

4. Кузнецова В. А., Кузнецов П. Л., Беляева Е. А., Муравьев В. В. Исследование влияния на эксплуатационные характеристики качества материалов танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2. – С. 140–143.

5. Кузнецова В. А., Кузнецов П. Л., Масалев А. А., Муравьев В. В. Факторы, определяющие емкость танталового оксидного конденсатора на стадии изготовления анода // Влияние высокоэнергетических воздействий на структуру и свойства конструкционных материалов : тр. II Междунар. конф., 23–30 сентября 2013 г. – Сер. Фундаментальные проблемы современного материаловедения / под ред. В. Е. Громова. – В 2 т. Т. 1. – Новокузнецк : СибГИУ, 2013. – С. 233–239.

6. Кузнецов П. Л., Кузнецова В. А., Ломаев Г. В. Исследование влияния характеристик технологического процесса изготовления на изменения эксплуатационных характеристик танталовых объемно-пористых конденсаторов во времени // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2014. – № 1 (61). – С. 11–15.

7. Кузнецова В. А., Муравьев В. В. Влияние конструктивных характеристик анода на эксплуатационные параметры оксидно-полупроводниковых танталовых чип-конденсаторов // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2014. – № 4.

V. A. Kuznetsova, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

V. V. Muravyov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Influence of quality of solid tantalum chip capacitors body on performance data

Investigations have been performed in production environment regarding the influence of solid tantalum chip capacitors body quality on performance data: capacitance, dissipation factor, leakage current, and impedance.

Keywords: tantalum chip capacitors, body, performance data.

Получено: 02.10.14

УДК 622.1:528.022.61

Г. В. Миловзоров, доктор технических наук, профессор
Удмуртский государственный университет

Д. Г. Миловзоров, кандидат технических наук, доцент
Уфимский государственный авиационный технический университет

Т. А. Редькина, старший преподаватель
Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
Р. Р. Садрутдинов
ОАО «НПФ «Геофизика», Уфа

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И КАЛИБРОВКИ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ФЕРРОЗОНДОВЫМИ ДАТЧИКАМИ

Рассмотрена структура современных инклинометрических систем с феррозондовыми и акселерометрическими датчиками, представлены аналитические выражения измеряемых проекций неколлинеарных векторов \vec{G} , \vec{H} и приведены математические модели определения углов пространственной ориентации траектории скважин. Выявлены особенности калибровочных операций инклинометрических систем по отношению к феррозондовым датчикам, предложены методические и технологические решения калибровки, обеспечивающие повышенную достоверность определения констант и точность определения искомым углов.

Ключевые слова: спонтанная конденсация, небольшой агломерат, быстрая коагуляция, моделирование, допустимый кластер.

Инклинометрические системы (ИНС) предназначены для определения параметров пространственного положения траекторий наклонно-направленных и горизонтальных скважин. При этом проекцию траектории искривленной скважины на вертикальную плоскость называют профилем, а на горизонтальную плоскость – планом. В инклинометрии к параметрам пространственной ориентации относятся:

- зенитный угол θ – угол между направлением вектора ускорения свободного падения \vec{G} и касательной к кривой профиля в каждой точке, отсчитываемый в вертикальной плоскости;

- азимут α – угол между направлением на север магнитного меридиана и касательной к кривой плана

в каждой точке, отсчитываемый в горизонтальной плоскости.

В общем инклинометрия – это совокупность задач в классической пространственной ориентации применительно к подземным (скважным) объектам. Суть решения этих задач связана с ортогональными преобразованиями прямоугольных систем координат (базисов) на углы Эйлера – Крылова [1], в соответствии с которыми устанавливаются аналитические зависимости данных углов с проекциями двух неколлинеарных векторов (ускорения свободного падения \vec{G} и индукции геомагнитного поля \vec{H}) на оси базиса корпуса объекта – скважного прибора, перемещающегося по криволинейной траектории.

