

### ПРОФИЛИРОВАНИЕ СКВАЖИН СРЕДНЕЙ ГЛУБИНЫ ПРИ ДРОВОМ БУРЕНИИ

В. П. РОЖКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры техники разведки)

При бурении скважин современными способами они, как правило, выполаживаются и поэтому проходят выше принятых точек подсечения. Такие скважины могут частично или полностью не выполнить по-

Таблица 1

**Отклонения реальных траекторий от проектных по некоторым скважинам  
Ташелгинского месторождения**

Участок	№ скважины	Зенитный угол забурки, град.	Глубина точки (по проектной траектории), от которой определялось отклонение	Расхождения между реальной и прямой траекторией скважины	
				по горизонтали	по вертикали
Мраморный	220	8	220	15	50
	231	8	220	63	106
	213	10	205	34	81
	198	12	235	27	70
	197	22	180	30	44
	194	28	150	20	23
	191	35	215	45	35
	193	35	250	38	37
Коп-Тау	115	5	200	7	42
	70	15	230	21	47
	36	16	210	32	55
	38	22	215	37	54
	41	24	235	45	58
Монгол	199	20	215	21	37
	196	23	240	66	70

ставленную геологическую задачу. Чтобы повысить эффективность разведки, во многих геологических организациях глубокие скважины на-

чали профилировать с учетом их будущего естественного искривления. При проектировании скважин глубиной 150—250 м такого учета искривления, как правило, не производится. Обычно считают, что вследствие малой глубины они не могут значительно отклоняться от прямых линий. Это справедливо далеко не для всех месторождений.

В табл. 1, в качестве примера, приведены отклонения реальных скважин Ташелгинского месторождения от их проектных (прямолинейных) траекторий. Как видно из таблицы, расхождения могут достигать нескольких десятков метров. При этом, чем больше зенитный угол забурки, тем оно значительнее. Избежать таких сравнительно больших отклонений, так же как и при глубоких скважинах, можно за счет учета естественного искривления.

Многие исследователи [2, 3, 4, 6] отмечают, что зенитное искривление скважин увеличивается с их глубиной, причем тем интенсивнее, чем больше глубина. Интенсивность искривления в значительной степени зависит от величины зенитного угла забурки. Об этом же свидетельствуют данные табл. 1. Расхождения во мнениях возникают только при определении степени влияния глубины и зенитного угла забурки на профиль искривленной скважины. Следовательно, при небольших глубинах, когда радиус искривления уменьшается не очень интенсивно, можно считать, что скважина искривляется с постоянным радиусом, величина которого зависит от зенитного угла забурки.

Для профилирования по предлагаемой методике необходимо определить математическую зависимость средней кривизны скважины от величины зенитного угла забурки. С этой целью по нескольким месторождениям были найдены статистические зависимости кривизны от зенитного угла забурки и по ним построены графики. Один из таких графиков представлен на рис. 1.

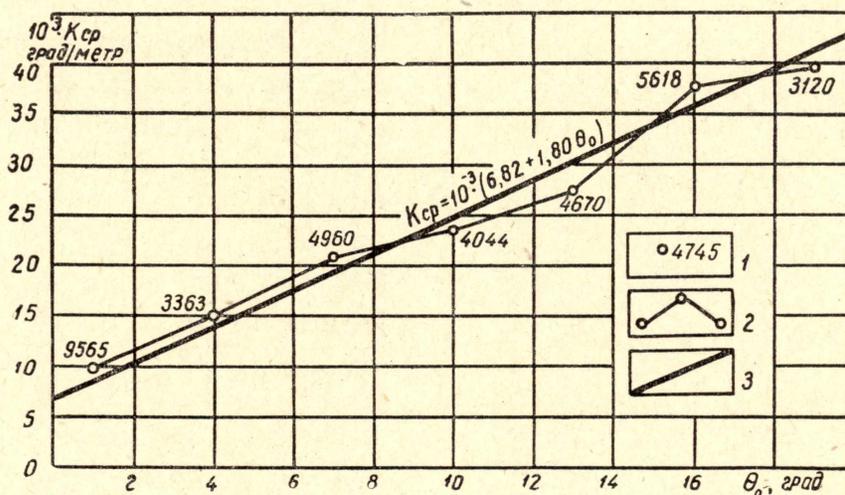


Рис. 1. Зависимость средней кривизны  $K_{ср}$  по скважинам Инского железорудного месторождения от зенитного угла забурки  $\theta_0$ : 1 — средняя точка и метраж, по которому она определена; 2 — эмпирическая зависимость; 3 — корреляционная прямая

Средствами математической статистики установлено, что данная зависимость во всех случаях близка к линейной. Параметры корреляционных прямых определялись по методу квантилей, как более точному [1]. Результаты обработки представлены в табл. 2.

