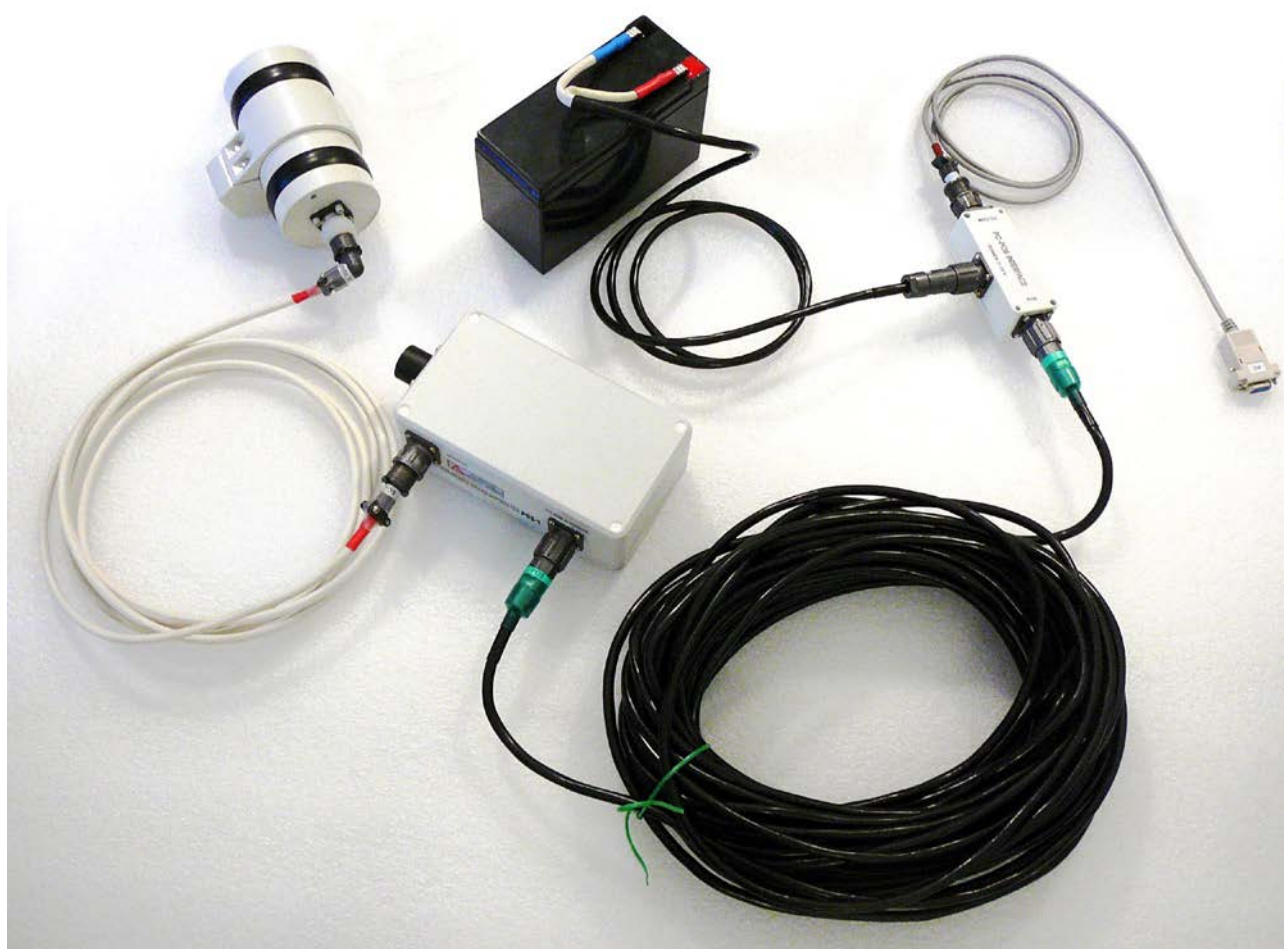


РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

МАГНИТОМЕТРЫ

POS-1,2



ЛАБОРАТОРИЯ КВАНТОВОЙ МАГНИТОМЕТРИИ
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФГАОУ ВО
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Лаборатория квантовой магнитометрии

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной науке УрФУ

В.В. Кружаев



МАГНИТОМЕТРЫ POS-1,2
(ПОС-1,2)

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

РЭ POS-1,2

Зав. лабораторией квантовой магнитометрии

В.А. Сапунов

г. Екатеринбург

2020

Настоящее руководство по эксплуатации предназначено для изучения и правильной эксплуатации процессорного оверхаузеровского датчика – магнитометра POS-1 (далее магнитометра) и его градиентометрической (двухканальной) модификации POS-2 обслуживающим персоналом с квалификационной группой не ниже техника при использовании магнитометров POS-1,2 по назначению, выполнении работ по техническому обслуживанию, постановке на хранение, для соблюдения правил транспортирования и утилизации.

Магнитометры моделей POS-1 и POS-2 зарегистрированы в Государственном реестре средств измерения под номером № 79451-20 (приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 1789 от 2 ноября 2020 г.) и допущены к применению в Российской Федерации. Магнитометры выпускаются по техническим условиям ТУ 26.51.12-002-02069208-2020.

По вопросам эксплуатации, обслуживания и ремонта магнитометров POS можно обращаться в организацию – разработчика приборов:

- 620002, Екатеринбург, Мира 21, оф.126
- Уральский федеральный университет
- Физико-технологический институт
- Лаборатория Квантовой магнетрии
- Телефон/Факс: +7 (343) 375-95-53
- E-mail: vasapunov@gmail.com
- Web: fizteh.urfu.ru/magnetometer/

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОПИСАНИЕ И РАБОТА МАГНИТОМЕТРОВ POS-1, POS-2	4
1.1. Назначение	5
1.2. Технические требования	6
1.3. Сведения об управлении магнитометром и выводе данных ...	8
1.4. Состав магнитометра.....	9
1.5. Устройство и принцип работы магнитометра.....	11
1.6. Средства измерения, инструмент и принадлежности	15
1.7. Маркировка	16
1.8. Упаковывание	16
1.9. Содержание дорогостоящих и вредных веществ.....	16
2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПО НАЗНАЧЕНИЮ	17
2.1. Эксплуатационные ограничения	17
2.2. Подготовка магнитометра к работе	17
2.3. Порядок работы	21
3. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ	23
3.1. Общие указания.....	23
3.2. Порядок технического обслуживания	24
3.3. Проверка работоспособности магнитометра.....	25
3.4. Техническое освидетельствование	28
4. ХРАНЕНИЕ	28
5. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ	28
6. УТИЛИЗАЦИЯ	28
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. РАЗЪЁМЫ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА	29
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОБМЕН ДАННЫМИ С МАГНИТОМЕТРОМ	30
Использование последовательного порта	30
Команды управления магнитометром	30
Дополнительные команды для градиентометра POS-2	37
Дополнительные команды для магнитометра POS-1 со встроенным ГНСС-приемником.....	38

1. ОПИСАНИЕ И РАБОТА МАГНИТОМЕТРОВ POS-1, POS-2

1.1. Назначение

Процессорный оверхаузеровский датчик – магнитометр POS-1 (POS-2 – его двухканальный вариант) является бесклавиатурным, управляемым по порту, прецизионным измерительным прибором циклического типа, основанным на принципе динамической поляризации ядер (эффект Оверхаузера). Магнитометр предназначен для измерения модуля индукции магнитного поля Земли в диапазоне 20000 – 100000 нТл.

Основой магнитометра служит оверхаузеровский ядерно-прецессионный преобразователь на стабильном рабочем веществе (время жизни порядка 5-10 лет). Данный тип преобразователя по сравнению с протонным обладает меньшим энергопотреблением, большей чувствительностью и градиентоустойчивостью (до 20000 нТл/м). Использование в составе магнитометра микропроцессора и последовательного порта позволяет:

- обрабатывать и пересчитывать частоту свободной ядерной прецессии непосредственно в величину модуля измеряемого поля;
- адаптировать обработку сигнала ядерной прецессии в зависимости от условий измерения;
- контролировать качество и условия измерения;
- управлять магнитометром по порту с внешнего блока управления, в качестве которого может выступать специализированный регистратор или обыкновенный компьютер;
- проводить автоматическую внутреннюю настройку магнитометра, а также «ручную» настройку с внешнего блока управления;
- выводить результаты измерений и дополнительную информацию в цифровом виде через порт автоматически или по запросу.

Высокие технические и эксплуатационные параметры магнитометра в комплекте с различными внешними блоками управления обеспечивают широкие возможности его применения, например, в качестве:

- полевого магнитометра, градиентометра (вариант POS-2) для геологоразведочных работ;
- вариационной станции;
- обсерваторского магнитометра;
- эталонного магнитометра мер слабого магнитного поля;
- магнитного канала многофункциональных геофизических систем.

Обозначение магнитометра при его заказе и в документации другой продукции «процессорный оверхаузеровский датчик POS-1» или «магнитометр POS-1», в двухканальном варианте – «процессорный оверхаузеровский датчик POS-2» или «магнитометр-градиентометр POS-2».