Иными словами, для определения искомых углов θ и α с привязкой к глубине, т. е. в конкретной точке траектории скважины, необходимо измерить проекции указанных неколлинеарных векторов, что и представляет собой техническую задачу скважного прибора ИнС.

Следует отметить, что современные ИнС используются при геофизических исследованиях скважин в открытом стволе необсаженной скважины, а также в качестве забойных телесистем, применяемых непосредственно при бурении и встраиваемых в компоновку низа бурильной колонны.

В забойных телесистемах, помимо традиционно измеряемых азимута и зенитного угла, осуществляется еще и контроль дополнительного технологического параметра – визирного угла φ – угла установки отклонителя бурового инструмента, отсчитываемого в плоскости, перпендикулярной траектории скважины.

На рис. 1 схематично представлена структура ИнС [2]. ИнС включает в себя скважный прибор и наземную часть, содержащую интерфейсный блок, РС (Notebook) и пульт бурильщика (для забойных телесистем).

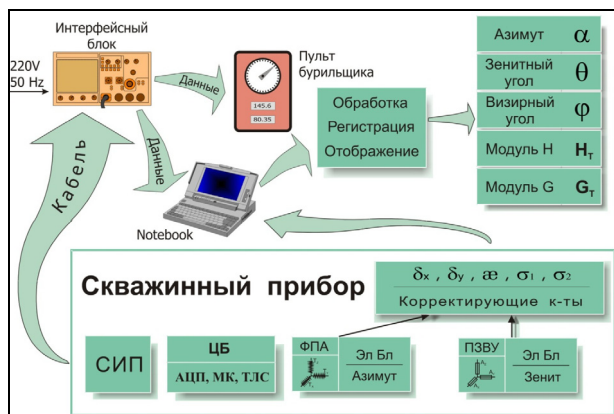


Рис. 1. Структура инклинометрической системы с феррозондовыми и акселерометрическими датчиками

Скважный прибор и интерфейсный блок сопряжены посредством канала связи. Результаты инклинометрии скважин представляются в виде численных значений азимута α , зенитного угла θ , визирного угла φ , а также и величин модулей векторов \vec{N} и \vec{G} .

Скважный прибор содержит источник питания (СИП), цифровой блок (ЦБ), включающий АЦП, микроконтроллер МК, интерфейс приемопередатчика (ТЛС), феррозондовый преобразователь азимута (ФПА), преобразователь зенитных и визирных углов

(ПЗВУ) с соответствующими схемами вторичного преобразования информационных сигналов (ЭлБл).

Внешний вид комплекта ИнС показан на рис. 2, а, в таблице представлены в качестве примера основные технические характеристики ИнС.

Датчиковую основу современных ИнС, которая представляется наиболее перспективной и признана среди разработчиков и создателей скважной аппаратуры, составляют два основных элемента: трехкомпонентный геомагнитометр с феррозондовыми датчиками и трехосевой акселерометрический преобразователь (рис. 3).



Рис. 2. Внешний вид комплекта ИнС

Технические характеристики

№	Наименование характеристики и единицы измерения	Данные
Измерение азимута от 0° до 360° с основной погрешностью (не более):		
1.	в диапазоне зенитных углов от 3° до 7°	от ±2,5° до ±1,5°
2.	в диапазоне зенитных углов от 7° до 120°	±1,5°
Измерение зенитного угла от 0° до 120° с основной погрешностью (не более):		
1.	измерение зенитного угла от 0° до 120°	±0,2°
Диапазон рабочих температур окружающей среды, °С:		
1.	для скважинного прибора	от -40 до +105
2.	для наземного интерфейсного пульта	от -10 до +50
Дополнительная температурная погрешность в диапазоне от -40° С до +105°С:		
1.	по зенитному углу	±0,1°
2.	по азимуту	±0,75°
Максимальное рабочее гидростатическое давление, МПа:		
1.	для скважинного прибора	60
Габариты и масса:		
1.	диаметр скважинного прибора, мм	36
2.	длина (скважинного прибора /в собранном виде), мм	1400/2400
3.	масса (скважинного прибора /в собранном виде), кг	6/12
4.	наземного интерфейсного пульта, мм	150x90x50
5.	масса наземного интерфейсного пульта, кг	0,4

