ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. С. М. КИРОВА

Том 167 1967

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ ПЛАСТА ПО ДАННЫМ ДВУХСТВОЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ

Л. А. ПУХЛЯКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры горючих ископаемых)

При бурении на нефть и газ очень часто скважины произвольно отклоняются в сторону. Такие скважины исправляются — заливается цементом отклонившаяся часть ствола и забуривается новый ствол. При этом, как правило, данные по отклонившейся части ствола не используются. Между тем, исходя из них, можно без дополнительных затрат определить элементы залегания пласта, что очень важно при построении структурных карт месторождений. Для этого нужны элементы кривизны по обоим стволам, точки встречи обоими стволами некоторого пласта (точная привязка их по глубине) и неориентированные керны, отобранные из обоих стволов. Но элементы кривизны по обоим стволам обязательно бывают, ибо только по ним можно судить, насколько отклонился тот или иной ствол от заданного направления. Электрометрические работы по отбивке горизонтов всегда проводятся. Что касается неориентированного керна, то его отбор также не представляет проблемы.

Чтобы по этим данным определить элементы залегания пласта, нужно прежде всего вычертить горизонтальные проекции обоих стволов скважины и нанести на них точки встречи с данным пластом. Методика таких построений разработана в достаточной мере [1, 2]. Прямая, проведенная через проекции этих точек (ее можно назвать прямой косого сечения пласта), даст нам азимут этого сечения $A_к$, а расстояние между ними s и разность абсолютных отметок их Δz позволят определить угол наклона пласта в данном сечении $\alpha_к$

$$\operatorname{tg} \alpha_к = \frac{\Delta z}{s}. \tag{1}$$

По обоим неориентированным кернам определяются углы наклона плоскости напластования относительно плоскости поперечного сечения керна β. Для этого керн обрабатывается на шлифовальном станке — одна сторона его стачивается по плоскости, перпендикулярной оси керна, а вторая — по плоскости напластования. Затем измеряются его диаметр d и образующие: наибольшая h_{max} и наименьшая h_{min}, величины которых подставляются в формулу для определения интересующей нас величины

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h_{max} - h_{min}}{d}. \tag{2}$$

По этим данным элементы залегания пласта можно определить на сфере с градусным делением (на глобусе). Здесь прежде всего определяются точки выхода обоих стволов скважины на верхнюю половину сферы (имеются в виду те участки их, из которых отобран керн). Для этого азимут наклона первой скважины A_1 отсчитывается в системе меридианов по часовой стрелке, начиная от 180-го градуса, а зенитный угол — в системе параллелей от полюса к экватору. Отсчет азимута именно от 180-го, а не от нулевого меридиана ведется потому, что, будучи отсчитанным от нулевого, он даст нам направление нижнего конца скважины. Нам же нужно направление верхнего, ибо мы работу ведем на верхней половине сферы. Аналогичным образом поступаем с элементами кривизны второго ствола. В итоге, оба ствола на сфере дают нам по одной точке.

Далее берется циркуль, и одна ножка его ставится в точку, соответствующую выходу на верхнюю половину сферы первого ствола, а вторая отводится на расстояние, соответствующее углу наклона плоскости напластования относительно плоскости поперечного сечения по первому керну β_1. Отсчет величины угла ведется в системе параллелей вдоль меридиана, на котором оказалась данная точка. Полученным раствором циркуля проводится окружность. Вокруг точки выхода на верхнюю половину сферы второго ствола вычерчивается окружность, соответствующая углу наклона плоскости напластования по второму керну β_2. В итоге, на сфере получаются две точки пересечения окружностей (в частном случае может получиться одна точка и даже наложение окружностей друг на друга; последнее возможно при одинаковых азимутах наклона и зенитных углах обоих стволов).

Далее необходимо обратиться к прямой косого сечения. Азимут наклона ее $A_к$ отсчитывается от нулевого меридиана в системе меридианов по часовой стрелке, а угол наклона ее $\alpha_к$ — в системе параллелей от полюса к экватору. Через полученную точку проводится большой круг, который должен выражать плоскость, перпендикулярную рассматриваемой прямой. Круг этот пересечется лишь с одной из точек пересечения двух первых окружностей. Эта точка и будет отвечать элементам залегания пласта. Азимут падения его $A_п$ отсчитывается от нулевого меридиана по часовой стрелке в системе меридианов, а угол падения $\alpha_п$ — в системе параллелей от полюса к экватору. Кстати отметим, что на глобусе отсчет параллелей ведется от экватора к полюсам, а отсчет меридианов в восточном, а иногда [5] и в западном полушариях против часовой стрелки.

Работать на глобусе весьма неудобно. Это связано не только с тем, что отсчет градусов здесь ведется не в том направлении, в каком необходимо для решения данной задачи, но главным образом с тем, что на глобусе очень трудно проводить круги больших диаметров. Наконец, после решения нескольких задач на одном глобусе он совершенно выйдет из строя. В связи с этим решение такого рода задач рекомендуется выполнять либо на аксонометрической, либо на стереографической проекции верхней половины сферы (верхней полусферы).

