Кузьмина И. В.

Выявление и исключение логических ошибок типа «гистерон-протерон» при геофизических исследованиях горизонтальных скважин методами дифференциальной телеметрии*Ухтинский государственный технический университет
(Россия, Ухта)*

doi: 10.18411/lj-04-2019-235

idsp: ljjournal-04-2019-235

Аннотация

Приведены визуальные факты негативного влияния на качество геофизических исследований смещения измерительного зонда с центральной оси ствола скважины. Указаны причины возникновения логических ошибок типа «гистерон-протерон». Изложен способ выявления и устранения логических ошибок этого типа.

Ключевые слова: дифференциальный измерительный преобразователь, гравитационная навигация, логические ошибки типа «гистерон-протерон».

Abstract

The visual facts of negative impact on quality of geophysical surveys of shift of the measuring probe from the central axis of a trunk of the well are given. The causes of logical mistakes like "gisteron - proteron" are specified. The way of identification and elimination of logical errors of this type is stated.

Keywords: differential measuring transducer, gravitational navigation, logical errors such as «hysterion-proteron»

Эффективным методом формирования оптимальной системы разработки залежей, а также восстановления продуктивности нефтяных и газовых месторождений, находящихся на поздней стадии эксплуатации является разбуривание нефтяных и газовых месторождений наклонным способом и особенно горизонтальными (ГС) и разветвлённо - горизонтальными скважинами (РГС). Горизонтальные скважины, как правило, характеризуются сложными траекториями, поэтому возникла необходимость учёта влияния геометрии ствола скважин на результаты геофизических исследований.

Рисунок 1. Иллюстрация влияния геометрии ствола скважин и пространственной ориентации измерительного зонда скважинного акустического телевизора (САТ) на качество акустических снимков

Применение дифференциальных измерительных преобразователей (ДИП) (многоэлементных датчиков) для стандартных геофизических методов позволило в некоторой степени устранить эту проблему. Теоретические и экспериментальные исследования по изучению поведения ДИП в стволе скважин различной геометрии выявило одну позитивную особенность этого типа измерительных преобразователей – изменение геометрии ствола скважины и смещение измерительного зонда с

центральной её оси различимы между собой на результатах исследований, но при одновременном воздействии на ДИП этих двух факторов, при интерпретации результатов исследований приводят к логическим ошибкам типа «гистерон-протерон» [3, с. 120] и искажению геофизической информации.

Влияние геометрии ствола скважин и смещение измерительного зонда скважинной телеметрической системы с её оси, убедительно иллюстрируют снимки поверхности стенок скважины (рисунок 1), полученные скважинным акустическим телевизором (САТ) в стационарной метрологической установке [1, с. 36].

Нарушение центровки измерительного зонда в стволе скважины круглого сечения приводит к искажению фона акустического снимка со случайным рисунком и произвольной градацией серых тонов (рисунок 1, б). Это же физическое явление наблюдается и в стволе скважин различной формы поперечного сечения (рисунок 1, в, г).

В реальных условиях, результаты исследований ствола скважины телеметрической системой САТ, выглядят гораздо сложнее. Далеко не всегда удаётся на акустическом снимке отличить изменение геометрии ствола скважины от смещения измерительного зонда относительно её оси.

Решить эту непростую задачу для каждого геофизического метода позволяют ДИП различной конструкции [5, с. 26 – 36].

Эффективность использования ДИП в измерительных каналах стандартных телеметрических систем можно наглядно показать на примере одного из простейших геофизических методов исследования ствола обсадных колонн – магнитного локатора муфт, а результаты его применения визуально проиллюстрировать снимками стандартной телеметрической системы САТ. Для этого был создан аналог дифференциального измерительного преобразователя для измерительного канала стандартного магнитного локатора муфт (рисунок 2).

Рисунок 2. Устройство дифференциального измерительного преобразователя магнитного локатора муфт.

Рассмотрим принцип его работы и результаты исследований ствола обсадной колонны.

Угол «видимости» каждым элементом ДИП магнитного локатора вычисляется известными методами математического анализа, т. е. плоский угол β , заключённый между прямыми линиями $OA = OB$, определяется отношением дуги окружности $\overline{AB}$ к радиусу $OA = r$ (рисунок 3): $\beta = \frac{\overline{AB}}{r}$. Для определения элементарного угла $d\beta$, берётся отношение элементарной дуги окружности dl_0 к радиусу r : $d\beta = \frac{dl_0}{r}$. Далее определяется угол $d\beta$ через элементарную дугу dl произвольной кривой AB_1 , проходящей через точку A .

