Утвержден
ЛМАП.402131.043-ЛУ

МОДУЛЬ ИНЕРЦИАЛЬНЫЙ

МГ-1

Руководство по эксплуатации

ЛМАП.402131.043РЭ

Подп и дата
Инв. № дубл.
Взам. № подл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
1 Описание и работа 4
1.1 Назначение изделия 4
1.2 Технические характеристики 4
1.3 Состав изделия 8
1.4 Устройство и работа 9
1.5 Назначение выводов 12
1.6 Маркировка и пломбирование 15
1.7 Упаковка 16
2 Использование по назначению 17
2.1 Предельные и предельно-допустимые режимы работы 17
2.2 Подготовка изделия к использованию 18
2.2.1 Меры безопасности при подготовке изделия 18
2.2.2 Объем и последовательность внешнего осмотра изделия 18
2.2.3 Проверка готовности изделия к использованию 18
2.2.4 Указание об ориентировании изделия 19
2.2.5 Указание об установке МГ-1 20
2.2.6 Указания о взаимосвязи (соединении) МГ-1 с другими изделиями 20
2.2.7 Протокол информационного взаимодействия 18
2.2.8 Перечень возможных неисправностей изделия в процессе его подготовки и рекомендации по действиям при их возникновении 19
3 Хранение 25
4 Транспортирование 26
Приложение А Внешний вид МГ-1 27
Приложение Б Габаритные, установочные и присоединительные размеры 28
Приложение В Обозначение контактов 29
Приложение Г Схема подключения 30

ВВЕДЕНИЕ

Руководство по эксплуатации (РЭ) предназначено для ознакомления с техническими характеристиками, условиями эксплуатации, настройки, транспортирования и хранения модуля инерциального МГ-1 ЛМАП.402131.043ТУ (далее – изделие или МГ-1).

В состав МГ-1 входят трехосевой датчик угловой скорости, трехосевой акселерометр, трехосевой магнитометр, барометр и вычислитель.

К работе с МГ-1 допускаются лица, ознакомленные с настоящим РЭ, прошедшие инструктаж по технике безопасности в соответствии с установленным в эксплуатирущей организации порядком.

Данное РЭ распространяется на следующие исполнения МГ-1:

МГ-1-GAPI,

где G – диапазон измерения угловой скорости по осям чувствительности;

A – диапазон измерения ускорения;

P – диапазон напряжения питания;

H – наличие резистивного подогрева;

I – интерфейс.

Примечание – более подробная информация по исполнениям ГКВ указана в п. 1.3 Состав издели.

При несоблюдении условий и требований, указанных в РЭ, МГ может выйти из строя.

1 ОПИСАНИЕ И РАБОТА

1.1 Назначение изделия

МГ-1 – инерциальный модуль, который предназначен для измерения и выдачи угловой скорости, кажущегося линейного ускорения, магнитного поля и абсолютного атмосферного давления.

Диапазон рабочих температур от минус 40 до +70 °С.

Масса не более 50 г.

Габаритные размеры не более 47,3×35,3×16,1 мм.

1.2 Технические характеристики

Информационный обмен осуществляется по следующим интерфейсам: RS-485/RS232, UART, CAN, USB.

Скорость обмена, алгоритмы выдачи, частота выдачи, а также другие параметры могут быть определены потребителем согласно протоколу информационного взаимодействия ЛМАП.402131.043Д1.

Технические характеристики изделия представлены в таблице 1.

Таблица 1 а – Метрологические характеристики канала угловой скорости

Наименование	Значение
Диапазон измерения, не менее, °/с	±500
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения угловой скорости, °/с - при измерении угловой скорости в диапазоне ±180 включ. °/с - сразу после включения - после предварительного прогрева ($T_{прогр.}$ =15 минут) - при измерении угловой скорости в диапазоне св. ±180 °/с	 ± 0,5* ± 0,3* ± 0,8*
Смещение нуля в диапазоне рабочих температур, не более, °/с	± 0,25
Нестабильность смещения нуля, не более, °/ч	8
Случайное угловое блуждание (по дисперсии Аллана), не более, °/√ч	0,35
Спектральная плотность шума, не более, °/с/√Гц	0,007
Нелинейность, не более, %	0,1
Полоса пропускания по уровню минус 3дБ, не менее, Гц	500
Чувствительность к ускорению, не более, °/с/g	0,1
Примечание: * – Данные значения – максимальные значения погрешности измерения, данная погрешность может быть меньше за счет списания смещение нуля в статике. $\Delta\omega = \omega_{Bias}(t) + \omega_{scale}(t)$, где $\Delta\omega$ – абсолютная погрешность измерения угловой скорости, $\omega_{Bias}(t)$ – суммарная погрешность смещения нуля в диапазоне рабочих температур, смещения нуля от включения к включению и долговременная стабильность смещения нуля, $\omega_{scale}(t)$ – погрешность масштабного коэффициента в диапазоне температур. Остальные составляющие погрешности слишком малы по сравнению со смещением нуля и погрешностью масштабного коэффициента, поэтому можно их не учитывать.	

Таблица 1 б – Метрологические характеристики канала кажущегося линейного ускорения

Наименование	Значение
Диапазон измерения, не менее, g	±10
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения ускорения, mg - в диапазоне ±1 g; - в полном диапазоне измерений.	 ± 6* ± 15*
Смещение нуля в диапазоне рабочих температур, не более, mg	±5
Нестабильность смещения нуля, не более, mg	0,01
Случайное блуждание скорости (по дисперсии Аллана), не более, (мм/с)/√ч	0,7
Спектральная плотность шума, не более, мкg/√Гц	75

Продолжение таблицы 1 б

Наименование	Значение
Нелинейность, не более, %	0,1
Полоса пропускания по уровню минус 3дБ, не менее, Гц	500
Примечание: * – Данные значения – максимальные значения погрешности измерения, данная погрешность может быть меньше за счет списания смещение нуля в статике. $\Delta a = a_{Bias}(t) + a_{scale}(t)$, где Δa – абсолютная погрешность измерения ускорения, $a_{Bias}(t)$ – суммарная погрешность смещения нуля в диапазоне рабочих температур, смещения нуля от включения к включению и долговременная стабильность смещения нуля, $a_{scale}(t)$ – погрешность масштабного коэффициента в диапазоне температур. Остальные составляющие погрешности слишком малы по сравнению со смещением нуля и погрешностью масштабного коэффициента, поэтому можно их не учитывать.	

Таблица 1 в – Общие технические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Количество измерительных осей, шт	3
Неортогональность осей ДУС, акселерометра и магнитометра, не более, °	0,05
Напряжение питания, В	от 5 до 36
Потребляемая мощность, не более, Вт	2,5
Масса, не более, кг	0,050
Габаритные размеры, не более, мм	47,3×35,3×16,1
Условия эксплуатации - температура окружающей среды, ˚С - относительная влажность воздуха при температуре 25˚С, не более, % - атмосферное давление, кПа	 от минус 40 до +70 98 от 60 до 113

Таблица 1 г – Метрологические характеристики канала магнитометра

Наименование	Значение
Диапазон измерения, не менее, мТл (Гаусс)	± 0,8 (± 8)
Нелинейность, номинальное значение, %	0,1
Шум, номинальное значение, мкТл (мГаусс)	0,04 (0,4)
Чувствительность, не менее, мкТл (мГаусс)	0,05 (0,5)

Таблица 1 д – Метрологические характеристики канала барометра

Наименование	Значение
Диапазон измерения, кПа	от 30 до 125
Шум, номинальное значение, Па	± 1,2

Таблица 1 е – Метрологические характеристики инклинометра

Наименование характеристики	Значение
Диапазон по осям X и Y, °	±90
Точность измерения (1σ), не более, °	±0,1

Таблица 1 ж – Метрологические характеристики системы ориентации

Наименование характеристики	Значение
Диапазон по крену, °	±180
Диапазон по тангажу, °	±90
Диапазон по курсу, °	±180 (0 – 360)
Точность измерения тангажа и крена в статике (1σ), не более: - с коррекцией по акселерометрам, °	0,2
Точность измерения курса в статике (1σ), не более, °	±1
Точность измерения тангажа и крена в динамике (1σ), не более: - с коррекцией по акселерометрам, °	0,3
Точность измерения магнитного курса (1σ), не более, °	±1

По внешним воздействующим факторам МГ-1:

– прочный к воздействию случайной широкополосной вибрации с параметрами согласно таблице. Продолжительность воздействия по каждой оси – 1 час.