Приведенные значения информационных сигналов с акселерометров $G_{i(x,y,z)}$ связаны с зенитным θ и визирным φ углами следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} g_x &= -\cos \varphi \sin \theta, \\ g_y &= \sin \varphi \sin \theta, \\ g_z &= \cos \theta. \end{aligned} \right\}$$

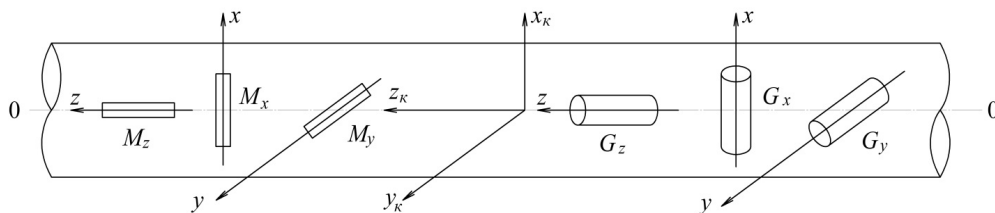


Рис. 3. Схема расположения феррозондов $M_{i(x,y,z)}$ и акселерометров $G_{i(x,y,z)}$ в корпусе скважного прибора

Приведенные значения информационных сигналов с феррозондов $M_{i(x,y,z)}$ с углами α , θ , φ и ν (угол магнитного наклона вектора \vec{H} для данной широты местности) имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} m_x &= -\sin \nu \sin \theta \cos \varphi + \cos \nu (\cos \theta \cos \alpha \cos \varphi - \sin \alpha \sin \varphi), \\ m_y &= \sin \nu \sin \theta \sin \varphi - \cos \nu (\cos \theta \cos \alpha \sin \varphi + \sin \alpha \cos \varphi), \\ m_z &= \sin \nu \cos \theta + \cos \nu \cos \alpha \sin \theta, \end{aligned} \right\}$$

а математические модели определения искомым углов α , θ , φ по измеряемым проекциям $g_{i(x,y,z)}$ и $m_{i(x,y,z)}$ представляются в виде зависимостей [2]:

$$\left. \begin{aligned} \theta &= \arctg \frac{\sqrt{g_x^2 + g_y^2}}{g_z}, \\ \varphi &= \arctg \frac{-g_y}{g_x}, \end{aligned} \right\}$$

$$\alpha = \arctg \frac{-(m_x \sin \varphi + m_y \cos \varphi)}{m_z \cos \theta + \sin \theta (m_y \sin \varphi - m_x \cos \varphi)}.$$

Специфической особенностью построения современных ИнС с феррозондовыми датчиками является сложность обеспечения строго ортогонального позиционирования осей чувствительности каждого из феррозондов $M_{i(x,y,z)}$ по отношению к базису корпуса скважного прибора. Наличие углов несоосности δ_x , δ_y , α , σ_1 и σ_2 (рис. 1), характеризующих конкретное пространственное расположение феррозондов в корпусе, приводит к появлению существенных инструментальных погрешностей определения азимута α и ИнС в целом.

Одним из путей достижения приемлемых метрологических характеристик ИнС является учет численных значений этих констант (δ_x , ..., σ_2) в общей алгоритмической обработке результатов скважных измерений с применением специализированного программного обеспечения.

Численные значения констант (δ_x , ..., σ_2) определяют при экспериментальных исследованиях вновь создаваемых ИнС, при метрологической аттестации и при выполнении периодических поверок. Эти исследования выполняют, как правило, в метрологических службах научно-исследовательских, проектно-конструкторских и производственных организациях, специализирующихся в области разработки, создания и практического применения скважной геофизической аппаратуры. При этом используют специальное поверочное оборудование (поверочные установки, поворотные столы и т. д.). Внешний вид одной из таких поверочных установок для инклинометров показан на рис. 4.

