

Р. Е. Калиакпаров^{1✉}

Методика определения геометрических параметров веерных скважин

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

Аннотация. В работе рассмотрена методика определения геометрических параметров веерных скважин при выполнении маркшейдерского контроля буровзрывных работ. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения требуемой точности параметров бурения в условиях ограниченных возможностей прямого измерения траектории скважин в подземных выработках. Рассмотрены особенности определения угла наклона и азимута скважин по координатам двух точек, расположенных на оси направляющего элемента.

Установлено, что при длине скважин 15–20 м отклонение по углу наклона на 2° приводит к линейному смещению до 0,5–0,7 м, что оказывает существенное влияние на качество буровзрывных работ. Показано, что при сохранности устья скважины и корректной установке направляющего элемента метод обеспечивает результаты в пределах производственных допусков, однако точность измерений зависит от состояния устьевой части и условий выполнения работ. Выявлены основные источники погрешностей, включая перекос направляющего элемента и влияние человеческого фактора.

В результате анализа определены условия эффективного применения методики и её ограничения. Обосновано, что предложенный подход позволяет выполнять оперативный контроль параметров скважин без применения сложного оборудования, однако характеризуется высокой трудоёмкостью и чувствительностью к условиям измерений.

Ключевые слова: веерные скважины, геометрические параметры, маркшейдерский контроль, азимут, угол наклона, бурение

R. E. Kaliakparov^{1✉}

Method for determining geometric parameters of fan wells

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

Abstract. The paper presents a method for determining the geometric parameters of fan wells during surveying control of drilling and blasting operations. The relevance of the study is обусловлена the need to ensure the required accuracy of drilling parameters under conditions where direct measurement of borehole trajectories is limited in underground workings. The determination of inclination angle and azimuth based on two points located along the axis of a guiding element is considered.

It is established that for boreholes with a length of 15–20 m, a deviation of 2° in inclination results in a linear displacement of up to 0.5–0.7 m, significantly affecting blasting efficiency. The method provides results within acceptable production tolerances under proper installation conditions; however, the accuracy depends on the condition of the borehole collar and measurement conditions. The main sources of errors include misalignment of the guiding element and human factors.

The study defines the conditions of effective application and limitations of the method. It is shown that the proposed approach enables operational control without complex equipment, but is characterized by high labor intensity and sensitivity to measurement conditions.

Keywords: fan wells, geometric parameters, surveying control, azimuth, inclination angle, drilling

Введение

Определение геометрических параметров веерных скважин является обязательным этапом маркшейдерского обеспечения буровзрывных работ, поскольку фактическое положение скважин в пространстве напрямую влияет на распределение взрывчатого вещества и характер разрушения массива. Отклонения по углу наклона и азимуту приводят к смещению зоны взрыва, формированию неразрушенных участков и перерасходу взрывчатых веществ. При длине скважин 15–20 м отклонение по углу наклона на 2° вызывает линейное смещение конца скважины до 0,5–0,7 м, что сопоставимо с межскважинным расстоянием и существенно влияет на качество дробления [1].

С точки зрения геометрии положение скважины определяется направляющим вектором, задаваемым углом наклона и азимутом, а также её глубиной. При этом координаты точек вдоль скважины не измеряются непосредственно, а рассчитываются на основе этих параметров, что определяет повышенные требования к точности их определения. Даже незначительные ошибки в определении направления приводят к накоплению погрешности по мере увеличения длины скважины, что особенно критично для веерных схем бурения [2, 3].

В подземных условиях выполнение измерений осложняется рядом факторов, включая ограниченное пространство, неровность поверхности забоя и деформацию устьевой части скважин. Разрушение устья, вызванное особенностями бурения и свойствами массива, приводит к нарушению геометрии входного участка, что затрудняет непосредственное определение оси скважины и снижает достоверность измерений [4].

В этих условиях определение геометрических параметров скважин осуществляется косвенными методами, основанными на фиксации направления оси на начальном участке. Наиболее распространённым подходом является использование направляющих элементов, устанавливаемых в устье скважины и задающих её ось для последующих измерений. Такой подход позволяет вынести процесс измерения за пределы скважины и определить её направление по координатам двух точек, расположенных на оси направляющего элемента [1, 5].

Однако точность получаемых результатов зависит от условий установки направляющего элемента, состояния устья скважины и качества выполнения измерений. При наличии перекоса или люфта возникают систематические ошибки, которые не всегда могут быть выявлены в процессе контроля. В результате возникает необходимость разработки и обоснования методики, позволяющей учитывать данные факторы и обеспечивать требуемую точность определения геометрических параметров скважин [2, 6].

Целью работы является разработка и анализ методики определения геометрических параметров веерных скважин на основе использования направляющих элементов и геодезических измерений, а также оценка условий её эффективного применения.