1.2. Технические требования

1.2.1. Метрологические характеристики

Таблица 1

№ п/п	Характеристика (параметр)	Значение
1	Диапазон измерений модуля магнитной индукции, нТл	20000 – 100000
2	Основная абсолютная систематическая погрешность измерения модуля магнитной индукции, не более, нТл	± 1
3	Модуль среднего квадратического отклонения абсолютной случайной составляющей погрешности измерения при длительности измерения не менее 3-х секунд, не более, нТл	0,03

1.2.2. Технические характеристики

Таблица 2

№ п/п	Характеристика (параметр)	Значение
1	Разрядность измерения модуля магнитной индукции, нТл	0,001
2	Напряжение питания, В	10 – 15
3	Потребляемая мощность, не более, Вт - средняя за цикл измерения POS-1 - средняя за цикл измерения POS-2 - в режиме ожидания	3,5 7 0,2
4	Длительность однократного измерения, не более, с	3
5	Габариты (без учёта разъёмов), не более, мм - первичный преобразователь - блок электроники POS-1 - блок электроники POS-2	цилиндр $\varnothing 70 \times 120$ 160×90×60 160×90×90
6	Масса, не более, кг - POS-1 - POS-2	2 3

1.2.3. Дополнительные характеристики

Таблица 3

№ п/п	Характеристика (параметр)	Значение
1	Время жизни рабочего вещества датчика, лет	5 – 10
2	Время установления рабочего режима, не более, с	10
3	Цикличность автоматического измерения, с	0,5, 1, 2, 3, 4, ...
4	Начальная амплитуда сигнала прецессии аналогового выхода, В	0,5 – 2
5	Угол оптимальной ориентации оси цилиндра первичного преобразователя относительно направления магнитного поля, град	90 ± 10
6	Управление датчиком и вывод данных	трёхжильный RS-232 порт

Общие габариты магнитометра зависят от исполнения. Возможно исполнение в двух вариантах. В первом варианте соединение первичного преобразователя и блока электроники осуществляется только гибким кабелем. Во втором они соединены металлической трубкой, внутри которой проложен гибкий кабель. Градиентометрический вариант (POS-2) включает в себя два первичных преобразователя, соединённых гибкими кабелями с блоком электроники.

При измерениях угол $90^\circ \pm 10^\circ$ является углом оптимальной ориентации оси цилиндра первичного преобразователя относительно направления магнитного поля. При этом начальная амплитуда сигнала прецессии аналогового выхода магнитометра должна составлять 0,5 – 2 В.

Магнитометр допускает два режима: однократное измерение или режим автоматического запуска измерений. Время установления рабочего режима не должно превышать 10 секунд. В режиме автоматического запуска начало измерения синхронизовано с началом секунды по встроенным часам магнитометра. Цикличность автоматического запуска измерений составляет 0,5, 1, 2, 3, 4 секунды и так далее.

Настройка рабочего поддиапазона магнитометра (приёмного контура первичного преобразователя) происходит автоматически по измеренному значению индукции магнитного поля. Возможна настройка с внешнего блока управления. В магнитометре предусмотрено 64 перекрывающихся поддиапазона с шириной рабочей зоны от 4000 нТл (на нижней границе 20000 нТл) до 20000 нТл (на верхней границе 100000 нТл).

1.3. Сведения об управлении магнитометром и выводе данных

Магнитометр не имеет клавиатуры и дисплея. Управление и обмен данными с ним осуществляется только по последовательному порту (трёхжильный RS-232 порт, скорость передачи – 9600 бод). Разъёмы, протокол обмена и система команд описаны в Приложении 1, 2.

Выводимые через порт данные помимо результата измерения модуля магнитной индукции и времени начала измерения включают в себя дополнительную информацию о качестве и условиях измерения:

- Оценка модуля случайной погрешности измерения при доверительной вероятности 0,68, то есть оценка модуля среднего квадратического отклонения. Вычисляется по накопленным за измерение данным с исключением влияния вариаций внешнего поля, произошедших во время измерения, и в предположении, что внешний шум нормальный. Оценка модуля случайной погрешности измерения имеет следующие характеристики:

Таблица 4

№ п/п	Характеристика (параметр)	Значение
1	Диапазон значений оценки случайной погрешности измерения, нТл	0 – 65,535
2	Относительное суммарное отклонение оценки, не более, %	200

- Сообщения о нестандартных условиях измерения:

Таблица 5

№ п/п	Характеристика (параметр)	Значение
1	Низкое напряжение питания	напряжение менее 9,5 В
2	Нет сигнала	начальная амплитуда сигнала менее 0,3 В или время его затухания менее 20 мс
3	Значение поля вне диапазона измерений магнитометра	значение модуля индукции поля вне диапазона 20000 – 100000 нТл
4	Низкое отношение сигнал/шум	среднее за время измерения отношение сигнал/шум менее 5
5	Укорочение длительности сигнала	амплитуда сигнала достигает значения 0,3 В менее чем за 400 мс
6	Значение поля вне установленного рабочего поддиапазона магнитометра	частота измеренного поля отличается от частоты настройки первичного преобразователя более чем на 5%

1.4. Состав магнитометра

1.4.1. Комплектность

Таблица 6

№ п/п	Наименование	Обозначение	Примечание	Кол-во
1	Магнитометр	POS-1	Допускается исполнение в двух вариантах: - первичный преобразователь и блок электронный соединены гибким кабелем - первичный преобразователь и блок электронный соединены металлической трубой, соединительный кабель проложен внутри трубы	1
		POS-2	Два первичных преобразователя соединены с блоком электроники гибкими кабелями 3,4 м (опция до 7 м)	1
2	Кабель питания	–		1
3	Кабель связи	–		1
4	Интерфейсный блок связи POS с RS-232 портом ПК	PC-POS Interface	Прилагается только при использовании ПК в качестве внешнего регистратора.	1
5	Паспорт	ПС POS-1,2		1
6	Руководство по эксплуатации	РЭ POS-1,2		1
7	Программное обеспечение	QmSoft	Прилагается на жёстком носителе	1
8	Упаковка	–	Картонный или деревянный ящик	1

1.4.2. Опциональная комплектация магнитометров

Таблица 7

№ п/п	Наименование		Примечание		Кол-во
1	Мобильный магнитометр ММПОС-1,2	Регистратор DLPOS	Внешний специализированный регистратор в алюминиевом корпусе		1
		Рюкзак	Специализированная наплечная подвеска для площадных измерений		1
		Зарядник	12 В		1
		Кабель разгрузки			1
		GPS-опция	Программное обеспечение GPS-DLPOS		1
			GPS-приемник с RS-232 портом и протоколом NMEA183, кабель связи приемник-DLPOS, крепление на DLPOS		1
			Комплект труб 0,5 м и гаек		4
	Элементы крепления датчика(ов) на гибком кабеле	Хомут для крепления датчика	ММПОС-1	1	
			ММПОС-2	2	
2	Кабель вариационный	Длина опциональная: 25 – 50 м		1	
3	Аккумулятор, 12 В, 7 А·ч	Свинцовый, герметичный, необслуживаемый	POS	1	
			ММПОС	2	
4	Блок резервного копирования данных	Внутреннее или наружное исполнение (дополнительный блок), USB-выход		1	
5	POS-1 Aero	Уменьшенный датчик	Цилиндр: Ø 50 мм × 100 мм		1
		Облегченный блок электроники	160 мм × 90 мм × 60 мм		1
		Внутренний регистратор	Объем памяти не менее 4 Гбайт		1
6	POS-3,4	Магнитная система с блоком коммутации подмагничивающих токов	Соленоид для измерения вертикальной компоненты	POS-3	1
				POS-4	
			Система колец для измерения горизонтальной компоненты	POS-4	1

1.5. Устройство и принцип работы магнитометра

1.5.1. Основные принципы работы

1.5.1.1. В физической основе измерений магнитометра лежит явление ларморовской прецессии магнитных моментов во внешнем магнитном поле. Высокоточное определение модуля магнитной индукции возможно благодаря наличию фундаментальной связи между величиной поля и периодом свободной прецессии суммарного вектора ядерной намагниченности рабочего вещества вокруг направления вектора измеряемого поля \vec{B} :

$$|\vec{B}| = (\gamma T)^{-1}$$

где $\gamma = 0,0425764064$ Гц/нТл – гиромангнитное отношение протона (относительная погрешность определения составляет $1,8 \cdot 10^{-5}$ %) и T – период свободной прецессии.

1.5.1.2. Каждый цикл измерения магнитометра фактически разбивается на две фазы. В первой фазе происходит формирование протонной намагниченности в процессе поляризации рабочего вещества первичного преобразователя. Преобразователь использует эффект динамической поляризации ядер (эффект Оверхаузера) для увеличения наблюдаемого сигнала за счёт насыщения электронных спиновых подуровней ВЧ электромагнитным полем. Благодаря взаимодействию электронных и ядерных магнитных моментов появляется возможность значительно повысить величину суммарной протонной намагниченности. По окончании поляризации сформированная ядерная намагниченность начинает прецессировать и наводит в приёмных катушках первичного преобразователя переменную ЭДС с частотой (периодом) согласно представленной ранее формуле. Во второй фазе регистрируются переходы сигнала прецессии через нулевой уровень напряжения в одном направлении. По окончании второй фазы проводится статистический анализ накопленных за измерение данных. По результатам анализа определяется наиболее вероятный период сигнала прецессии, который используется для определения модуля индукции.

1.5.2. Устройство магнитометра

1.5.2.1. Структурно магнитометр состоит из двух составных частей: первичный преобразователь (вариант POS-2 – два первичных преобразователя) и блок электроники.

1.5.2.2. В первичном преобразователе происходит формирование сигнала свободной прецессии ядерной намагниченности рабочего вещества. Конструктивно преобразователь размещён в цилиндрическом корпусе и состоит из приёмно-поляризующих НЧ катушек, помещённого в них рабочего вещества и ВЧ контура, необходимого для создания резонансного электромагнитного поля.

