

ЭКСТРАПОЛИРОВАНИЕ ЗЕНИТНОГО ИСКРИВЛЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

В. П. РОЖКОВ, Д. А. УЧАРОВ

(Представлена научным семинаром кафедры техники разведки)

В практике разведочного бурения нередко случаи, когда известно точное положение верхней части скважины, а положение нижней части не известно, так как не удается замерить параметры искривления из-за малого диаметра скважины или возникшей аварии на нижнем горизонте. В таких случаях в геологоразведочных партиях (ГРП) пользуются различными, порою совершенно необоснованными, методами экстраполирования зенитного искривления на нижних горизонтах.

При возникновении задачи подобного рода в одних геологоразведочных партиях считают, что в нижней части скважина вообще не искривляется и ее направление совпадает с направлением самого нижнего замеренного участка скважины; в других, — что скважина искривляется с интенсивностью, равной средней интенсивности искривления по участку или месторождению в целом (Таштагольская ГРП Западно-Сибирского геологического управления); в третьих — по замеренной части ствола вычисляют среднюю интенсивность искривления и затем принимают, что на незамеренной части ствол в среднем искривляется с этой интенсивностью (Карболихинская ГРП Западно-Сибирского геологического управления).

Все перечисленные способы не могут быть признаны удовлетворительными, так как или совсем не используют закономерностей искривления скважин, или используют лишь частично. Так, второй и третий методы не учитывают, что интенсивность зенитного искривления скважин дробового бурения изменяется с глубиной. Кроме того, во втором методе принимаемое искривление скважин сильно усреднено и не учитывает местных причин искривления (в первую очередь геологических), а отражает лишь характерные особенности для всего месторождения (или участка) в целом. Третий метод статистически учитывает эти местные геологические причины, но он все же не учитывает изменчивости интенсивности искривления.

Таким образом, возникает потребность в разработке методики определения наиболее вероятной траектории незамеренной части ствола с учетом общих закономерностей искривления скважин, а также с учетом формы и числовых характеристик замеренной части экстраполируемой скважины.

Направление и интенсивность искривления скважин колонкового бурения в общих чертах могут быть определены в зависимости от ряда геологических и технических причин, вызывающих искривление. Сква-

жины, пробуренные в твердых породах, как правило, выполаживаются, стремясь занять положение, перпендикулярное к плоскости слоистости. Интенсивность искривления тем больше, чем чаще перемежаемость твердых и мягких пород и чем выше их анизотропность. Кроме того, интенсивность зависит от вида колонкового бурения.

Анализ интенсивности искривления скважин с помощью численных методов позволил установить, что зависимость кривизны от зенитного угла очень близка к линейной и может быть выражена для дробового бурения уравнением

$$\kappa = \frac{d\Theta}{dL} = a + b\Theta, \quad (1)$$

для твердосплавного бурения она практически остается постоянной на всех глубинах и при всех значениях зенитного угла [1], т. е.

$$\kappa = \frac{d\Theta}{dL} = \eta, \quad (2)$$

где κ — кривизна скважины, представляющая собой приращения зенитного угла на интервале в один метр;

Θ, L — соответственно зенитный угол и глубина скважины;

a, b, η — постоянные коэффициенты.

Так как радиус искривления скважины обратно пропорционален кривизне, то из уравнений (1) и (2) следует, что скважины твердосплавного бурения искривляются в среднем по дуге окружности, а скважины дробового бурения — по траектории, радиусы искривления которых уменьшаются с ростом глубины, иначе говоря, выполаживаются с нарастающей интенсивностью.

Таким образом, из общих зависимостей зенитного искривления (1) и (2) следует, что экстраполирование скважин твердосплавного бурения производится правильно лишь при применении третьего метода и ни один метод не применим к скважинам дробового бурения.

Наиболее правильной можно считать ту методику экстраполирования, которая основывалась бы на зависимостях (1) и (2), отражающих форму скважины в общих чертах в зависимости от вида бурения, а конкретная интенсивность искривления учитывалась бы величиной коэффициентов a, b, η , вычисленных по замеренной части скважины, которые отражают местные условия бурения. Конечно, это оправдано только в том случае, когда замеренная и незамеренная части скважины пересекают примерно аналогичные структуры, а длина замеренной части в несколько раз больше длины экстраполированной части.

Для непосредственного использования общих закономерностей искривления скважин твердосплавного бурения можно пользоваться уравнением, полученным путем интегрирования выражения (2)

$$\Theta_i = \Theta_0 + cL_i, \quad (3)$$

где Θ — зенитный угол забурки скважины.

