

*Р. Е. Калиакпаров*<sup>1✉</sup>

## **Применение мобильного лазерного сканирования для контроля соответствия паспорту бурения веерных скважин**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация  
e-mail: kaliakparov1@vk.com

**Аннотация.** В статье рассматривается способ контроля соответствия фактических параметров бурения веерных скважин проектным данным (паспорту бурения). Анализируются традиционные методы маркшейдерского контроля, и их недостатки. Обосновывается применение технологии мобильного лазерного сканирования (МЛС) как высокоточного и безопасного инструмента для определения пространственного положения скважин. Приведены технические характеристики современных сканирующих систем, алгоритм проведения работ и методика обработки данных. Показано, что внедрение МЛС позволяет снизить погрешность измерений, исключить влияние человеческого фактора, повысить безопасность маркшейдерских работ и существенно сократить временные затраты на контрольные операции. На основе анализа опыта горнодобывающих предприятий сформулированы рекомендации по интеграции технологии в производственный цикл.

**Ключевые слова:** лазерное сканирование, бурение веерных скважин, контроль проектным данным

*R. E. Kaliakparov*<sup>1✉</sup>

## **Using a local laser device to control compliance with the drilling passport of fan wells**

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
e-mail: kaliakparov1@vk.com

**Abstract.** The article discusses a method for monitoring the compliance of the actual drilling parameters of the wells with the design data (drilling data sheet). The traditional methods of surveying control and their disadvantages are analyzed. The application of mobile laser scanning (MLS) technology as a highly accurate and safe tool for verifying the spatial position of wells is substantiated. The technical characteristics of modern scanning systems, the algorithm of work and the methodology of data processing are given. It is shown that the introduction of MLS makes it possible to reduce the measurement error, eliminate the influence of the human factor, increase the safety of surveying operations and significantly reduce the time spent on control operations. Based on the analysis of the experience of mining enterprises, recommendations on the integration of technology into the production cycle are formulated.

**Keywords:** laser scanning, drilling of fan wells, control of design data

### ***Введение***

Эффективность буровзрывных работ (БВР) в значительной степени определяется соответствием фактического бурения проектным параметрам, зафиксированным в паспорте бурения. Для веерных скважин, широко применяемых при

подземной добыче полезных ископаемых, критически важными являются такие параметры, как угол наклона, направление (азимут) и глубина каждой скважины. Отклонение от проектных значений ведет к неравномерному распределению взрывчатого вещества, образованию «заколов», ухудшению качества дробления руды, увеличению потерь и разубоживания, а также к снижению безопасности ведения горных работ [4, 5].

Традиционные методы маркшейдерского контроля, основанные на использовании реек, болванок и тахеометров обладают рядом существенных недостатков. Среди них – низкая производительность, высокая трудоемкость, ограниченная точность измерений и, что особенно важно, необходимость присутствия персонала в опасных зонах (непосредственно у забоя, в очистных камерах после отпалки). Кроме того, человеческий фактор остается одной из главных причин возникновения погрешностей при замерах [1, 3].

В последние годы в мировой практике горного дела наблюдается активное внедрение технологий лазерного сканирования для решения задач маркшейдерского обеспечения [6, 8]. Мобильное лазерное сканирование (МЛС) позволяет получать высокоточные трехмерные модели горных выработок и расположенных в них устьев скважин, обеспечивая дистанционный контроль параметров бурения с высокой степенью детализации и безопасности [3, 7].

Настоящая статья посвящена обоснованию и описанию методики применения мобильного лазерного сканирования для контроля соответствия паспорту бурения веерных скважин.

### ***Методы и материалы***

На подавляющем большинстве горнодобывающих предприятий, осуществляющих подземную добычу полезных ископаемых с применением веерного бурения, контроль соответствия фактических параметров скважин проектным данным (паспорту бурения) до настоящего времени осуществляется с использованием высокоточных, но исключительно трудоемких инструментальных методов.