1.5.2.3. Электронный блок размещается в прямоугольном корпусе, на боковых стенках которого расположены разъёмы (см. Приложение 1): единый разъём Питание + Связь, в исполнении датчик и электронный блок соединены трубой; разъёмы питания, связи и контроля сигнала (последний может отсутствовать), в исполнении датчик(и) и электронный блок соединены гибким кабелем. Электронный блок включает в себя три платы: контроллер, ВЧ генератор и плата, содержащая усилитель, коммутатор, автомат настройки, компаратор (для POS-2 дополнительно на основной корпус монтируется дополнительный корпус с платой ВЧ генератора и платой усилителя, коммутатора, автомата настройки, компаратора второго канала). Блок обеспечивает работу первичного преобразователя (в варианте POS-2 – синхронную работу двух первичных преобразователей), управляет циклами измерений и автоматом настройки, а также осуществляет преобразование аналогового сигнала прецессии в цифровой код с последующей обработкой данных и вычислением величины индукции геомагнитного поля. Управление и обмен информацией с собственно блоком электроники осуществляется по последовательному порту в стандарте RS-232. Интерфейс связи с магнитометром описан в Приложении 2.

1.5.3. Функциональная схема

1.5.3.1. Взаимосвязи основных функциональных узлов магнитометра приведены на рис. 1.

1.5.3.2. Всю работу магнитометра организует контроллер, выполненный на базе микропроцессора. Основные функции контроллера: обслуживание RS-232 порта, предназначенного для сопряжения с внешними устройствами; на основе счёта тактовых импульсов опорного генератора формирование временных последовательностей необходимых для создания и оцифровки сигнала свободной прецессии; управление настройкой приёмного контура датчика на рабочий диапазон полей; хранение и обработка промежуточных цифровых данных; обмен информацией с внешним устройством.

1.5.3.3. Первичный преобразователь преобразует индукцию магнитного поля в переменное напряжение с частотой, строго пропорциональной этой индукции. Он предназначен для формирования, селектирования, регистрации и предварительного усиления (при настройке первичного преобразователя на частоту измеряемого сигнала) сигнала свободной прецессии протонной намагниченности.

1.5.3.4. Блок коммутации служит для переключения первичного преобразователя в режим поляризации или в режим измерения, а также для настройки приёмного контура датчика. В его задачи входит: подключение НЧ катушек первичного преобразователя на время поляризации к источнику тока; включение ВЧ генератора на время поляризации; быстрое выключение поляризующего поля и подавление переходного процесса; подключение преобразователя к входу блока усиления; коммутация блока конденсаторов, обеспечивающих настройку резонансного контура на частоту измеряемого поля.

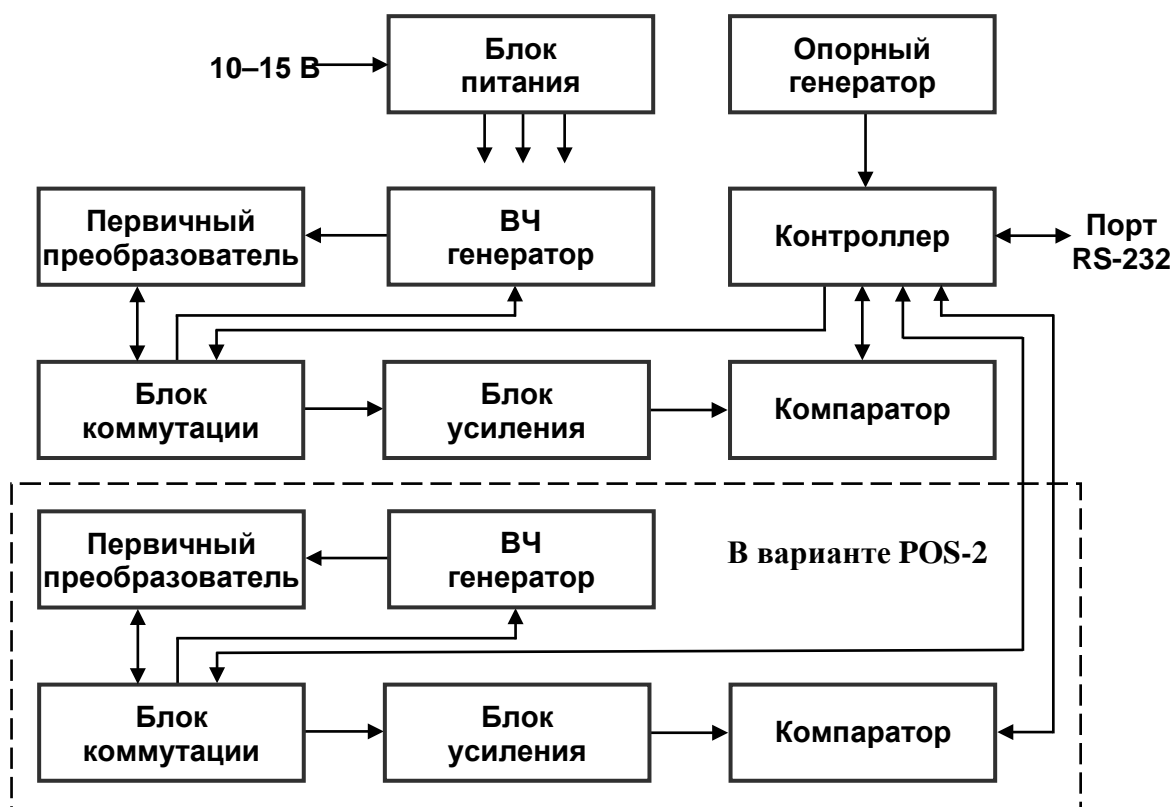


Рис. 1. Функциональная схема POS-1,2

1.5.3.5. Блок усиления обеспечивает фильтрацию и усиление аналогового сигнала свободной прецессии до величины, необходимой для формирования цифрового сигнала.

1.5.3.6. Преобразование частота-код осуществляется совместно компаратором и контроллером на основании сопоставления момента перехода усиленного сигнала через нулевой уровень напряжения и числа тактовых импульсов опорного генератора, накапливаемых контроллером с момента начала измерения.

1.5.4. Работа магнитометра

1.5.4.1. При включении питания магнитометр, после процедуры самотестирования, устанавливает рабочий поддиапазон со средним полем равным 55000 нТл. Далее прибор переводится в режим установления связи по RS-232 порту с внешним устройством. При успешном соединении устанавливается режим ожидания команд с внешнего устройства (Приложение 2). Возможные команды управления включают: команды настройки и опроса магнитометра, команда на запуск однократного измерения, а также команды на запуск и остановку автоматического измерения.

1.5.4.2. Проанализируем работу магнитометра в процессе измерения. Возможна работа в двух режимах: однократное измерение или режим автоматического запуска с цикличностью 0,5 с, 1 с, 2 с, 3 с и так далее. Процесс измерения в обоих случаях одинаков. Временные диаграммы представлены на рис. 2. Следует отметить, что в режиме автоматического запуска с цикличностью

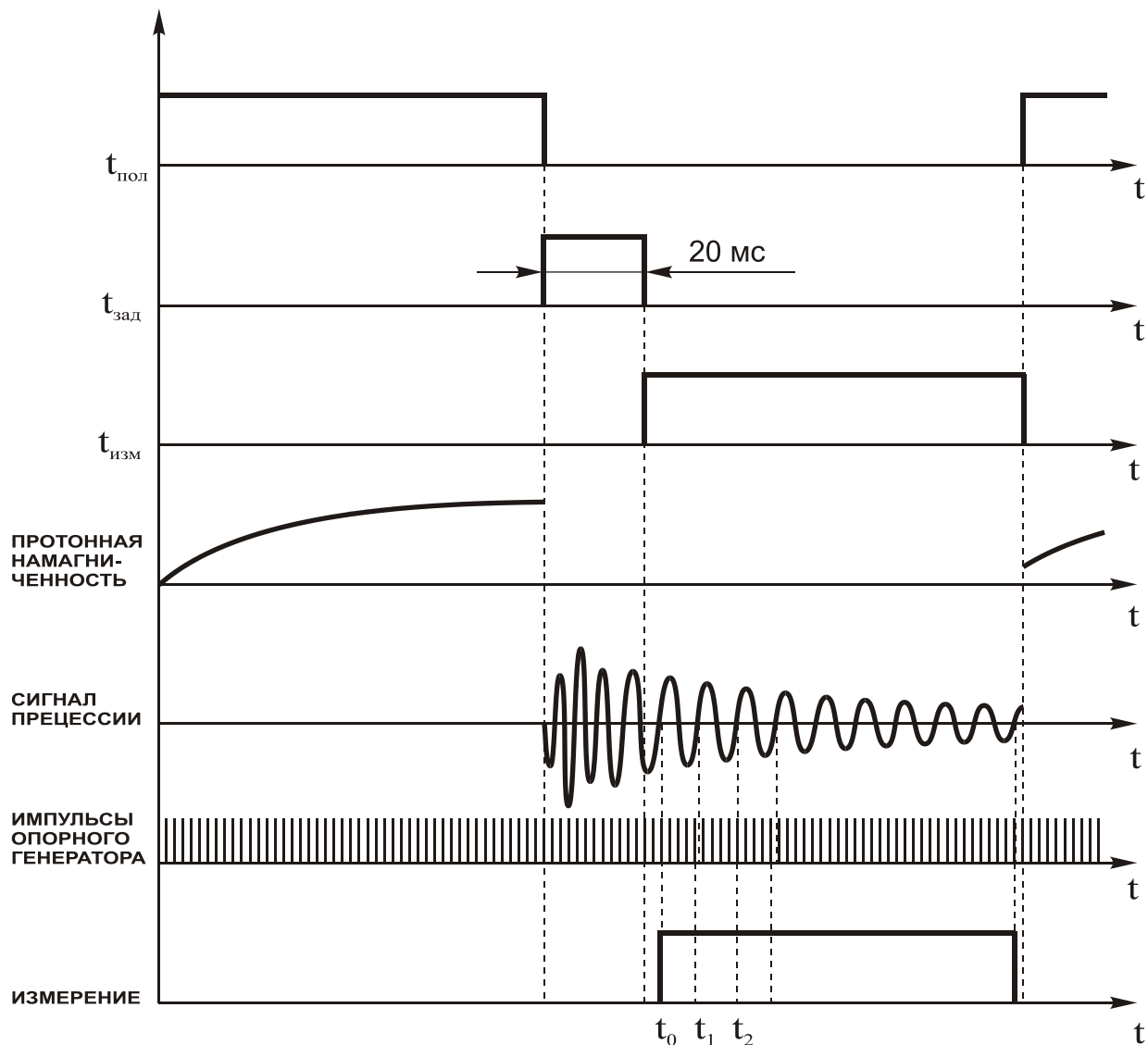


Рис. 2. Временная диаграмма работы POS-1

менее 3 с при формировании сигнала используется режим синхронной поляризации. В этом режиме для исключения потери протонной намагниченности рабочего вещества осуществляется фазовая привязка начала поляризации нового цикла измерения к сигналу предыдущего.