Таблица 1 ж – Параметры широкополосной вибрации

Оси	Диапазон частот, Гц	Среднеквадратическое значение суммарного ускорения, м/с^2 (g)
X, Y, Z	1-2000	5 (0,5)

– стойкий к линейному ускорению до 50 g в 3-х взаимно перпендикулярных направлениях;

– стойкий к воздействию механического удара однократного действия с пиковым ударным ускорением 800 м/с^2 (80 g) и длительностью действия ударного ускорения от 0,5 – 2 мс;

– стойкий к воздействию механического удара многократного действия с пиковым ударным ускорением 400 м/с^2 (40 g) и длительностью ударного ускорения от 1 до 5 мс;

– стойкий к воздействию повышенной температуры окружающей среды +70 °С (+85 °С по запросу);

– стойкий к воздействию пониженной температуры окружающей среды минус 40 °С;

– стойкий к изменению температуры окружающей среды от минус 40 до +70 °С (+85 °С по запросу).

1.3 Состав изделия

Комплект поставки:

1) Модуль инерциальный МГ-1;
2) Упаковка ЛМАП.402915.015;
3) Этикетка ЛМАП.402131.043ЭТ;
4) Разъем 15EDGKNHM-3.5-14P-14-00AH.

МГ-1 поставляется в исполнениях согласно таблице 2. Диапазоны измерений угловой скорости и ускорения могут подбираться индивидуально по запросу заказчика.

Таблица 2 – Исполнения МГ

МГ-1	-	G	A	P	H		I	
Характеристики МГ		Диапазон измерения угловой скорости по осям X, Y, Z, °/c	Диапазон измерения линейного ускорения по осям X, Y, Z, g	Напряжение питания, В	Резистивный подогрев		Интерфейс	
		±300	±10	5 – 36	Нет	Есть	RS-422	UART
Значение		**1**	**1**	**1**	**0**	**-**	**-**	**2**

Например, МГ-1-11102 означает следующее:

Диапазон угловой скорости по трем осям – ± 300 °/c;

Диапазон ускорения по трем осям – ±10 g;

Диапазон входного напряжения – 5 – 36 В;

Резистивный подогрев – нет;

Интерфейс – UART.

1.4 Устройство и работа

В состав МГ-1 входят трехосевой датчик угловой скорости, трехосевой акселерометр, трехосевой магнитометр, барометр и вычислитель.

Датчики угловой скорости и акселерометры каждого МГ-1 индивидуально калибруются в диапазоне рабочих температур.

1.4.1 Общие сведения о работе изделия

МГ-1 предназначен для измерения и выдачи угловой скорости, кажущегося линейного ускорения, магнитного поля и абсолютного атмосферного давления.

Данные от инерциальных датчиков выдаются в калиброванном виде (а также могут передаваться в кодах АЦП, т.е. без калибровки). По умолчанию МГ-1 настроен на выдачу калиброванных данных с датчиков (тип пакета 0x0B), если иное не обговорено с заказчиком.

1.4.2 Алгоритмы работы изделия

Данные с датчиков

Данные с датчиков представляют собой калиброванные данные каналов уг-

ловой скорости и кажущегося линейного ускорения. Сигналы от датчиков угловой скорости и акселерометров фильтруются с разряжением до частоты 1 кГц и калибруются во всем диапазоне температур.

Общая модель датчиков описывается формулой 1.1.

$$S = K^{-1} \times (ADC - B0); \tag{1.1}$$

где S – калиброванные данные датчика;

ADC – «сырые» данные от датчиков в кодах АЦП;

B0 – смещение нуля датчиков в кодах АЦП;

K – матрица поворотов и масштабных коэффициентов;

$$K = \begin{bmatrix} G_{11} & 0 & 0 \\ 0 & G_{22} & 0 \\ 0 & 0 & G_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix}, \tag{1.2}$$

где G – матрица масштабных коэффициентов;

$$G = \begin{bmatrix} G_{11} & 0 & 0 \\ 0 & G_{22} & 0 \\ 0 & 0 & G_{33} \end{bmatrix}; \tag{1.3}$$

M – матрица поворотов (матрица направляющих косинусов) для приведения к ортонормированному базису.

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix}; \tag{1.4}$$

Реальная модель датчика сложнее, зависит от типа датчика и имеет температурную зависимость.

Инклинометр

Данные с инклинометра представляют собой углы отклонения, α и β. Вычисляются по данным линейного ускорения, согласно формулам 1.5.

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctan\left(\frac{A_X}{\sqrt{A_Y^2 + A_Z^2}}\right) \\ \beta &= \arctan\left(\frac{A_Y}{\sqrt{A_X^2 + A_Z^2}}\right) \end{aligned} \tag{1.5}$$

Ориентация

Алгоритм работает следующим образом: ориентация вычисляется путём интегрирования показаний ДУС на каждой итерации, после этого происходит кор-

рекция по акселерометрам и магнитометрам. Коррекция по акселерометрам – процесс периодический, сначала накапливаются значения в буфере длиной delta_acc_buf секунд, после этого корректируется ориентация по углам крена и тангажа с доверительным интервалом (сигмой) sig_acc_trust. Коррекция курса по магнитометрам происходит на каждой итерации с доверительным интервалом (сигмой) sig_mag_trust.

Основные параметры, которые нужно менять для изменения работы алгоритма это sig_acc_trust и sig_mag_trust. Чем меньше значение, тем сильнее алгоритм корректируется по акселерометру и магнитометру.

Параметры алгоритма:

reset – сброс алгоритма. При посылке значения «1» алгоритм инициализируется заново;

sig_acc_trust – (рад) доверительный интервал (сигма) корректировки крена/тангажа по акселерометрам. Значение по умолчанию 0.05;

delta_acc_buf (сек) – время накопления значений акселерометра в буфере. Значение по умолчанию 0.1;

initial_yaw – (рад) начальный курс. Используется, если параметр use_mag равен нулю;

init_sig_att – (рад) начальное СКО углов ориентации. Чем спокойнее условия запуска, тем меньше можно ставить значение. Значение по умолчанию 0.5 рад;

init_sig_wb – (рад/с) начальное СКО смещения нулей ДУС-ов. Значение по умолчанию 0.003;

use_mag – использование магнитометра. «0» - корректировка курса по магнитометру не применяется. «1» - применение корректировки курса по магнитометрам. «2» - применение корректировки курса по магнитометрам с вычислением смещения нулей магнитометра в динамике;

sig_mag_trust – (рад) доверительный интервал (сигма) корректировки курса по магнитометрам. Значение по умолчанию 1;

declination (град) – магнитное склонение. Угол между магнитным и географическим севером в данной местности;

Inclination (град) – магнитное наклонение. Угол между магнитным вектором земли и вертикальным вектором в данной местности. (в процессе разработки, не используется);

steady_time – минимальное время в семплах для определения положения покоя (находится в процессе разработки, не используется);

a_threshold – порог определения покоя по акселерометрам. (в процессе разработки, не используется);

w_threshold – порог определения покоя по ДУС. (в процессе разработки, не используется.

Примечания

1 Рекомендуется использовать "Наборный пакет" для получения необходимых параметров. Настроить МГ-1 можно согласно протоколу информационного взаимодействия ЛМАП.402131.043Д1 или с помощью демонстрационного программного обеспечения (ПО).