В качестве основного средства измерений выступают инварные рейки, применяемые в комплекте со специальными болванками, которые изготавливаются индивидуально под каждый типоразмер бурения – наиболее распространенными являются диаметры 64, 105 и 152 миллиметров. Данный метод долгое время считался эталонным и продолжает применяться на многих предприятиях благодаря своей метрологической обоснованности и возможности получения точных результатов при идеальных условиях измерений [3, 4].

Суть методики заключается в следующем. Специальная болванка, геометрия которой точно соответствует диаметру пробуренной скважины, устанавливается непосредственно в устье таким образом, чтобы ее продольная ось максимально точно совпадала с осью самой скважины (рис. 1).

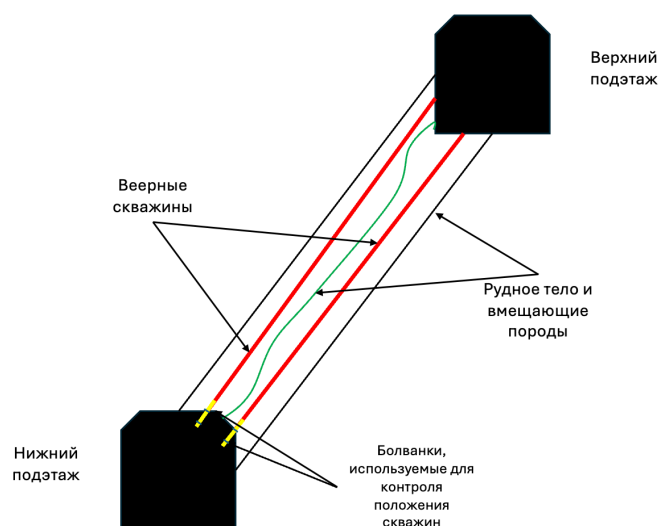


**Рис. 1.** Контроль положения скважины с использованием болванки  
(вид в разрезе)

После фиксации болванки маркшейдер с помощью инварной рейки выполняет отсчёты по двум точкам, расположенным на расстоянии около двух метров – как правило, на глубинах 0,5 и 2,5 м от устья либо по меткам на корпусе болванки. В ходе камеральной обработки по разности координат этих точек вычисляются фактические значения азимута и угла наклона скважины.

Однако практика применения выявила ряд ограничений, существенно снижающих достоверность контроля и способных приводить к ошибочным выводам при оценке качества бурения. Эти ограничения обусловлены преимущественно условиями применения метода и влиянием человеческого фактора [2, 5].

Процесс измерений полностью ручной и включает три последовательные операции, каждая из которых вносит вероятностную погрешность. Первая операция – установка болванки. Оператор ориентирует её по оси скважины, однако в реальных условиях устье редко сохраняет правильную геометрию. Разрушения, сколы и деформации приводят к люфту и перекосу болванки, в результате чего измеряется её положение, а не фактическая траектория скважины [3, 6].

Вторая операция – снятие отсчётов – требует высокой точности наведения. Ошибки считывания, фиксации и записи данных являются типичными проявлениями человеческого фактора. Даже небольшие отклонения могут накапливаться до значений, сопоставимых с допустимыми, при этом оперативный контроль таких ошибок затруднён [1, 5].

Существенное влияние оказывает состояние устья скважины. В условиях горных работ его разрушение является типичным явлением, что исключает гарантированную соосность болванки с осью скважины. В ряде случаев установка болванки становится невозможной, и контроль либо не выполняется, либо проводится с допущениями [4, 6].

К недостаткам метода относится и низкая производительность. Полный цикл измерения одной скважины занимает 1–2 минут, а контроль веера из 10–15

скважин – до 30–40 минут, что приводит к простоям бурового оборудования и снижению эффективности работ [3, 7].

