposit, mine surveying support, laser scanning, UAV, drilling and blasting operations, GNSS monitoring, open-pit mining, KuzSTU

Acknowledgments: The author expresses gratitude to the management of the "K" deposit and the Department of Mine Surveying and Geology at KuzSTU for their assistance in organizing and conducting the research.

For citation: Moskalenko K.Yu. Laser scanning technologies in the complex of mine surveying support for open-pit mining at a gold deposit. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (5): 22-29. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-5-22-29.

Введение

Золоторудное месторождение «К» было открыто в 1967 году в ходе проведения геолого-разведочных работ. Изучение с поверхности и на глубину выявленного золоторудного ореола проводилось в 1973–1976 годах. В результате поисковых работ выше ручья «К» было оконтурено три рудных тела. Геологоразведочные работы на месторождении были возобновлены в 2000 году, в результате которых выявлена мощная жильно-прожилковая зона с золоторудной минерализацией протяженностью более 3 км, разделенная на две рудные зоны по условиям залегания. По результатам оценочно-разведочных работ 2000–2004 годов месторождение «К» признано разведанным и подготовленным к отработке. Месторождение разрабатывается с 2008 года и по настоящее время.

Объект исследований

Месторождение «К» находится в районе, относящемся к малообжитым северным территориям. Основная часть населения занята в горной промышленности. Район месторождения относится к горно-таежной зоне с типичным среднегорным рельефом местности. Абсолютные отметки вершин находятся в пределах 800–1100 м. Относительные превышения водоразделов над днищами долин составляют 100–200 м, достигая 300 м. Склоны долин чаще пологие (до 20°), реже крутые (до 25–30°). Местность сильно задернована, нередко заболочена.

Климат района резко континентальный с суровой продолжительной холодной зимой и коротким жарким летом. Минимальные зимние температуры достигают -61 °С, максимальные летние – +34 °С (июль). Среднегодовая температура составляет -5 °С. Количество дней со среднесуточной отрицательной температурой воздуха – 209. Снеговой покров появляется в конце сентября и полностью исчезает в середине июня. Мощность снежного покрова достигает местами 3,5 м, в среднем около 1,2 м. Глубина промерзания нарушенных горных пород: крупнообломочных – 3,3 м; глинистых – 2,8 м.

В рудовмещающей минерализованной зоне выделяются следующие основные разновидности динамометаморфических пород:

1) катаклазированные и милонитизированные пятнистые сланцы;

2) мусковитовые динамосланцы (кристаллические сланцы зон смятия) – обычно являются рудоносными породами;

3) тонкополосчатые бластомилониты – являются основным видом рудоносных образований.

Основными факторами, контролирующими размещение и морфологию рудных зон и тел, являются литологические и структурные. Генеральный дизъюнктив имеет криволинейную траекторию. Оруденение месторождения «К» относится к геолого-промышленному типу крупных минерализованных зон и принадлежит к группе плутоногенных месторождений золотокварцевой рудной формации миогеосинклиналей. По минеральному составу минеральное сырье месторождения относится к золото-арсенидо-малосульфидному типу. Основными породообразующими минералами являются кварц, мусковит, серицит и биотит.

Золоторудное месторождение «К» в соответствии с «Классификацией запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» по сложности геологического строения относится ко 2-й группе, а по степени изученности – к разведанным.

Цель исследований: внедрение высокоточного GNSS-позиционирования буровых станков для использования системы воздушного и мобильного лазерного сканирования в комплексе маркшейдерского обеспечения открытых горных работ на золоторудном месторождении.

Методика исследований

Золоторудное месторождение «К» представлено двумя рудными телами, каждое из которых разрабатывается отдельными участками. Месторождение «К» является крутонаклонным и распространяется на большую глубину, расположено в местности с большим перепадом отметок. Карьерное поле вскрывается внешними и внутренними капитальными траншеями по комбинированной схеме с целью сосредоточения грузопотоков породы и полезного ископаемого по направлениям. Применяется как спиральная форма наклонных транспортных берм, так и петлевая форма трассы в местах примыкания участков транспортных берм. Подготовка горизонтов осуществляется котлованами. После подготовки горизонта он отрабатывается полностью до границ промежуточного или конечного контура карьера.