Рисунок 3. Угол «видимости» $\beta = \frac{\overline{AB}}{r}$ элементом ДИП поверхности ствола скважины

Геометрические построения на рисунке 5 позволяют сделать вывод, что элемент дуги dl_0 вычисляется по формуле $dl_0 = dl \cos \varphi$, здесь φ – угол между нормальными ($\vec{n}$ и $\vec{n}_1$) к кривым AB и AB_1 в точке A .

В этом случае соотношение для элементарного угла $d\beta$ имеет вид: $d\beta = \frac{dl \cos \varphi}{r}$. Интегрируя это соотношение по кривой AB_1 , получим значение плоского угла в интегральной форме [2, с. 20]:

$$\beta = \int_{(A)}^{(B_1)} \frac{dl \cos \varphi}{r}. \quad (1)$$

Если силу взаимодействия $\vec{F}$ постоянных магнитов магнитного локатора ДИП со стенкой обсадной колонны рассматривать в точке M , как единичную массу m_0 металла, то вектор силового поля во всех точках пространства будет определять изменение векторного поля по закону:

$$\vec{F}(P) = K \frac{m_0}{R^2(P,M)} \vec{R}^0(P,M), \quad (2)$$

где: $\vec{F}(P)$ – векторная функция, характеризующая взаимодействие элемента дифференциального измерительного преобразователя (точка P) магнитного локатора с металлом обсадной колонны в точке M ;

K – коэффициент пропорциональности, зависящий от напряжённости магнитного поля постоянных магнитов, массы металла стенки обсадной колонны и расстояния между ними;

$R(P,M)$ – расстояние от точки (P) расположения датчика до точки (M) на поверхности обсадной колонны;

$\vec{R}^0(P,M)$ – единичный вектор, направленный из точки P в точку M .

В этом случае, проекция векторной функции $\vec{F}(P)$ скалярного аргумента P на оси Ox, Oy, Oz декартовой прямоугольной системы будет определяться системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} F_x(P) &= K \frac{m_0}{R^2(P,M)} \cdot \frac{(x_0 - x)}{R(P,M)} = K \frac{m_0(x_0 - x)}{R^3(P,M)}; \\ F_y(P) &= K \frac{m_0}{R^2(P,M)} \cdot \frac{(y_0 - y)}{R(P,M)} = K \frac{m_0(y_0 - y)}{R^3(P,M)}; \\ F_z(P) &= K \frac{m_0}{R^2(P,M)} \cdot \frac{(z_0 - z)}{R(P,M)} = K \frac{m_0(z_0 - z)}{R^3(P,M)}; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где: x_0, y_0, z_0 – текущие координаты элемента измерительного преобразователя (точка P);

x, y, z – координаты точки M на поверхности обсадной колонны, находящейся в области видимости измерительного элемента.

Система уравнений (3) позволяет выразить функцию $U(P)$ взаимодействия (точка P) постоянных магнитов измерительного преобразователя локатора со стенкой обсадной колонны (точка M) в интегральной форме:

$$U(P) = K \iiint_V \frac{\rho(M)dV(M)}{R(P,M)}, \quad (4)$$

где: $\rho(M)$ – объёмная плотность массы металла обсадной колонны в точке M ;
 V – область «видимости» датчиком локатора объёма металла обсадной колонны;
 dV – элемент объёма обсадной колонны;
 $R(P, M)$ – расстояние от точки P датчика до точки M обсадной колонны.

Функция $U(P)$ характеризует амплитуду $A[U(P)]$ электрического сигнала, наведённого в катушке индуктивности магнитным полем датчика локатора, пропорционального дефекту обсадной колонны.

Радиальное разрешение ДИП (количество регистрирующих n -элементов) вычисляется в комплексной плоскости. Для этого используется формула Эйлера, $z = re^{i\varphi}$ (здесь z – комплексное число, представленное в показательной форме; r – модуль комплексного числа; φ – аргумент комплексного числа) и формула вычисления арифметических корней n -ой степени из единицы, имеющая общий вид [2, с. 33]:

$$\alpha = \sqrt[n]{r} \left[\cos \left(\frac{\varphi + 2\pi k}{n} \right) + i \sin \left(\frac{\varphi + 2\pi k}{n} \right) \right], \quad (5)$$

где: α – числа, удовлетворяющие равенству $\alpha^n = r(\cos \varphi + i \sin \varphi)$.

Таким образом, приняв один из элементов дифференциального измерительного преобразователя за реперную точку, т. е. точку, определяющую положение ДИП в стволе скважины, получим координатную систему дифференциального измерительного преобразователя. Реперная точка устройством гравитационной навигации будет постоянно ориентирована в одном положении относительно нижней стенки обсадной колонны в наклонно направленных и в горизонтальных скважинах. Поперечные «блуждания» измерительного преобразователя в стволе обсадной колонны будут частично ограничены центраторами скважинного прибора, а его малые поперечные колебания нетрудно будет вычислить по измеренным значениям реперной точки.