Таким образом, корреляционная связь между средней кривизной скважины и зенитным углом забурки может быть представлена уравнением

$$K_{\text{ср}} = \frac{d\Theta}{dZ} = n + m\Theta, \quad (1)$$

где  $K_{\text{ср}}$  — средняя кривизна всей скважины, град/м;  
 $\Theta_0$  — зенитный угол забурки, град.

Таблица 2

Параметры, характеризующие кривизну дробовых скважин средней глубины в зависимости от зенитного угла забурки

№ п. п.	Месторождения	Параметры корреляционных прямых		Условия, для которых рассчитаны параметры $n$ и $m$	
		$n \cdot 10^3$ град/м	$m \cdot 10^3$ 1/м	пределы зенитных углов забурки, град.	предельные глубины скважин, м
1	Натальевское . . . . .	+ 14,68	+ 2,720	6—15	100—190
	<b>Горная Шория</b>				
2	Казское . . . . .	+ 11,34	+ 2,620	0—34	165—300
3	Ташелгинское (в целом)	+ 27,79	+ 0,708	4—39	170—300
	участок Монгол	+ 24,72	+ 1,176	8—36	170—300
	участок Мраморный	+ 47,70	+ 0,608	7—25	100—200
	участок Коп-Тау	+ 18,67	+ 0,681	5—28	180—300
4	Таштагольское . . . . .	— 2,85	+ 3,521	3—31	220—300
5	Темиртаузское . . . . .	+ 1,18	+ 2,986	0—28	100—250
6	Шерегешевское . . . . .	+ 15,00	+ 0,264	0—15	220—320
	<b>Салаир</b>				
7	Белоключевское . . . . .	+ 124,25	— 3,137	0—17	100—240
8	Самойловское . . . . .	+ 39,75	+ 1,539	0—17	100—200
9	Салаирское (в целом)	+ 101,63	— 1,566	0—17	150—300
	южная часть . . . . .	+ 120,48	— 2,063	0—11	150—300
	<b>Рудный Алтай</b>				
10	Инское . . . . .	+ 6,82	+ 1,800	0—19	250—300
11	Карболихинское . . . . .	+ 9,78	+ 5,722	0—17	140—240
12	Лазурское . . . . .	+ 101,78	— 1,731	0—20	80—180
13	Майское . . . . .	+ 12,48	+ 2,740	0—23	140—280
14	Среднее . . . . .	+ 27,57	+ 0,449	0—20	180—300

Радиус искривления, как известно, является обратной величиной кривизны. Переходя к принятым в данной работе размерностям, он может быть определен по формуле

$$R_{\text{ср}} = \frac{57,3}{n + m\Theta_0} \quad (2)$$

Закон изменения зенитного угла в зависимости от глубины скважины может быть определен путем интегрирования дифференциального уравнения (1). После указанной операции имеем

$$\Theta = \Theta_0 + K_{cp} \cdot L. \quad (3)$$

Законы изменения вертикальной и горизонтальной проекций скважины, искривляющейся по дуге окружности, известны из работы Б. И. Спиридонова [5]. Применительно к рассматриваемому случаю они выражаются следующим образом

$$X = R_{cp} (\sin \Theta - \sin \Theta_0), \quad (4)$$

$$Y = R_{cp} (\cos \Theta_0 - \cos \Theta). \quad (5)$$

Так как точка подсечения известна до начала профилирования, то с определенной степенью точности известно расстояние  $H$  по вертикали от устья скважины до этой точки, т. е. вертикальная проекция. С другой стороны, вертикальная проекция с учетом зависимости (2) определяется выражением

$$X = \frac{57,3 (\sin \Theta_r - \sin \Theta_0)}{n + m \Theta_0}. \quad (6)$$

Следовательно, из этого выражения, если синус зенитного угла забурки заменить через этот же угол, выраженный в радианах, можно определить зенитный угол заложения скважины. Предельная относительная погрешность такой замены равна  $\delta_{\max} = (17 : \Theta_0^2) \%$  [6]. При зенитном угле забурки, равном 10,20 и 30°, погрешность составит соответственно 0,5; 1,9 и 4,6%. Такие погрешности практически не отразятся на конечном результате. Замена оправдывается также тем, что угол заложения скважины практически может быть задан не точнее 0,5°, а сама зависимость (6) носит статистический характер.