Для карьера «К» определено применение углубочной кольцевой центральной системы разработки с использованием автомобильного транспорта и размещением пустых пород во внешние отвалы. Высота уступов на вскрышных работах составляет 10–15 м, на очистных работах – 5–15 м в зависимости от горно-геологических условий. Углы откосов уступов приняты дифференцированно с учетом физико-механических свойств, гидрогеологии и тектонических условий залегания пород в массиве. Ограниченное пространство рабочей зоны в случае разноса временно нерабочего борта позволяет иметь в работе в среднем не более 3–4 уступов. При этом залегание рудного тела характеризуется постоянным сокращением фронта горных работ с увеличением глубины карьера. В таких условиях весьма важное значение приобретают вопросы правильного выбора направления расконсервации временных бортов, четкой организации и планирования работ.

В карьере «К» в зависимости от крепости, трещиноватости и прочих параметров все горные породы распределены на категории по взрываемости. Для взрывания скважин в условиях карьера «К» применяются эмульсионные взрывчатые

вещества. Для досыпки (в случае частичного ухода эмульсионных ВВ на участках повышенной трещиноватости) используются штатный гранулотол и граммонит.

Выбор ВВ осуществляется исходя из физико-механических свойств горных пород взрываемого массива, безопасности применения, степени обводненности скважин, а также длительности заряжания. В качестве бурового оборудования были приняты буровые станки СБШ-250, СБШ-215, DML. В качестве выемочно-погрузочного оборудования – экскаваторы ЭКГ-18, WK-20, WK-35. В качестве транспортного оборудования – автосамосвалы фирмы Caterpillar: CAT-785 и CAT-793, 830-E. На отвалообразовании – бульдозеры Komatsu: D-475A, D-375A, WD-600; Shantui: SD90-C5, SD60-C5.

Основной объем вскрышных пород размещают во внешнем отвале в шесть ярусов высотой по 30 м. Обязательным условием, обеспечивающим устойчивость многоярусного отвала, является распределение по высоте и порядок складирования вскрышных пород в зависимости от физико-механических свойств, складируемых в отвал. Основание отвала имеет уклон 5–7° по ходу отсыпки.

Работы ведутся согласно паспорту отсыпки с поддержанием на разгрузочной площадке постоянного уклона (контруклона) не менее 3°, направленного в центр отвала. Автосамосвалы разгружаются в местах, предусмотренных паспортом, за призмой возможного обрушения. Вне призмы возможного обрушения по всей протяженности бровки отвала отсыпается предохранительный вал высотой не менее половины диаметра колеса наиболее крупного автосамосвала, ограничивающий движение горнотранспортной техники.

Результаты исследований

Топографо-геодезические исследования

На территории карьера «К» существуют следующие геодезические сети:

– пункты ГГС 2–3-го классов, созданные предприятиями Роскартографии;

– постоянно действующая базовая станция, созданная маркшейдерской службой.

Фактическое состояние топографо-геодезической изученности позволяет обеспечить выполнение маркшейдерских работ на перспективу с условием проведения периодического мониторинга состояния пунктов топографо-геодезической сети.

Для определения съемочных точек, а также разбивки рельефа, ситуации и строящихся объектов на карьере «К» была определена базовая точка БАЗА01. Конструкция точки выполнена в виде металлического тура, опирающегося на несущую строительную колонну 5-этажного здания административно-бытового корпуса. Фундаменты здания имеют заглубление 4,5 м и опираются на несжимаемое скальное основание, эксплуатация здания на момент определения координат точки БАЗА01 составляет более 20 лет. Расположение антенны, закрепленной на туре, удовлетворяет требованиям по беспрепятственному и помехоустойчивому прохождению радиосигналов. Базовая точка БАЗА01 является основой для определения координат на всей территории месторождения «К».

Геодезические работы выполнялись двухсистемными спутниковыми приемниками Trimble R7 (антенна которого постоянно закреплялась на туре точки БАЗА01) и приемником Trimble R8, который поочередно устанавливался на пункты ГГС. Наблюдения выполнялись в режиме FastStatic с периодом наблюдений не менее 4 ч. Обработка полевых измерений производилась в программном обеспечении Trimble Business Center.

За основной масштаб съемки принят 1:1000 с сечением рельефа 1 м. Исходными пунктами являлись доступные пункты государственной геодезической сети (ГГС), располагавшиеся по периметру промышленных площадок карьера «К». Производство маркшейдерских работ на территории карьера «К» и ведение маркшейдерской графической документации осуществляются при использовании единой местной системы координат, имеющей ключи (параметры) перехода к геодезической системе координат 2011 года. Места установки пунктов опорной маркшейдерской сети должны быть легкодоступны, хорошо опознаваться на местности и обеспечивать долговременную сохранность центров и знаков. Пункты на местности должны выбираться с учетом возможности использования их в качестве точек съемочной сети (рис. 1). Допускается в качестве пунктов опорной маркшейдерской сети использование местных предметов ситуации (сваи, опоры ЛЭП и т. д.).