2 При выборе наборного пакета, необходимо следить за пропускной способностью выходного канала цифрового интерфейса.

3 МГ-1 имеет возможность обновления или доработки внутреннего ПО. Обновление происходит через демонстрационное ПО МГ-1, стандартное для всех модулей.

1.5 Назначение выводов разъема

Назначение выводов разъема показано в таблице 3. Нумерация выводов разъема указана в приложении В.

Таблица 3 – Назначение выводов разъема МГ-1

Номер контакта	Цепь	Назначение
1	Напряжение питания	Положительный потенциал напряжения питания
2	Общий питания	Нулевой потенциал напряжения питания
3	RS-485B (+) / RS-232 TxD	Цепь B полудуплексного интерфейса RS-485 / Выход интерфейса RS-232
4	RS-485A (-) / RS-232 RxD	Цепь A полудуплексного интерфейса RS-485 / Вход интерфейса RS-232
5	UART2 RxD	Вход интерфейса UART
6	UART2 TxD	Выход интерфейса UART
7	Выход синхронизации	Выходная цепь синхронизации
8	Вход синхронизации 3	Входная цепь синхронизации
9	Вход синхронизации 2	Входная цепь синхронизации
10	Вход синхронизации 1	Входная цепь синхронизации
11	CANH	Цепь CANH интерфейса CAN
12	CANL	Цепь CANL интерфейса CAN
13	UART1 RxD	Вход интерфейса UART
14	UART1 TxD	Выход интерфейса UART

Примечание: Выбор интерфейса RS-485/RS-232 производится программно.

1.5.1 Цепи питания

Контакты 1 (Напряжение питания) и 2 (Общий питания) предназначены для подключения внешнего напряжения питания от 5 В до 36 В. Имеется встроенная защита от напряжения питания неверной полярности.

1.5.2 Цифровые интерфейсы

В качестве основных интерфейсов применяются USB и UART1 (рис. 1). Через данные интерфейсы осуществляется передача вычисленных данных с момента включения с частотой 1кГц и производится настройка и обновление МГ-1. Максимальная скорость передачи данных по USB (через встроенный преобразователь FTDI) не более 921600 бит/с, максимальная скорость передачи данных по UART не более 3 Мбит/с.

Одновременное получение данных по интерфейсам USB и UART1 невозможно. Без подключения к ПК данные передаются по UART1. При подключении к ПК переключение между интерфейсами производится автоматически на аппаратном уровне после прохождения этапа конфигурирования USB-устройства операционной системой.

В качестве дополнительных интерфейсов используются RS-485/RS232, UART2. Прием и передача данных возможны только по одному из интерфейсов, т.е. физически выводы должны быть подключены только к одному из портов. Данные интерфейсы настраиваются программно согласно протоколу информационного взаимодействия ЛМАП.402131.043Д1.

Также есть возможность взаимодействия по CAN-интерфейсу, работа которого описана в ЛМАП.402131.009Д2.

В цепях UART установлены токоограничивающие резисторы, номиналом 100 Ом.

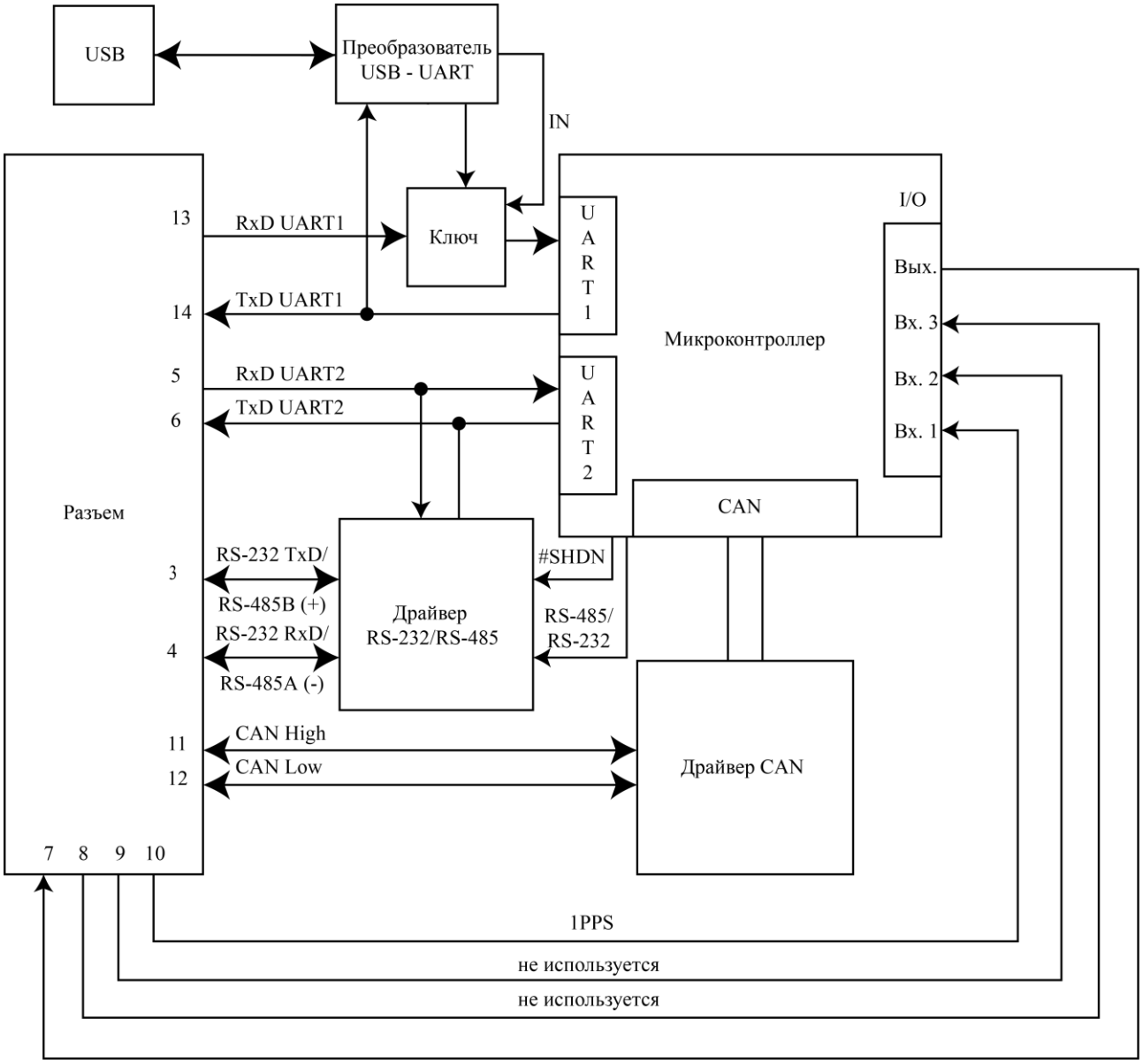


Рисунок 1 – Комбинированная схема внутренней структуры интерфейсов МГ-1

1.5.3 Сигналы синхронизации

Контакты 7, 8, 9 и 10 предназначены для формирования сигналов синхронизации. Логические уровни сигналов ТТЛ/КМОП-совместимы при работе на резистивную нагрузку, сопротивлением более 1 МОм. Контакты 8 и 9 – не используются. На контакт 10 можно завести сигнал 1PPS. Выходной сигнал синхронизации (контакт 7) может быть настроен:

- установка лог. 1 (3,3 В) на выходе контакта 7 по внутреннему сигналу оцифровки данных АЦП, установка лог. 0 (0 В) по внутреннему сигналу обработки данных текущим алгоритмом (т.е. кроме времени синхронизации можно вычислить время задержки алгоритма вычисления данных);

- переключение уровня сигнала по внутреннему сигналу оцифровки данных

АЦП.

Примечание – Переключения происходят с учетом предделителя синхросигнала (см. протокол информационного взаимодействия тип пакета 0x07).

