

УДК 622.243.27

**Математическое описание
пространственного искривления алмазных скважин
на восточной части месторождения «Медвежий»
и западном участке
Ведугинского месторождения**

**В.П. Рожков*,
А.Е. Метелев, С.П. Кугай**
*Сибирский федеральный университет,
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79¹*

Received 13.08.2012, received in revised form 20.08.2012, accepted 27.08.2012

Естественное искривление скважин – неизбежное явление при вращательном бурении скважин. Однако при алмазном вращательном бурении оно значительно ниже, чем при бурении дробью и даже твёрдыми сплавами. Поэтому у многих производителей и исследователей возникла уверенность в том, что природа искривления при алмазном бурении иная и созданные методы математического описания естественного искривления скважин, в основном по дробовым скважинам, неприемлемы для алмазных скважин.

В статье на примере двух золоторудных месторождений показано, что созданная ранее методика математического описания траекторий искривленных скважин пригодна и для алмазных скважин, а точность статистических зависимостей, получаемых при ее использовании, обусловлена (даже на относительно неглубоких скважинах в 200–250 м) исключительно стабильностью (однородностью) разбуhrиваемых геологических структур.

Ключевые слова: искривление скважин, кривизна, алмазное бурение, золоторудные месторождения.

Введение

Естественное искривление скважин – неизбежное явление при вращательном бурении скважин. Оно происходит даже при соблюдении всех мер предосторожности. С увеличением глубины скважин всё чаще возникают случаи, когда искривление приводит к частичному или полному невыполнению геологического задания скважин. Чтобы повысить эффективность и точность разведки месторождения глубокими скважинами, следует применять все известные меры снижения искривления, а проектирование скважин вести с учётом ожидаемого искривления, которое не удастся избежать. Кроме того, естественное искривление во многих случаях оказывается полезно использовать для направленного бурения. При направленном бурении по естественным профилям, основной особенностью которого является специальное профилиро-

* Corresponding author E-mail address: korochevskij.eugeniy@yandex.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

вание будущих скважин, бурение ведётся по обычной технологии, благодаря чему затрачиваются значительно меньшие средства и время, чем при направленном бурении с использованием технических средств.

Для профилирования скважин при естественном искривлении необходимо правильно рассчитать их вероятные траектории и возможные отклонения от них. Для решения этой задачи требуется математическое описание закономерностей искривления скважин, т. е. создание математической модели искривлённых скважин. Такая модель была создана В.П. Рожковым [1, 2].

Для целей профилирования по естественным профилям важно по большому количеству замеров искривления выявить усреднённую траекторию, характерную для конкретного месторождения (участка). Для этого необходимо установить основной параметр, в функции которого целесообразно создавать математическое описание. Поскольку искривление происходит за счёт перекаса снаряда в скважине, то относительное время пребывания снаряда на лежачей стенке определяется зенитным углом и поэтому его следует принять за аргумент.

Скважина искривляется до тех пор, пока не выйдет на линию наименьшего сопротивления (л.н.с.) горных пород. Для этого ей чаще всего приходится с углублением менять как зенитный угол, так и азимутальное направление. Чаще всего скважины выполаживаются и одновременно поворачивают вправо или влево в зависимости от того, с какой стороны расположена л.н.с. горных пород.

Любую траекторию скважин можно представить линией в вертикальной поверхности, изогнутой в соответствии с горизонтальной проекцией. Такую *поверхность* будем называть *апсидальной* по аналогии с апсидальной плоскостью. Апсидальная плоскость всегда будет соприкасаться с апсидальной поверхностью по вертикальной линии. С введением апсидальной поверхности изучение пространственного искривления скважин можно полностью заменить изучением горизонтальных проекций и искривления в апсидальной поверхности. Искривление апсидальной поверхности скважины в значительной степени зависит от угла встречи скважины с л.н.с. пород в этой поверхности. Чем меньше этот угол, тем меньше азимутальный угол поворота скважины.