По команде на измерение начинается счёт тактовых импульсов опорного генератора, а также подаётся питание на НЧ катушки первичного преобразователя и ВЧ генератор, вызывая процесс поляризации рабочего вещества. В течение временного интервала $t_{\text{пол}}$ формируется макроскопическая протонная намагниченность рабочего вещества в направлении оси НЧ катушек датчика.

По окончании поляризации коммутатор отключает поляризующий ток и подключает НЧ катушки к входу усилителя. На этом этапе предусматривается дополнительное время задержки измерения $t_{\text{зад}}$ для завершения во входном тракте переходных процессов, возникающих после отключения подмагничивающего тока.

По завершению задержки формируется окно длительностью $t_{изм}$, внутри которого происходит регистрация и оцифровка переходов через ноль сигнала свободной прецессии компоненты протонной намагниченности параллельной оси НЧ катушек. При переходе сигнала уровня компарирования в определённом направлении контроллер фиксирует показания счётчика опорных импульсов кварцевого генератора и запоминает это значение во внутреннюю память, суммируя при этом общее количество переходов.

Оцифрованные данные после окончания $t_{изм}$ обрабатываются контроллером с целью поиска наиболее вероятного периода сигнала прецессии. При этом по разбросу оцифрованных периодов сигнала алгоритм обработки адаптируется под конкретные условия измерения, в частности под большой градиент измеряемого поля, который вызывает укорочение сигнала.

По завершении обработки результат измерения модуля индукции магнитного поля, время начала измерения и информация о качестве и условиях через порт выводится на внешнее устройство.

1.5.4.3. Вычисленное значение модуля при отсутствии сообщения о большом отношении шум/сигнал используется для автоматической подстройки приёмного контура датчика.

1.5.4.4. При наличии низкого питания измерение магнитометром не производится и по порту выдаётся сообщение о низком питании.

1.5.4.5. Магнитометр-градиентометр POS-2 по умолчанию запускается в режиме одноканального варианта POS-1 с работой одного первичного преобразователя. После подачи с внешнего устройства (см. Приложение 2) команды перевода в режим работы с двумя каналами (градиентометрический режим) градиентометр производит измерения одновременно двумя первичными преобразователями. После обработки, через порт на внешнее устройство выводятся результаты измерения модуля индукции магнитного поля двух первичных преобразователей, время начала измерения и информация о качестве и условиях для каждого канала в отдельности.

1.6. Средства измерения, инструмент и принадлежности

1.6.1. Магнитометр является измерительным устройством, управление и связь с которым осуществляется только по последовательному RS-232 порту. Для функционирования магнитометра необходим внешний блок управления и регистрации с соответствующим портом и поддержкой протокола обмена данными, описанного в Приложении 2. В качестве такого блока могут выступать специализированные устройства, предназначенные для обслуживания магнитометра, либо стандартный персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением, которое может разрабатываться как самим потребителем, так и организацией-изготовителем по специальному заказу.

1.6.2. Для проведения процедуры контроля обрабатываемой части прибора, излагаемой далее в п. 3.3.1.3, используется следующее испытательное оборудование:

- одновитковая петля из медного проводника, охватывающая корпус первичного преобразователя в направлении перпендикулярном оси цилиндра корпуса;
- генератор низкочастотных синусоидальных сигналов ГЗ-110 или ему аналогичные генераторы с нестабильностью не хуже 10^{-7} ;
- осциллограф С1-68 или ему аналогичные.

1.6.3. Для проведения процедуры опробования и первичной калибровки организацией-изготовителем, излагаемой далее в п. 3.3.2, используется следующее испытательное оборудование:

- образцовый магнитометр на основе датчика POS-1 или образцовый магнитометр ММП-203М. Требования к образцовому магнитометру: абсолютная погрешность не хуже 0,5 нТл, среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности в пределах $\pm 0,01$ нТл;
- лабораторная мера магнитного поля, состоящая из пермаллового магнитного экрана с соленоидальным источником магнитного поля (однородность магнитного поля в объёме датчика POS-1 не более 0,01%);
- осциллограф С1-68 или ему аналогичные;
- ампервольтметр с погрешностью не хуже 5%.

1.7. Маркировка

Маркировка наносится гравированием или шелкографией на боковую поверхность корпуса блока электроники. Она включает обозначение магнитометра «POS-1» (двухканальный вариант «POS-2»), фирменный знак, а также аббревиатуру производителя «QMLab URFU» (Лаборатория квантовой магнитометрии Уральского федерального университета), номер прибора.

1.8. Упаковывание

Для хранения и транспортировки магнитометра предусмотрен картонный или деревянный ящик.

Эксплуатационная документация помещена в полиэтиленовый чехол.

1.9. Содержание дорогостоящих и вредных веществ

В качестве материалов, применяемых для производства магнитометра, в основном используются сплавы цветных металлов (титана, меди и алюминия) и пластмассы.

В состав прибора не входят драгоценные металлы и камни.

Магнитометр экологически безопасен, так как не содержит радиоактивных и вредных веществ.

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПО НАЗНАЧЕНИЮ

2.1. Эксплуатационные ограничения

Таблица 8

№ п/п	Характеристика	Допустимое значение
1	Температура окружающего воздуха, °С	-30 – +60
2	Относительная влажность воздуха, %	до 90 при +30 °С
3	Атмосферное давление, кПа	84 – 107
4	Ударные и вибрационные нагрузки	не допускаются
5	Работа в агрессивных средах	не допускается
6	Градиент модуля индукции магнитного поля, не более, нТл/м	20000
7	Угол ориентации оси цилиндра первичного преобразователя относительно направления магнитного поля, не менее, град	±45

2.2. Подготовка магнитометра к работе

2.2.1. Меры безопасности при подготовке магнитометра

2.2.1.1. Магнитометр не имеет источников повышенной опасности в условиях эксплуатации и хранения и при отсутствии механических повреждений.

2.2.1.2. Не использовать магнитометр и кабели при наличии механических повреждений.

2.2.1.3. Не допускать прогрева магнитометра выше +70°С.

2.2.1.4. Не производить измерений магнитометром без подключенного первичного преобразователя. В варианте магнитометра POS-2 не допускать измерений в градиентометрическом режиме без подключенного второго первичного преобразователя.

2.2.2. Объём и последовательность внешнего осмотра магнитометра

2.2.2.1. Порядок проведения внешнего осмотра магнитометра:

- проверить укомплектованность прибора кабелями и руководством по эксплуатации;
- проверить отсутствие на магнитометре и кабелях механических повреждений;
- проверить отсутствие при наклонах магнитометра характерных звуков, указывающих на наличие в корпусах отсоединившихся частей;
- проверить состояние разъёмов;
- при выявлении каких-либо признаков неисправности магнитометра и его недоукомплектованности использование магнитометра запрещается.

2.2.2.2. Внешний осмотр магнитометра проводится оператором перед началом работы, а также после хранения или транспортирования магнитометра.

2.2.3. Правила и порядок осмотра и проверки готовности магнитометра к использованию

2.2.3.1. Если прибор длительное время транспортировался или хранился в неотапливаемом складском помещении в зимнее время к проверке прибора можно приступить только после 8-часовой выдержки в сухом отапливаемом помещении.

2.2.3.2. Выполнить внешний осмотр магнитометра согласно п. 2.2.2.

2.2.3.3. Для магнитометра в «мягком» исполнении (без трубы, соединяющей датчик(и) и блок электроники) соединить кабелем датчик(и) и блок электроники.

2.2.3.4. Подключить электронный блок магнитометра посредством приложенного кабеля питания-связи к порту выключенного внешнего устройства. Внешнее устройство должно поддерживать интерфейс связи, описанный в Приложении 2.

2.2.3.5. Подсоединить клеммы кабеля питания-связи к источнику постоянного тока напряжением 10 – 15 В, соблюдая полярность. Следует отметить, что в магнитометре существует защита от подключения питания с неправильной полярностью.

2.2.3.6. Включить внешнее устройство. Если внешнее устройство не специализировано для работы с магнитометром, например, персональный компьютер, необходимо запустить программное обеспечение, предназначенное для обслуживания POS. Связь между внешним устройством и магнитометром должна установиться за время не более чем 10 секунд. Следует учесть, что, если внешнее устройство при начальной установке связи не инициализирует рабочий поддиапазон и часы магнитометра, при подключении питания магнитометр установит рабочий поддиапазон со средним полем 55000 нТл, показания часов при этом будут иметь неопределённое значение.