Вход сигнала синхронизации (8, 9, 10 контакты) доопределен до 3,3 В резистором 10 кОм. Значение входа синхронизации устанавливается в параметре «Статус» бит 0.

В цепях синхронизации установлены токоограничивающие резисторы, номиналом 10 кОм.

1.6 Маркировка и пломбирование

Маркировка наносится на корпусе МГ в соответствии со сборочным чертежом. Маркировка должна содержать:

– заводской номер;

– обозначение осей чувствительности.

Маркировка может содержать:

– обозначение изделия;

– товарный знак изготовителя.

Размеры маркировочных знаков и их цвет должны обеспечивать возможность чтения маркировки без применения увеличительных приборов.

Кодирование при маркировке изделия: МГ-1-GAPI, где

1. G – диапазон измерения угловой скорости по осям X, Y, Z, десятичная цифра:
   0 – нет ДУС,
   1 – диапазон измерения угловой скорости ± 500°/с;
2. A – диапазон измерения ускорения по осям X, Y, Z, десятичная цифра:
   0 – нет акселерометра,
   1 – диапазон измерения ускорений ± 10 g по всем осям;
3. P – диапазон напряжения питания, десятичная цифра:
   1 – от 5 до 36 В,
4. I – тип выходного интерфейса, десятичная цифра:
   1 – RS-422,
   2 – UART.

1.7 Упаковка

Упаковка представляет собой картонную коробку с легкой поролоновой вставкой. Размеры упаковки предусматривают размещение в ней остальных компонент изделия (см. состав изделия – 1.3).

2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПО НАЗНАЧЕНИЮ

2.1 Предельные и предельно-допустимые режимы работы

2.1.1 Предельные и предельно-допустимые режимы работы указаны в таблице 4. Длительность воздействия предельных режимов не должна превышать 0,1 с в течение 10 мин.

Таблица 4 – Предельные и предельно-допустимые режимы работы

Наименование параметра	Предельно-допустимые		Предельные	
	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.
Напряжение в цепи питания, В	5	36	5	36
RS-485				
Напряжение на цепях RS-485A и RS-485B относительно цепи “Общий” при приёме данных с выключенным встроенным терминатором, В	-15	15	-15	15
Дифференциальное напряжение между цепями RS-485A и RS-485B при приёме данных с включенным встроенным терминатором, В	-3	3	-6	6
Выходное дифференциальное напряжение между цепями RS-485A и RS-485B на нагрузку 50 Ом, В	1	-	2	-
Ток короткого замыкания между цепями RS-485A и RS-485B, А*	-0,1	0,1	-0,25	0,25
RS-232				
Выходное напряжение лог.1 на цепи RS-232 TxD на нагрузку 3 кОм, В	-	-5	-	-5
Выходное напряжение лог.0 на цепи RS-232 TxD на нагрузку 3 кОм, В	5	-	5	-
Ток короткого замыкания между цепями RS-232 TxD и “Общий”, А*	-25	25	-50	50
Входное напряжение по цепи RS-232 RxD, В	-15	15	-15	15
UART				
Напряжение на цепи UART1 RxD, В	-0,3	3,6	-0,3	5,5
Ток в цепях UART1 RxD и UART1 TxD, А	0	0,001	0	0,005
Напряжение на цепи UART2 RxD, В	-0,3	3,6	-0,3	3,6
Ток в цепях UART2 RxD и UART2 TxD, А	-0,001	0,001	-0,005	0,005
CAN				
Напряжение на цепях CANH и CANL относительно цепи “Общий” при приёме данных, В	-7	12	-36	36
Дифференциальное напряжение между цепями CANH и CANL при приёме данных, В	-3	3	-6	6

Наименование параметра	Предельно-допустимые		Предельные	
	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.
Цепи синхронизации				
Напряжение на цепях “Вход синхронизации 1”, “Вход синхронизации 2” и “Вход синхронизации 3”, В	-0,3	3,6	-0,3	5,5
Ток в цепях “Вход синхронизации 1”, “Вход синхронизации 2”, “Вход синхронизации 3” и “Выход синхронизации”, А	-0,001	0,001	-0,005	0,005
Примечания: * в момент превышения, а также в течение 1 с после снятия воздействия предельных токов, работоспособность Изделия не обеспечивается.				

USB

Допускается подключение только к портам, соответствующим спецификациям USB 2.0 и USB 3.x

ВНИМАНИЕ: НЕСОБЛЮДЕНИЕ ДАННЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К ВЫХОДУ ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТРОЯ.

2.2 Подготовка изделия к использованию

2.2.1 Меры безопасности при подготовке изделия

Специальных мер безопасности при подготовке изделия не предъявляется.

2.2.2 Объем и последовательность внешнего осмотра изделия

Перед использованием необходимо выполнить внешний осмотр изделия и его составных частей.

На изделии, его составных частях и разъеме не должно быть механических повреждений, следов коррозии и нарушений целостности пломбирования (при наличии).

Маркировка изделия и его составных частей должна быть читаема и соответствовать прилагаемой эксплуатационной и сопроводительной документации.

2.2.3 Проверка готовности изделия к использованию

Проверка осуществляется один раз при первом включении изделия.

1) Выполнить внешний осмотр изделия в соответствии с п. 2.2.2.

2) Включить модуль.

2.1) Подключить модуль согласно схеме подключения (Приложение Г).

2.2) Включить лабораторный источник питания (ЛИПС) на выходное напряжение 5 – 36 В, ограничение по току 1 А, мощность, потребляемая изделием, не должна превышать 2,5 Вт.

2.3) Для проведения входного контроля модуля рекомендуется запустить на ПК демонстрационное ПО. С его работой можно ознакомиться в руководстве оператора RU.ЛМАП.502900-01 34 01.

Подробное описание входного контроля технических характеристик изделия с использованием оборудования производителя указано в RU.ЛМАП.502900-01 34 01.

3) Убедиться в корректности выдаваемой информации:

- убедиться в установленном алгоритме выдачи данных во вкладке настройки «данные с датчиков»;

- записать значение угловой скорости в покое, среднее значение угловой скорости за интервал не менее 10 с должно быть не более ± 0,25 °/с, при этом СКО в полосе 1000 Гц должно быть не более 0,18 °/с;

- записать значение кажущегося линейного ускорения в покое, среднее значение длины вектора ускорения за интервал не менее 10 с ($\sqrt{ax^2 + ay^2 + az^2}$) должно быть в пределах 1 g.

- магнитометр должен выдавать изменяющиеся во времени сигналы, реагировать на вращения или на металлические предметы.

В случае несоответствия выдаваемой информации запустить режим самотестирования и считать показания статуса. Если в параметре «Статус» присутствуют отказы каналов угловой скорости или кажущегося линейного ускорения, то МГ-1 признается не прошедшим проверку, и в этом случае следует обратиться к производителю.

Примечание – следует иметь в виду, что при угловых скоростях, превышающих 500 °/с статусы отказов также могут быть сформированы.

2.2.4 Указание об ориентировании изделия

Ориентация осей МГ-1 указана в Приложении А.

Ось X направлена к разъему, ось Z вниз, ось Y образует правую тройку. Положительным вращением считается вращение по часовой стрелке по направлению

оси.

2.2.5 Указание об установке

2.2.5.1 Допустимая плоскостность установки МГ-1 не более 0,03 мм на площадь 0,35 см^2. Шероховатость установочной поверхности не должна быть более √Ra3,2.

2.2.5.2 Заземление изделия МГ-1 не требуется.

2.2.6 Указания о взаимосвязи (соединении) с другими изделиями

МГ-1 подключается к другим изделиям по следующим интерфейсам: RS-485/RS232, UART, CAN, USB согласно ЛМАП.402131.043Э5 и стандартам на данные интерфейсы. Рекомендуется устанавливать согласующие резисторы на шине CAN и в режиме RS-485 согласно стандартам на данные интерфейсы, особенно критично при высокой скорости – более 115200 бит/с и длине кабеля более 3-х метров.

