

Утвержден
ЛМАП.402131.043-ЛУ

МОДУЛЬ ИНЕРЦИАЛЬНЫЙ
МГ-1

Руководство по эксплуатации
ЛМАП.402131.043РЭ

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. № подл.	Инв. № дубл.	Подп и дата
26-00018		25-00321		

ВВЕДЕНИЕ

Руководство по эксплуатации (РЭ) предназначено для ознакомления с техническими характеристиками и условиями эксплуатации МГ-1 (далее – изделие или МГ-1), а также содержит указания по его настройке, транспортированию и хранению.

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

Инерциальный модуль МГ-1 – это компактный и мощный измерительный модуль, который оснащён интерфейсами RS-485/RS-232, двумя UART, CAN и USB, тремя входами для подключения внешних сигналов синхронизации, что находит своё применение для решения широкого круга задач: от стабилизации промышленных платформ и навигации мобильных роботов до контроля положения рабочих органов строительной техники.

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

Условное обозначение изделия в конструкторской документации и при заказе:

Модуль инерциальный МГ-1-GAPHI ЛМАП.402131.043-XX
ЛМАП.402131.043ТУ,

где G – диапазон измерения угловой скорости по осям чувствительности;

A – диапазон измерения ускорения;

P – диапазон напряжения питания;

Н – наличие резистивного подогрева;

I – интерфейс;

XX – номер исполнения.

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

Несоблюдение условий и требований, указанных в РЭ, может привести к выходу МГ-1 из строя.

Инв. № подл.	26-00018	Подп. и дата		Взам. инв. №	25-00321	Инв. № дубл.		Подп. и дата	
заказе: Модуль инерциальный МГ-1-GAPHI ЛМАП.402131.043-XX ЛМАП.402131.043ТУ, где G – диапазон измерения угловой скорости по осям чувствительности; A – диапазон измерения ускорения; P – диапазон напряжения питания; H – наличие резистивного подогрева; I – интерфейс; XX – номер исполнения. Примечание – более подробная информация по исполнениям ГКВ указана в п. 1.3 Состав изделия. Несоблюдение условий и требований, указанных в РЭ, может привести к выходу МГ-1 из строя.									
Инв. № подл.	26-00018	Подп. и дата		Взам. инв. №	25-00321	Инв. № дубл.		Подп. и дата	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<i>ЛМАП.402131.043РЭ</i>				
					Лист 3				

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 47,3×35,3×16,1 мм.

1.2 Технические характеристики

Информационный обмен осуществляется по следующим интерфейсам: RS-485/RS-232, UART, CAN, USB.

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

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата
26-00018		25-00321		
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ЛМАП.402131.043РЭ				Лист
				4

Технические характеристики изделия представлены в таблице 1.

Таблица 1 а – Метрологические характеристики канала угловой скорости

Наименование	Значение
Диапазон измерения, не менее, °/с	$\pm 500^1$
Смещение нуля в диапазоне рабочих температур не более, °/с	$\pm 0,25$
Нестабильность смещения нуля (по вариации Аллана) не более, °/ч	8
Случайное угловое блуждание (по вариации Аллана) не более, °/ $\sqrt{ч}$	0,35
Нелинейность выходного сигнала не более, %	0,1
Примечание: 1– диапазоны задаются программно из ряда $\pm 500, \pm 2000$ °/с. По умолчанию диапазон измерения ускорения ± 500 °/с, для других диапазонов необходима калибровка, которая осуществляется по требованию.	

Таблица 1 б – Метрологические характеристики канала ускорения исполнения ЛМАП.402131.043

Наименование	Значение
Диапазон измерения, не менее, g	$\pm 10^1$
Смещение нуля в диапазоне рабочих температур, не более, mg	± 5
Нестабильность смещения нуля (по вариации Аллана) не более, mg	0,025
Случайное блуждание скорости (по вариации Аллана) не более, (м/с)/ $\sqrt{ч}$	0,04
Нелинейность выходного сигнала не более, %	0,1
Примечание: 1– диапазоны задаются программно из ряда $\pm 10, \pm 40$ g. По умолчанию диапазон измерения ускорения ± 10 g, для других диапазонов необходима калибровка, которая осуществляется по требованию.	