В подавляющем большинстве случаев скважины вращательного бурения по тем или иным соображениям задаются не вдоль л.н.с. горных пород, а в зависимости от того, с какой стороны оказывается л.н.с. от направления заложения скважины, она всегда выполаживается и поворачивает вправо или влево, чтобы с углублением кратчайшим путём выйти на л.н.с. (или близко к ней). По интенсивности искривления зенитное искривление с глубиной возрастает, а интенсивность азимутального поворота снижается. С выходом на л.н.с. (или близко к ней) обе компоненты стабилизируются.

Что касается характера искривления скважин, то на него оказывают влияние более 50 разнообразных факторов [2]. К тому же по воздействию они делятся на две группы. Первая включает факторы, закономерно меняющие общую кривизну (кручение) скважин, вторая – искажающие закономерное искривление. Обе группы довольно крупные. Поэтому создать однозначную модель искривлённых скважин совершенно не реально. Можно лишь стремиться найти модель с той или иной степенью приближения к действительности при возможном отклонении фактических скважин от неё, т.е. к конусу рассеивания с определённой вероятностью реальных скважин от наиболее удачной статистической модели.

В диссертационной работе [2] исследовались как дробовые, так и алмазные скважины. При алмазном бурении искривление намного меньше, чем при дробовом, поскольку зазор между колонковой и скважиной значительно меньше. Однако малые искривления при алмазном бурении привели многих специалистов к убеждению, что при алмазном бурении искривление имеет иную природу и должно описываться иначе.

Хотя в диссертации [2] на значительном статистическом материале была показана качественная идентичность математического описания искривления скважин как при дробовом, так и при алмазном бурении, но разница в статистических объёмах в те времена была (по понятной причине) огромна, и это вызывало сомнения у оппонентов. В диссертации исследовались 1772 дробовые скважины 20 месторождений и 178 алмазные трех месторождений, т. е. на порядок меньше. Кроме того, не исследовались скважины золоторудных месторождений, т. е. скважины по иным геологическим разрезам.

Экспериментальные результаты

Таковы общая обстановка и достижения в области описания естественного искривления алмазных скважин доперестроечного периода. Конкретно эти достижения можно проиллюстрировать рис. 1–3, полученными по глубоким алмазным скважинам на железорудных месторождениях.

Зависимость кривизны алмазных скважин в апсидальной поверхности (K_a) от величины зенитного угла (Q) по Казскому железорудному месторождению представлена на рис. 1, из которого следует, что такая зависимость описывается параболической зависимостью. По мере увеличения зенитного угла интенсивность искривления (K_a) возрастает, а затем с приближением к л.н.с. снижается и с выходом на л.н.с. становится равной примерно нулю.

Совершенно аналогичная зависимость имеет место и по участкам скважин одного и того же диаметра (рис. 2).

Азимутальный поворот глубоких алмазных скважин очень хорошо показан на скважинах Шерегешевского железорудного месторождения (рис. 3). Пока зенитный угол мал, этот поворот очень интенсивен, а по мере роста зенитного угла азимутальный поворот снижается и с

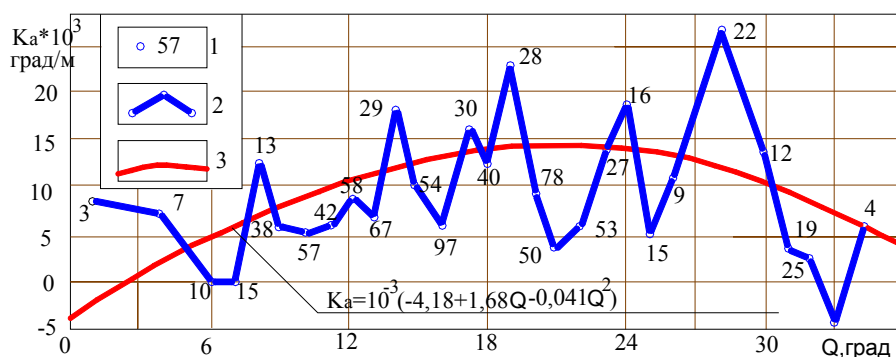


Рис. 1. Зависимость кривизны алмазных скважин в апсидальной поверхности (K_a) от величины зенитного угла (Q) по Казскому железорудному месторождению: 1 – средняя точка и количество замеров, 2 – эмпирическая линия корреляционной связи, 3 – теоретическая корреляционная связь

