

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

ANALYSIS OF THE EFFECT OF GEOMAGNETIC FIELD VARIATIONS AT INSTRUMENT ERRORS OF INCLINOMETERS EQUIPMENT

Анализируются временные параметры геомагнитных возмущений в виде вариаций вектора напряженности магнитного поля Земли, проводится оценка влияния вариации угла магнитного склонения на результаты метрологического обслуживания и эксплуатации скважинной инклинометрической аппаратуры.

Analyzes the timing of geomagnetic disturbances in the form of variations in magnetic field strength of the Earth, an evaluation of the influence of variation of the angle of the magnetic declination on the results of the metrological service and operation of the well inclinometers survey instruments.

Гарейшин З.Г.
ФГБОУ ВПО Уфимский
государственный нефтяной
технический университет

Z.G. Gareyshin
FSBEI Ufa state petroleum technical
university

Ключевые слова: геомагнитные возмущения, магнитное склонение, метрология, скважинная инклинометрия.

Keywords: geomagnetic disturbances, magnetic variation, metrology, downhole directional survey.

При изготовлении и применении инклинометрической аппаратуры (ИА) в нефтегазовых скважинах особое внимание уделяют её метрологическим характеристикам, от которых в немалой степени зависит точность проводки скважины при бурении в соответствии с проектным профилем.

В области создания ИА в качестве магниточувствительных датчиков наибольшее распространение получили трёхкомпонентные феррозондовые магнитометры, жёстко закреплённые в шасси скважинного прибора и предназначенные для измерения трёх проекций полного вектора напряжённости магнитного поля Земли.

Одной из характерных особенностей построения такой ИА является несоответствие осей чувствительности феррозондовых магнитометров ортонормированным прямоугольным осям базиса скважинного прибора. Кроме этого, на инструментальные погрешности ИА оказывают влияние разброс масштабных коэффициентов информационных сигналов, температурный дрейф феррозондовых магнитометров и отклонения их статических характеристик от линейной функции.

Для обеспечения высоких метрологических показателей ИА проводится градуировка феррозондовых магнитометров, определяются значения параметров, характеризующие индивидуальные особенности каждого скважинного прибора и используемые при алгоритмической обработке результатов измерений. Во многом качество метрологического обеспечения ИА зависит от стабильности геомагнитного поля (ГМП) – вариаций полного вектора напряжённости геомагнитного поля по вели-

чине и по направлению. Проявление этих вариаций может носить естественный и техногенный характер. Естественные вариации связаны с воздействием магнитных бурь, со сверхнизкочастотными флуктуациями и возмущениями [1] магнитного поля Земли. Техногенные вариации обусловлены наличием квазистационарных ферромагнитных масс и источников внешних магнитных полей, образующихся при работе энергоёмкого производственного оборудования. Техногенные вариации могут быть учтены при проведении метрологического обслуживания ИА. Поэтому, вполне определённый интерес представляют естественные вариации ГМП.

Наибольшее влияние вариаций ГМП на погрешности измерений наблюдается в северных регионах [10]. В высоких широтах интенсивно проявляются местные возмущения, не распространяющиеся на большие площади, вследствие чего в пределах сотни километров изменения ГМП могут существенно отличаться. Большой угол ($75\div 85$)° магнитного наклона уменьшает горизонтальную составляющую вектора напряженности магнитного поля Земли, что уменьшает стабильность вектора магнитного склонения и суточные вариации могут достигать 130 угловых минут азимутального угла.

В соответствии с классификацией вариаций ГМП [2] по скорости их изменения во времени и интенсивности, короткопериодные вариации с периодом от (0,2÷5) с до 30 минут имеют амплитуду напряжённости магнитного поля (0,5÷10) нТл, а суточные вариации могут изменяться в широких пределах – (10÷60) нТл, что может соответствовать вариациям магнитного склонения (12÷150)′.

Примером больших значений переменной составляющей при измерении напряженностей магнитного поля Земли могут служить результаты градиентной съёмки на акватории Баренцева и Карского морей [6], когда вариации ГМП достигали значений в сотни нанотесл, что может ориентировочно соответство-

вать вариациям магнитного склонения более 2°. Измерения, выполненные во время другой магнитной бури в Радиофизической обсерватории Харьковского национального университета [7] при помощи высокочувствительного магнитометра-флюксметра с высоким временным разрешением, показали, что магнитометрические сигналы увеличивались по амплитуде в 50÷60 раз.