Таблица 1 в – Метрологические характеристики канала ускорения исполнения ЛМАП.402131.043-01

Наименование	Значение
Диапазон измерения, не менее, g	± 10
Смещение нуля в диапазоне рабочих температур, не более, mg	± 5
Нестабильность смещения нуля (по вариации Аллана) не более, mg	0,05
Случайное блуждание скорости (по вариации Аллана) не более, (м/с)/ $\sqrt{ч}$	0,055
Нелинейность выходного сигнала не более, %	0,1

Инв. № подл.	26-00018	Подп. и дата	Взам. инв. №	25-00321	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ЛМАП.402131.043РЭ	Лист
								5
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				

Таблица 1 г – Общие технические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Количество измерительных осей, шт	3
Неортогональность осей 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, 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 д – Характеристики канала магнитометра

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерения, мТл	± 0,8
Шум, не более, при рабочей полосе 100 Гц, мкТл	0,12

Таблица 1 е – Характеристики канала барометра исполнения ЛМАП.402131.043

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

Таблица 1 ж – Характеристики канала барометра исполнения ЛМАП.402131.043-01

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерения, кПа	от 26 до 126
Шум, Па	±0,7

Таблица 1 и – Основные характеристики системы ориентации исполнения ЛМАП.402131.043

Наименование характеристики	Значение
Погрешность тангажа и крена (абсолютная) не более: - с коррекцией по акселерометрам ¹ , °	0,2
Погрешность магнитного курса не более - при предварительной калибровке по записи вращений, °	2
Примечание 1 – зависит от динамики движения. Характер движения существенно влияет на вычисление ориентации с коррекцией по акселерометрам.	

Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подп. и дата
26-00018		25-00321		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЛМАП.402131.043РЭ

Лист

6

Таблица 1 к – Основные характеристики системы ориентации исполнения
ЛМАП.402131.043-01

Наименование характеристики	Значение
Погрешность тангажа и крена (абсолютная) не более: - с коррекцией по акселерометрам ¹ , °	0,8
Погрешность магнитного курса не более - при предварительной калибровке по записи вращений, °	2
Примечание 1 – зависит от динамики движения. Характер движения существенно влияет на вычисление ориентации с коррекцией по акселерометрам.	

По внешним воздействующим факторам МГ-1:

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

Таблица 1 л – 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/с² (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/с² (40 g) и длительностью ударного ускорения от 1 до 5 мс;

– стойкий к воздействию повышенной температуры окружающей среды +70 °С;

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

– стойкий к изменению температуры окружающей среды от минус 40 до +70 °С.

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	25-00321
Подп. и дата	
Инв. № подл.	26-00018

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ЛМАП.402131.043РЭ

Лист

7

1.3 Состав изделия

Комплект поставки:

- 1) Модуль инерциальный МГ-1;
- 2) Упаковка;
- 3) Этикетка;
- 4) Разъем 15EDGKNHM-3.5-14P-14-00АН.

Условное обозначение изделия в конструкторской документации и при заказе:

Модуль инерциальный МГ-1-GAPHI ЛМАП.402131.043-XX
ЛМАП.402131.043ТУ,

где G – диапазон измерения угловой скорости по осям чувствительности;

A – диапазон измерения ускорения;

P – диапазон напряжения питания;

H – наличие резистивного подогрева;

I – интерфейс;

XX – номер исполнения.

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, °/с		Диапазон измерения линейного ускорения по осям X, Y, Z, g		Напряжение питания, В	Резистивный подогрев		Интерфейс		
		±500	±2000	±10	±40 ¹	5 – 36	Нет	Есть	RS-422	UART	USB
Значение		1	2	1	2	1	0	-	-	2	4

Примечание:
1 – только для исполнения ЛМАП.402131.043.
2 – различие исполнений ЛМАП.402131.043 и ЛМАП.402131.043-01 в отличаются характеристиками (таблицы 1 б, 1 в, 1 е, 1 ж, 1 и, 1 к).