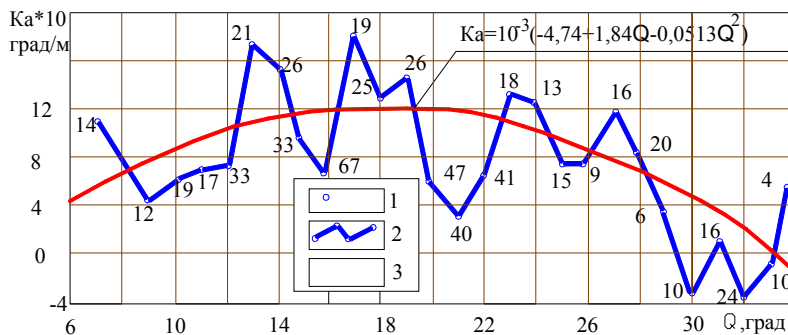


Рис. 2. Зависимость кривизны в апсидальной поверхности (Ka) от величины зенитного угла (Q) по скважинам Казского месторождения, пробуренным мелкоалмазными коронками диаметром 59 мм: 1 – средняя точка и количество 20-метровых интервалов, по которым она определена; 2 – эмпирическая зависимость; 3 – теоритическая корреляционная кривая

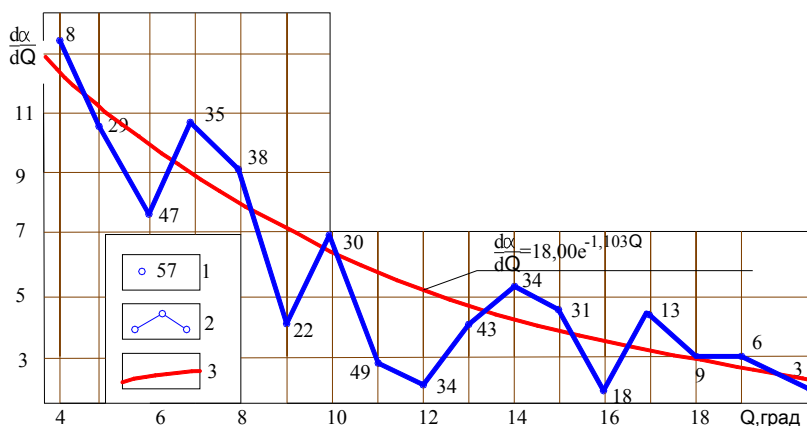


Рис. 3. Зависимость отношения азимутального поворота к зенитному (da/dQ) на 20-метровых интервалах от величины зенитного угла (Q) по скважинам Шерегешевского железорудного месторождения, пробуренных мелкоалмазными коронками: 1 – средняя точка и количество замеров, 2 и 3 – эмпирическая и корреляционная зависимость

выходом азимута на направление л.н.с. поворот прекращается. Поэтому неслучайно азимутальный поворот чаще всего описывается экспонентой с отрицательным показателем.

В постперестроечный период объёмы алмазного разведочного бурения более чем на порядок уменьшились, скважины стали бурить в основном лишь на золото, сравнительно малых глубин (до 150-250 и лишь изредка до 300 м). Ранее были скважины глубиной 800 и даже иногда 1200–1500 м. Поэтому получить такие показательные графики уже не удастся. Это легко показать на примере Ведугинского месторождения и месторождения «Медвежий». Полученные графики с успехом можно использовать для профилирования скважин, особенно при потребности бурения более глубоких скважин.

Ведугинское месторождение золота расположено на территории Северо-Енисейского района Красноярского края, в северо-западной части Енисейского края, в междуречье рек Ведуга и Мал. Ведуга (лев. приток р. Ведуга), в 32 км на севере от пос. Брянка.