Основной функцией поверочных установок является задание «точных» дискретных фиксируемых значений азимутальных и зенитных углов путем контролируемых поворотов в горизонтальной и вертикальной плоскостях и «передача» этих значений исследуемому скважному прибору, который жестко позиционируется в узлах крепления поверочной ус-

тановки. Все экспериментальные исследования, калибровочные и поверочные операции ИнС выполняются по соответствующим методикам, приведенным в нормативных отраслевых документах.



Рис. 4. Внешний вид поверочной установки

Причем основные технологические операции при выполнении данных работ включают в себя следующие основные этапы:

- установка исследуемого скважного прибора ИнС в узлах крепления поверочной установки;
- позиционирование пространственного положения корпуса скважного прибора путем задания конкретных контролируемых значений углов по азимуту и наклону (зенитному углу);
- измерение информационных сигналов с феррозондов и акселерометров и вычисление констант;
- вычисление искомым углов (θ , α) и сравнение полученных результатов с заданными значениями на поверочной установке.

Все эти операции регламентированы и выполняются соответствующими службами предприятий.

Кроме того, к подобным установкам также предъявляются вполне определенные специфические требования. Сама поверочная установка представляет собой объект для калибровки и метрологической аттестации, которые проводятся уполномоченными региональными метрологическими центрами. Суть этих работ сводится к регулировочным операциям конструктивных элементов поверочной установки с целью горизонтирования поворотной (азимутальной) платформы и обеспечения вертикальной начальной ориентации корпуса исследуемого инклинометра. При этом используются поверочные прецизионные устройства – квадрант оптический (типа КО-60) и магнитная буссоль (магнитная стрелка) с ограниченным, но высокочувствительным диапазоном ($\pm 5^\circ$) с точностью контролируемого угла ± 15 угл. мин. Кроме регулировочных операций при

калибровке самой поворотной установки выполняется фиксирование «нулей» на лимбах зенитной и азимутальной шкалы. Эти процедуры, выполняемые специалистами метрологических центров, выполняются периодически – 1 раз в три года с выдачей соответствующих сертификатов, определяющих право на калибровку скважных приборов инклинометрических систем в установленном порядке.

Здесь необходимо отметить и обратить особое внимание на временную стабильность в соответствующих выставленных «нулях» шкал установки и действительных их расположений. Уход «нуля» шкалы лимба зенитного угла маловероятен, если исключить внешние принудительные возмущения (перемещение в помещении, механическая деформация конструкции и др.).

Иначе обстоит дело с временной стабильностью «нуля» лимба азимутальной шкалы. Причинами тому являются вариации внешнего магнитного поля, обусловленные возмущениями естественного геомагнитного поля и возмущениями техногенного характера. Это обстоятельство практически не учитывается при выполнении операций инклинометров с феррозондовыми магниточувствительными датчиками и приводит к получению заведомо неверных результатов калибровки.

В этом ракурсе следует более тщательно рассмотреть основные элементы калибровки таких инклинометров. На рис. 5 схематично показана последовательность калибровочных операций.