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	25-00321
Подп. и дата	
Инв. № подл.	26-00018

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ЛМАП.402131.043РЭ

B_0 – смещение нуля датчиков в кодах АЦП;

K – матрица поворотов и масштабных коэффициентов;

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

где G – матрица масштабных коэффициентов;

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

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

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

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

Данные с датчика магнитометра

Данные с магнитометра представляют собой коды АЦП. Можно самостоятельно откалибровать магнитометр (см. раздел 4 RU.ЛМАП.502900-01 34-01РЭ) и привести данные к единичному модулю.

Магнитометр используется для коррекции курсового угла при определении ориентации.

Данные с датчика барометра

Данные с барометра представляют собой Па.

Инклинометр

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

Инв. № подл.	26-00018	Подп. и дата	Взам. инв. №	25-00321	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ЛМАП.402131.043РЭ	Лист
								10
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				

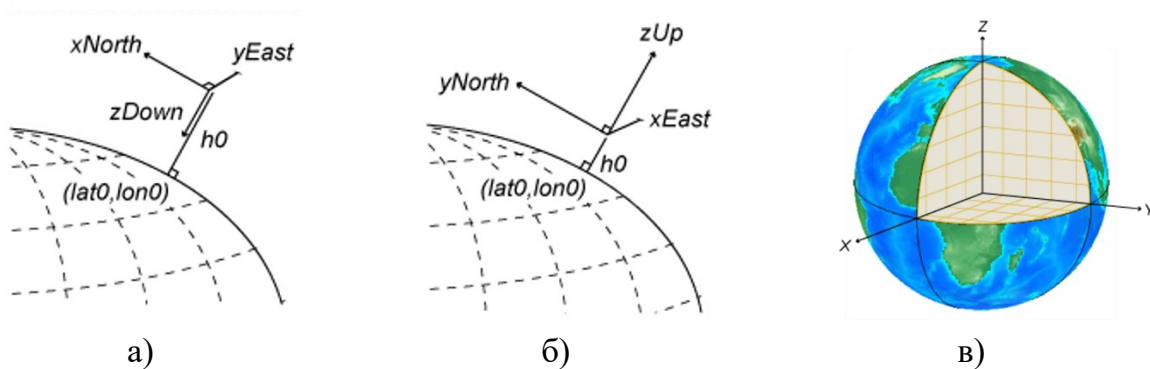
$$\begin{aligned}\alpha &= \arctan\left(\frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right) \\ \beta &= \arctan\left(\frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}}\right)\end{aligned}\tag{1.5}$$

Ориентация

Алгоритм ориентации выдаёт три угла ориентации (курс, крен, тангаж) или кватернион ориентации $[q_0 \ q_1 \ q_2 \ q_3]$, где q_0 – скалярная часть, q_1, q_2, q_3 – векторная часть. Углы ориентации и кватернионы выдаются в системе координат NED (Север-Восток-Низ).

Базисы (система координат)

Ортонормированные базисы могут быть взяты пользователем по своему усмотрению в зависимости от решаемой задачи. Как правило навигационные модули вычисляют ориентацию относительно СК, связанных с землей, будем называть их навигационные СК. Наиболее частые СК: NED (Север-Восток-Низ рисунок 1, а), ENU (Восток-Север-Вверх рисунок 1.1, б), ECEF (геоцентрическая СК рисунок 1.1, в).



a) – NED CK, б) – ENU CK, в) – ECEF CK

Рисунок 1.1 – Системы координат

СК, связанная с осями прибора, называется связанная или локальная СК (еще бывает приборная СК). У нас принято называть связанная СК.

Ориентация – это поворот (или вращение) (рисунок 1.2) связанной СК относительно навигационной СК. Именно такое правило используется в ГКВ.