Месторождение рудного золота «Медвежий» (восточная часть) расположено на территории Бодайбинского района Иркутской области и является перспективным на выявление средних и мелких рудных золотоносных тел.

Основные породы этих месторождений – это хлорид-серицитовые сланцы (VII категории), серицитолиты (VIII категории), серицитолиты сульфитизированные (VIII категории), кварц-серицитовые сланцы, слюдястые кварцевые песчаники, кварцитовидные песчаники (все IX категории), метапесчаники кварцевые и кварциты с сульфидими (X категории). Породы на этих золоторудных месторождениях существенно отличаются по твёрдости от пород железорудных месторождений.

Зависимости кривизны алмазных скважин в апсидальной поверхности от величины зенитного угла по золоторудным месторождениям «Медвежий» и Ведугинскому представлены на рис. 4, 5. В силу того что скважины бурились сравнительно малой глубины (максимум до 250 м), а зенитные углы заложения были разными, графики зафиксировали только начальные участки парабол, которые можно аппроксимировать лишь прямыми линиями.

Лучшее положение отмечается на месторождении «Медвежий», поскольку все скважины задавались с одной стороны по отношению к л.н.с. и примерно в одном направлении. Поэтому

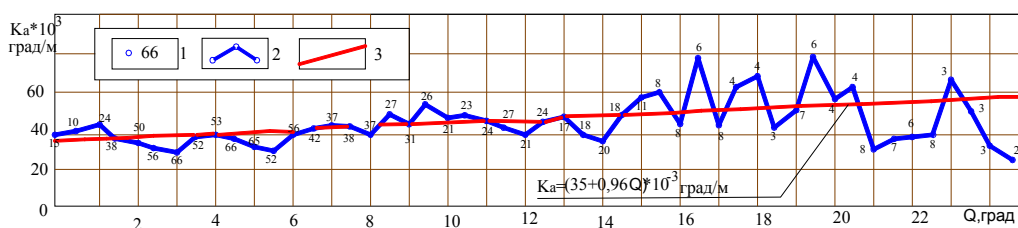


Рис. 4. Зависимость кривизны алмазных скважин в апсидальной поверхности (Ka) от величины зенитного угла (Q) по золоторудному месторождению «Медвежий»: 1 – средняя точка и количество 10 интервалов, 2 и 3 – эмпирическая и корреляционная зависимость

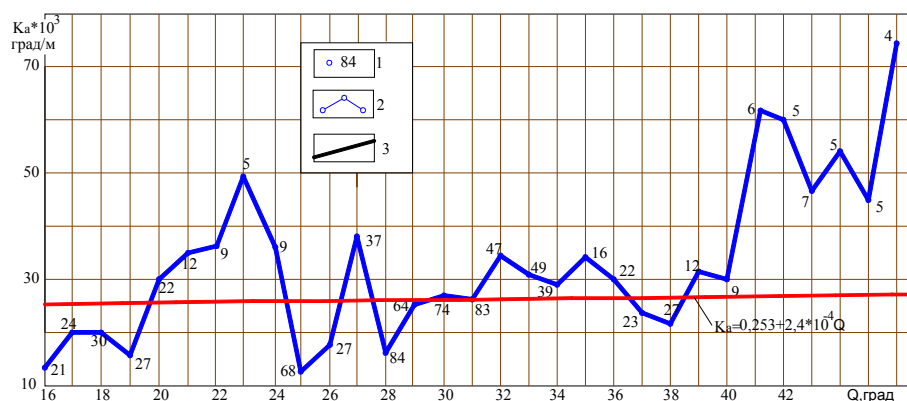


Рис. 5. Зависимость кривизны алмазных скважин в апсидальной поверхности (Ka) от величины зенитного угла (Q) по Ведугинскому месторождению: 1 – средняя точка и количество 10 интервалов, 2 и 3 – эмпирическая и корреляционная зависимость

эмпирические точки графика для этого месторождения имеют очень малый разброс. Только при значительных зенитных углах ($15 - 24^\circ$), где количество измерений довольно мало, разброс точек заметно возрос. К тому же последние точки устойчиво указывают на снижение кривизны, т. е. наблюдается тенденция к параболической зависимости.