Всякая окружность, построенная на сфере, в стереографической проекции, или на сетке Вульфа, изображается также в виде окружности [3, стр. 60—63]. Отсюда, решение рассматриваемой задачи на сетке Вульфа сводится к следующему.

1. На сетку накладывается калька, которая неподвижно на ней закрепляется. Затем сетка с калькой располагается обычным способом, а именно, один из полюсов ее располагается вверху, а другой — внизу. Сетка оцифровывается. Полюс вверху обозначается цифрой 0°, полюс внизу — числом 180°, правый конец экватора — числом 90° и левый конец экватора — числом 270°.

2. От 180-го деления лимба по часовой стрелке отсчитываются азимуты наклона обоих стволов скважины, которые фиксируются прямыми (радиусами).

3. Калька открепляется от сетки и приводится в такое положение, чтобы радиус, соответствующий азимуту наклона первого ствола, оказался совмещенным с половиной одного из диаметров сетки, например с правой половиной горизонтального диаметра.

4. В системе меридианов сетки от центра к периферии ее, в данном случае слева направо, отсчитывается величина зенитного угла первого ствола. Полученная точка будет выражать элементы кривизны первого ствола.

5. Вправо и влево от полученной точки отсчитывается величина угла наклона плоскости напластования в первом керне β_1. На выбранном диаметре получаются еще две точки, через которые необходимо провести окружность с центром, располагающимся как раз на средине между ними. Окружность эта будет выражать взаимоотношение между элементами кривизны первого ствола и углом наклона плоскости напластования в первом керне. Если в процессе описанного построения окажется, что сумма углов Θ и β превышает 90°, и одна из точек, лежащих на окружности, должна оказаться на нижней полусфере, то расстояние ее от центра сетки (r) следует определять по методике, которую для аналогичных задач разработал Д. Фишер [6], то есть по формуле

$$r = R \operatorname{tg} \frac{\Theta + \beta}{2}, \qquad (3)$$

где R — радиус сетки, обычно равный 10 см.

6. Аналогичным образом строится вторая окружность, которая должна выражать взаимоотношение между элементами кривизны второго ствола и углом наклона плоскости напластования во втором керне.

7. Калька приводится в исходное положение, после чего от нулевого деления лимба сетки по ходу часовой стрелки отсчитывается азимут наклона прямой косого сечения $A_с$. Через полученную точку проводится третий радиус, который затем совмещается с одной из половин горизонтального диаметра. Центр кальки при этом по-прежнему остается совмещенным с центром сетки.

8. В системе меридианов от центра к периферии отсчитывается угол наклона пласта в исследуемом сечении $\alpha_к$. Получается еще одна точка. От этой точки вдоль меридиана, на котором она оказалась, проводится дуга, которая будет выражать плоскость, перпендикулярную прямой косого сечения пласта. Она пересечется лишь с одной из точек пересечения двух первых окружностей. Обозначим эту точку кружком.

9. Через точку, обозначенную кружком, проводится четвертый радиус, который совмещается с одной из половин горизонтального диаметра. Затем вдоль этого радиуса от центра сетки до точки, обозначенной кружком, в системе меридианов отсчитывается угол, который и будет истинным углом падения пласта $\alpha_і$.

10. Калька приводится в исходное положение. При этом четвертый радиус значительно изменит свое положение (в частном случае он может остаться на месте). То деление лимба сетки, которое окажется против одного из его концов (второй конец его должен лежать в центре), будет выражать азимут падения пласта.

Решение рассматриваемой задачи на сетке Вульфа весьма удобно, однако не всегда возможно. Дело в том, что иногда одна из точек первого или второго круга может оказаться вблизи надира нижней полусферы. В таком случае нанести ее на тот лист бумаги, где ведется решение, не представляется возможным. Для решения такого рода задач рекомендуется использовать аксонометрическую проекцию верхней полусферы. Все круги, вычерченные на сфере, на этой проекции изображаются в виде эллипсов, большие полуоси которых будут равны радиусам этих кругов r, а малые связаны с ними соотношением

$$b = r \cdot \cos \gamma, \tag{4}$$

где γ — угол наклона плоскости круга к плоскости проектирования. Работу рекомендуется вести в следующем порядке.

1. Вычерчивается круг радиусом 10 см, и в нем проводится два главных диаметра — вертикальный и горизонтальный. Верхний конец вертикального диаметра считается нулевым, правый конец горизонтального обозначается цифрой 90° и т. д.

2. В полученной системе от 180-го деления лимба отсчитываются азимуты наклона обоих стволов скважины, которые фиксируются прямыми (радиусами).