На геофизических предприятиях на качество проведения метрологического обслуживания ИА также учитывают влияние вариаций ГМП. На инклинометрическом участке треста «Сургутнефтегеофизика» калибровка ИА производится с учётом вариаций ГМП, получаемых по данным аэропорта каждый день с интервалом 1 час. Но, в основной массе метрологов, занятых на обслуживании ИА, принято считать, что магнитные бури и геомагнитные возмущения непостоянны, непродолжительны и незначительны, что вероятность проведения ошибочных измерений мала. Конечно, магнитные короткопериодные микробури продолжительностью от нескольких секунд до 5÷10 минут, возможно, и не успевают оказать значительного влияния на качество метрологического обслуживания ИА и каротажа. Но, магнитные бури могут продолжаться несколько часов и суток [10] и накладывать своё влияние на погрешности измерений.

Для оценки уровня вариаций ГМП и их продолжительности в данной работе был проведён анализ изменений ГМП за шесть лет. По данным геомагнитной обсерватории МОСКВА (ИЗМИРАН) [3] с 1999 г. по 2005 г. были выделены дни с неблагоприятной геомагнитной обстановкой, значимы для геофизических измерений в скважинах. Результаты измерений амплитуды напряжённости магнитного поля в периоды магнитных бурь по геомагнитным обсерваториям ИРКУТСК [4], НОВОСИБИРСК [5] и МОСКВА [3] совпадают. Для детального анализа

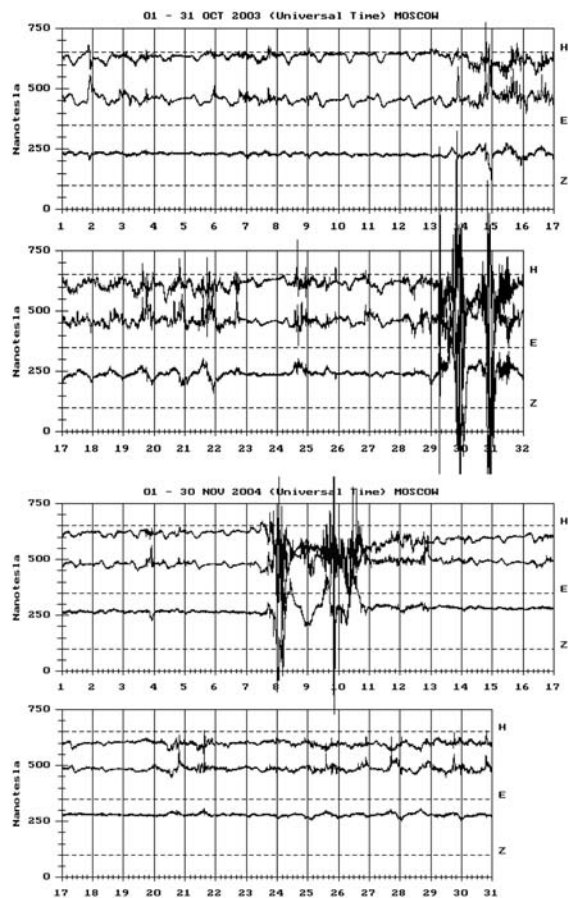


Рисунок 1. Примеры вариаций составляющих напряженности магнитного поля по осям (XYZ) за октябрь 2003 г. и ноябрь 2004 г.

вариаций ГМП были выбраны результаты измерений геомагнитной обсерватории ИРКУТСК.

На рисунке 1 приведены примеры магнитных бурь 29÷31 октября 2003 г. и 7÷11 ноября 2004 г. [3]. Эти примеры являются типичными, изменения горизонтальной составляющей H напряжённости магнитного поля составляют (500÷1000) нТл. С 14

Таблица 1. Список дней с геомагнитными бурями, значимыми для геофизических измерений в скважинах.