Для Ведугинского месторождения тоже получена прямолинейно возрастающая зависимость кривизны от зенитного угла, но она не столь чётко выражена. Это имеет своё объяснение. Дело в том, что на этом месторождении часть скважин закладывалась в азимутальном отношении с одной стороны от л.н.с., а другая – с противоположной. Разделить скважины на две группы из-за малого количества не представилось возможным. Поэтому на графике и получились точки с малыми количествами наблюдений в начале и конце графика.

Если сравнивать графики зенитного искривления по алмазным скважинам золоторудных месторождений с аналогичными скважинами по железорудным месторождениям, то легко заметить, что на золоторудных месторождениях интенсивность зенитного искривления до четырёх раз выше, чем на железорудных. Такое положение легко объяснить, поскольку на золоторудных месторождениях основные породы относятся к 8–9-й категории по буримости (реже 7- и 10-й), а на железорудных месторождениях основными являются породы 9-11-й категорий. Поэтому на золоторудных скважинах разбуривание боковых стенок происходит гораздо легче. В соответствии с этим перекокс колонкового снаряда на золоторудных месторождениях более значителен и устойчив, чем на железорудных.

Зависимости отношения азимутального поворота к зенитному на 10-метровых интервалах от величины зенитного угла по скважинам золоторудных месторождений «Медвежий» и Ведугинское, пробуренным алмазными коронками, представлена на рис. 6, 7.

По отмеченным выше причинам лучший график получился по месторождению «Медвежий». Самый значительный азимутальный поворот получен при очень малых зенитных углах, а по мере их роста он снижается и при 24° практически приближается к нулю. К этому моменту почти все скважины выходят на направление л.н.с. пород. Эмпирическая зависимость довольно удачно описывается экспонентой с отрицательным показателем.

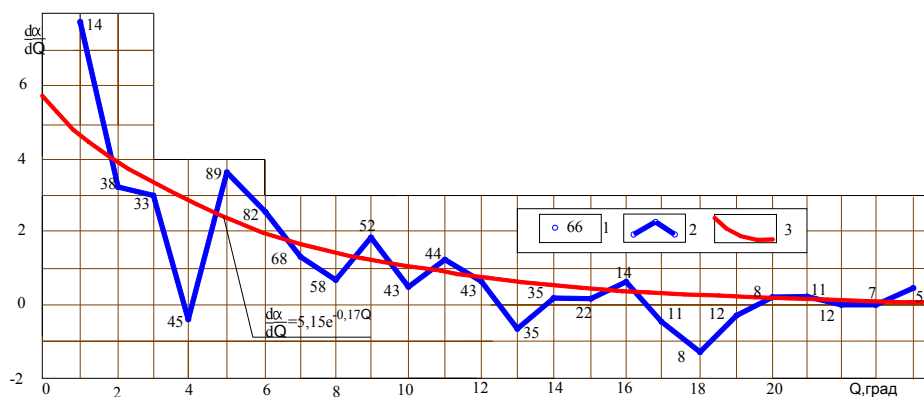


Рис. 6. Зависимость отношения азимутального поворота к зенитному ($d\alpha/dQ$) на 10-метровых интервалах от величины зенитного угла (Q) по скважинам золотоносного месторождения «Медвежье», пробуренных мелкоалмазными коронками: 1 – средняя точка и количество 10-метровых замеров, 2 и 3 – эмпирическая и корреляционная зависимость