Интегрирование выражения (1) приводит к сравнительно сложной зависимости

$$\Theta_i = \left(\frac{a}{b} + \Theta_0 \right) e^{bL} - \frac{a}{b}, \quad (4)$$

при использовании которой необходимо иметь специальные таблицы, поэтому при непосредственных расчетах траекторий дробовых скважин небольшой глубины можно пользоваться видоизмененным исходным уравнением

$$\Delta\theta_i = (a + b\theta_0) \cdot \Delta L_i, \quad (5)$$

а расчеты вести по схеме

$$\begin{aligned} &\theta_0; \\ \theta_1 &= (a + b\theta_0) \Delta L_1 + \theta_0; \\ \theta_2 &= \theta_1 + (a + b\theta_0) \Delta L_2; \\ \theta_i &= \theta_{i-1} + (a + b\theta_0) \Delta L_i. \end{aligned}$$

В случае, если скважина дробового бурения имеет большую глубину, желательнее пользоваться уравнением (4) или использовать номограммы, предназначенные для профилирования скважин дробового бурения.

Из изложенного следует, что успех экстраполирования зависит от правильности нахождения соответствующих коэффициентов в уравнениях (3) — (5). Для твердосплавного бурения коэффициент η может быть определен непосредственным делением приращения зенитного угла на интервал, на котором произошло это приращение. Несколько сложнее определяются коэффициенты a и b . Практическими расчетами по нескольким десяткам скважин установлено, что для их определения можно воспользоваться следующими методами: 1) методом натянутой нити, 2) методом средней и 3) способом наименьших квадратов.

Для любого из этих методов необходимо замеренную часть скважины обработать по форме, приведенной в табл. 1, а затем по результатам обработки желательнее построить график зависимости кривизны от зенитного угла.

1. Способ натянутой нити основан на подборе прямой линии на глаз. Построим график зависимости кривизны от зенитного угла, необходимо подобрать графически прямую, ближе всего подходящую к наблюдаемым точкам. Выбрав две произвольные точки на этой прямой, определяют их координаты (θ_1, K_1) и (θ_2, K_2) . Тогда для определения коэффициентов a и b будем иметь два линейных уравнения

$$\left. \begin{aligned} a + b\theta_1 &= \kappa_1, \\ a + b\theta_2 &= \kappa_2. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Для определения примерной точности предлагаемых методов воспользуемся данными замеров искривления реальных скважин и будем считать, что нижняя часть скважин пока нам не известна, и экстраполировать этими методами, а затем результаты экстраполирования сравнивать с действительными замерами.

Так, в табл. 1 приведены фактические замеры зенитного искривления скважины дробового бурения (скважина № 597 Салаирского рудного поля) и результаты экстраполирования на интервале 160—200 м при использовании метода натянутой нити. Значения коэффициентов оказались равными $a = -0,028$, $b = +0,00915$. Из таблицы видно, что расчетные данные близки к фактическим. Однако успех экстраполирования при этом методе во многом зависит от умения правильно проводить среднюю линию на графиках зависимости кривизны от зенитного угла, и поэтому его лучше всего применять к скважинам с плавным искривлением.

2. Способ средней состоит в следующем. Фактическая кривизна скважины всегда содержит ошибки замеров искривления и, кроме того, учитывает неравномерность искривления. Отклонение фактической кривизны от средней на каждом интервале можно рассчитать по формуле $\Delta_i = \kappa_i - (a + b\theta_i)$, при $i = 1, 2, 3, \dots, n$. (7)

Параметры a и b при этом способе должны быть рассчитаны так, чтобы сумма ошибок со своими знаками равнялась нулю, т. е. $\sum_{i=1}^n \Delta i = 0$.

Из этого условия можно составить лишь одно уравнение, в то время как необходимо найти два коэффициента. Поэтому целесообразно урав-

Таблица 1

Экстраполирование зенитного искривления скважины № 597
Салаирского рудного поля

№ п/п	Результаты фактических замеров		Результаты обработки				Разность между расчетными и фактическими зенитными углами, град.
	глубина замера L_i , м	зенитный угол θ_i , град.	приращение глубины ΔL_i , м	приращение зенитного угла $\Delta \theta_i$, град.	средняя кривизна на интервале $K_i = \frac{\Delta \theta}{\Delta L}$, град/м.	зенитный угол, рассчитанный по формуле (5), град.	
1	0	7	20	+1	+0,05	7,00	0
2	20	8	20	+1	+0,05	7,81	-0,19
3	40	9	20	+1	+0,05	8,77	-0,23
4	60	10	20	+1	+0,05	9,91	-0,09
5	80	11	20	+2	+0,10	11,30	+0,30
6	100	13	20	+2	+0,10	13,00	± 0
7	120	15	20	+2	+0,10	14,94	-0,06
8	140	17	20	+4	+0,20	17,32	+0,32
9	160	21	20	+3	+0,15	20,17	-0,83
10	180	24	Интервал экстраполирования			23,58	-0,42
11	200	27				27,73	+0,73

Расхождение действительного и экстраполированного забоев:

- а) по предлагаемой методике $-0,02$ м,
- б) по методу Карболихинской ГРП $-0,86$ м.