После замены получим

$$\Theta_0 = \frac{57,3 \cdot \sin \Theta_r - Hn}{1 + Hm}, \text{ град.}, \quad (7)$$

где  $\Theta_0, \Theta_2$  — соответственно зенитный угол забурки и зенитный угол в точке подсечения, в град; зенитный угол в точке подсечения замеряется на геологическом разрезе по скважине или рассчитывается;

$H$  — глубина точки подсечения по вертикали,  $m$ ; в уравнении (4) ей соответствует величина  $X$ ;

$n, m$  — параметры искривления скважины; величины этих параметров приведены в табл. 2.

Дальнейшее решение задачи не вызывает трудностей. По уравнению (2) определяется радиус искривления скважины, а по равенству (5) — горизонтальное проложение, т. е. место забурки скважины.

Пример. Спроектировать скважину, если точка подсечения расположена на глубине 185 м, зенитный угол скважины в точке подсечения должен быть 13°. Параметры искривления имеют следующие величины  $n = 0,0477$  град/м,  $m = 0,000608$  1/м.

Решение. По формуле (7) имеем

$$\Theta_0 = \frac{57,3 \cdot 0,225 - 185 \cdot 0,0477}{1 + 185 \cdot 0,000608} = 3,66 = 3^\circ 40'.$$

Горизонтальное проложение равно

$$H_r = Y = \frac{57,3 (0,9979 - 0,9744)}{0,0477 + 3,66 \cdot 0,000608} = 27 \text{ м.}$$

Таким образом, скважина должна быть забурена в 27 метрах (по горизонтали) от точки подсечения с зенитным углом, равным  $3,5^\circ$  (после округления до  $0,5^\circ$ ).

При бурении в залесенной или резко пересеченной местности много времени затрачивается на подготовку площадки под буровой агрегат. В таких случаях полезно использовать естественные площадки или из одной специально подготовленной площадки бурить несколько скважин. Профилирование в данном случае сводится только лишь к определению зенитного угла забурки и построению профиля скважины, так как точки подсечения и забурки известны заранее.

Для решения поставленной задачи можно воспользоваться уравнениями (2) — (5). После совместного решения уравнений (4) и (5) и некоторых тригонометрических преобразований имеем

$$\frac{X}{Y} = \operatorname{tg} \left( \frac{\Theta + \Theta_0}{2} \right)$$

или, применительно к рассматриваемому случаю (рис. 2),

$$\frac{H_r}{H_b} = \operatorname{tg} \left( \frac{\Theta_r + \Theta_0}{2} \right)$$

Отсюда легко определить сумму зенитного угла забурки и зенитного угла скважины в точке подсечения. Эту сумму можно определить также более простым путем. Из зависимости (8) видно, что аргумент тангенса равен зенитному углу  $\Theta_n$  прямой линии, соединяющей точку забурки с точкой подсечения. Этот угол может быть замерен на геологическом разрезе по скважине, а

удвоенная его величина даст сумму зенитного угла забурки и зенитного угла в точке подсечения. Итак,

$$\Theta_r + \Theta_0 = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{H_r}{H_b} \right) = 2\Theta_n = C. \quad (9)$$

С другой стороны, из зависимостей (1) и (3) имеем

$$\Theta_r - \Theta_0 = L(n + m\Theta_0). \quad (10)$$

Совместное решение уравнений (9) и (10) приводит к окончательному выводу

$$\Theta_0 = \frac{C - Ln}{2 + Lm}, \text{ град.}, \quad (11)$$

где  $L$  — глубина скважины до точки подсечения,  $m$ .

Ввиду небольшой глубины вместо нее в формулу (11) можно подставить расстояние между точкой забурки и точкой подсечения ( $S$ ).