2.2.7 Наладка перед использованием

2.2.8.1 Калибровка магнитометра

1 Подключить МГ через демонстрационное ПО к ПК, установить наборный пакет, который должен обязательно содержать данные магнитометра и угловой скорости (параметры 21,22,23 и 80,81,82) ;

2 Открыть вкладку «Калибровка магнитометра»;

3 Нажать кнопку «Установить единичные» - матрица калибровки станет единичной (т.е. калибровка отключена) и нажать кнопку «Отправить»;

4 Установить галку в чек-боксе «Запись» Если всё выполнено верно, рядом с чек-боксом появится надпись «Захвачено # сэмплов», где # - количество сэмплов должно увеличиваться.

5 Для хорошей калибровки магнитометра необходимо, чтобы вектор магнитной индукции земли «обрисовал» сферу в системе координат прибора. Для этого предлагается произвести три вращения:

5.1 Направить ось X на магнитный север (юг), ось Y в плоскость горизонта, ось Z вверх или вниз, и произвести один полный оборот вокруг оси Y МГ (рис. 2).

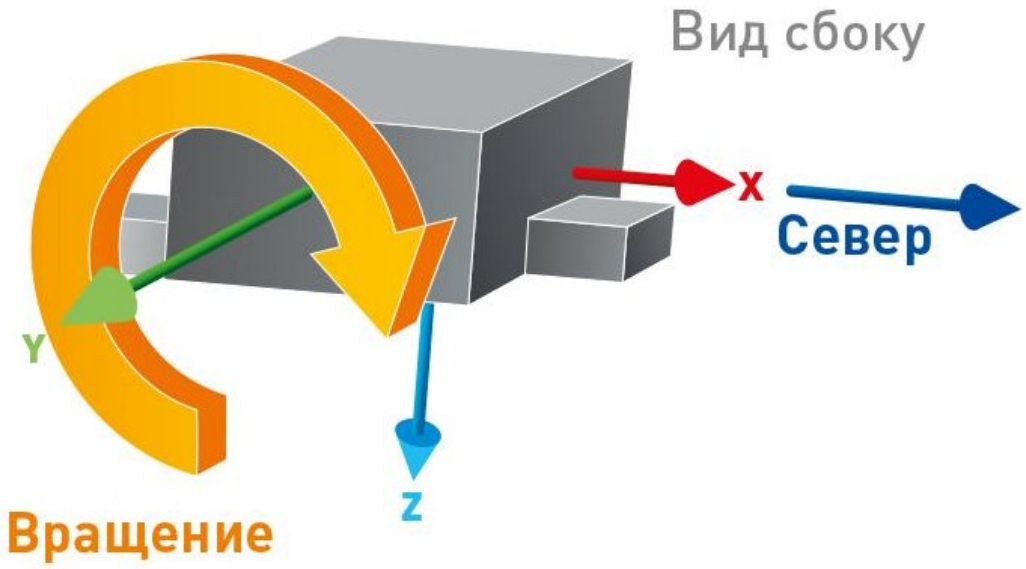


Рисунок 2 – Расположение МГ-1 для калибровки магнитометра МГ-1 по оси Y

5.2 Направить ось X на магнитный север (юг), ось Z в плоскость горизонта, ось Y вверх или вниз, и произвести один полный оборот вокруг оси Z МГ (рис. 3).

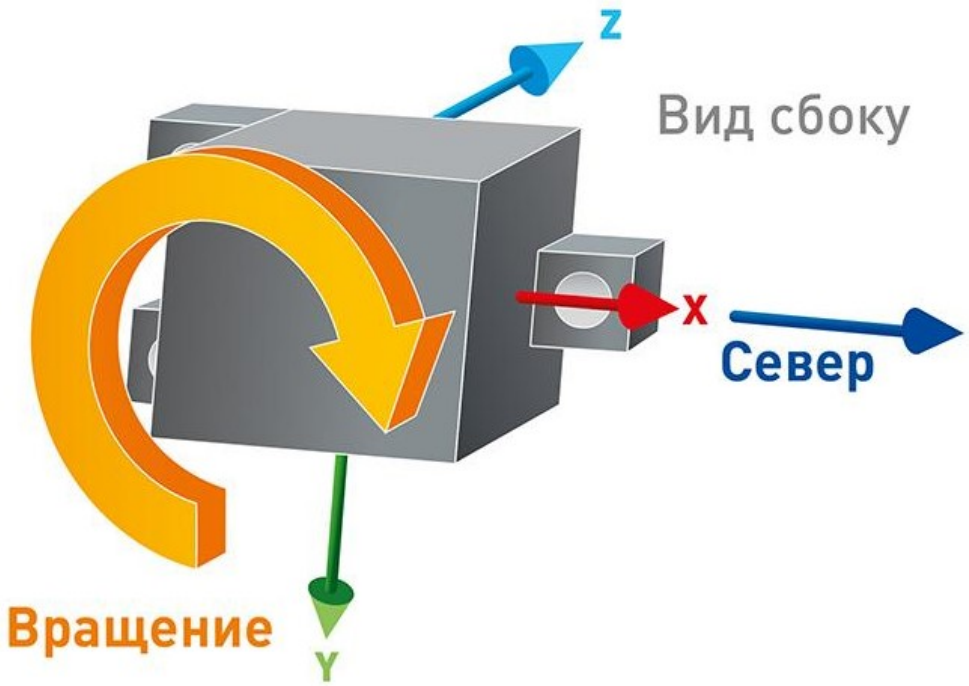


Рисунок 3 – Расположение МГ-1 для калибровки магнитометра МГ-1 по оси Z

5.3 Направить ось Y на магнитный север (юг), ось X в плоскости горизонта, ось Z вверх или вниз, и произвести один полный оборот вокруг оси X МГ (рис. 4).

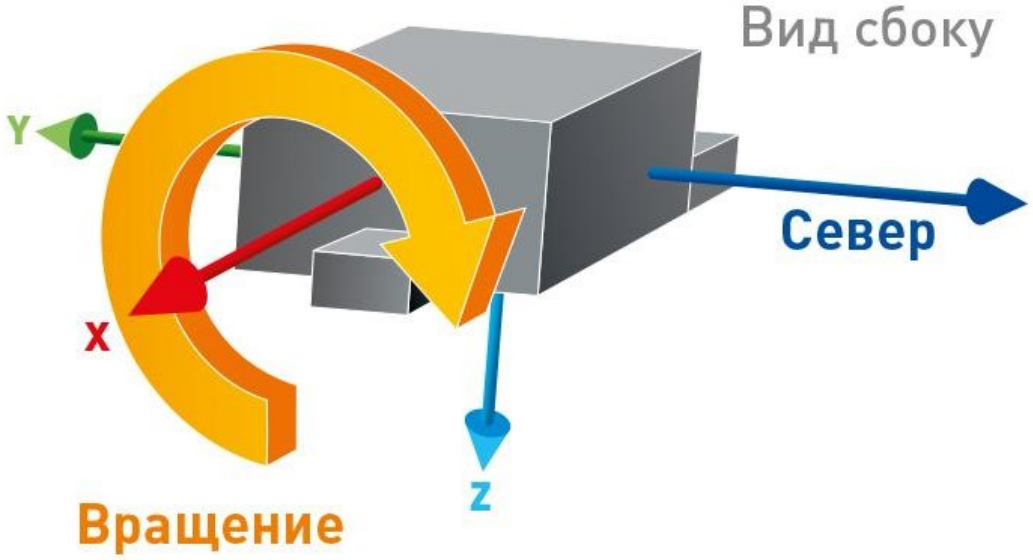


Рисунок 4 – Расположение МГ-1 для калибровки магнитометра МГ-1 по оси X

Важно! Стараться вращать со скоростью не более ±100°/с. После трёх основных оборотов можно сделать больше дополнительных вращений.