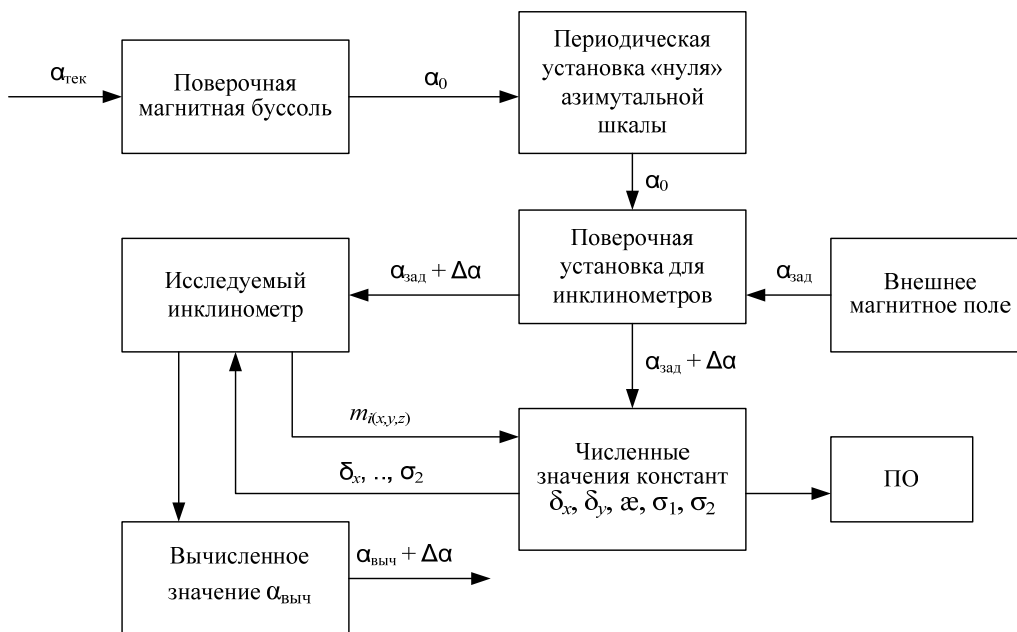


Рис. 5. Схема влияния смещения «нуля» азимутальной шкалы поверочной установки

Так, при периодической калибровке поверочной установки с помощью магнитной буссоли при текущих значениях $\alpha_{тек}$ выставляется и фиксируется «нуль» азимутальной шкалы $\alpha_0 = 0$.

Затем исследуемый инклинометр с феррозондовыми датчиками устанавливается в узлах крепления поверочной установки, которому последовательно задаются конкретные пространственные положения с особым акцентом на ориентацию в азимуте

$\alpha_i = \frac{\pi}{2}k$ ($k = 0, 1, 2, 3$). В этих точках измеряют сигналы с феррозондовых датчиков и по известным математическим моделям находят численные значения констант ($\delta_x, \dots, \sigma_2$), характеризующих конкретное конструктивное исполнение данного скважного инклинометра, которые в свою очередь записываются в «электронный паспорт» и участвуют в последующем в общем алгоритме обработки скважных промысловых измерений, в частности в специализированном программном обеспечении (ПО).

Безусловно, точность определения констант ($\delta_x, \dots, \sigma_2$) непосредственно определяет нормируемые метрологические характеристики ИнС и, соответственно, качество получаемых результатов скважных измерений в целом, достоверность инклинограмм.

При отсутствии возмущений внешнего магнитного поля, т. е. $\vec{H} = const$ (по величине и направлению), процедуру калибровки скважного инклинометра и получаемые при этом результаты можно считать в определенном смысле достоверными.

Если же в процессе выполнения калибровки или при длительном периоде межкалибровочных процедур имеют место геомагнитные возмущения естественного либо техногенного происхождения (кратковременные или длительные), сопровождаемые изменениями в пространстве результирующего вектора ($\vec{H} + \Delta\vec{H}$), то это приведет к неверному воспроизведению азимутальных углов ($\alpha_{зад} + \Delta\alpha$) поверочной установкой и, как следствие, неверному (или грубому, т. е. с большой погрешностью) определению

численных значений констант ($\delta_x, \dots, \sigma_2$) для конкретного калибруемого инклинометра.

А это обстоятельство, отражающее специфику калибровки, существенно влияет в итоге на качество и конкурентоспособность инклинометрических систем. Исследования вариаций геомагнитного поля [3], проведенные в региональном метрологическом центре ГУП «Урал-гео», непосредственно подтверждают данные положения.

В плане решения данной проблемы предлагается использовать дополнительные устройства, обеспечивающие контроль в реальном масштабе времени «ухода нуля» азимутальной шкалы. В качестве такого устройства может быть использован цифровой магнитный компас [4], жестко фиксируемый в пространстве вблизи поверочной установки и имеющий, как измерительный преобразователь, крутую статическую характеристику «выход-вход» в малом диапазоне $\pm 5^\circ$ с нулевым начальным положением, соответствующим «нулю» азимутальной шкалы. На рис. 6 показан внешний вид этого устройства, принцип действия которого основан на измерении сигнала с магниточувствительного датчика, ось чувствительности которого изначально ориентирована горизонтально и перпендикулярно вектору индукции геомагнитного поля.