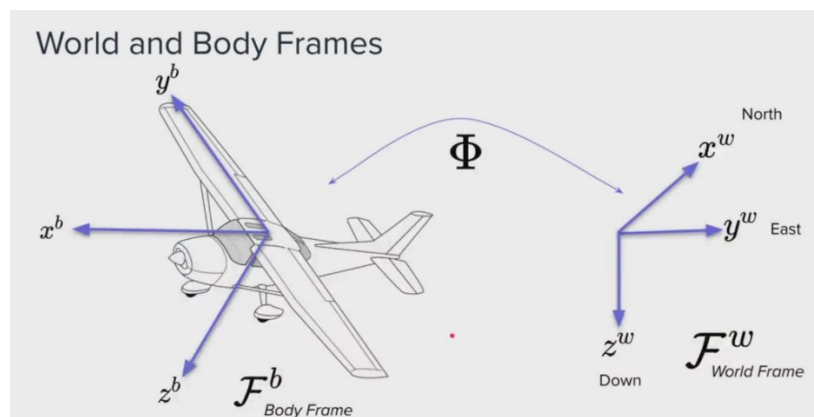


Рисунок 1.2 – Поворот СК

Вращения можно представить (именно визуализировать), как последовательность элементарных поворотов осей вращающейся системы координат (внутреннее или собственное, на англ. Intrinsic), или последовательность элементарных вращений, которые происходят вокруг осей фиксированной системы координат (внешнее или статическое, на англ. Extrinsic).

При внутреннем вращении каждый элементарный поворот меняет ориентацию базиса относительно прошлого вращения. Первым вращением R_z поворачивает базис (x, y, z) вокруг оси Z, при этом ось Z не меняется, следующее вращение вокруг новой оси Y, а далее вокруг новой оси X.

При внешнем вращении каждый элементарный поворот вращает референсную систему. Первое вращение вокруг неподвижной оси Z, второе вокруг оси Y и третье вокруг оси X. Для СК NED положительное вращение вокруг оси Z есть угол курса, положительное вращение вокруг оси Y - угол тангажа, вокруг оси X – угол крена.

Ориентация математически может быть представлена через:

- Матрицу направляющих косинусов **DCM**;
- Углы Эйлера (ψ, θ, ϕ);
- Кватернион (q_0, q_1, q_2, q_3).

ГКВ выдает углы Эйлера и кватернион. Рассмотрим подробнее.

Углы Эйлера

Углы Эйлера описывают произвольное вращение абсолютно твердого тела в трехмерном евклидовом пространстве. Состоят из трех компонент (ψ, θ, ϕ), каждый угол – это внутреннее вращение вокруг одной оси.

Инв. № подл.	Подп. и дата
26-00018	
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
25-00321	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЛМАП.402131.043РЭ

Существует 12 допустимых последовательностей вращения, которыми можно описать «правильные» углы Эйлера (в которых повторяется ось вращения), и углы Тейта-Брайана (которые имеют 3 различные оси вращения) (таблица 3).

Таблица 3 – Углы Эйлера и Тейт-Брайана

«Правильные» углы Эйлера	Углы Тейт-Брайна
ZXZ	ZYX
XYX	XYZ
YZY	YZX
ZYZ	ZXY
XZX	XZY
YXY	YXZ

Последовательность вращения ZYX называют карданными или навигационными углами. Последовательность углов ψ, θ, ϕ называются курсом (yaw), тангажом (pitch), креном (roll).

Кватернион

Кватернион — это система гиперкомплексных чисел, образующая векторное пространство размерностью четыре над полем вещественных чисел. Кватернион математически можно представить, как вектор (1.6).

$$q = [q_0 \ q_1 \ q_2 \ q_3]^T = \begin{bmatrix} q_0 \\ q_{\{1..3\}} \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

где q_0 — вещественная часть скаляра, $q_{1..3}$ — вещественные составляющие вектора.

