

УДК 550.8.088

Н. Г. Козыряцкий
ООО "Нефтегазгеофизика"

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КУРСОВОГО УХОДА ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ИНКЛИНОМЕТРОВ

Предложена и апробирована методика, позволяющая существенно повысить точность определения курсового ухода гироскопических инклинометров при одновременном снижении времени на их калибровку.

Ключевые слова: гироскопический инклинометр, курсовой уход гироскопа, калибровка.

Для измерения углов пространственного искривления скважин, обсаженных стальными трубами, или в которых по тем или иным причинам наблюдаются неприемлемые искажения магнитного поля Земли, используются инклинометры, в которых в качестве датчиков азимута (направления) применены гироскопы.

Для некоторых классов гироскопических инклинометров, датчик азимута которых построен на основе так называемого "свободного

гирокопа” (например, инклинометров типа ИГ-36, ИГ-50, ИГ-70), сохраняется неизменным пространственное положение оси вращения ротора гироскопа при любых поворотах его корпуса. При этом требуется предварительное ориентирование на устье скважины и учет курсового ухода (называемого также дрейфом) гироскопа во времени. Особенно сильно это проявляется при больших углах наклона скважины.

Основной причиной курсового ухода гироскопа является вращение Земли, и теоретически величина ухода гироскопа может достигать 15° в час.

Другими причинами, вызывающими курсовой уход, являются вертикальное и вращательное движения скважинного прибора инклинометра во время проведения инклинометрии. Величина курсового ухода зависит также от сбалансированности гироскопа, трения в подшипниках гиросистемы и карданового подвеса, а также от географической широты места проведения скважинных измерений.

Совместное воздействие перечисленных причин приводит к тому, что фактический курсовой уход гироинклинометра отличается от теоретического (расчетного) и является индивидуальной характеристикой конкретного экземпляра прибора. Это вызывает необходимость при калибровке гироинклинометра проводить экспериментальное определение курсового ухода гироскопа и вводить соответствующие поправки при обработке скважинных измерений.

При определении поправок к показаниям инклинометра по азимуту считается [6], что уход гироскопа изменяется во времени линейно. Таким образом, суммарная погрешность измерения азимута $\Delta[\psi]$ определяется по формуле

$$\Delta[\psi] = \Delta_{\text{осн}}[\psi] + \gamma \cdot t, \quad (1)$$

где $\Delta_{\text{осн}}[\psi]$ – основная погрешность измерения азимута, не зависящая от времени; γ – курсовой уход гироскопа во времени; t – текущее время от начала измерений.

В соответствии с требованиями [5, 6] значение курсового ухода гироскопа должно определяться как разница между контрольными замерами определенного азимута, достаточно разнесенными во времени (в большинстве случаев контрольные измерения выполняют с интервалом в 30 мин).

Такая методика определения курсового ухода некорректна в силу наличия в составе основной погрешности инклинометра по азимуту существенной случайной составляющей, которая в зависимости от угла наклона для разных экземпляров инклинометров может иметь значение от ± 5 до $\pm 10^\circ$. Случайная составляющая погрешности определения курсового ухода гироинклинометра, определенная по традиционной методике, может достигать от ± 7 до $\pm 14^\circ$ (в $\sqrt{2}$ раза больше). Реальные же значения курсового ухода гироскопа за 30 мин составляют от 0,6 до 6° (данные получены при приемочных испытаниях партии гироинклинометров ИГ-36), то есть значения курсовых уходов по регламентируемой в [5, 6] методике определяются с погрешностью, кратно, иногда на порядок, превышающей само значение курсового ухода.

Кроме того, традиционная методика определения курсового ухода предполагает проведение отдельных, самостоятельных измерений при калибровке инклинометра, в то время как информация о курсовом уходе уже заключена в результатах определения основной погрешности инклинометра по азимуту. Эти измерения в соответствии с требованиями [5] выполняются перед определением курсового ухода.

При калибровке инклинометра по методике, регламентированной в [5, 6], массив экспериментально полученных суммарных погрешностей инклинометра по азимуту состоит из нескольких (как правило, трех-четырех) серий, каждая из которых включает в себя погрешности, полученные для одного цикла измерений от минимально задаваемого азимута до максимального (например, 0° , 30° , 60° и т. д. до конца диапазона измерений азимута).

Пример такого массива погрешностей, полученных при калибровке по каналу азимута инклинометра типа ИГ-36 (заводской номер 092), приведен в таблице.

Так как серии измерений выполнены в различное время, они уже содержат в себе информацию о курсовом уходе гироскопа. С допустимой погрешностью этот курсовой уход может быть определен как разница между средними значениями погрешностей, вычисленных по каждой серии, отнесенная к интервалу времени между серединами серий наблюдений. При большом объеме измерений, выполняемых при калибровке, можно считать, что измерения выполняются во времени равномерно. Тогда курсовой уход гироскопа γ может быть определен по формуле

$$\gamma = \frac{\bar{\Delta}_i[\psi] - \bar{\Delta}_{i-1}[\psi]}{t_i - t_{i-1}}, \quad (2)$$

где $\bar{\Delta}_i[\psi]$ – среднее значение погрешности для i -й серии измерений; $\bar{\Delta}_{i-1}[\psi]$ – среднее значение погрешности для $(i - 1)$ -й серии измерений; t_i – момент времени, соответствующий середине i -й серии измерений; t_{i-1} – момент времени, соответствующий середине $(i - 1)$ -й серии измерений.