Месяц	Год						
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
01	13, 14	--	23, 24, 31	10, 11	3, 30	16, 22	21
02	18, 19	12, 14	13	5	2, 27	11, 27	8
03	--	--	19, 20, 27, 31	24	3, 17, 31	11, 27, 28	--
04	--	6, 7	8, 11, 18	17, 18, 19, 20	--	3, 5	5
05	--	23, 24	9	11, 23	29	--	8, 15, 29, 30, 31
06	26, 28	8, 23	--	--	--	--	12, 13, 14, 23
07	21, 30	13, 14, 15, 16	--	--	12, 16, 26	25, 27	10, 12, 13
08	--	10, 12	17	--	18	30	24, 25, 31
09	22, 23	16, 17, 18, 19, 30	23, 25	7, 8, 30	--	--	11, 12, 13, 15
10	10, 12	3, 4, 5, 14	3, 21, 22	1, 3, 16, 24	29, 30, 31	--	31
11	13, 16	6, 7, 10, 28, 29	6, 24	--	20	8, 9, 10	--
12	3, 4, 13, 30, 31	--	--	19, 20	--	--	11, 31
Сумма дней	19	28	20	19	16	15	25

октября вплоть до вспышки магнитной бури 29 октября наблюдается нестабильное состояние геомагнитной обстановки с амплитудой $H \sim 100$ нТл. Как видно из графиков за ноябрь 2004 г. стабильное состояние геомагнитной обстановки характеризуется амплитудой $H = \pm(15 \div 20)$ нТл. Также, по данным геомагнитной обсерватории ИРКУТСК [4] абсолютные изменения магнитного склонения D (рисунок 2) во время действия магнитной бури 10 ноября 2004 г. ($H = \pm(250 \div 300)$ нТл) составляют $(0,8 \div 0,9)^\circ$.

В таблице 1 приведён список дней с геомагнитными бурями, существенными при метрологическом обслуживании ИА и геофизических измерениях в скважинах.

Из графиков суточных изменений углов магнитного склонения ($Decl$) и наклона ($Incl$) (рисунок 2) по данным геомагнитной обсерватории ИРКУТСК, в соответствии со списком дней по таблице 1, в результате статистической обработки данных было получено относительное число проявлений (относительные частоты) интервалов вариаций углов магнитного склонения. Интервалы были выбраны в диапазоне $\pm 1,0^\circ$ с шагом $0,025^\circ$ по каждому анализируемому дню. Примеры графиков относительных частот интервалов суточных вариаций угла магнитного склонения приведены на рисунках 3÷5.

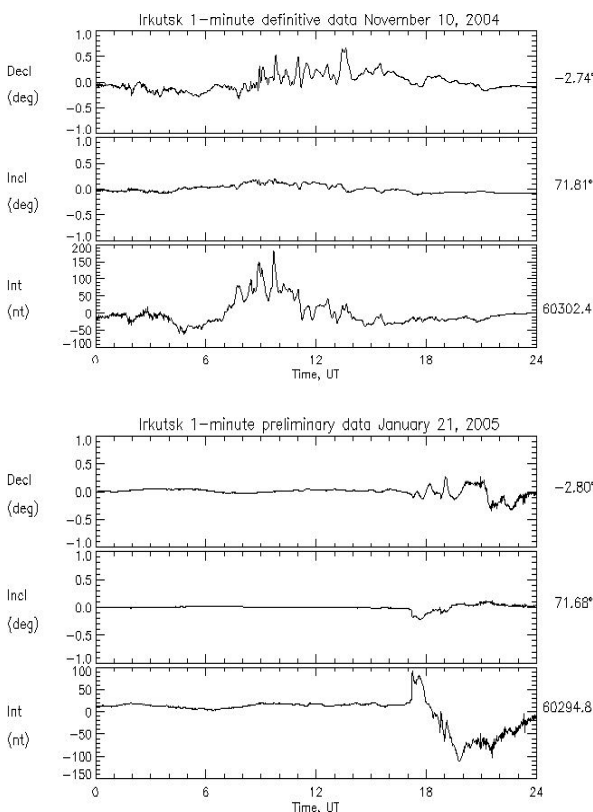


Рисунок 2. Примеры суточных вариаций углов магнитного склонения и наклона по данным геомагнитной обсерватории Иркутск за 10.11.2004 г. и 21.01.2005 г.