2.2.3.7. Выбрать место, свободное от влияния сильных промышленных помех и градиентов (не более 200 нТл/м) и в оптимальном положении первичного преобразователя произвести серию измерений. Проконтролировать наличие сообщений от магнитометра о нестандартных условиях измерения и величины оценки модуля случайной погрешности измерения, рассчитываемой в магнитометре при каждом измерении. При отсутствии сообщений о нестандартных условиях измерения и при значениях оценки модуля случайной погрешности ниже 0,1 нТл можно считать, что магнитометр готов к работе. В случае сообщений о низком питании необходимо заменить источник питания и повторить процедуру проверки. При повторяющихся сообщениях об ошибке настройки рабочего поддиапазона магнитометра можно попытаться настроить его «вручную», послав с внешнего устройства соответствующую команду со значением предполагаемого модуля поля. При наличии других сообщений необходимо изменить местоположение проверки, либо ориентацию первичного преобразователя.

2.2.3.8. Проверку магнитометра необходимо проводить каждый раз перед началом работы.

2.2.3.9. Назначение и расположение разъёмов магнитометра описано в Приложении 1.

2.2.3.10. Для проверки работоспособности магнитометра можно использовать тестовое программное обеспечение для стандартного компьютера, прилагаемое к магнитометру.

2.2.4. Указания об ориентации первичного преобразователя

Первичный преобразователь магнитометра должен быть сориентирован относительно направления измеряемого магнитного поля. Оптимальная ориентация указана в пункте 1.2.2. Отклонение от оптимальной ориентации приводит к уменьшению сигнала первичного преобразователя, то есть к увеличению погрешности прибора.

2.2.5. Перечень возможных неисправностей магнитометра в процессе подготовки и рекомендации по действиям при их возникновении

Таблица 9

Неисправность	Действия по устранению	Кто выполняет
Механическое повреждение магнитометра	Обратитесь в организацию-изготовитель для выяснения возможности починки или замены неисправных частей.	—
Отсутствие связи по порту магнитометра с внешним устройством	Повторите попытку проверки по п. 2.2.3.	Эксплуатационный персонал
	Проверьте состояние и надежность соединения разъёмов, а также полярность подключения источника питания.	
	Проконтролируйте напряжение питания. При напряжении ниже 10,5 В замените источник питания.	
	Прозвоните кабель связи. При обрыве исправить повреждение.	
	Проверить работоспособность порта внешнего устройства. При обнаружении неисправности исправить повреждение или заменить внешнее устройство.	
	Соединить POS кабелем питания и связи с интерфейсным блоком*. Подключить блок через нуль модемный кабель RS-232 к компьютеру и к аккумулятору кабелем питания*. С помощью поставляемого программного обеспечения (MagState) переустановите внутреннюю программу магнитометра. * – опция.	
Сообщение об отсутствии сигнала	Переориентируйте первичный преобразователь. Возможна неудачная его ориентация относительно направления поля.	Эксплуатационный персонал
	Измеряемое поле не соответствует рабочему поддиапазону магнитометра. Установить предполагаемое значение модуля поля «вручную» с внешнего устройства.	
	Наличие большого градиента. Выберите другое местоположение для проверки.	
	Прозвоните кабель первичного преобразователя (только для датчика с гибким кабелем). При обрыве исправить повреждение.	
	Проконтролируйте ток потребления магнитометра в период поляризации (после команды на измерение). В норме ток потребления составляет 200 – 500 мА. Если ток отсутствует, обратитесь в организацию-изготовитель.	
Разброс показаний магнитометра	Переориентируйте первичный преобразователь. Возможна неудачная его ориентация относительно направления поля.	Эксплуатационный персонал
	Наличие большого градиента или помех. Выберите другое местоположение для проверки.	
	Проконтролируйте напряжение питания с включенным магнитометром. При напряжении ниже 10,5 В замените источник питания.	

2.3. Порядок работы

2.3.1. Выполнить проверку работоспособности магнитометра по пункту 2.2.3.

2.3.2. Если это необходимо, перед началом выполнения измерительных работ установить дату и точное время во внутренние часы магнитометра, подав соответствующую команду с внешнего устройства.

2.3.3. На рабочей точке в оптимальном положении первичного преобразователя серий тестовых измерений необходимо убедиться, что датчик правильно настроен на измеряемое поле. Настройка рабочего поддиапазона магнитометра (приёмного контура первичного преобразователя) по измеренному значению индукции магнитного поля происходит автоматически при отсутствии сообщения о низком отношении сигнал/шум. В случае невозможности автоматической настройки (проявляется в сильном разбросе значений поля и повторяющихся сообщениях об ошибке настройки рабочего поддиапазона магнитометра) необходимо «вручную» на внешнем устройстве набрать ожидаемое значение модуля поля и подать команду настройки поддиапазона.

2.3.4. При проведении съёмки в режиме однократного измерения запуск производится соответствующей командой. Спустя время порядка 3-х секунд прибор выдаёт ответ на команду, в котором содержатся данные, полученные в измерении.

2.3.5. При проведении съёмки в режиме автоматического запуска измерений установка цикличности, старт и остановка измерений производится соответствующими командами. После команды старт автоматического измерения с заданной цикличностью магнитометр циклически проводит измерения и посылает через порт во внешнее устройство полученные данные. По команде остановка магнитометр прекращает измерения.

2.3.6. При использовании режима автоматического запуска следует учитывать, что:

- начало измерения синхронизовано с началом секунды по встроенным часам магнитометра;
- после старта первое измерение происходит с некоторой задержкой (порядка 2-х секунд).

2.3.7. В процессе съёмки магнитометр посылает через порт во внешнее устройство следующие данные:

- время начала измерения;
- результат измерения модуля магнитной индукции (POS-2 – для каждого канала);
- оценка модуля случайной погрешности измерения (POS-2 – для каждого канала);
- сообщения об условиях измерения (POS-2 – для каждого канала).

2.3.8. Во время съёмки необходимо контролировать состояние источника питания, не допускать грубого (более 45°) отклонения оси цилиндра первичного преобразователя от оптимального пространственного положения, внимательно анализировать дополнительную информацию, посылаемую магнитометром, о качестве (по величине оценки модуля случайной погрешности измерения, рассчитываемой в каждом измерении) и нестандартных условиях измерения (по поступающим сообщениям, см. таблицы 5, 10).

2.3.9. Можно считать проведённое измерение удовлетворительным при отсутствии сообщений и при оценке модуля случайной погрешности результата ниже 0,1 нТл. При появлении сомнительного результата желательно провести повторное измерение, либо изменить условия измерения.

2.3.10. По окончании работы отключить магнитометр от источника питания и внешнего устройства и уложить в ящик.

Транспортирование магнитометра производить только в ящике.

2.3.11. Возможные причины сообщений, выдаваемых магнитометром:

Таблица 10

№ п/п	Сообщение	Возможная причина
1	Низкое напряжение питания	Разряд батарей (аккумуляторов)
2	Нет сигнала	Неверная настройка рабочего поддиапазона
		Неудачная ориентация первичного преобразователя
		Большой градиент магнитного поля
		Обрыв в кабеле первичного преобразователя
3	Значение поля вне диапазона измерений	Вблизи магнитометра находятся сильно намагниченные предметы
4	Низкое отношение сигнал/шум	Неверная настройка рабочего поддиапазона
		Неудачная ориентация первичного преобразователя
		Сильные внешние помехи
		Большой градиент магнитного поля
5	Укорочение длительности сигнала	Неверная настройка рабочего поддиапазона
		Неудачная ориентация первичного преобразователя
		Большой градиент магнитного поля
6	Значение поля вне установленного рабочего поддиапазона	Неверная настройка рабочего поддиапазона
		Значительное изменение поля в процессе съёмки
Сообщения в подпунктах 1-2 сигнализируют об ошибках, возникших в ходе проведения измерения. Сообщения в подпунктах 4-6 предупреждают о возможных причинах снижения качества измерения.		

2.3.12. Меры безопасности при использовании магнитометра по назначению:

- магнитометр не имеет источников повышенной опасности в условиях эксплуатации и при отсутствии механических повреждений;
- магнитометр является сложным электронным и физическим прибором, поэтому необходимо оберегать магнитометр от сотрясений и ударов;
- не использовать магнитометр и кабели при наличии видимых механических повреждений;
- не прогревать магнитометр выше $+70^{\circ}\text{C}$;
- не производить измерений магнитометром без подключенного первичного преобразователя. В варианте магнитометра POS-2 не допускать измерений в градиентометрическом режиме без подключенного второго первичного преобразователя.

3. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

3.1. Общие указания

3.1.1. С целью обеспечения работоспособности при эксплуатации и хранении для магнитометра проводят следующие виды технического обслуживания:

- ежедневное профилактическое обслуживание;
- ежегодное профилактическое обслуживание;
- первичная и периодическая калибровка.

При проведении двух последних видов обслуживания должны делаться соответствующие записи в паспорте.

3.1.2. Не допускается вскрытие корпусов магнитометра. В случае неисправности магнитометра ремонт первичного преобразователя и электронного блока производится только организацией-изготовителем, либо специализированными организациями или специалистами, сертифицированными организацией-изготовителем.

3.1.3. Не допускается включение магнитометра при отсоединенном от электронного блока первичном преобразователе, для варианта исполнения, в котором первичный преобразователь и электронный блок должны соединяться гибким кабелем.

3.2. Порядок технического обслуживания

3.2.1. Ежедневное профилактическое обслуживание

3.2.1.1. Ежедневная профилактика проводится при систематической эксплуатации магнитометра с целью поддержания его работоспособности. Профилактику проводят перед и после применения магнитометра по назначению.

3.2.1.2. Ежедневная профилактика включает в себя следующие виды работ:

- внешний осмотр магнитометра, согласно пункту 2.2.2;
- проверку и при необходимости зачистку клемм источника питания и кабеля питания;
- удаление при помощи кисти и фланелевой ткани с поверхности прибора грязи, пыли, росы и т. п.