3. Определяется расстояние от центра первого эллипса до центра проекции полусферы, которое выражается соотношением

$$r_1 = 10 \cdot \cos\beta_1 \cdot \sin\Theta_1, \tag{5}$$

где β_1 — угол наклона плоскости напластования в первом керне относительно плоскости, перпендикулярной оси его, определяемый соотношением (2), и Θ_1 — зенитный угол скважины в точке отбора керна. Определение величины r_1 можно вести по таблице для обработки искривленных и многозабойных скважин при замере элементов кривизны через 10 м [2], пользуясь для этого величинами Δx. При этом величины β_1 нужно отыскивать в колонке азимутов A, а величины Θ_1 — в колонке Θ. Интересно отметить, что расстояние от центра проекции полусферы до проекции точки встречи с ней оси скважины будет несколько большим и определится соотношением

$$r_{\text{ск}} = 10 \sin\Theta_1. \tag{6}$$

4. Величина r_1 откладывается на первой прямой (радиусе). Через полученную точку проводится прямая, перпендикулярная к данному радиусу, и вдоль нее откладываются длинные полуоси эллипса, определяемые соотношением

$$a_1 = 10 \cdot \sin\beta_1. \tag{7}$$

5. Вдоль исходного радиуса откладываются короткие полуоси первого эллипса, величины которых определяются соотношением

$$b_1 = 10 \cdot \sin\beta_1 \cdot \cos\Theta_1. \tag{8}$$

Для определения их также можно воспользоваться таблицами десятиметрового интервала [2], только при этом величины Θ_1 нужно отыскивать в колонках азимутов A, а величины β_1 — в колонках Θ. Ответы по-прежнему отыскиваются в колонках Δx.

6. По полученным точкам строится первый эллипс.

7. Аналогичным образом строится второй эллипс, который должен представлять собой проекцию круга, вычерченного на сфере вокруг точки выхода на поверхность ее второго ствола скважины.

8. На ту же проекцию полусферы, считая от нулевого деления лимба по ходу часовой стрелки, наносится третий радиус — радиус, соответствующий азимуту наклона прямой косого сечения $A_{\text{к}}$, на котором в сантиметрах откладывается отрезок, соответствующий углу наклона этой прямой

$$r_{\text{к}} = 10 \sin \alpha_{\text{к}} \tag{9}$$

Отсчет ведется от центра к периферии. Полученная точка обозначается звездочкой.

9. Перпендикулярно третьему радиусу через центр всей системы проводится третий диаметр. Точки встречи его с кругом отмечаются треугольниками.

10. Через полученные точки (звездочку и треугольники) проводится третий эллипс, большая полуось которого должна быть равна 10 см, а малая — выражаться соотношением (9).

11. Точка пересечения трех эллипсов и даст нам элементы залегания пласта. А именно, угол падения пласта α можно определить, исходя из расстояния этой точки от центра круга ($r_{п}$) в сантиметрах

$$\sin \alpha_{п} = \frac{r_{п}}{10}. \tag{10}$$

Для определения азимута падения нужно провести через точку пересечения трех эллипсов четвертый радиус и прочитать в конце его величину деления на лимбе.

Примечание. Если третий эллипс не пересечется ни с одной из двух точек пересечения двух первых эллипсов, это будет значить, что элементы залегания плоскостей напластования в кернах несколько не соответствуют элементам залегания их, если определение вести по трем точкам, удаленным друг от друга. В таком случае в качестве исходной нужно взять ту точку пересечения двух первых эллипсов, которая будет удалена от третьего в наименьшей степени, и провести через нее нормаль к нему. Точка пересечения нормали с третьим эллипсом и будет наиболее точно выражать элементы залегания интересующего нас пласта.

Если первые два эллипса вообще не пересекаются или если обе точки их пересечения одинаково удалены от третьего эллипса, то это будет значить, что элементы залегания пласта в точках отбора керна совершенно отличаются друг от друга, поэтому использовать их для определения общего направления падения пласта не следует. Кстати, это является не недостатком метода, а его достоинством, ибо избавляет работающего от неправильных выводов.

Д. Фишер [6], Н. Ф. Фролов и Е. Ф. Фролов [4] и многие другие авторы занимались проблемой неориентированного керна, однако они использовали для этой цели лишь два неориентированных керна, благодаря чему у них, как правило, получалось многозначное решение и как исключение однозначное. В рассмотренной задаче использовался третий элемент отметки пласта в обоих стволах. Это обеспечивает однозначность решения и гораздо большую точность его.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Пухляков. Многозабойные скважины как средство выявления глубинных структур. Изв. ТПИ, т. 127, вып. 2, 1965.

2. Л. А. Пухляков. Таблицы для обработки искривленных и многозабойных скважин при замерах элементов кривизны через 10 и 25 метров. Изд. ТГУ, 1966.

3. И. Н. Ушаков. Горная геометрия (геометрия недр). Госгортехиздат, 1962.

4. Н. Ф. Фролов, Е. Ф. Фролов. Геологические наблюдения и построения при бурении искривленных скважин. Гостоптехиздат, 1957.

5 А. Н. Храмов. Палеомагнитная корреляция осадочных толщ. Гостоптехиздат, 1958.

6. D. J. Fisher. Drillhole Problems in the Stereographic Projection. Economic Geology, vol. XXXVI, No. 5, 1941.