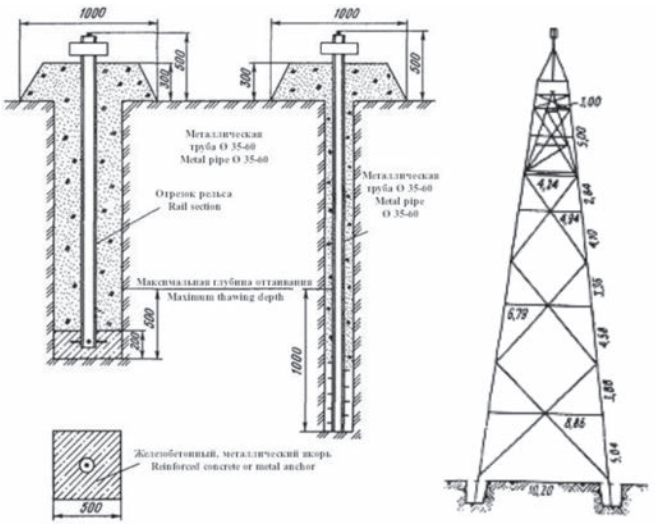


Рис. 1. **Типы знаков для закрепления пунктов опорной маркшейдерской сети на территории карьера «К» /**
Fig. 1. **Types of monuments for securing mine survey control network stations within the "K" open-pit min**

Пункты съемочных сетей закрепляются на местности знаками, обеспечивающими долговременную сохранность пунктов, и временными знаками с расчетом на сохранность точек на время съемочных работ. Во всех случаях знаки долговременного типа устанавливаются в местах, обеспечивающих их сохранность, технику безопасности и удобство использования при маркшейдерской съемке, изысканиях и строительстве, а также последующей эксплуатации. Временными знаками могут служить железные трубы (уголковая сталь), забитые в грунт на 0,5–1,0 м, с установленными рядом сторожками. Знаки планового обоснования маркируются порядковыми номерами с расчетом, чтобы на объекте не было дублирования. При включении в ход (сеть) знаков ранее произведенных съемок не разрешается менять ранее присвоенные им номера. На постоянных и временных знаках масляной краской пишут сокращенное название организации, проводящей работу, номер закрепленного пункта (точки) и год установки зна-

ка. Столбы и сторожки устанавливаются надписью к реперу или центру.

Организация и технология маркшейдерских работ на объектах открытых горных работ

Съемка фактического положения горных выработок

Основной задачей маркшейдерской службы является оперативная актуализация планов горных работ. Съемка бортов карьера, рабочих площадок и транспортных берм выполняется комбинированным методом с приоритетным использованием технологий лазерного сканирования, что позволяет повысить точность измерений и сократить время полевых работ в 10–20 раз по сравнению с тахеометрией [1–2].

Наземное лазерное сканирование (НЛС) используется избирательно для детальной съемки труднодоступных участков или зон с высоким риском обрушения [3].

Применяется сканер RIEGL VZ-4000 (рис. 2). Он работает на импульсном методе (ToF), что эффективно для больших дистанций (до 4 км) и глубоких карьеров с высотой бортов более 300 м. Для исключения мертвых зон за перегибами рельефа съемка ведется с нескольких позиций с перекрытием не менее 20–30 % [4–7].



Рис. 2. **Наземный лазерный сканер RIEGL VZ-4000 /**
Fig. 2. **RIEGL VZ-4000 terrestrial laser scanner**

Обработка результатов измерений производится в программе RiSCAN PRO (рис. 3). В данной программе осуществляется управление сканером, создание первичного облака точек и преобразование координат из WGS-84 в местную систему координат.

Воздушное лазерное сканирование (ВЛС) – основной метод оперативного получения данных о геометрии всего карьерного пространства. Несмотря на высокую производительность, применение ВЛС ограничено метеоусловиями (отсутствие сильного ветра, осадков и облачности), что делает невозможным его использование в «нелетную» погоду [8–9].

Используется беспилотный летательный аппарат DJI Matrice 350 RTK (рис. 4). Лидар регистрирует до 5–7 отражений на один импульс, что позволяет «прошивать» растительность и строить точные модели рельефа (DTM). Охват территории за один вылет составляет 150–500 га [10].