Методы и материалы

В качестве объекта исследования рассматриваются веерные скважины, пробуренные в подземных горных выработках, геометрические параметры которых определяются направлением в пространстве, задаваемым углом наклона и азимутом, а также глубиной. При этом фактическая траектория скважины в производственных условиях не измеряется по всей длине, а определяется по начальному участку, что связано с ограниченными возможностями доступа внутрь ствола и необходимостью выполнения оперативного контроля [1, 2]. Для задания направления скважины используется направляющий элемент – болванка цилиндрической формы, диаметр которой соответствует диаметру бурения; при установке в устье она ориентируется вдоль оси скважины и фактически продолжает её геометрическое направление за пределы массива (рис. 1), позволяя вынести измерения в доступную зону и определить пространственное положение скважины по координатам двух точек, расположенных на её оси [3].

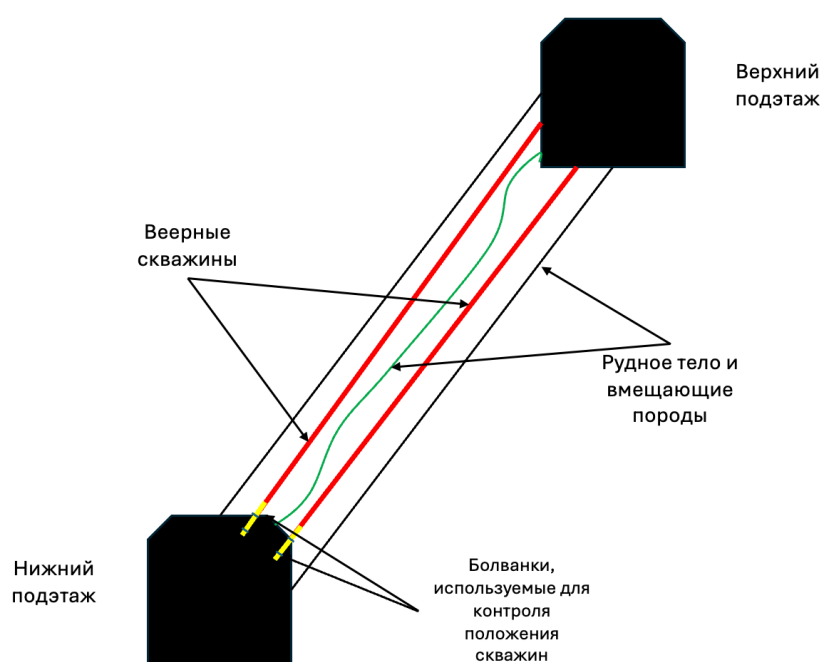


Рис. 1. Контроль положения скважин с использованием болванок
(вид в разрезе)

После установки болванки выполняется определение координат двух точек, удалённых друг от друга на фиксированное расстояние, как правило равное 2,0 м; в практике измерений точки располагаются на расстояниях около 0,5 и 2,5 м

от устья, что обеспечивает достаточную базу для расчёта угловых параметров. Координаты точек фиксируются с использованием геодезических приборов с точностью порядка $\pm 2-3$ см [4], после чего направление скважины определяется вектором, соединяющим эти точки: угол наклона вычисляется как угол между вектором и горизонтальной плоскостью, а азимут – как угол между проекцией вектора на горизонтальную плоскость и направлением на север. При расстоянии между точками 2 м погрешность определения угла наклона при ошибке координат на уровне $\pm 0,02$ м составляет порядка $0,5-0,8^\circ$, что соответствует требованиям производственного контроля [2, 5].

Ключевым фактором, определяющим точность метода, является состояние устьевой части скважины, поскольку именно в этой зоне происходит установка направляющего элемента и задаётся исходная ориентация измеряемой оси. В реальных условиях устье часто подвергается разрушению вследствие бурения и воздействия массива, что приводит к отклонению формы от цилиндрической и появлению локальных дефектов; при установке болванки в таких условиях возникает перекося или люфт, в результате чего её ось не совпадает с фактической осью скважины. Даже незначительное смещение на уровне 2–3 мм на участке длиной 2 м формирует угловую погрешность порядка $1-2^\circ$, которая при длине скважины 15–20 м приводит к линейным отклонениям до 0,5–0,7 м, что сопоставимо с межскважинным расстоянием и влияет на эффективность буровзрывных работ [3, 6].

Дополнительные ошибки возникают в процессе измерения, например, при наведении на точки, записи координат. Эти ошибки являются случайными, но при небольшой базе измерений они могут оказать существенное влияние на результаты. Однако эти погрешности могут быть частично компенсированы увеличением расстояния между точками, которое ограничено конструкцией направляющего элемента и условиями эксплуатации. Время, необходимое для измерения одной скважины, включая установку матрицы, определение координат двух точек и извлечение матрицы, в среднем составляет приблизительно 1-2 минуты. В результате общее время контроля для веера из 10-15 скважин может достигать 10-20 минут, что следует учитывать при организации производственного цикла [1]. В совокупности этот метод обеспечивает косвенный способ определения направления скважины на основе геометрической оси направляющего элемента, позволяющий определить угол наклона скважины.