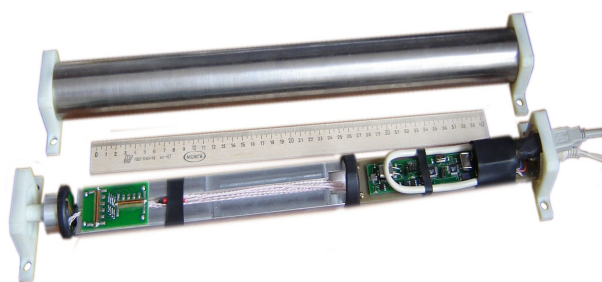


Рис. 6. Внешний вид цифрового магнитного компаса

Следует отметить, что в данном техническом решении нет необходимости в строгом горизонтировании оси магниточувствительного датчика, поскольку

априори устанавливается функциональная зависимость самого измерительного сигнала с возможным диапазоном вариации вектора магнитного поля в азимуте, т. е. в горизонтальной плоскости.

Применение этого дополнительного устройства в общей технологической схеме калибровки скважинных приборов инклинометрических систем позволяет решить важную задачу по «отслеживанию ухода нуля» азимутального лимба поверочной установки, а именно – повысить точность определения малых угловых параметров ($\delta_x, \dots, \sigma_2$) и, соответственно, численных значений констант, участвующих в общем алгоритме обработки результатов скважинных измерений.

Такое решение, безусловно, является вполне перспективным в плане обеспечения достоверности калибровочных операций с учетом особенностей инклинометрических систем с феррозондовыми датчиками и рекомендуется к непосредственному применению в метрологических службах организаций, специализирующихся на создании и практическом применении при геофизических исследованиях скважин подобной аппаратуры.

Библиографические ссылки

1. Миловзоров Г. В. Анализ инструментальных погрешностей инклинометрических устройств. – Уфа : Гилем, 1997. – 184 с.
2. Миловзоров Г. В., Миловзоров А. Г., Дьячков А. С., Фёдорова В. А. Малогабаритная инклинометрическая система с феррозондовыми и акселерометрическими датчиками // Каротажник. – Вып. 2 (167). – Тверь : Изд-во АИС, 2008. – С. 40–42.
3. Гарейшин З. Г. Исследования влияния вариаций геомагнитного поля на погрешности метрологического обеспечения скважинной инклинометрической аппаратуры с магниточувствительными датчиками // Нефтегазовое дело. – 2006. – Т. 4. – С. 175–204.
4. Зигангиров Л. Р., Миловзоров Д. Г. Цифровой магнитный компас с феррозондовыми датчиками // Электроника, автоматика и измерительные системы : межвуз. науч. сборник. – Уфа : РИК УГАТУ, 2009. – С. 100–103.

G. V. Milovzorov, DSc in Engineering, Professor, Udmurt State University

D. G. Milovzorov, PhD in Engineering, Associate Professor, Ufa State Aviation Technical University

T. A. Redkina, Senior Lecturer, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

R. R. Sadrutdinov, OJSC “NPF “Geophysics”, Ufa

Features of development and calibration of inclinometric systems with ferroprobe sensors

The paper considers the structure of modern inclinometer systems with ferroprobe and accelerometric sensors. Analytic relations of measured projections of non-collinear vectors \vec{G} , \vec{H} are presented. Mathematical models are given for determining the angles of space orientation of well trajectories. Features of inclinometric systems calibration with regards to ferroprobe sensors are revealed. Methodical and production solutions for calibration are proposed, providing the increased validity of constants determination and the accuracy of defining the angles to be found.

Keywords: homogeneous condensation, small agglomerates, fast coagulation, modeling, critical cluster.

Получено: 22.11.14