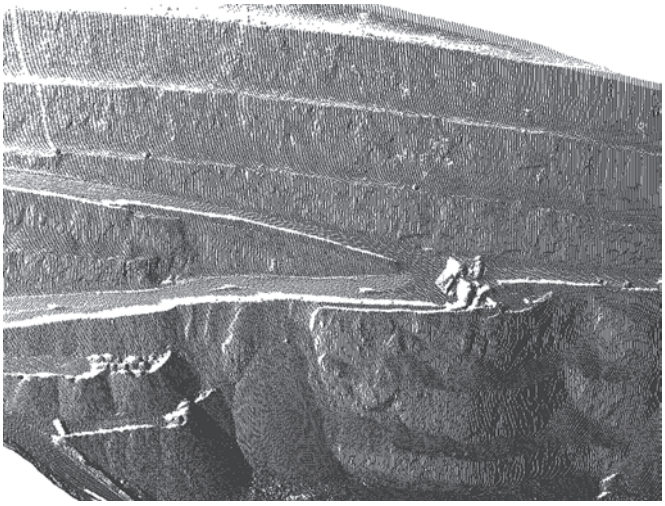


Рис. 3. **Визуализация облака точек, полученного с помощью системы наземного лазерного сканирования RIEGL VZ-4000 /**
Fig. 3. **Visualization of the point cloud acquired with the RIEGL VZ-4000 terrestrial laser scanning system**



Рис. 4. **Беспилотный летательный аппарат DJI MATRICE 350 RTK /**
Fig. 4. **DJI MATRICE 350 RTK unmanned aerial vehicle**

Обработка результатов измерений производится в программном обеспечении DJI Terra (рис. 5). Программа позволяет формировать облако точек с заданным параметром прореживания, создавать высокодетальные ортофотопланы и каркасные модели по облаку точек. Программное обеспечение отличается качественной визуализацией и позволяет оперативно определять отметку подошвы экскаваторов, а также фактический уклон съездов.

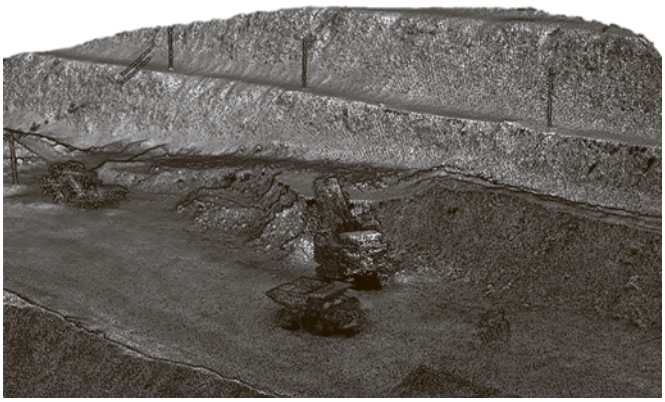


Рис. 5. **Визуализация облака точек, полученного с помощью системы воздушного лазерного сканирования DJI MATRICE 350 RTK /**
Fig. 5. **Visualization of the point cloud acquired with the DJI MATRICE 350 RTK airborne laser scanning system**

Мобильное лазерное сканирование (МЛС) выступает в качестве альтернативы ВЛС при неблагоприятных погодных условиях. Применение МЛС для съемки фактического положения горных выработок характеризуется высокой производительностью и снижением трудоемкости полевых работ по сравнению с наземным лазерным сканированием (НЛС). Благодаря исключению этапов развертывания системы на станциях и возможности непрерывного сбора данных в движении метод МЛС позволяет существенно сократить временные затраты на проведение съемки [11–13].

Применяется система GoSLAM RS100S (рис. 6) на базе технологии SLAM и алгоритмов графовой оптимизации (Pose Graph Optimization), что позволяет исключить искажения траектории при обнаружении «петли». Плотность данных достигает 993 точки/м² при уровне шума 0,029 м. Это обеспечивает 100-процентный охват объекта в зоне прямой видимости без остановки движения.



Рис. 6. **Мобильный лазерный сканер GoSLAM RS100S /**
Fig. 6. **GoSLAM RS100S mobile laser scanner**

Для обработки результатов измерений используется программное обеспечение GoSlam LidarWorks (рис. 7). В программу загружается первичное облако точек, сформированное сканером, после чего производится обработка облака: фильтрация (удаление шумов), прореживание облака точек и преобразование координат.