Результаты

Проведённый анализ показал, что точность определения геометрических параметров веерных скважин по описанной методике определяется совокупным влиянием погрешностей измерения координат, условий установки направляющего элемента и состояния устьевой части скважины. При сохранённой геометрии устья и корректной установке болванки отклонения угла наклона и азимута, рассчитанные по результатам повторных измерений, не превышают $0,5-1,0^\circ$, что соответствует требованиям производственного контроля и обеспечивает допустимую точность позиционирования скважин. При длине скважин 15–20 м такие

отклонения приводят к линейным смещениям на конце скважины в пределах 0,2–0,4 м, что не оказывает критического влияния на параметры буровзрывных работ.

С ухудшением состояния устья характер погрешностей изменяется. При наличии локальных разрушений, сколов и нарушений цилиндрической формы возникает перекося болванки, приводящий к систематическому отклонению оси направляющего элемента. В этих условиях расхождение между повторными измерениями увеличивается до 1–2°, а в отдельных случаях достигает 3°, что соответствует линейным смещениям на конце скважины до 0,7–1,0 м. Установлено, что данные ошибки носят устойчивый характер и не компенсируются повторными измерениями, поскольку связаны не с точностью определения координат, а с исходным положением болванки.

Проанализировав влияние расстояния между измеряемыми точками можно сделать вывод, что 2-метровая база обеспечивает оптимальный баланс между чувствительностью метода и влиянием случайных ошибок. При уменьшении расстояния до 1 м из-за увеличения относительного влияния координатных ошибок возрастает погрешность определения угла до 1,5–2,0°, а увеличение расстояния более 2–2,5 м ограничено конструкцией направляющего элемента и условиями эксплуатации. При точности определения координат $\pm 0,02$ м средняя погрешность определения угла наклона составляет 0,5–0,8°, что подтверждается результатами повторных измерений [4].

В результате исследования было установлено, что влияние плотности и последовательности измерений сильно влияют на результат. При мониторинге вера из 10–15 скважин общее время работы составляет 50–120 минут, это приводит к увеличению рабочей нагрузки оператора и повышению вероятности случайных ошибок при наведении и фиксации координат. Установлено, что при отсутствии оперативного мониторинга и дублирования измерений ошибки накапливаются.

Результаты, полученные в ходе исследования, показывают, что при благоприятных условиях метод обеспечивает достаточную точность для решения производственных задач. Но следует учитывать, что по мере ухудшения условий на устье скважины и увеличения сложности работ возрастают систематические и случайные ошибки. Это необходимо учитывать при оценке достоверности полученных данных и принятии решений на основе результатов мониторинга.

Заключение

В ходе выполненного исследования проанализирована методика определения геометрических параметров верных скважин, основанная на использовании направляющего элемента, устанавливаемого в устье скважины, и последующем определении её направления по координатам двух точек. Установлено, что при сохранённой геометрии устьевой части и корректной установке болванки метод обеспечивает определение угла наклона и азимута с погрешностью порядка 0,5–1,0°, что при длине скважин 15–20 м соответствует линейным отклонениям на

конце скважины в пределах 0,2–0,4 м и не оказывает существенного влияния на эффективность буровзрывных работ.

Показано, что основным источником погрешности является несоосность направляющего элемента и фактической оси скважины, возникающая при разрушении устья и наличии локальных дефектов. В этих условиях погрешность определения угловых параметров возрастает до 2–3°, что приводит к линейным смещениям до 0,7–1,0 м и может существенно искажать результаты контроля. Установлено, что данные ошибки носят систематический характер и не устраняются повторными измерениями, поскольку связаны с исходным положением болванки.

Дополнительно выявлено, что точность метода зависит от расстояния между измеряемыми точками и условий выполнения работ. При базе измерений порядка 2 м обеспечивается оптимальное соотношение между чувствительностью и влиянием случайных ошибок, тогда как уменьшение расстояния приводит к росту погрешности, а увеличение ограничено конструктивными и технологическими факторами. Существенное влияние оказывает также человеческий фактор, проявляющийся при наведении, считывании и фиксации координат, особенно при выполнении большого объема измерений.

Полученные результаты показывают, что рассматриваемая методика позволяет выполнять оперативный контроль геометрических параметров скважин с точностью, достаточной для производственных задач, при условии соблюдения требований к установке направляющего элемента и состоянию устья. При этом в сложных горнотехнических условиях, сопровождающихся разрушением устьевой части и ограничениями доступа, достоверность результатов снижается, что необходимо учитывать при интерпретации данных и организации контроля бурения.

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.. – 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).

© Р. Е. Калиакпаров, 2026