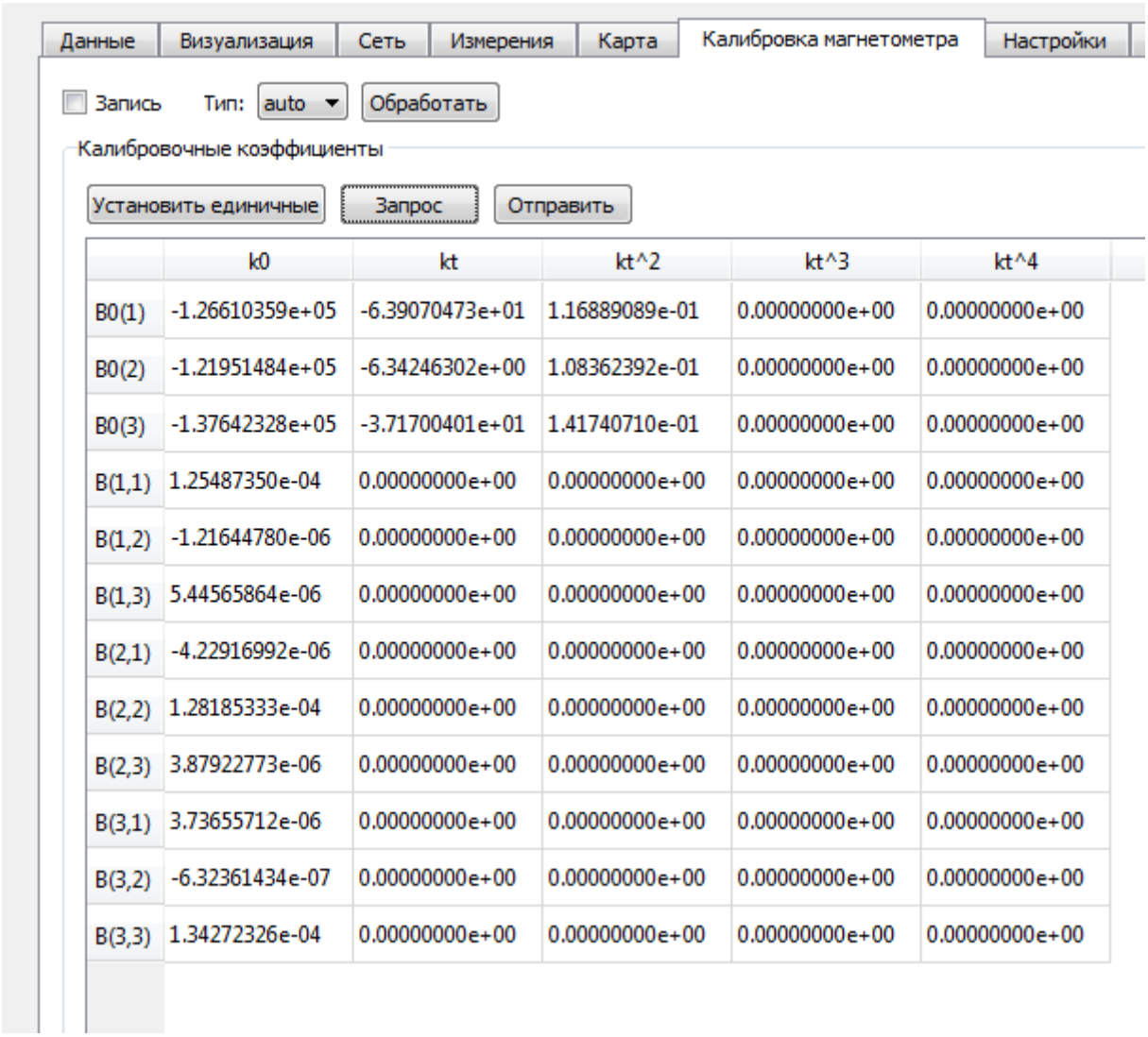
6 Снять галку «Запись» и нажать «Обработать», дождаться изменения единичной матрицы;

7 Нажать кнопку «Отправить» для прошивки калибровки магнитометра.

Параметры B0(1), B0(2), B0(3) – смещения нуля магнитометра, которые имеют калибровку по температуре, параметры B(1,1)… B(3,3) – матрица поворота с масштабным коэффициентом.

Кнопка «Запрос» – считывает сохраненные значения калибровки магнитометра в памяти МГ.

Диагональные значения в матрице (B(1,1), B(2,2), B(3,3)), как правило, больше на 1 – 2 порядка по сравнениями с остальными элементами матрицы (рис. 5).



	k0	kt	kt^2	kt^3	kt^4
B0(1)	-1.26610359e+05	-6.39070473e+01	1.16889089e-01	0.00000000e+00	0.00000000e+00
B0(2)	-1.21951484e+05	-6.34246302e+00	1.08362392e-01	0.00000000e+00	0.00000000e+00
B0(3)	-1.37642328e+05	-3.71700401e+01	1.41740710e-01	0.00000000e+00	0.00000000e+00
B(1,1)	1.25487350e-04	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00
B(1,2)	-1.21644780e-06	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00
B(1,3)	5.44565864e-06	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00
B(2,1)	-4.22916992e-06	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00
B(2,2)	1.28185333e-04	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00
B(2,3)	3.87922773e-06	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00
B(3,1)	3.73655712e-06	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00
B(3,2)	-6.32361434e-07	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00
B(3,3)	1.34272326e-04	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00	0.00000000e+00

Рисунок 5 – Пример параметров смещения нуля и матрицы поворота масштабного коэффициента магнитометра

Магнитное поле на поверхности Земли неоднородно, для вычисления разницы между магнитным севером и истинным применяется математическая модель магнитного поля земли (WMM – World Magnetic Model), описывающая склонения вектора магнитного поля Земли в зависимости от координат. Зная свои координаты можно вычислить предполагаемое магнитное склонение для данной точки и текущей даты. Есть разные калькуляторы магнитного склонения (например, https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml#declination).

2.2.8 Перечень возможных неисправностей изделия в процессе подготовки и рекомендации по действиям при их возникновении

1) Сбилась калибровка сигналов угловой скорости и линейного ускорения – несоответствие сигналов модуля пункту 2.2.3:

а) калибровка может быть неверной при стирании энергонезависимой памя-

ти внутри модуля, которая может быть вызвана сбросом питания во время записи.

ВНИМАНИЕ: ИЗМЕНЕНИЕ НАСТРОЕК МГ-1 ПРИВОДИТ К ПЕРЕЗАПИСИ ФЛЕШ-ПАМЯТИ. В МОМЕНТ ЗАПИСИ НАСТРОЕК ПИТАНИЕ МГ-1 ДОЛЖНО БЫТЬ СТАБИЛЬНО. ЕСЛИ В МОМЕНТ ИЗМЕНЕНИЯ НАСТРОЕК ПРОИСХОДИТ СБРОС ПИТАНИЯ, ТО ДАННЫЕ С ФЛЕШ-ПАМЯТИ МОГУТ БЫТЬ ПОТЕРЯНЫ, В ТОМ ЧИСЛЕ КАЛИБРОВОЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ. ПРИ ОШИБКЕ ВО ФЛЕШ-ПАМЯТИ МГ-1 НЕОБХОДИМО ЗАНОВО ОБНОВИТЬ КАЛИБРОВОЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЧЕРЕЗ ДЕМОНСТРАЦИОННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МГ-1 (КАЛИБРОВОЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ СОХРАНЕНЫ В БАЗЕ ДАННЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ).

б) выбран диапазон измерения угловой скорости без калибровки.