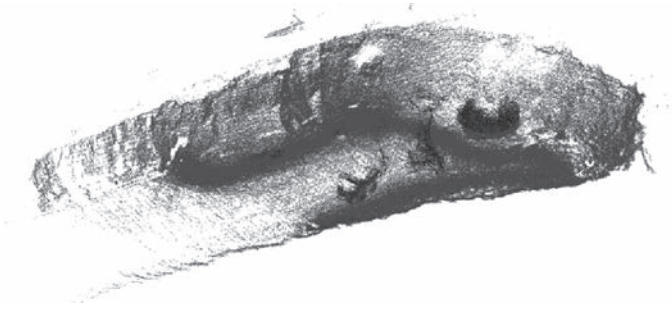


Рис. 7. **Визуализация облака точек, полученного с помощью системы мобильного лазерного сканирования GoSLAM RS100S /**
Fig. 7. **Visualization of the point cloud acquired with the GoSLAM RS100S mobile laser scanning system**

GNSS-приемники применяются для оперативного контроля высотных отметок капитальных и временных съездов, подошвы экскаваторных забоев и бровок уступов в режиме реального времени, а также выноса в натуру проектных контуров.

Используются многочастотные GNSS-приемники Trimble R12i. Модель оснащена технологией Trimble TIP на базе инерциальной системы (IMU), которая позволяет выполнять измерения с наклоненной вехой. Маркшейдер может производить съемку, не устанавливая веху строго вертикально, что повышает безопасность и скорость работ.

Управление процессом осуществляется через программное обеспечение Trimble Access, которое в режиме реального времени визуализирует результаты съемки на контроллере и позволяет маркшейдеру оперативно решать геодезические задачи непосредственно в поле. Функционал ПО обеспечивает высокоточный вынос проектных точек и контуров в натуру с непрерывным мониторингом среднеквадратической погрешности (СКО) в режиме RTK.

Маркшейдерское обеспечение отвалообразования и контроля динамики запасов на складах

Маркшейдерский контроль охватывает не только выемочно-погрузочные работы, но и процессы отвалообразования. Съемка фактического положения внешних отвалов и рудных складов позволяет точно рассчитывать объемы размещенных вскрышных пород и текущие запасы полезного ископаемого.

Отвалы вскрышных пород

В рамках маркшейдерского обеспечения отвальных работ первоочередное внимание уделяется параметрам, определяющим устойчивость и безопасность массивов.

Мониторинг включает фиксацию следующих показателей:

– высоту предохранительных валов, высоту отвальных ярусов и общую высоту отвала;

– фактических углов откосов, соблюдения проектных контруклонов и параметров берм;

– темпов продвижения фронта работ.

Использование систем мобильного (МЛС) и воздушного (ВЛС) лазерного сканирования позволяет оперативно выявлять отклонения от проектных контуров.

Склады полезного ископаемого

Съемка фактического положения складов полезного ископаемого производится после завершения формирования штабеля и перед началом отгрузки на ЗИФ. Если обнаружены изменения в форме или объеме склада во время погрузочно-разгрузочных работ, производится внеплановая съемка для обновления горно-графической документации.

Для определения объема полезного ископаемого на складах маркшейдерская служба преимущественно использует системы мобильного и воздушного лазерного сканирования, они позволяют зафиксировать мелкие детали рельефа штабеля. Наземное лазерное сканирование не используется для данного вида работ, поскольку требует больших временных затрат на съемку с разных точек стояния.

Подсчет объемов производят, используя метод вертикальных сечений в программном обеспечении K-mine.

Маркшейдерское сопровождение буровзрывных работ

На месторождении «К» особое внимание уделяется буровзрывным работам, поскольку этот этап оказывает непо-

средственное влияние на качество дробления горной массы. На предприятии применяется высокоточное позиционирование буровых станков, они самостоятельно ориентируются на буровзрывном блоке при помощи GNSS-приемников, установленных на борту, обеспечивая точность позиционирования до 8 мм в плане.

Несмотря на автоматизацию процессов позиционирования, сохраняются внештатные ситуации, требующие непосредственного участия маркшейдеров. При возникновении таких ситуаций маркшейдеры производят инструментальный вынос устьев скважин при помощи GNSS-приемников. Это необходимо для соблюдения параметров сетки БВР, установленных в паспорте на бурение.

После завершения бурения маркшейдеры фиксируют фактическое положение устьев скважин для подготовки исполнительной съемки обуренного блока. Эти данные требуются для проверки параметров бурения на соответствие паспорту БВР.