Правые части системы уравнений (3) определяют закон изменения амплитуды электрического сигнала при взаимодействии дифференциального измерительного преобразователя со стенкой обсадной колонны в точках P, M . Опираясь на этот закон, нетрудно графически проиллюстрировать изменение регистрируемых параметров дифференциальным измерительным преобразователем, определить степень влияния геометрии ствола скважины и уровень смещения измерительного зонда относительно оси ствола скважины.

На рисунке 4 приведена графическая иллюстрация законов изменения контрастности дефекта при деформации обсадной колонны и фона её поверхности при нарушении центровки измерительного зонда в стволе горизонтальной скважины.

Рисунок 4. Графическая иллюстрация законов изменения контрастности дефекта при деформации обсадной колонны и фона её поверхности при нарушении центровки измерительного зонда в стволе ГС:

- ось Ox – область изменения контрастности фона поверхности обсадной колонны при нарушении центровки измерительного преобразователя со стволом скважины;
- ось $O(-x)$ – область изменения контрастности дефекта на поверхности колонны при её вогнутой или выпуклой деформации;
- $(-y)Oy$ – центральная ось наклонно направленной или горизонтальной скважины.

Для наглядности, амплитуды электрических сигналов заменены уровнями контрастности по следующей градации экстремальных точек:

- «чисто-белый уровень» – минимальная амплитуда электрического сигнала;
- «контрастно-чёрный уровень» – максимальная амплитуда электрического сигнала;

«серые уровни различной контрастности» – пропорциональны интервалу контрастности между экстремальными значениями – «чисто-белым» уровнем и «контрастно-чёрным», закон их изменения определяется соотношением, полученным из системы уравнений (3).

Используя данный график и специализированную метрологическую установку [6, с. 25-35] для калибровки дифференциальных измерительных преобразователей, нетрудно получить метрологические эталоны, предназначенные для интерпретации результатов исследований.

Приведённый демонстрационный пример дифференциального измерительного преобразователя магнитного локаатора муфт, справедлив для всех геофизических методов, требующих по технологии исследований центровки измерительного зонда относительно стенок ствола скважины.

Использование ДИП в измерительных каналах стандартных телеметрических систем, позволит снизить уровень искажения геофизической информации в процессе исследования скважин сложной геометрии и пространственной ориентации, решить ряд технических и технологических задач нефтепромышленной геофизики и поднять на новый, более высокий уровень, метрологическое обеспечение современных геофизических методов.

1. Временное методическое руководство по применению скважинного акустического телевизора и интерпретации получаемых данных. – Уфа: ОАО «Научно-производственная фирма «Геофизика»», 2004. – 51 с.
2. Кауфман А. А. Введение в теорию геофизических методов. Часть I. Гравитационные, электрические и магнитные поля. Пер. с англ.; Ред. пер. М. Н. Бердичевский. – М.: Издательство «Недра», 1997. – 520 с.
3. Кондаков Н. И. Логический словарь-справочник. – Изд. 2-е, исправленное и дополненное. – М.: Издательство «Наука», 1975. (Академия наук СССР, Институт философии).
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения, теоремы, формулы. – 5-е изд. – М.: Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 832 с.
5. Кузьмина И. В. Обработка и интерпретация результатов исследований ствола горизонтальных скважин методом дифференциальной телеметрии с гравитационной навигацией. – Научный журнал «Бюллетень науки и практики, № 2, 2017 г.» / Россия, Нижневартовск: Издательский центр «Наука и практика». (ВИНИТИ РАН, РИНЦ и т. д.) Bulletin of Science and Practice (scientific journal), <http://www.bulletennauki.com>.
6. Kuzminova I.V. Isolation of semantic interval of complex random functions when interpreting results of geophysical explorations wellbore complex geometry using the differential telemetry. – 12th International Scientific and Practical Conference «Science and Society» by SCIEURO in London, 24-29 May 2018, с. 25-35

Матросова Л.Д.

**Актуальные проблемы внедрения электронного документооборота в целях
повышения эффективности принятия управленческих решений**

*Орловский юридический институт МВД России имени В.В. Лукьянова
(Россия, Орел)*

doi: 10.18411/lj-04-2019-236

idsp: ljournal-04-2019-236

Аннотация

Изучение современного программного обеспечения позволяет свободно ориентироваться в информационном пространстве. Выработка навыков и умений