3.2.2. Ежегодное профилактическое обслуживание

3.2.2.1. Ежегодная профилактика проводится перед началом и после окончания геофизических работ (при полевом использовании магнитометра), ежегодно (при стационарном, не полевом использовании магнитометра), а также перед и после транспортирования и хранения.

3.2.2.2. Ежегодная профилактика, проводимая перед началом съёмочных работ, а также после транспортирования и хранения включает в себя следующие виды работ:

- при необходимости расконсервацию магнитометра и его принадлежностей;
- проведение работ согласно пункту 3.2.1.2;
- выполнение проверки работоспособности магнитометра.

3.2.2.3. После окончания полевых геофизических работ, а также перед транспортированием и хранением, необходимо проверить целостность прибора и его принадлежностей, удалить грязь и пыль, очистить контакты и металлические покрытия, протереть спиртом разъёмы.

3.2.3. Первичная и периодическая калибровка

Первичная и периодическая калибровка магнитометра производится специализированными организациями. Первичная калибровка проводится при поставке магнитометра. Периодическая калибровка проводится 1 раз в год.

3.3. Проверка работоспособности магнитометра

3.3.1. Опробование

3.3.1.1. Опробование прибора выполняется эксплуатационным персоналом.

3.3.1.2. Стандартная процедура опробования включает в себя следующие виды работ:

- расположить первичный преобразователь магнитометра в оптимальном положении в месте свободном от влияния промышленных помех и градиентов;
- включить магнитометр и внешнее устройство, сопряженное с ним;
- произвести серию контрольных измерений;
- значение оценки модуля случайной погрешности измерения, рассчитываемой магнитометром при измерениях, не должно превышать модуля среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности измерения, указанного в таблице 1, и должны отсутствовать сообщения о нестандартных условиях измерения.

3.3.1.3. Для потребителей, предъявляющих повышенные требования к стабильности абсолютных показаний магнитометра, предлагается следующая методика тестирования обрабатывающей части прибора:

- расположить первичный преобразователь в месте свободном от влияния промышленных помех;
- поместить первичный преобразователь магнитометра в петлю (виток медного провода, охватывающий корпус первичного преобразователя в направлении перпендикулярном оси цилиндра), подключённую последовательно через резистор 100 – 300 Ом к генератору низкочастотных синусоидальных сигналов с нестабильностью не хуже 10^{-7} ;
- поместить рядом с первичным преобразователем железный предмет массой не менее 100 г для исключения влияния сигнала рабочего вещества (высокий градиент приводит к отсутствию сигнала протонной прецессии);
- подсоединить концы аналогового выхода магнитометра к осциллографу;
- включить магнитометр и внешнее устройство, сопряженное с ним;
- подать синусоидальное напряжение частотой 1 кГц с генератора на петлю;
- установить на генераторе значение амплитуды синусоидального сигнала такое, чтобы на аналоговом выходе контроля сигнала магнитометра амплитуда составила 1 – 2 В по показаниям осциллографа;
- уровень шумов на выходе магнитометра не должен превышать 0,1 В по показаниям осциллографа в момент приёма сигнала;
- провести многократные измерения магнитометром модуля поля и записать результаты;

- повторить процедуру для сигналов с частотой 2 кГц, 3 кГц и 4 кГц;
- сопоставить результаты измерения с таблицей 11;
- отклонение контрольных показаний от табличных значений не должно превышать значения основной систематической погрешности, указанного в таблице 1.

Таблица 11

Частота сигнала, кГц	1	2	3	4
Модуль магнитной индукции, нТл	23487,187	46974,373	70461,560	93948,746

3.3.2. Опробование и первичная калибровка организацией-изготовителем

3.3.2.1. Опробование и первичная калибровка, производимая организацией-изготовителем, осуществляется при поставке магнитометра или по специальному заказу потребителя. Проводится на специализированном лабораторном оборудовании, которое включает в себя образцовый магнитометр на основе датчика POS-1 или ММП-203М, лабораторная мера магнитного поля, состоящая из пермаллового магнитного экрана с соленоидальным источником магнитного поля (однородность в объёме датчика POS – 0,01 %). Цель процедуры – контроль основных параметров магнитометра: основной абсолютной погрешности и чувствительности, энергопотребления и величины протонного сигнала первичного преобразователя.

3.3.2.2. Процедура, проводимая организацией-изготовителем, включает в себя следующие виды работ:

- подать питание на соленоид лабораторного эталона магнитного поля;
- по показаниям образцового магнитометра проконтролировать отсутствие дрейфа магнитного поля в эталоне в пределах 0,1 нТл за 30 минут (время установления рабочего режима магнитного эталона от 10 до 45 минут);
- установить в магнитном эталоне поле 20000 нТл;
- первичный преобразователь тестируемого магнитометра POS-1 поместить в зону однородности магнитного эталона, ось цилиндра преобразователя перпендикулярна оси соленоида магнитного эталона;
- включить тестируемый магнитометр и внешнее устройство, сопряженное с ним;
- провести 15-20 измерений, записать результаты;
- повторить процедуру для эталонных полей 30000 нТл, 40000 нТл, 50000 нТл и так далее до 100000 нТл;
- обработать результаты по следующим формулам:

$$B_{\text{и}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i,$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (B_{\text{и}} - B_i)^2},$$

$$\Delta_s = B_{\text{и}} - B_{\text{д}},$$

где

B_i – результат i -го измерения магнитной индукции в серии;

n – число измерений в серии;

$B_{\text{и}}$ – среднее арифметическое значение в серии из n измерений;

Δ_s – систематическая погрешность измерения;

$B_{\text{д}}$ – действительное значение магнитной индукции.

σ – среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности;

- в каждой серии измерений Δ_s и σ не должны превышать значения основной систематической погрешности и модуля среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности, соответственно, указанных в таблице 1.
- подсоединить концы аналогового выхода контроля сигнала магнитометра к осциллографу;
- устанавливая значения поля магнитного эталона 20000 нТл, 50000 нТл и 100000 нТл, провести серию измерений, контролируя амплитуду на аналоговом выходе магнитометра. В норме начальная амплитуда должна составить 1 – 2 В по показаниям осциллографа;
- в произвольном поле провести серию измерений в циклическом режиме с периодом 3 секунды, контролируя напряжение и ток потребления прибора при помощи ампервольтметра с погрешностью не хуже 5%. Пиковый ток в момент поляризации при напряжении питания 15 В должен составлять величину 0,3 – 0,4 А и соответственно 0,5 – 0,6 А при 10 В напряжения питания.

3.3.3. Калибровка

Калибровка процессорного оверхаузеровского датчика – магнитометра POS-1,2 выполняется специализированными организациями согласно методике калибровки.

3.4. Техническое освидетельствование

Процессорный оверхаузеровский датчик – магнитометр POS-1,2 должен проходить техническое освидетельствование один раз в год при калибровке прибора.

4. ХРАНЕНИЕ

Магнитометр POS-1,2 должен храниться в укладочном ящике в закрытом вентилируемом помещении при температуре от +1°C до +40°C. Максимально допустимая влажность воздуха не должна превышать 80 % при температуре от +15°C до +25°C. В воздухе не должно быть пыли и примесей, вызывающих коррозию и нарушение электрической изоляции.

5. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ

Транспортирование магнитометра POS-1,2 должно производиться в транспортной таре при температуре от –50°C до +60°C любым видом закрытого транспорта в соответствии с правилами перевозки грузов, действующими на этих видах транспорта.

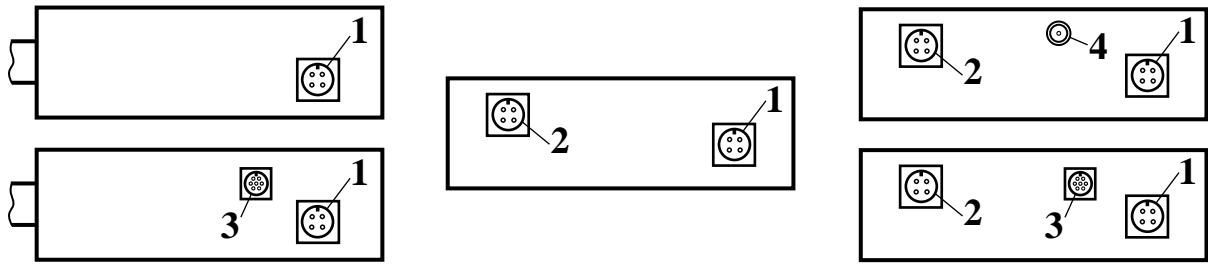
6. УТИЛИЗАЦИЯ

Утилизацию магнитометра POS-1,2 производит потребитель.