Также в обязанности маркшейдерского отдела входит съемка развала горной массы:

1. В соответствии с проектом в специально пробуренные скважины закладываются датчики смещений. Маркшейдеры инструментально фиксируют координаты устьев скважин, а также глубину закладки датчиков.

2. Перед взрывом проводится лазерное сканирование подготовленного блока для формирования цифровой модели поверхности (рис. 8).

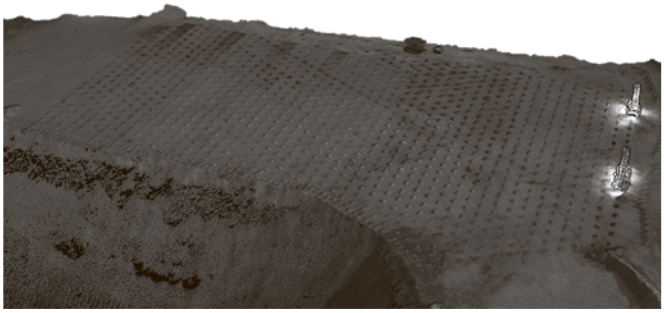


Рис. 8. **Визуализация облака точек подготовленного блока /**
Fig. 8. **Visualization of the point cloud of the prepared block**

3. После взрыва проводится повторная съемка поверхности сформировавшегося развала горной массы (рис. 9).

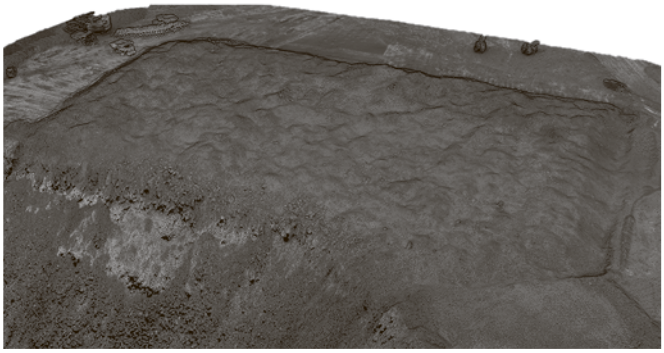


Рис. 9. **Визуализация облака точек сформировавшегося развала горной массы после взрыва /**
Fig. 9. **Visualization of the point cloud of the blasted rock muckpile**

4. Маркшейдеры производят поиск датчиков смещений при помощи специального прибора. Прибор определяет плановое положение и глубину залегания датчика под слоем взорванной горной массы.

Точная информация по перемещению рудных контуров после взрыва позволяет осуществлять контроль за содержанием полезного компонента в горной породе с целью извлечения всего запланированного объема полезных компонентов [14–15].

Заключение

1. Опыт эксплуатации показал, что системы воздушного и мобильного лазерного сканирования используются гораздо чаще наземного, поскольку точки стояния не всегда позволяют обеспечить прямую видимость на весь участок работ. Однако воздушное лазерное сканирование является наиболее эффективным методом, поскольку исключает присутствие персонала в рабочей зоне и требует минимальных временных затрат. В условиях сурового климата мобильное лазерное сканирование становится незаменимым при сильном ветре и большом количестве осадков. При этом наземное лазерное сканирование применяется для съемки больших по площади территорий при условии обеспечения прямой видимости на объект. Поэтому выбор системы лазерного сканирования должен быть гибким и зависеть от конкретных условий и задач.

2. Внедрение высокоточного GNSS-позиционирования буровых станков позволило уменьшить влияние человеческого фактора при выносе проектных скважин, обеспечив плановую точность наведения до 8 мм. Наличие алгоритмов взаимодействия маркшейдерской службы в случае сбоев высокоточного позиционирования является важным фактором для ведения горных работ без простоев.

3. Использование систем лазерного сканирования для съемки рудных штабелей и отвалов обеспечивает детализированный учет микрорельефа поверхностей. Это, в свою очередь, повышает достоверность контроля запасов руды и объемов вскрыши. В результате удалось добиться высокой точности подсчета объемов за счет сравнительного анализа цифровых моделей поверхностей.

4. Применение лазерного сканирования в комплексе с датчиками смещения повышает точность отработки золоторудных зон. Данные о перемещении рудных контуров после взрыва позволяют минимизировать потери полезного ископаемого. Внедрение подобных алгоритмов контроля является важным для месторождений со сложной морфологией рудных тел, поскольку это влияет на достоверность оперативного учета добычи.