Отдельно следует отметить вопросы безопасности. Метод требует присутствия маркшейдера вблизи забоя, что при неустойчивой кровле и риске обрушений создаёт угрозу для персонала. При этом полностью исключить нахождение человека в опасной зоне невозможно [2, 6].

Результаты контроля представлены в виде табличных данных, что ограничивает возможности их анализа. Такой формат не позволяет визуализировать пространственное положение скважин, выявлять систематические отклонения и интегрировать данные в цифровые модели горных работ [5, 8].

Таким образом, традиционный метод, несмотря на метрологическую обоснованность, обладает рядом существенных недостатков: зависимость от состояния устья и квалификации оператора, низкая производительность, риски для безопасности и отсутствие цифровой визуализации. Это обуславливает необходимость внедрения альтернативных технологий, одной из которых является мобильное лазерное сканирование.

В последние годы данная технология получает широкое распространение. Она основана на измерении расстояния по времени прохождения лазерного импульса (Time-of-Flight) либо по фазовому методу. В результате формируется облако точек – трёхмерная модель пространства с высокой плотностью и детализацией [2, 8].

Наиболее распространёнными являются мобильные SLAM-сканеры (например, GeoSLAM, SLAM 100), позволяющие выполнять съёмку без GNSS. Технология основана на одновременном определении траектории и построении карты, что обеспечивает корректность модели без установки опорных знаков [3, 8].

Такие системы отличаются компактностью (до 3,6 кг), высокой скоростью (до 300 тыс. точек/с) и возможностью работы в сложных условиях. Достижимая точность составляет около 30 мм, что достаточно для задач маркшейдерского контроля [3, 8].

Для специализированных задач применяются системы типа C-ALS, позволяющие сканировать труднодоступные полости через скважины. Они обеспечивают обзор 360° на дальности до 150 м и оснащены инерциальными системами, что повышает достоверность данных [6, 7].

Методика контроля включает три этапа. Первый – полевые работы. Сканирование выполняется после бурения и до зарядки скважин. При использовании SLAM достаточно одного прохода вдоль забоя, что занимает 3–5 минут. Устья скважин фиксируются без установки маркеров за счёт геометрии поверхности [7, 8].

Второй этап – камеральная обработка. Облако точек загружается в специализированное ПО (GeoSLAM Hub, CloudCompare, Leica Cyclone и др.), где выполняются фильтрация шумов, привязка к системе координат и сегментация данных [2, 5].

Третий этап – анализ результатов. Координаты устья определяются аппроксимацией окружности, направление скважины – аппроксимацией цилиндра или прямой на участке 0,5–1 м. Глубина может определяться прямым сканированием, инструментальными измерениями или косвенно по геометрии выработки [6, 7].

После получения фактических параметров каждой скважины производится их сравнение с проектными значениями, указанными в паспорте бурения (рис. 2, 3).