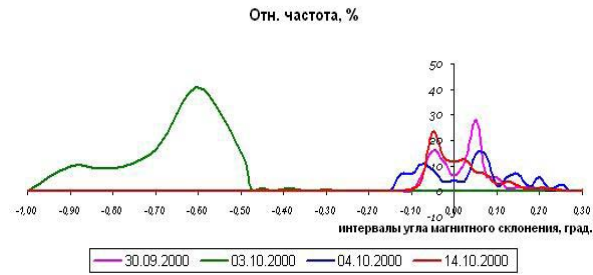


Рисунок 3. Относительная частота проявления интервалов вариаций угла магнитного склонения 30.09.2000, 03.10.2000, 4.10.2000 и 14.10.2000.

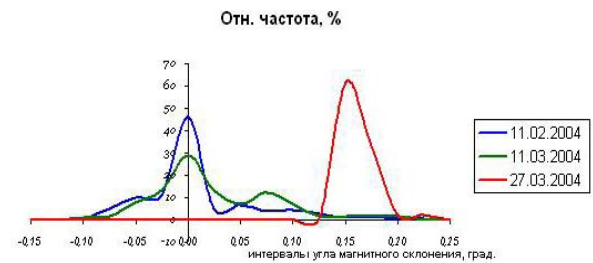


Рисунок 4. Относительная частота проявления интервалов вариаций угла магнитного склонения 11.02.2004, 11.03.2004 и 27.03.2004.

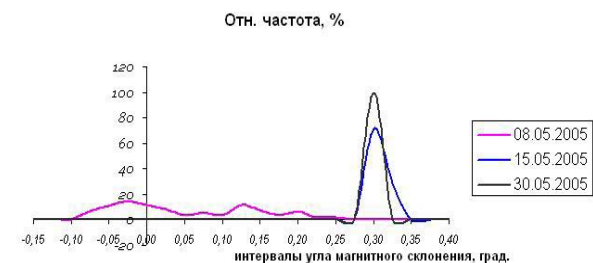


Рисунок 5. Относительная частота проявления интервалов вариаций угла магнитного склонения 8.05.2005, 15.05.2005 и 30.05.2005.

Результаты проведённого анализа вариаций углов магнитного склонения по дням с геомагнитными бурями за 1999÷2005 г.г. приведены в таблице 2.

В результате проведённого статистического анализа были выявлены следующие особенности вариаций ГМП.

1. Из таблицы 2 можно заключить, что ни за один из анализируемых периодов по годам диапазон суточных вариаций угла магнитного склонения не укладывался в уровень погрешности $\pm 7,5'$, с учетом которого производится настройка и аттестация метрологического оборудования, применяемого для метрологического обслуживания ИА. Амплитуда суточных вариаций магнитного склонения за анализируемый период составляет $(-60 \div +30)'$ с выбросами до $(+60 \div +80)'$. При этом допускаемая основная абсолютная погрешность ИА по азимутальному углу дополнительно увеличивается на $(25 \div 250)\%$. Данные по погрешностям некоторых типов ИА приведены в таблице 3 [8, 9].

Таблица 2. Основные анализируемые параметры

Год	Диапазон суточных вариации угла магнитного склонения (отд. выбросы), угловых мин.	Относительные частоты суточных магнитных вариаций, (%)/(амплитуда вариаций, угловых мин.)	Доля постоянной составляющей угла магнитного склонения в периоды суточной магнитной активности, %	Диапазон суточных изменений угла магнитного наклонения (отд. выбросы), угловых минут
1999	-15 ÷ +20 (54')	(0 ÷ 50) / 15'	0 ÷ 10	±6'
2000	-60 ÷ +20 (60')	(42 ÷ 55) / 36'	20 ÷ 35	±24'
2001	-20 ÷ +20 (85')	20 / 6'	5 ÷ 20	±12 (24)'
2002	-15 ÷ +15 (35')	60 / 6'	5 ÷ 35	±6 (12)'
2003	-42 ÷ +30 (50')	(15 ÷ 20) / 6'	25 ÷ 35	±6 (18)'
2004	-18 ÷ +20 (60')	(40 ÷ 60) / 6'	0 ÷ 50	±12'
2005	-15 ÷ +27 (40')	(40 ÷ 100) / 15'	15 ÷ 20	±12'