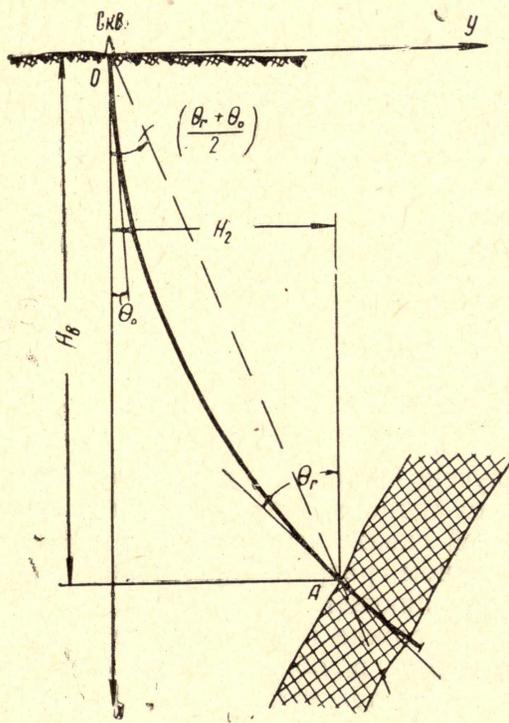


Рис. 2. Схема профилирования скважины, искривленной по дуге окружности.  $\Theta_0$ ,  $\Theta_r$  — зенитные углы скважины соответственно в точке забурки и точке подсечения;  $H_b$ ,  $H_r$  — расстояние от точки забурки до точки подсечения соответственно по вертикали и горизонтали

При глубинах до 250 м и радиусах искривления 1000—3000 м расхождение между  $S$  и  $L$  составит 0,6—0,3 м. Расстояние между устьем и точкой подсечения (по прямой) может быть измерено на геологическом разрезе по скважине или вычислено по формуле

$$S = \sqrt{H_r^2 + H_b^2}. \quad (12)$$

Следовательно, более практичная зависимость имеет вид

$$\theta_0 = \frac{C - Sn}{2 + Sm}, \text{ град.}, \quad (13)$$

где  $C$  — в град.,  $S$  — в м,  $n$  — град/м,  $m$  — 1/м.

Пример. Для контроля точности предлагаемых методов решить предыдущий пример при условии, что известны проекции скважины (27 и 185 м).

Решение.

$$C = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{27}{185} \right) = 16^\circ 37' = 16,62^\circ.$$

$$S = \sqrt{27^2 + 185^2} = 187 \text{ м.}$$

$$\theta_0 = \frac{16,62 - 187 \cdot 0,0477}{2 + 187 \cdot 0,000608} = 3,60^\circ = 3^\circ 36'.$$

В предыдущем примере было получено  $\theta_0 = 3^\circ 40'$ , т. е. сходимость результатов вычисления по предлагаемым зависимостям весьма высокая.

При построении профиля неглубокой скважины дробового бурения (ввиду небольшой глубины) на проектном разрезе она может быть представлена в виде прямой линии, соединяющей устье и точку подсечения. Забуриваться же такая скважина должна под расчетным углом, округленным до  $0,5^\circ$ . Фактический профиль в обязательном порядке должен строиться по результатам замеров положения скважины в пространстве.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Алексеев. Отыскание формы связи между случайными величинами методом квантилей. Приложение к книге М. А. Великанова «Ошибки измерения и эмпирические зависимости», Гидрометеоздат, Л., 1962.
2. А. М. Курмашев. Исследование естественных профилей геологоразведочных скважин вероятностно-статистическими методами. Сб. Методика и техника разведки, № 44, ОНТИ ВИТР, 1964.
3. В. П. Рожков, Ю. Л. Боярко. Некоторые причины и закономерности зенитного искривления скважин при дробовом бурении. Изв. вузов—Геология и разведка, № 3, 1965.
4. А. А. Сорокин. Закономерности искривления скважин и методика их выявления. Инф. сб. геологоразвед. службы Рудного Алтая, 1, Усть-Каменогорск, 1960.
5. Б. И. Спиридонов. Аналитический расчет профилей разведочных скважин. Материалы по геологии и полезным ископаемым Западной Сибири. Изд. Томского ун-та, Томск, 1964.
6. Справочник машиностроителя. В шести томах, под ред. Н. С. Ачеркана, т. 1, изд. третье. Машгиз, М., 1961.
7. С. С. Сулакшин. Основные вопросы методики выявления закономерностей искривления скважин. Сб. Методика и техника разведки, № 48, ОНТИ ВИТР, 1964.