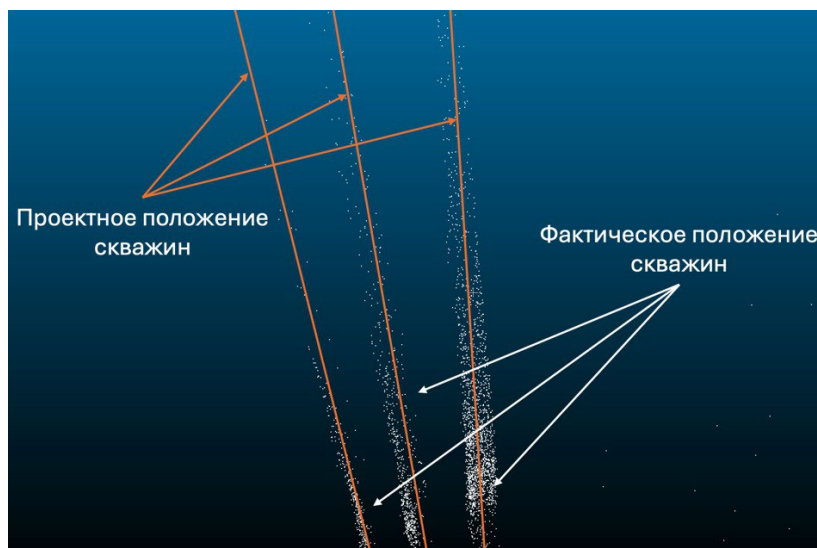


**Рис. 2.** Сравнение фактического положения скважин с проектными  
(вид в разрезе)

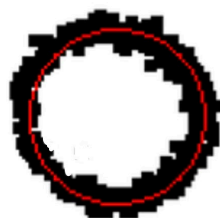


**Рис. 3.** Сравнение фактического положения скважин с проектными  
(вид в разрезе)

Результаты сравнения визуализируются в виде трехмерной модели веера скважин, где каждая скважина отображается в своем фактическом положении, а отклонения от проекта могут быть выделены цветовой индикацией – например, зеленым цветом для скважин, пробуренных в пределах допуска, и красным для скважин с превышающими допуск отклонениями. Такая визуализация позволяет не только выявить отдельные скважины, пробуренные с нарушением, но и оценить систематический характер отклонений, что может указывать на смещение буровой установки, ошибки в ее ориентации или особенности горно- геологических условий участка [4, 5].

### ***Результаты***

В части повышения точности контроля следует отметить, что лазерное сканирование обеспечивает определение координат устьев скважин и их пространственной ориентации с уровнем погрешности, который для стационарных сканеров составляет единицы миллиметров, а для мобильных SLAM-систем – до 30 миллиметров. При этом важно подчеркнуть, что в отличие от традиционного метода, где погрешность складывается из множества факторов (состояние устья, точность установки болванки, квалификация оператора), при лазерном сканировании основные

источники погрешности носят инструментальный характер и хорошо изучены. Кроме того, технология позволяет получить не точечные значения параметров скважины в двух сечениях, а непрерывную информацию о ее траектории на начальном участке, что дает более полное представление о фактическом положении скважины. По данным компании «Уралмеханобр», применение лазерного сканирования при маркшейдерском обеспечении горных работ позволяет выявлять расхождения между проектной и фактической геометрией горных выработок и бортов карьеров, исчисляемые сотнями тысяч кубических метров [5, 8].

Исключение человеческого фактора является одним из наиболее значимых преимуществ технологии. При использовании мобильного лазерного сканирования процесс сбора данных в значительной степени автоматизирован: оператор выполняет лишь перемещение сканера по выработке, а все измерения производятся прибором без субъективного вмешательства. Последующая обработка данных также выполняется с использованием стандартизированных алгоритмов в специализированном программном обеспечении, что исключает ошибки, связанные с неверным считыванием показаний, неправильной записью результатов или субъективной оценкой состояния устья скважины. Как отмечается в исследовании, посвященном автоматизации процессов измерения, внедрение лазерных систем повышает точность замеров на порядки и одновременно снижает когнитивную нагрузку на персонал, позволяя ему сосредоточиться на контроле процесса, а не на выполнении рутинных измерительных операций [1, 2]. Сравнительные характеристики двух методов контроля соответствия бурению веерных скважин приведены в табл. 1.

**Таблица 1** – Сравнение МЛС и классического метода

| Фактор                  | МЛС (GeoSlam Zeb- Horizon)                                                               | Классический метод<br>(Тахеометр и болванка)                                            |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Время измерений         | От 3 до 5 минут                                                                          | От 15 до 30 минут, в зависимости от количества скважин                                  |
| Точность                | 2-3 см, в зависимости от привязки к ПВО участка                                          | Зависит от правильности установки болванки, имеется риск получения недостоверных данных |
| Определяемые параметры  | Азимут, угол наклона, координаты, в редких случаях – глубину скважины                    | Азимут, угол наклона, координаты                                                        |
| Безопасность            | Минимальное время нахождения в забое                                                     | Необходимость присутствия в забое более длительное время                                |
| Эффективность           | Быстрый сбор информации и быстрая обработка данных                                       | Медленный сбор информации и быстрая обработка                                           |
| Практическая значимость | Сокращение получения недостоверных данных, повышение качества контроля положения скважин | Риск ошибок, менее безопасно                                                            |