2. Относительные частоты проявления аномальных суточных вариаций угла магнитного склонения составляют (60÷100)%. Это означает, что в течение большей части суток направление вектора магнитного азимута может быть отлично от аттестованного нулевого направления. При этом суточная доля длительности вариаций азимутального угла с незначительной амплитудой может составлять соответственно (0÷50)%. То есть, достоверные суточные результаты при метрологическом обслуживании ИА могут быть получены в лучшем случае в течение 12 часов суточной работы, а в худшем случае – не получены вообще. Эти данные относятся к (8÷11)% годового рабочего времени.

Таблица 3. Допускаемый предел основной абсолютной погрешности измерений азимутального угла скважинной ИА.

№	Наименование ИА	Предел основной абсолютной погрешности измерения азимута, град.
1.	ИМММ-73-120/60У	±1
2.	ИММН-36-100/60	±2
3.	ЗИС-4	±2
4.	Azinbee (Франция, 1991)	±0,5
5.	АМК «Горизонт»	±1,5
6.	ИОН-1	±1,5

3. Суточные изменения угла магнитного наклонения в среднем принимают значения (6÷12)' (угловых минут) и на фоне вариаций с незначительной амплитудой для средних и высоких широт (70÷85)° составляют (8÷20)'. Эти вариации вызывают погрешности измерения азимутального угла в два-три раза превышающие основную абсолютную погрешность настройки метрологического оборудования, также могут вносить существенные погрешности в процесс метрологического обслуживания ИА.

4. По выделенным аномальным дням с повышенными уровнями вариаций магнитного склонения частоты появления суточных вариаций были просуммированы за каждый год и сведены в графики, приведённые на рисунках 6 - 7.

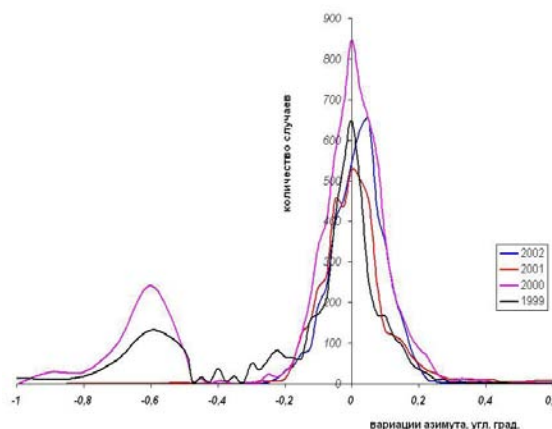


Рисунок 6. Количество случаев проявления вариаций азимутального угла по интервалам угла магнитного склонения за 1999÷2002 гг.

5. Как видно из рисунка 6, в 1999 г. и 2000 г. прослеживается системная аномалия вариаций азимутального угла в области (-0,6)°, которая составляет (30÷40)% от общего уровня аномальных случаев вариаций. Остальная часть вариаций распределена в диапазоне ±0,25°.

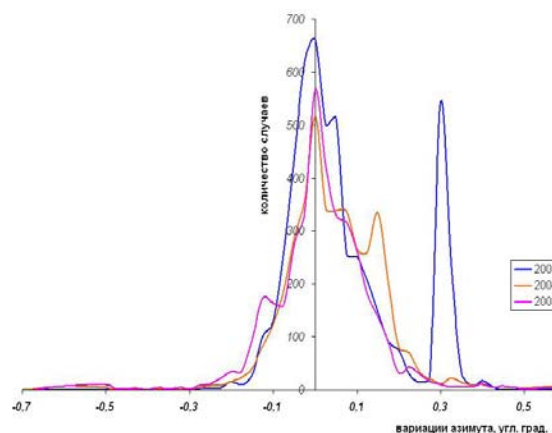


Рисунок 7. Количество случаев проявления вариаций азимутального угла по интервалам угла магнитного склонения за 2003÷2005 гг.