Выводы

1. В статье приведены результаты исследований основных параметров добычи и применяемых систем разработки на золоторудном месторождении «К» в суровых климатических условиях. Описана методика комплексного применения наземных (RIEGL VZ-4000), воздушных (DJI Matrice 350 RTK) и мобильных (GoSLAM) лазерных сканирующих систем в зависимости от конкретных условий и задач. Обоснован выбор программного обеспечения (RiSCAN PRO, DJI Terra, GoSlam LidarWorks) для обработки результатов измерений каждого типа сканирующих систем. Описаны этапы создания первичных облаков точек, их дальнейшей фильтрации и преобразования координат в единую местную систему координат. Такой подход позволил интегрировать данные с

различных типов лазерных сканирующих систем для пополнения горно-графической документации и построения цифровых моделей поверхности (ЦМП).

2. Результаты исследований могут быть использованы при выборе и дальнейшем внедрении систем лазерного сканирования в технологический цикл на открытых горных работах в целях повышения точности маркшейдерского учета добычи, а также минимизации потерь полезного ископаемого на месторождениях со сложной морфологией рудных тел.

3. Перспективы дальнейших исследований связаны с проведением сравнительного анализа точности и плотности облаков точек, полученных с различных типов систем лазерного сканирования с целью оценки погрешности построения цифровой модели поверхности (ЦМП). Это позволит разработать единую методику комплексного маркшейдерского обеспечения открытых горных работ, объединяющую возможности наземного, воздушного и мобильного лазерного сканирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Правдина Е.А. Применение лазерно-сканирующих технологий при маркшейдерском обеспечении горных работ на карьерах. *Записки Горного института.* 2007; 173: 68-70.
   Pravdina E.A. Application of laser scanning technologies in mine surveying support of open-pit mining operations. *Journal of Mining Institute*. 2007; 173: 68-70. (In Russ.).
2. Охотин А.Л. Применение лазерного сканирования в маркшейдерии. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2009; 1 (1): 270-278.
   Okhotin A.L. Application of laser scanning in mine surveying. *Interexpo Geo-Siberia.* 2009; 1 (1): 270-278. (In Russ.).
3. Кучинская Г., Ставская М. Применение наземного лазерного сканирования в современных условиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021; 1: 160-169. https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-1-0-160-169.
   Kuchinskaya G., Stavskaya M. Application of terrestrial laser scanning in modern conditions. *Mining Informational and Analytical Bulletin.* 2021; (1): 160-169 (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-1-0-160-169.
4. Комиссаров А.В. Обоснование направлений использования данных цифровой съемки при наземном лазерном сканировании. *Вестник СГУГиТ*. 2016; 1 (33): 95-100.
   Komissarov A.V. Substantiation of directions for using digital imaging data in terrestrial laser scanning. *Vestnik SSUGT.* 2016; 1 (33): 95-100. (In Russ.).
5. Алтынцев М.А., Карпик П.А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного лазерного сканирования. *Вестник СГУГиТ*. 2020; 25 (2): 121-139. https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-2-121-139.
   Altyntsev M.A., Karpik P.A. Methodology for creating digital three-dimensional models of infrastructure facilities for oil and gas production complexes using terrestrial laser scanning. *Vestnik SSUGT.* 2020; 25 (2): 131-139. (In Russ.). https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-2-121-139.
6. Бударова В.А., Мартынова Н.Г., Шереметинский А.В., Привалов А.В. Наземное лазерное сканирование объектов промышленных площадок на территории нефтегазовых месторождений. *Московский экономический журнал*. 2019; 6: 8-14. https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-16004.
   Budarova V.A., Martynova N.G., Sheremetinskiy A.V., Privalov A.V. Terrestrial laser scanning of industrial site objects on the territory of oil and gas field. *Moscow Economic Journal.* 2019; 6: 8-14. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-16004.
7. Новоселов Д.Б. Применение наземных лазерных сканеров при геодезическом сопровождении строительства горнодобывающих промышленных предприятий. *Интерэкспо Гео-Сибирь.* 2022; 1 (2): 104-112. https://doi.org/10.33764/2618-981X-2022-1-104-112.
   Novoselov D.B. Application of terrestrial laser scanners in the geodetic support of the construction of mining industrial enterprises. *Interexpo Geo-Siberia.* 2022; 1 (2): 272-277. (In Russ.). https://doi.org/10.33764/2618-981X-2022-1-104-112.
8. Оника С.Г., Куликовская О.Е., Атаманенко Ю.Ю. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения инженерных задач маркшейдерии и геодезии. *Горная механика и машиностроение*. 2018; 2: 15-21.
   Onika S.G., Kulikovskaya O.E., Atamanenko Y.Y. The use of unmanned aerial vehicles for solving engineering problems of mine surveying and geodesy. *Mining Mechanical Engineering and Machine-Building.* 2018; 2: 15-21. (In Russ.).
9. Кузнецов Г.А., Кудрявцев И.В., Крылов Е.Д. Ретроспективный анализ, современное состояние и тенденции развития отечественных беспилотных летательных аппаратов. *Инженерный журнал*: *наука и инновации*. 2018; 9 (81): 1-22. https://doi.org/10.18698/2308-6033-2018-9-1801.
   Kuznetsov G.A., Kudryavtsev I.V., Krylov E.D. Retrospective analysis, current state and development trends of domestic unmanned aerial vehicles. *Engineering Journal: Science and Innovation.* 2018; 9 (81): 1-22. (In Russ.). https://doi.org/10.18698/2308-6033-2018-9-1801.
10. Блищенко А.А. Использование геодезических приборов на открытых горных работах, тенденция применения беспилотных технологий. *Colloquium-journal*. 2020; 14-2 (66): 4-5. https://doi.org/10.24411/2520-6990-2020-11902.
    Blishchenko A.A. The use of geodetic instruments in open-pit mining, the trend of using unmanned technologies. *Colloquium-journal.* 2020; 14-2 (66): 4-5. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/2520-6990-2020-11902.
11. Сарычев Д.С. Мобильное лазерное сканирование. *Дороги*. *Инновации в строительстве*. 2013; 1 (1): 37-41.
    Sarychev D.S. Mobile laser scanning. *Roads. Innovations in construction.* 2013; 1 (1): 37-41. (In Russ.).
12. Кузьмин Т.В., Васильев М.Д., Голубко Б.П. Наземное и мобильное лазерное сканирование в маркшейдерской съёмке при разработке месторождений открытым способом. *Уральская горная школа – регионам*: *мат-лы Межд. науч.-практ. конф., г. Екатеринбург, 6–7 апреля 2020 г.* Екатеринбург, 2020: 241-242.
    Kuzmin T.V., Vasiliev M.D., Golubko B.P. Terrestrial and mobile laser scanning in mine surveying during open-pit mining. *Ural Mining School to the Regions: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Yekaterinburg, April 6–7, 2020.* Yekaterinburg, 2020: 241-242. (In Russ.).
13. Писарев В.С., Ахмедов Б.Н., Басаргин А.А. Анализ способов сбора геоданных при геодезическом сопровождении горных работ. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2019; 1 (1): 197-202. https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-1-1-197-202.
    Pisarev V.S., Ahmedov B.N., Basargin A.A. Analysis of geodata collection methods for geodetic support of mining operations. *Interexpo Geo-Siberia.* 2019; 1 (1): 197-202. (In Russ.). https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-1-1-197-202.