### ***Заключение***

Применение мобильного лазерного сканирования для контроля соответствия паспорту бурения веерных скважин представляет собой высокоэффективную и тех-

нологически обоснованную альтернативу традиционным методам маркшейдерского контроля. Как показано в настоящей статье, традиционные методы, основанные на использовании инварных реек и специальных болванок, при всей их метрологической обоснованности обладают рядом неустраняемых недостатков, к числу которых относятся высокая зависимость результатов от состояния устьевой части скважин и квалификации оператора, низкая производительность, опасность для персонала и отсутствие цифрового документирования результатов.

Технология мобильного лазерного сканирования позволяет преодолеть указанные ограничения за счет автоматизации процесса сбора данных, исключения влияния человеческого фактора, возможности дистанционного проведения измерений из безопасной зоны и получения трехмерных моделей, пригодных для дальнейшего анализа и интеграции в цифровую среду предприятия. Опыт внедрения на горнодобывающих предприятиях подтверждает, что применение МЛС обеспечивает повышение точности и достоверности контроля, кардинальное сокращение времени контрольных операций (с нескольких часов до 10–15 минут на забой) и создание полноценной цифровой документации о состоянии буровых работ.

Учитывая устойчивый тренд на автоматизацию горных работ и цифровизацию производственных процессов в российской и мировой горной промышленности, внедрение мобильного лазерного сканирования в практику контроля буровзрывных работ следует рассматривать не как единичное техническое усовершенствование, а как один из ключевых элементов комплексной цифровой трансформации маркшейдерского обеспечения. Дальнейшее развитие технологии будет связано с интеграцией данных лазерного сканирования в системы искусственного интеллекта для прогнозирования качества бурения, автоматической корректировки параметров буровых станков в реальном времени и создания цифровых двойников горных работ, обеспечивающих сквозной контроль и управление на всех этапах производственного цикла [2, 5].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машкова А.М. Разработка лазерной сканирующей системы для автоматизации процесса замера длины скважин // *Neftegaz.RU*. – 2021. – № 12.
2. Goldstein D.M., Aldrich C., O'Connor L. Applications of Machine Learning in Measuring While Drilling for Geoscience // *Machine Learning and Knowledge Extraction*. – 2024. – Vol. 6, No. 2. – P. 1343–1360.
3. Мобильные сканеры GeoSlam нашли себе место под землей // *Союз горных инженеров*. – 2025. – URL: <https://www.mining-portal.ru> (дата обращения: 21.03.2026).
4. Русолово повышает эффективность проведения буровзрывных работ // *RusLom*. – 2024. – 10 сентября. – URL: <https://ruslom.com/news/2024/09/10/> (дата обращения: 21.03.2026).
5. Гайский ГОК получил новое высокотехнологичное оборудование // *Профиль*. – 2023. – 20 июля. – URL: <https://profile.ru/industry/> (дата обращения: 21.03.2026).
6. C-ALS – лазерный сканер для сканирования скрытых полостей, пустот и выработок // *Prin-SPb*. – URL: <https://prin-spb.ru/c-als/> (дата обращения: 21.03.2026).
7. Carlson C-ALS® – Система Лазерного Сканирования Недоступных Пространств // *Geocomm.kz*. – 2023. – URL: <https://geocomm.kz/c-als> (дата обращения: 21.03.2026).
8. Surveying a Quarry with a SLAM 100 Scanner: A Practical Experience // *TOPODRONE*. – 2025. – URL: <https://www.topodrone.com/blog/slam-100-quarry-survey> (дата обращения: 21.03.2026).

© П. Е. Калиакпаров, 2026