6. Из рисунка 7 определяется то, что основная часть вариаций расположена также в диапазоне $\pm 0,25^\circ$, а (20÷25)% вариаций по данным за 2005 г. смещены в зону (0,25÷0,35)°.

Таким образом, на основании проведённого анализа влияния геомагнитных возмущений в виде вариаций вектора напряжённости магнитного поля Земли и, соответственно, угла магнитного склонения на результаты метрологического обслуживания инклинометрической аппаратуры можно сделать следующие **выводы**:

1. Геомагнитные возмущения наблюдаются в ~10% годового рабочего времени, суточная продолжительность магнитных бурь, оказывающих влияние на погрешности инклинометрических измерений может составлять (14÷24) часа.

2. Вариации угла магнитного склонения при геомагнитных возмущениях могут значительно превышать допусковую основную абсолютную

погрешность, регламентированную на инклинометрическую аппаратуру с магниточувствительными датчиками.

3. Степень влияния геомагнитных возмущений на погрешности инклинометрических измерений непосредственно связана с широтой местности – с углом магнитного склонения, в северных широтах это влияние более сильное, чем в средних.

4. Вариации геомагнитного поля оказывают влияние также на достоверность градуировки трехкомпонентных феррозондовых преобразователей, которая производится при изготовлении инклинометрической аппаратуры и её калибровке на геофизических предприятиях, расположенных в основном в средних широтах, это создаёт дополнительные требования к условиям проведения их метрологического обслуживания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бикташ Л., Маруяма Т., Нозаки К. Ионосферные вариации, вызванные магнитной бурей 10 марта 1998 г. // Геофизика на рубеже XX и XXI веков: материалы: Всероссийская науч. конф. посвящ. 10-летию Рос. Фонда Фундамент. Исследований (8 - 10 окт. 2002 г.) М.: ОИФЗ РАН. С. 83-90.
2. Бондаренко В.М., Демура Г.В., Ларионов А.М. Общий курс геофизических методов разведки. М., Недра. 1986. 453 с.
3. Геомагнитная обсерватория МОСКВА, ИЗМИРАН; Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова Российской Академии наук. Центр прогнозов геофизической обстановки. <http://forecast.izmiran.ru> (дата обращения: 20.12.2012).
4. Геомагнитная обсерватория ИРКУТСК, Институт Солнечно-Земной физики (ИСЗФ) СО РАН. http://www.intermagnet.org/apps/pltdatplot_e.php?plot_type=dif_plot (дата обращения: 20.12.2010).
5. Геомагнитная обсерватория НОВОСИБИРСК. http://www.intermagnet.org/apps/pltdatplot_e.php?plot_type=dif_plot (дата обращения: 20.12.2010).
6. Городницкий А.М., Филин А.М. Магнитная градиентометрия и исследование тонкой пространственной структуры аномального магнитного поля при решении геологических и экономических проблем на акваториях // Геофизика на рубеже XX и XXI веков: материалы Всерос. науч. конф. посвящ. 10-летию Российского Фонда Фундаментальных Исследований (8 - 10 окт. 2002 г.) М.: ОИФЗ РАН. С. 153-157.
7. Флуктуации магнитного поля Земли во время самой большой геокосмической бури 1999 г/ Гармаш К.П. и др.// Радиофизика и радиоастрономия. 2003. Т. 8, № 3. С. 253.
8. Миловзоров Г.В. Анализ инструментальных погрешностей инклинометрических устройств. Уфа: Гилем, 1997. 184 с.
9. Лобанков В.М., Гарейшин З.Г., Подковыров А.В. Метрологическое обеспечение инклинометрии и глубинотри нефтяных скважин// Бурение и нефть. 2005. №7-8. С. 26-27.
10. Логачев А.А. Курс магниторазведки. М.: Госгеолтехиздат, 1955. 302 с.

*Гарейшин З.Г., канд. техн. наук, доцент кафедры «Геофизические методы исследования», ФГБОУ ВПО УГНТУ
Z.G. Gareyshin, cand. tech. sci., assistant professor of the chair, «Geophysical methods of investigation», FSBEI USPTU*

e-mail: gareyshin@yandex.ru