14. Аленичев И.А., Рахманов Р.А. Исследование эмпирических закономерностей сброса горной массы взрывом на свободную поверхность уступа карьера. *Записки Горного института*. 2021; 249: 334-341. https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.2.
Alenichev I.A., Rakhmanov R.A. Investigation of empirical laws of rock mass displacement by blasting onto the free surface of a quarry bench. *Journal of Mining Institute.* 2021; 249: 334-341. (In Russ.). https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.2.
15. Lucas R., Nies D. Improving fragmentation and ore displacement control. *Proceedings of the 16th Conference on Explosives and Blasting Technique*. 1990; 16: 409-422.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кирилл Юрьевич Москаленко –
аспирант группы ГМа-251 кафедры маркшейдерского дела и геологии (МДиГ), Кузбасский государственный технический университет (КузГТУ) имени Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация;
e-mail: moskalenkoky@gmail.com

Информация о статье
Поступила в редакцию: 20.05.2026
Поступила после рецензирования: 15.08.2026
Принята к публикации: 24.08.2026

ABOUT THE AUTHORS

Kirill Yu. Moskalenko –
Postgraduate Student, Group GMa-251, Department of Mine Surveying and Geology, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation;
e-mail: moskalenkoky@gmail.com

Article info
Received: 20.05.2026
Revised: 15.08.2026
Accepted: 24.08.2026