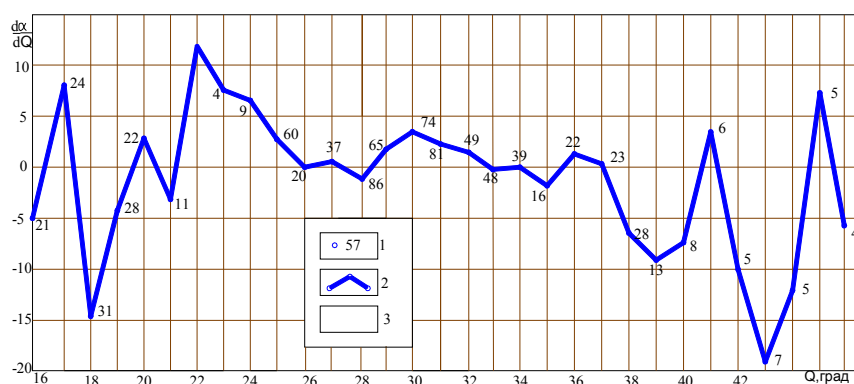


Рис. 7. Зависимость отношения азимутального поворота к зенитному ($d\alpha/dQ$) на 10-метровых интервалах от величины зенитного угла (Q) по скважинам Ведугинского золотоносного месторождения, пробуренных мелкоалмазными коронками: 1 – средняя точка и количество 10-метровых замеров, 2 и 3 – эмпирическая и корреляционная зависимость

Для Ведугинского месторождения такой зависимости по указанным выше причинам получить не удалось. Поэтому определять эмпирическую зависимость поворота усреднённой скважины от зенитного угла не сочли возможным, а ограничились лишь представлением эмпирического графика.

Выводы

1. Пространственно искривлённые алмазные скважины, пробуренные на золоторудных месторождениях, так же как и другие алмазные скважины, в зенитном отношении могут быть описаны в апсидальной поверхности, а в горизонтальном направлении – горизонтальной проекцией.
2. Интенсивность зенитного искривления алмазных скважин золоторудных месторождений (глубиной до 250 м) хорошо описывается от зенитного угла линейными зависимостями.
3. Азимутальный поворот алмазных скважин, пробуренных на золоторудных месторождениях, наблюдается при очень малых зенитных углах, а по мере их роста снижается и при выходе скважин на направление, близкое к направлению л.н.с., практически приближается к нулю. Такая зависимость довольно удачно описывается экспонентой с отрицательным показателем.
4. Интенсивность зенитного искривления алмазных скважин на золоторудных месторождениях примерно в четыре раза выше, чем на железорудных (из-за разности в буримости пород). Поэтому профилированием естественного искривления золоторудных скважин имеет смысл заниматься со значительно меньших глубин.

Список литературы

- [1] Рожков В.П., Боярко Ю.Л. Некоторые причины и закономерности зенитного искривления скважин дробового бурения// Изв. ВУЗ. Сер. «Геология и разведка». 1965. № 3.
- [2] Рожков В.П. Пространственное искривление разведочных скважин в твёрдых и крепких породах, способы его оценки и использования: дис. ... канд. техн. наук. Томск, 1967.

Mathematical Formulation of the Diamond Borehole Deviation on the Eastern Part of the Medvezhij Deposit and Western Area of the Veduginskoe Deposit

**Vladimir P. Rozhkov,
Artem E. Metelev and Sergey P. Kugai**
*Siberian Federal University,
79 Svobodny Krasnoyarsk, 660041 Russia*

Natural borehole deviation is the inevitable process taking place during rotary drilling. However in case of rotary drilling the deviation is significantly lower than during calyx boring or hard alloy drilling. That is the reason why industrial workers and even researches believe the diamond borehole deviation has a different nature and thus mathematical formulation methods of the borehole deviation based on calyx boring pattern are not acceptable for the diamond boreholes. In this paper mathematical formulation method of the borehole deviation created earlier is shown to be suitable for the diamond boreholes by example of two gold ore deposits. It is demonstrated that the accuracy of statistic dependences obtained by using this method depends only on the stability (homogeneity) of the drilled geological structures even in case of 200 – 250 meter boreholes.

Keywords: natural borehole deviation; during rotary drilling; diamond borehole deviation.