нивание производить не для всех значений кривизны в целом, а для двух групп, содержащих примерно по половине наблюдений. При этом получится система уравнений

$$\sum_{i=1}^m \kappa_i - (a + b\theta_i) = 0, \quad \sum_{i=m}^n \kappa_i - (a + b\theta_i) = 0,$$

где

- m — число замеров в первой группе;
- n — число замеров кривизны по всей скважине.

Непосредственно для определения коэффициентов система может быть записана следующим образом

$$ma + b \sum_{i=1}^m \theta_i = \sum_{i=1}^m \kappa_i,$$

$$(n - m)a + b \sum_{i=m+1}^n \theta_i = \sum_{i=m+1}^n \kappa_i.$$

Таблица 2

Экстраполирование зенитного искривления скважины № 189 Таштагольского месторождения с определением параметров искривления по методу средней

Данные фактических замеров		Обработка данных				Результаты экстраполирования	
глубина замера L_i , м	зенитный угол θ_i , град.	приращение глубины ΔL_i , м.	приращение зенитного угла $\Delta \theta_i$, град.	средняя кривизна на интервале $K_i = \frac{\Delta \theta_i}{\Delta L_i}$, град./м.	разделение по группам	по предлагаемой методике	по методике Карболинской ГРП
0	11,0	20	+0,5	+0,025	1 группа $\Sigma \theta_i = 170,5$ $\Sigma K_i = 0,20$	$b = +0,00126$ 1/м	равно 2,25 м
20	11,5	20	+0,0	0			
40	11,5	20	0	0			
60	11,5	20	+0,5	+0,025			
80	12,0	20	+2,0	+0,100			
100	14,0	20	0	0			
120	14,0	20	-1,0	-0,050			
140	13,0	20	+0,5	+0,025			
160	13,5	20	+0,5	+0,025			
180	14,0	20	+0,5	+0,025			
200	14,5	20	+0,5	+0,025			
220	15,0	20	0	0			
240	15,0	20	0	0			
260	15,0	20	+0,5	+0,025	2 группа $\Sigma \theta_i = 219,5$ $\Sigma K_i = 0,45$	$a = -0,0404$ град./м;	равно 8,67 м
280	15,5	20	+0,5	+0,025			
300	16,0	20	+0,5	+0,025			
320	16,5	20	+1,0	+0,050			
340	17,5	20	+0,5	+0,025			
360	18,0	20	+1,0	+0,050			
380	19,0	20	0	0			
400	19,0	20	0	0			
420	19,0	20	+1,5	+0,075			
440	20,5	20	+1,0	+0,050			
460	21,5	20	+0,5	+0,025			
480	22,0	20	+2,0	+0,100			
500	24,0	—	—	—			
520	25,5	Интервал экстраполирования				23,5	22,9
540	27,0					24,6	23,7
560	27,5					25,9	23,8
580	28,0					27,5	24,3
600	28,0					29,2	24,8
620	29,0					30,7	25,2
640	30,0					32,5	25,7

В качестве примера приводим в табл. 2 экстраполирование скважины № 189 Таштагольского месторождения в интервале 500—640 метров. Значения параметров искривления, определенные по методу средней, оказались равными $a = -0,0404$ и $b = +0,00426$.

Из табл. 2 видно, что при определении параметров искривления по методу средней предполагаемая траектория незамеренной части проходит гораздо ближе к фактической, чем по методу Карболихинской ГРП, а предлагаемый метод довольно прост.

3. Метод наименьших квадратов основан на том, что сумма квадратов отклонений фактических значений кривизны от средних (по абсолютной величине) должна быть равна минимуму. Этот метод широко известен [2], [3] поэтому здесь не излагается. Отметим лишь, что этот метод дает наиболее точные значения из всех предлагаемых методов определения параметров искривления скважин, но требует несколько большего количества вычислений, поэтому этот метод целесообразно применять для скважин со значительной изменчивостью зенитного искривления.

Выводы

1. Методы экстраполирования зенитного искривления, применяемые в настоящее время разведочными организациями, как правило, не отвечают закономерностям искривления разведочных скважин.

2. Предлагаемые методы экстраполирования основаны на общих закономерностях искривления разведочных скважин и учитывают местные геологические условия бурения. Наиболее приемлемыми по простоте и точности следует считать метод среднего. Метод натянутой нити целесообразно применять при достаточно плавном искривлении скважины, а метод наименьших квадратов, наоборот, при значительной неустойчивости зенитного искривления.

3. Разработанные методы применимы, если скважина пересекает примерно аналогичные структуры, а длина замеренной части в несколько раз больше длины экстраполируемой части.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. С. Сулакшин. Искривление скважин и способы его измерения. Изд. второе. Госгеолтехиздат, М., 1960.
2. Р. С. Гутер и Б. В. Овчинский. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. Физматгиз, М., 1961.
3. Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова. Численные методы анализа. Изд. второе. Физматгиз, М. 1963.