2) отказ канала угловой скорости, ускорения:

В параметр «Статус» выставлены значения (таблица 5)

Таблица 5 – «Статус» МГ

Биты	Обозначение
3	«1» – отказа АЦП. «0» - годность АЦП
4	«1» – отказ оси X канала угловой скорости
5	«1» – отказ оси Y канала угловой скорости
6	«1» – отказ оси Z канала угловой скорости
7	«1» – отказ оси X канала линейного ускорения
8	«1» – отказ оси Y канала линейного ускорения
9	«1» – отказ оси Z канала линейного ускорения

2.3 Использование изделия

2.3.1 Протокол информационного взаимодействия

Для однозначного регламентирования скорости обмена, последовательности и типов данных, следующих в информационном обмене, используется протокол информационного взаимодействия с изделием, который описан в ЛМАП.402131.043Д1. Протокол взаимодействия по CAN-интерфейсу описан в ЛМАП.402131.009Д2.

3 ХРАНЕНИЕ

3.1 До установки в основное изделие МГ-1 позволяет хранение в собственной упаковке в течение 4 лет в отапливаемых складских условиях при НКУ.

3.2 Требования к условиям хранения устанавливаются с учетом ГОСТ 9.014.

4 ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ

4.1 МГ-1 в собственной упаковке сохраняет свои характеристики при транспортировании:

– железнодорожным транспортом без ограничения скорости на расстояние не менее 23 000 км, из них не менее 15 000 км на этапе эксплуатации;

– воздушным и водным транспортом без ограничения расстояния, скорости и высоты;

– автомобильным транспортом на расстояние не менее 3500 км, из них не менее 3000 км на этапе эксплуатации, по дорогам с твердым покрытием со скоростью не более 60 км/ч, из них по грунтовым дорогам не менее 500 км со скоростью не более 40 км/ч;

– на транспортировочной тележке со скоростью до 20 км/ч по дорогам с твёрдым покрытием и со скоростью не более 10 км/ч по улучшенным грунтовым дорогам на расстояние до 250 км (суммарно за весь период эксплуатации).

Приложение А

(справочное)

Внешний вид МГ-1

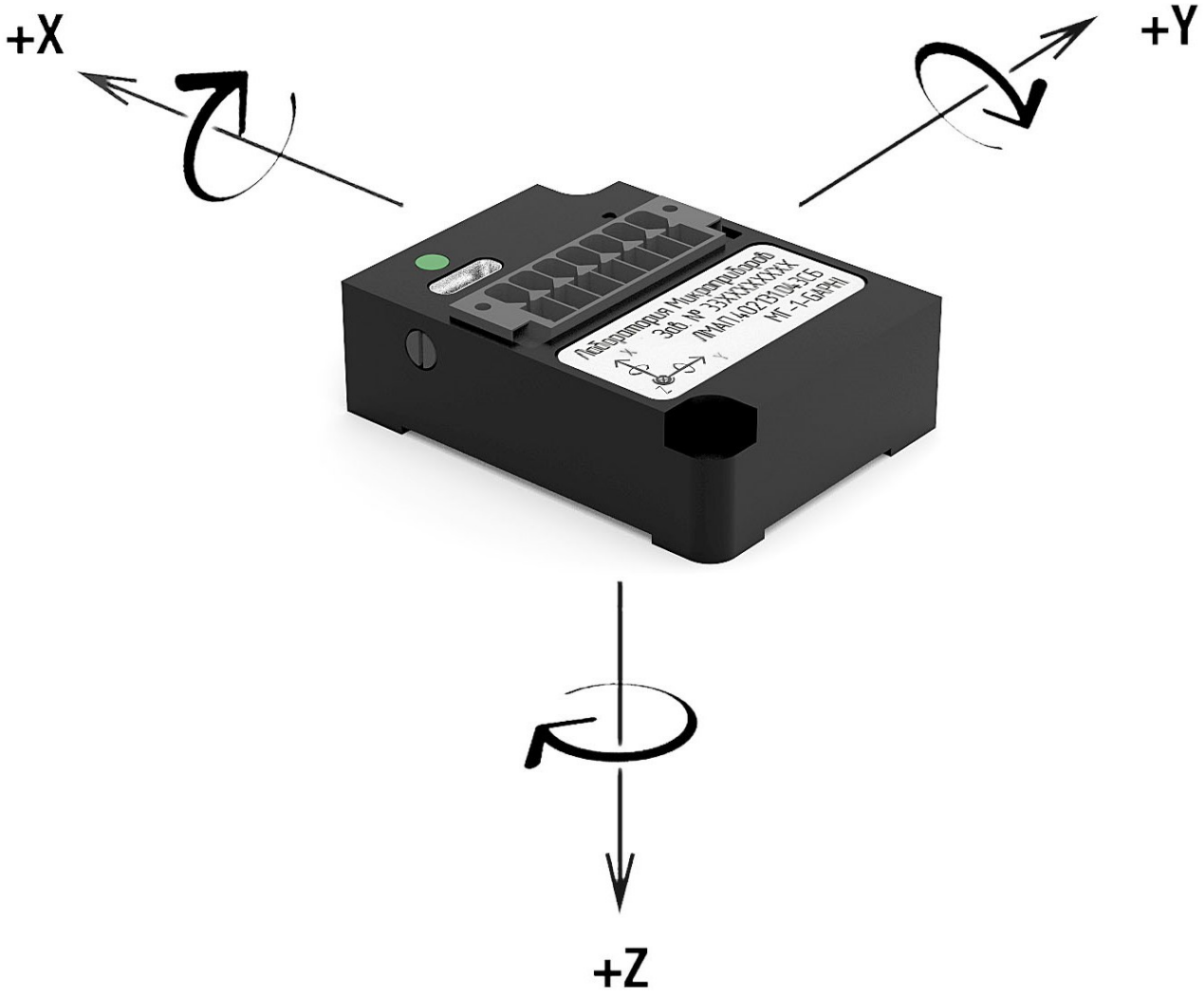


Рисунок А – Общий вид МГ-1

Приложение Б

(справочное)