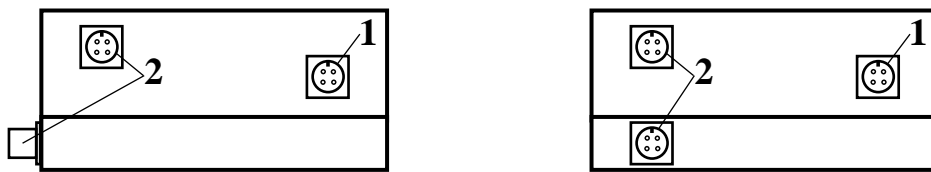
При утилизации необходимо выполнять требования правил безопасности при работе с химическими реактивами и легковоспламеняющимися веществами.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. РАЗЪЁМЫ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА

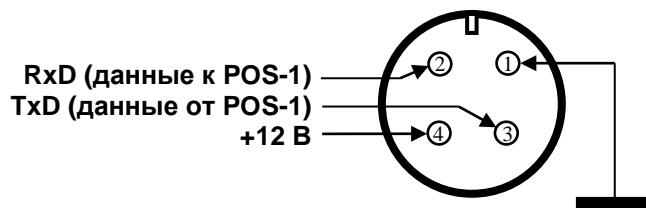
- Магнитометр POS-1. Варианты размещения разъемов на электронном блоке:



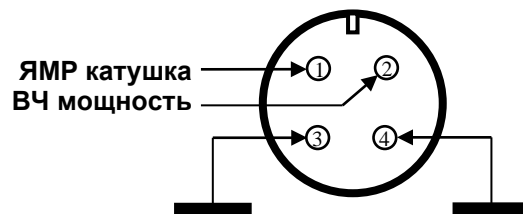
- Магнитометр POS-2. Варианты размещения разъемов на электронном блоке:



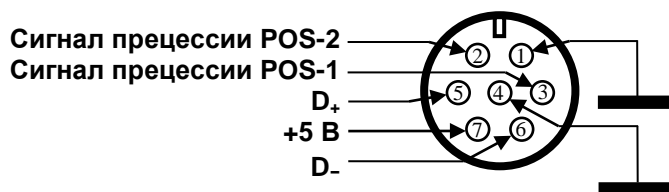
1. Штыревой разъем питание + RS232 порт:



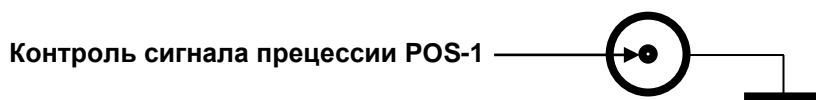
2. Гнездовой разъем датчика:



3. Штыревой разъем USB-регистратора и контроля сигнала:



4. Гнездовой разъем контроля сигнала:



ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОБМЕН ДАННЫМИ С МАГНИТОМЕТРОМ

Использование последовательного порта

Обмен данными между магнитометром POS-1,2 и внешним устройством производится через последовательный порт RS-232. Для связи используются две линии порта RxD и TxD и соединение нуль-модемного типа. В данной модели магнитометра не поддерживается настройка скорости обмена и контроля четности принимаемых данных. Необходимо вести обмен данными в режиме асинхронной передачи на скорости 9600 бод. Формат передаваемого байта: 8 бит данных, 1 стоп бит, контроль четности отключен.

Далее по тексту при записи значений символьных констант, описании структур данных и функций будет использоваться синтаксис языка C.

Команды управления и ответы на их исполнение оформляются в виде блоков, передаваемых через порт связи. Формат блоков: Данные, Ограничитель. Ограничителем является символ 0x00 (NUL), следующий сразу после данных и служащий для разграничения отдельных блоков информации. Данные представляют 1 – 256 байт полезной информации, значения которых лежат в диапазоне от 0x20 до 0xFF, а также символ 0x1A (SUB), служащий для передачи байтов со значениями, лежащими в диапазоне от 0x00 до 0x1F. Наличие символа SUB означает, что для получения истинного значения следующего байта данных в блоке, полученное значение этого байта необходимо уменьшить на 0x80. Исключением из этого правила являются команды связи «ENQ» и «NAK». В них символ SUB не применяется.

Пример:

При приёме блока 0x73, 0x20, 0x1A (\equiv SUB), 0x81, 0x00 (\equiv NUL) полезной информацией является последовательность байт 0x73, 0x20, 0x01 (\equiv 0x81 – 0x80). Для передачи команды 0x62, 0x20, 0x01 необходимо оформить блок передачи 0x62, 0x20, 0x1A (\equiv SUB), 0x81 (\equiv 0x01 + 0x80), 0x00 (\equiv NUL) и передать его через последовательный порт.

Команды управления магнитометром

Все команды управления магнитометром придерживаются одной схемы обмена данными. Сущность её состоит в следующем: с внешнего устройства передаётся допустимая команда, в случае успешного приёма магнитометр выполняет требуемые действия и передает ответ. При ошибке приёма, либо ошибке в самой команде магнитометр игнорирует её и ждёт прихода следующей команды. Таким образом, в описанной выше схеме ответ на команду можно считать подтверждением её исполнения, а сообщений об ошибках приёма не существует.

Далее при описании команд используются следующие обозначения. Вся команда ограничивается символами []. Строка, ограниченная символом ', является последовательностью символов АССII кода. Текстовая и двоичная информация разделена запятой. Символы '[]' и разделительные запяты

используются только для условных обозначений и не должны использоваться при формировании команды. Все пробелы в теле команды являются значимыми.

- Команда **ENQ**

Синтаксис: [0x05] (при формировании блока символ SUB не используется). По этой команде возвращается информация в текстовом виде о подключенном оборудовании длиной до 40 символов. Время исполнения команды – 300 мс.

- Команда **NAK**

Синтаксис: [0x15] (при формировании блока символ SUB не используется).

По этой команде магнитометр повторно передаёт ответ на предыдущую команду. Возможно использование этой команды для восстановления информации в случае ошибок при приёме или передаче блоков данных. Время исполнения команды – 300 мс.

- Команда **about**

Синтаксис: ['about'].

По этой команде возвращается краткая информация о производителе магнитометра в текстовой форме длиной до 256 символов. Время исполнения команды – 300 мс.

- Команда **standby**

Синтаксис: ['standby on'] или ['standby off'].

Включает или отключает режим пониженного энергопотребления прибора. Ответом на выполнение является строка 'set standby on', либо 'set standby off' в зависимости от команды. Следствием включения режима пониженного энергопотребления является отключение линии TxD от источника питания –12 В на время отсутствия передачи данных от магнитометра к внешнему устройству. При использовании длинного соединительного кабеля между магнитометром и внешним устройством и/или при наличии частых ошибок в приёме данных не рекомендуется включать режим пониженного энергопотребления. Значение по умолчанию – выключено. Время исполнения команды – 300 мс.

- Команда **mode**

- Без параметров

Синтаксис: ['mode'].

Применяется для определения текущего режима обмена данными. Ответом на команду является строка 'mode is text' или 'mode is binary' в зависимости от установленного режима обмена данными между магнитометром и внешним устройством. Время исполнения команды – 300 мс.

- С параметром

Синтаксис: ['mode text'] или ['mode binary'].

Устанавливает текстовый или двоичный режим обмена данными между магнитометром и внешним устройством. Ответом на команду является строка 'set text mode' или 'set binary mode', соответственно. Режим обмена по умолчанию – двоичный режим. Время исполнения команды – 300 мс. Формат приводимых далее команд и ответов на их исполнение зависит от установленного режима обмена данными между магнитометром и внешним устройством.

- Команда **time**

- Без параметров

Синтаксис: ['time'].

Применяется для определения времени встроенных часов магнитометра. Ответ на эту команду содержит информацию о состоянии встроенных часов магнитометра и зависит от режима обмена данными. Значение по умолчанию не определено. Время исполнения команды – 300 мс. В текстовом режиме обмена данными ответом является строка символов в формате 'hh:mm:ss', где hh – часы, mm – минуты, ss – секунды. В двоичном режиме обмена данными ответом служит длинное целое (4 байта, старший байт первый), равное количеству секунд, прошедших с 1 января 1970 года до момента прихода команды.

- С параметром

Синтаксис (текстовый режим): ['time hh:mm:ss'].

Синтаксис (двоичный режим): ['time ',Prm].

Здесь hh – часы, mm – минуты, ss – секунды, Prm – длинное целое (4 байта, старший байт первый), равное количеству секунд, прошедших с 1 января 1970 года или любому другому числу, если не предусматривается переключение режима обмена данными. В дальнейшем, каждую секунду это число будет увеличиваться на 1. Устанавливает внутренний счётчик времени магнитометра. Ответом на исполнение этой команды является строка 'set time ok'. Время исполнения команды – 300 мс. Реально установка времени произойдет по переднему фронту на линии RxD RS-232 в начале передачи следующей команды.

- Команда **date**

- Без параметров

Синтаксис: ['date'].

Применяется для определения даты встроенных часов магнитометра. Ответом является строка символов в формате 'mm-dd-yy', где mm – месяц, dd – день месяца, yy – год. Время исполнения команды – 300 мс. Команда поддерживается только в текстовом режиме, так как в двоичном режиме установку и получение даты реализует команда time. Значение по умолчанию не определено.

- С параметром

Синтаксис: ['date mm-dd-yy'].

Здесь mm – месяц, dd – день месяца, yy – год. Устанавливает текущую дату, не изменяя значения времени. Ответом на исполнение этой команды является строка 'set date ok'. Команда поддерживается только в текстовом режиме, так как в двоичном режиме установку и получение даты реализует команда time. Время исполнения команды – 2.5 сек.

- Команда **range**

- Без параметров

Синтаксис: ['range'].

Возвращает текущее значение границ рабочего поддиапазона магнитометра в нТл. Время исполнения команды – 300 мс. Значение по умолчанию соответствует рабочему поддиапазону с центральным полем равным 55000 нТл. Формат ответа зависит от режима обмена данными. В текстовом режиме ответом служит строка 'range MIN – MAX', где MIN – число равное минимальному значению поля рабочего поддиапазона в нТл, MAX – число равное максимальному значению поля рабочего поддиапазона в нТл. В двоичном режиме ответом является структура {long MinField; long MaxField;} (8 байт, старший байт каждого длинного целого первый). Значения полей структуры соответствуют значениям нижней и верхней границ рабочего поддиапазона в нТл.

- С параметром

Синтаксис (текстовый режим): ['range CENTER'].

Синтаксис (двоичный режим): ['range ',Center].