Если имеется больше двух серий измерений, целесообразно определить курсовой уход гироскопа для всех пар соседних серий измерений и полученные значения курсового ухода усреднить. Строго говоря, определение курсового ухода необязательно делать только по соседним сериям измерений, для этого можно использовать любые их сочетания.

Таблица

Погрешности инклинометра ИГ-36 № 092 по азимуту

Заданный азимут, град	Погрешности измерения азимута, град		
	Номер серии		
	1	2	3
10	2	0	4
30	-1	1	5
60	-1	-3	4
90	0	1	3
120	0	4	-1
150	-1	1	3
180	-2	1	2
210	-1	1	4
240	-2	2	5
270	0	1	0
300	0	3	3
330	1	3	4
350	0	1	1
Средние значения погрешности, град	-0,38	1,23	2,85

Так как при изложенной методике точность определения курсового ухода определяется точностью нахождения среднего значения погрешности по серии измерений, то в соответствии с [1] точность определения курсового ухода может быть теоретически повышена по сравнению с существующей методикой в $\sqrt{0,5n(n-1)}$ раз, где n – число измерений в серии (в рассматриваемом примере $n = 13$, то есть точность повышается почти в 9 раз).

Если имеется 4 серии измерений, целесообразно сгруппировать их в две “большие” серии, включив в одну серию измерения первой и второй серий, а в другую – третьей и четвертой. При этом погрешность определения курсового ухода уменьшается практически более чем в 12 раз по сравнению с определением по однократным отсчетам азимута в начале и в конце калибровки инклинометра по каналу азимута, а возможно имеющая место неравномерность измерений во времени сказывается в существенно меньшей степени.

Определим значения курсового ухода гироскопа для рассматриваемого в качестве примера инклинометра ИГ-36 № 092. Средние значения погрешностей измерения азимута для каждой серии указаны в таблице. Суммарное время измерений составило 15 мин, время между измерениями, соответствующими серединам соседних серий, равно 5 мин.

Полученные по формуле (2) значения курсового ухода между первой и второй сериями (γ_{1-2}) равны $0,322^\circ/\text{мин}$; между второй и третьей сериями (γ_{2-3}) – $0,324^\circ/\text{мин}$.

Среднее значение курсового ухода гироскопа равно $0,323^\circ/\text{мин}$, или $19,4^\circ/\text{ч}$.

Оценим точность определения полученных значений курсового ухода γ_{1-2} и γ_{2-3} , для чего определим дисперсии $\sigma_i^2(\bar{\Delta}[\psi])$ для средних значений погрешностей по каждой из серии измерений (после введения в результаты измерений поправок на курсовой уход в соответствии с [6] и исключения систематических погрешностей в соответствии с [5]):

- для первой серии измерений $\sigma_1^2(\bar{\Delta}[\psi]) = 0,27^\circ$;
- для второй серии измерений $\sigma_2^2(\bar{\Delta}[\psi]) = 0,40^\circ$;
- для третьей серии измерений $\sigma_3^2(\bar{\Delta}[\psi]) = 0,45^\circ$.

Применяя правило сложения дисперсий [2], получим значения дисперсий для курсовых уходов γ_{1-2} и γ_{2-3} :

$$\sigma(\gamma_{1-2}) = 0,48^\circ;$$

$$\sigma(\gamma_{2-3}) = 0,60^\circ.$$

В случае использования традиционной методики определения последнего дисперсия определения курсового ухода составила бы $2,94^\circ$ (рассмотрен случай измерения азимута 180° для первой и третьей серий). Дисперсия при измерении азимута 180° для инклинометра ИГ-36 № 092 составляет $2,08^\circ$.

Кроме повышения точности определения курсового ухода, предлагаемая методика обладает следующими преимуществами:

- отпадает необходимость в проведении дополнительных измерений, чем существенно сокращается непроизводительный расход достаточно ограниченного ресурса гиросинклинометра, тем более что время калибровки инклинометра по каналу азимута, как правило, в 2–3 раза меньше регламентированного времени определения курсового ухода гироскопа по традиционной методике;
- предлагаемая методика позволяет выявить нелинейность курсового ухода во времени по значительным расхождениям в курсовых уходах, вычисленных для разных серий наблюдений, что может свидетельствовать о непригодности инклинометра для скважинных измерений из-за невозможности объективного учета курсового ухода или же потребует более сложного математического аппарата, описанного, например, в [3], для определения изменения курсового ухода во времени.

При необходимости точность определения курсового ухода может быть повышена и дальше, если использовать методику статистической обработки угловых измерений, изложенную в [4] (ввиду ее громоздкости здесь она не рассматривается).

Выводы

Предлагаемая методика определения курсового ухода гироскопа в гироскопических инклинометрах позволяет существенно повысить точность определения курсового ухода, продлить срок службы гиросинклинометров и исключить эксплуатацию инклинометров со скрытыми дефектами, к числу которых относится нелинейность изменения курсового ухода во времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 8.207 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1978.
3. Лобанков В. М. Основы метрологии геофизических измерений: Учебное пособие. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет; Центр метрологических исследований “Урал-Гео”, 2011.
4. Мардиа К. Статистический анализ угловых наблюдений. М.: Наука, 1978.
5. МУ 41-17-1373-87. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Инклинометры и ориентаторы. Методика поверки.
6. Описание и руководство по эксплуатации гироскопического инклинометра ИГ-36.

*(По материалам конференции “Современные проблемы
промысловой геофизики. Производственная деятельность
ООО “Нефтегазгеофизика” за последние 10 лет”).*