Габаритные, установочные и присоединительные размеры

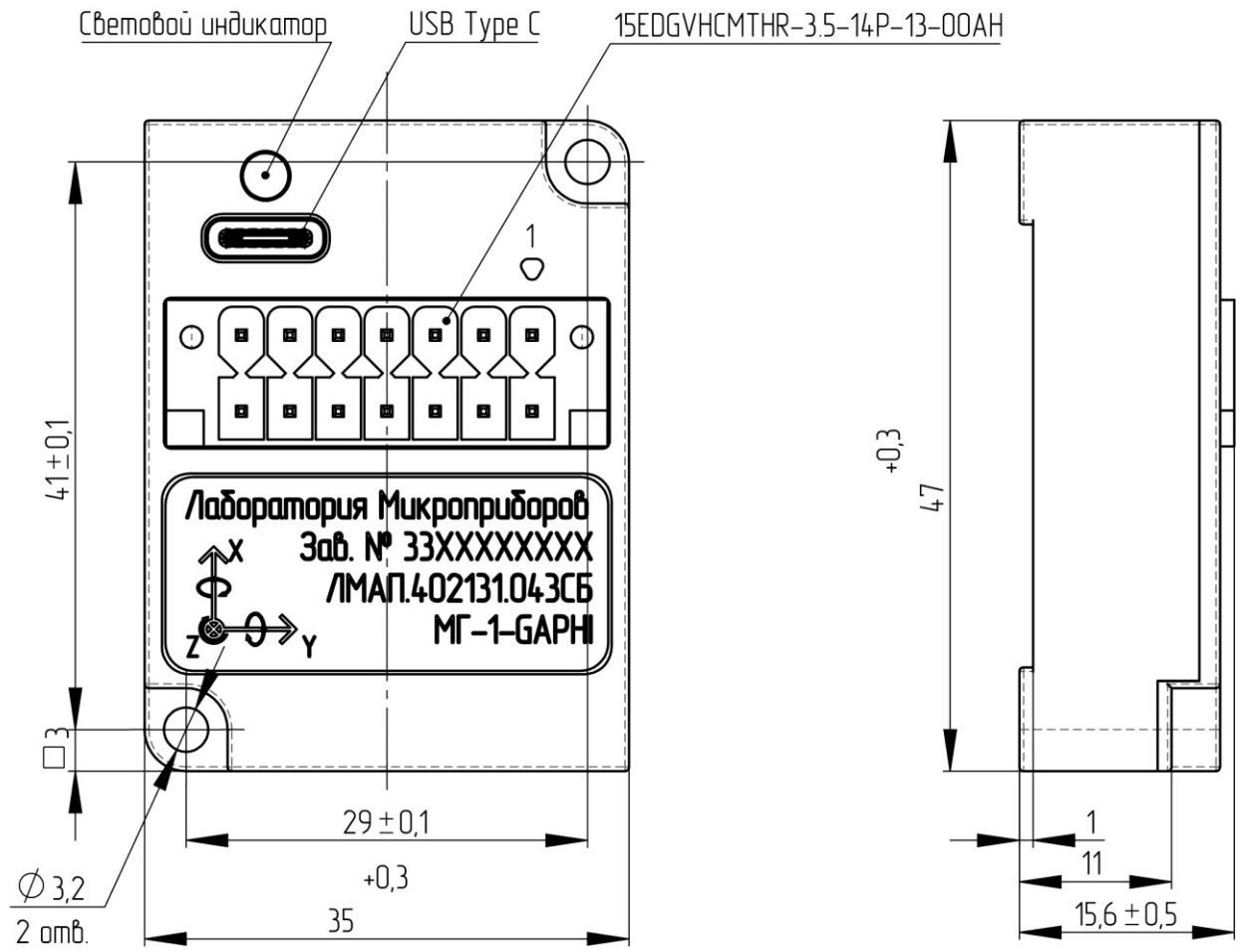


Рисунок Б – Габаритный чертеж изделия

Приложение В

(справочное)

Нумерация выводов разъема

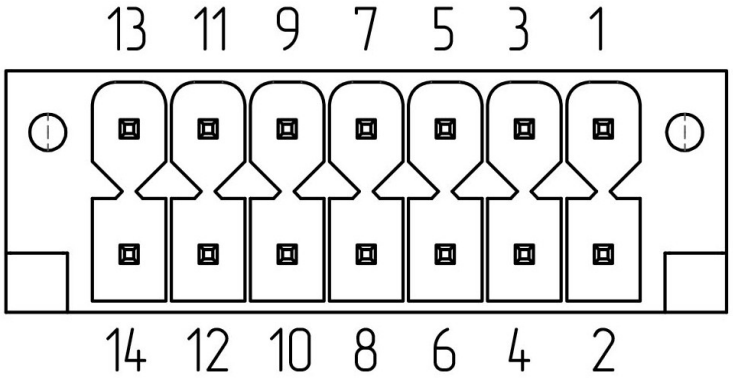


Рисунок В – Нумерация выводов разъема

Приложение Г

(справочное)

Схема подключения

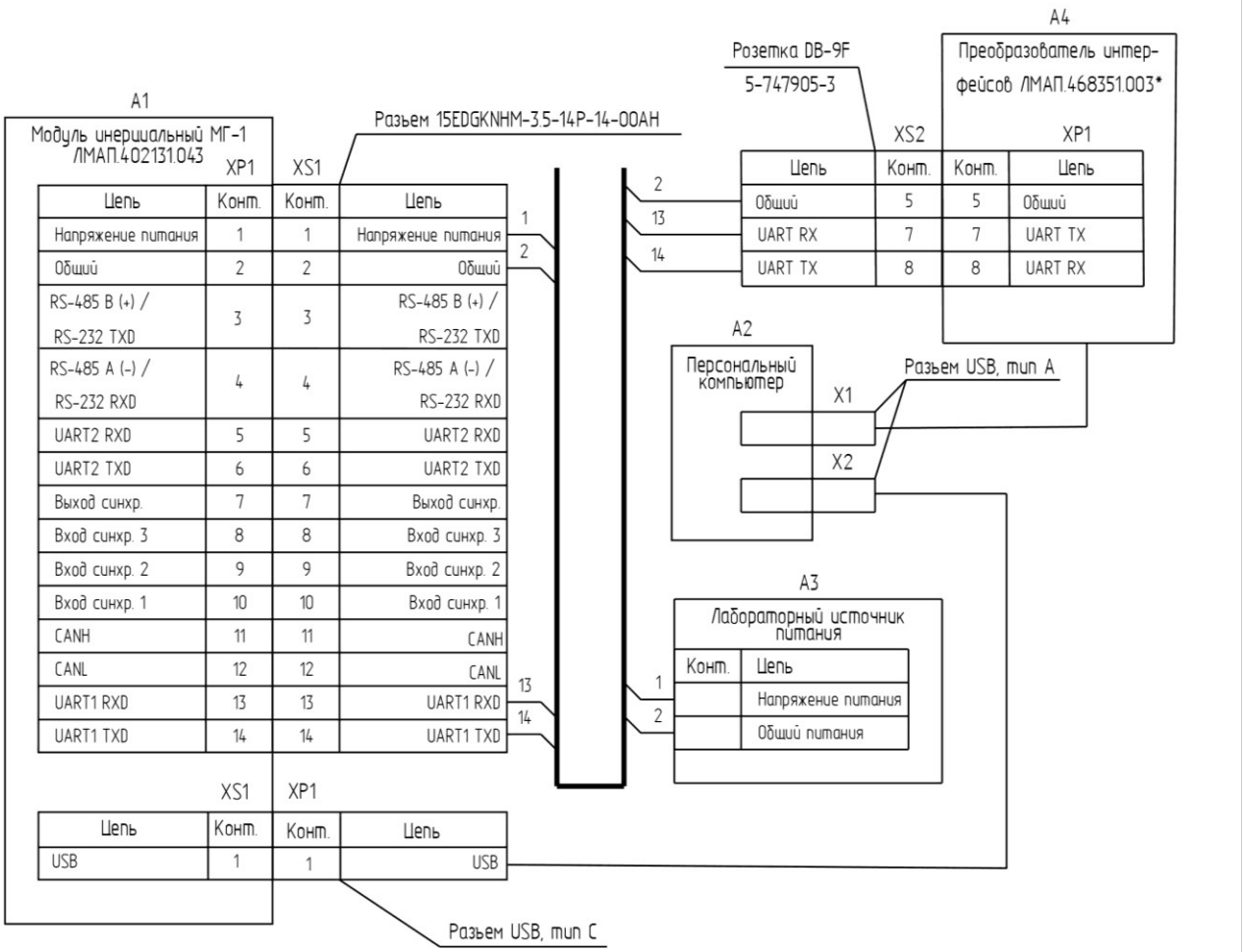


Таблица 1 Назначение цепей разъема XP1

Конт.	Цепь	Назначение	Конт.	Цепь	Назначение
1	Напряжение питания	Напряжение питания устройства от 5 до 36 В	8	Вход синхр. 3	Входы синхронизации, аппаратно заведены на прерывание
2	Общий		9	Вход синхр. 2	
3	RS-485 B (+) / RS-232 TXD	Цепи интерфейсов RS-485/RS-232	10	Вход синхр. 1	
4	RS-485 A (-) / RS-232 RXD		11	CANH	Цепи интерфейса CAN
5	UART2 RXD	Цепи интерфейса UART (канал 2)	12	CANL	
6	UART2 TXD		13	UART1 RXD	Цепи интерфейса UART (канал 1)
7	Выход синхр.	Выход синхронизации	14	UART1 TXD	

1 *Или аналогичный
2 Преобразователь интерфейсов ЛМАП.468351.003 должен быть сконфигурирован на интерфейс UART

Рисунок Г – Схема подключения модуля

Лист регистрации изменений

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в докум.	№ докум.	Входящий № сопроводительного докум. и дата	Подп.	Дата
	измененных	замененных	новых	аннулированных					
1		Все			31	ЛМАП.13-2023			31.01.2023
2		Все			31	ЛМАП.24-2025			28.05.2025