Здесь CENTER – число равное требуемому значению центрального поля рабочего поддиапазона в нТл, Center – длинное целое (4 байта, старший байт первый) равное требуемому значению центрального поля рабочего поддиапазона в нТл. Устанавливает текущий рабочий поддиапазон измерения магнитного поля по значению параметра, соответствующего требуемому значению центрального поля рабочего поддиапазона в нТл. В текстовом режиме ответом является строка 'set range MIN – MAX', где MIN и MAX – числа равные реальным значениям нижней и верхней границ установленного рабочего поддиапазона в нТл. В двоичном режиме обмена данными ответом является структура {long MinField; long MaxField;} (8 байт, старший байт каждого длинного целого первый). Значения полей структуры соответствуют реальным значениям нижней и верхней границ установленного рабочего поддиапазона в нТл. Время исполнения команды – 300 мс.

- Команда **run**

Синтаксис: ['run'].

Запускает измерение модуля магнитной индукции. Время исполнения команды – 4000 мс. Ответ зависит от установленного режима обмена данными. В текстовом режиме возвращается результат измерения в формате строки:

'FIELD + – QMC pT [STATE] mm-dd-yy hh:mm:ss.pph',

где

- FIELD – значение модуля магнитной индукции в пТл,
- QMC – оценка модуля случайной погрешности измерения в пТл при доверительной вероятности 0,68 (оценка СКО измерений),
- STATE – состояние измерения (представление байта в шестнадцатеричном формате),
- mm-dd-yy – день-месяц-год измерения,
- hh:mm:ss – час:минута:секунда начала измерения,
- pph – сотая доля секунды, относящиеся к времени начала измерения.

В двоичном режиме возвращается результат в виде структуры (12 байт, старший байт двойных слов, слов и длинных целых первый):

{DWORD field; WORD qmc; BYTE state; long time; BYTE pph;},

где

- field – значение модуля магнитной индукции в пТл,
- qmc – оценка модуля случайной погрешности измерения при в пТл доверительной вероятности 0,68 (оценка СКО измерений),
- state – состояние измерения,
- time и pph – время начала измерения.

Состояние измерения представляет собой байт информации, каждый бит которого имеет следующее значение (см. также таблицы 5, 10):

Таблица 12

Бит	Расшифровка
7	значение магнитного поля можно выводить на дисплей
6	низкое напряжение питания (измерение не проводилось)
5	нет сигнала (измерение не проводилось)
4	результат не попадает в пределы 20000-100000 нТл
3	зарезервирован
2	низкое отношение сигнал/шум
1	укорочение длительности сигнала
0	значение поля не соответствует установленному рабочему поддиапазону

Также возможно значение байта состояния равно 0x7F, что означает фатальную ошибку в измерении, вызванную сбоем в программе. При повторении такой ошибки необходимо обратиться в организацию-изготовитель магнитометра.

Байт сообщения о состоянии может быть представлен в шестнадцатеричном (HEX) формате. В этом случае расшифровку значения байта можно вести независимо по старшему (сообщения об ошибках) и младшему разрядам (предупреждения), см. таблицу 13. Например, если байт сообщения о состоянии в HEX представлении – 86. Расшифровка данного сообщения по таблице: низкое отношение сигнал/шум в цикле измерения, длительность протонного сигнала вдвое меньше нормы.

Таблица 13

Значение		Расшифровка	
Старший разряд	Младший разряд		
1	–	Результат не попадает в пределы 20000 – 100000 нТл	Ошибки
2	–	Нет сигнала (измерение не проводилось)	
4	–	Низкое напряжение питания (измерение не проводилось)	
6	–	Низкое напряжение питания; Нет сигнала (измерение не проводилось)	
8	–	Отсутствие ошибок в измерении (могут присутствовать предупреждения о нестандартных условиях измерения)	
–	1	Значение поля вне установленного рабочего поддиапазона	Предупреждения
–	2	Укорочение длительности сигнала	
–	3	Укорочение длительности сигнала; Значение поля вне установленного рабочего поддиапазона	
–	4	Низкое отношение сигнал/шум	
–	5	Низкое отношение сигнал/шум; Значение поля вне установленного рабочего поддиапазона	
–	6	Низкое отношение сигнал/шум; Укорочение длительности сигнала	
–	7	Низкое отношение сигнал/шум; Укорочение длительности сигнала; Значение поля вне установленного рабочего поддиапазона	
7	F	Фатальная ошибка в измерении, вызванная сбоем в программе	

- Команда **auto**

Синтаксис (текстовый режим): ['auto PRM'].

Синтаксис (Двоичный режим): ['auto ',Prm].

Здесь PRM – целое число, определяющее цикличность автоматического запуска последующих измерений в секундах. Допустимые значения: $1 \div 86400$, Prm - длинное целое (4 байта, старший байт первый). Если Prm > 0, то его значение определяет цикличность автоматического запуска измерения в секундах, если Prm < 0 то его абсолютное значение определяет частоту последующих измерений в Гц. Допустимые значения Prm в данной модели магнитометр: $-5 \div -1$ и $1 \div 86400$. Команда переводит магнитометр в режим автоматического измерения модуля индукции магнитного поля. В этом режиме магнитометр измеряет и передает результат в формате, аналогичном формату ответа при однократном измерении, с периодичностью (частотой), определяемой значением параметра команды. Начало каждого измерения синхронизовано с началом секунды по встроенным часам магнитометра. Ответом на команду в текстовом режиме является строка, содержащая результат первого измерения в формате аналогичном ответу на однократное измерение в текстовом режиме. В двоичном режиме ответом является структура данных, содержащая результат первого измерения в формате аналогичном формату ответа на одиночное измерение в двоичном режиме. Время исполнения команды – 5000 мс.

- Команда остановки автоматических измерений

Как таковой данной команды не существует. Любая команда, поступившая в магнитометр, находящийся в режиме автоматического измерения, выводит его из этого режима. При этом дальнейшего анализа команды не происходит, а магнитометр сначала отвечает, как при команде ENQ, а затем переходит в режим ожидания следующей команды. Рекомендуется использовать команду ENQ для выхода из режима автоматического измерения. Время исполнения команды – 1500 мс.

При обнаружении недостатка в напряжении питания или фатальной ошибки в режиме автоматического измерения (бит 6 установлен или значение байта состояния равно 0x7F), магнитометр выйдет из режима автоматического измерения, предаст ответ, как по запросу ENQ и перейдет в режим ожидания следующей команды.

Дополнительные команды для градиентометра POS-2

Команда **grad**

- Без параметров

Синтаксис: ['grad'].

Применяется для определения текущего режима работы градиентометра. Ответом на команду является строка 'grad is on' или 'grad is off' в зависимости от включенного или отключенного состояния режима градиентометра соответственно. Время исполнения команды – 300 мс.

- С параметром

Синтаксис: ['grad on'] или ['grad off'].

Включает или отключает режим градиентометра. Ответом на команду является строка 'turn on grad' или 'turn off grad', соответственно. Режим работы по умолчанию – градиентометр отключен. Время исполнения команды – 300 мс.

При отключенном режиме градиентометра POS-2 работает аналогично POS-1. Дополнительный канал не используется и практически не потребляет энергии батарей питания.

Во включенном режиме градиентометра измерения ведутся одновременно двумя каналами – основным и дополнительным. В связи с этим изменяется формат передачи результата в однократном и автоматическом режимах измерений:

'FIELD + – QMC pT [STATE] mm-dd-yy hh:mm:ss.pph
GRAD + – GQMC pT [GSTATE]',

где дополнительные поля GRAD, GQMC и GSTATE относятся к результату измерения дополнительного канала и имеют следующий смысл:

GRAD – значение модуля магнитной индукции дополнительного канала,

GQMC – оценка модуля случайной погрешности измерения дополнительного канала при доверительной вероятности 0,68 в пТл (оценка СКО измерений по данному каналу),

GSTATE – состояние измерения дополнительного канала (представление байта в шестнадцатеричном формате).

В двоичном режиме возвращается результат в виде структуры (12 байт, старший байт двойных слов, слов и длинных целых первый):

{DWORD field; WORD qmc; BYTE state; long time; BYTE pph;
DWORD grad; WORD gqmc; BYTE gstate},

где дополнительные поля grad, gqmc и gstate имеют тот же смысл, что и в текстовом режиме. Остальные поля относятся к основному каналу и описаны выше.

Дополнительные команды для POS-1 со встроенным ГНСС-приемником

Команда `gps`

- Без параметров
Синтаксис: `['gps']`.

Применяется для определения текущего режима работы магнитометра. Ответом на команду является строка `'gps is on'` или `'gps is off'` в зависимости от включенного или отключенного режима работы POS-1 со встроенным ГНСС-приемника. Время исполнения команды – 300 мс.

- С параметром
Синтаксис: `['gps on']` или `['gps off']`.

Включает или отключает режим работы с ГНСС-приемником. Ответом на команду является строка `'set gps on'` или `'set gps off'`, соответственно. Режим работы по умолчанию – ГНСС-приемник отключен. Время исполнения команды – 300 мс.

Важно отметить, что при включении режима работы с ГНСС только после получения полных данных альманаха эфемерид спутников будет происходить синхронизация внутреннего времени POS с временем UTC. Это связано с тем, что информация о сдвиге времен ГНСС и UTC содержится в альманахе.

Во включенном режиме измерения ведутся одновременно магнитометром и ГНСС-приемником. При данном режиме результат возвращается только в двоичном формате в виде структуры (20 байт, старший байт двойных слов, слов и длинных целых – первый, 2 последние переменные – 4-х байтные переменные с плавающей точкой):

{DWORD field; WORD qmc; BYTE state; long time; BYTE pph;
FLOAT latitude; FLOAT longitude},

где

- | | |
|------------|--|
| field | – значение модуля магнитной индукции в пТл, |
| qmc | – оценка модуля случайной погрешности измерения при в пТл доверительной вероятности 0,68 (оценка СКО измерений), |
| state | – состояние измерения, |
| time и pph | – время начала измерения, |
| latitude | – широта (знаковая) в точке измерения в радианах, |
| longitude | – долгота (знаковая) в точке измерения. |