Работа алгоритма

В начале алгоритм определяет крен и тангаж согласно 1.7 по данным ускорения. Угол курса берётся из параметров (по умолчанию ноль), либо вычисляется из показаний магнитометра. Затем начинает работать фильтр Калмана, где постоянно происходит интегрирование показаний ДУС и корректирование ориентации по показаниям акселерометров и магнитометров, если коррекция по ним включена. Для магнитометров важно их откалибровать перед началом работы. Калибровка описана в разделе 5 RU.ЛМАП.502900-01 34-01РЭ.

$$\begin{aligned} pitch &= \arctan \left(\frac{A_X}{\sqrt{A_Y^2 + A_Z^2}} \right) \\ roll &= \arctan2(-A_Y, -A_X) \end{aligned} \quad (1.7)$$

Для корректировки по акселерометрам есть два параметра: время усреднения deltaAlg (секунды), и СКО корректировки sigmaAlg (радианы).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ЛМАП.402131.043РЭ					Лист
26-00018		25-00321								13
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

В динамике акселерометры измеряют кажущееся ускорение a_{meas} , которое состоит из ускорения свободного падения g и линейного ускорения a_{lin} (рисунок 1.3). Если требуемые точности задачи не высоки, то можно усреднять a_{meas} в глобальной системе координат для получения вектора $\tilde{a}$, который дальше можно применять для корректировки ориентации. Схожесть вектор $\tilde{a}$ и g зависит от характера движения и длительности усреднения (Δt_{Alg}). Также на точность полученной ориентацией влияет то, как сильно мы доверяем вектору $\tilde{a}$. Для этого используется параметр, задающий СКО ошибки корректировки (σ_{Alg}). Примерный диапазон значений параметра σ_{Alg} : 0.05 – 1 радиан. Оптимальное значение параметра подбирается эмпирически по проведённым экспериментам.

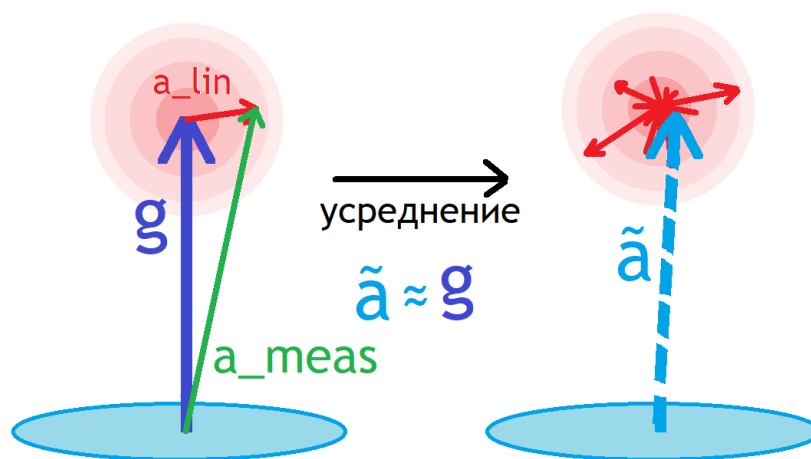


Рисунок 1.3 – Наглядное представление определения вектора $\tilde{a}$

После каждых Δt_{Alg} секунд накопления происходит корректировка ориентации по вектору $\tilde{a}$ с сигмой σ_{Alg} .

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.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
26-00018		25-00321		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ЛМАП.402131.043РЭ				Лист
				14

1.5 Назначение выводов разъёма

Назначение выводов разъёма показано в таблице 4. Нумерация выводов разъёма указана в приложении В.

Таблица 4 – Назначение выводов разъёма МГ-1

Номер контакта	Цепь	Назначение
1	Uin	Цепи источника питания
2	GND	
3	RS-485 + (B) / RS-232 TxD	Цепи В и А цифрового полудуплексного интерфейса RS-485 / Цепи интерфейса RS-232
4	RS-485 – (A) / RS-232 RxD	
5	UART1 RxD	Вход и выход интерфейса UART дополнительного порта 1 (Serial port 1)
6	UART1 TxD	
7	SYNC OUT	Выход сигнала синхронизации
8	SYNC IN3	Вход сигнала синхронизации 3
9	SYNC IN2	Вход сигнала синхронизации 2
10	SYNC IN1	Вход сигнала синхронизации 1
11	CANH	Цепи интерфейса CAN
12	CANL	
13	UART0 RxD	Вход и выход интерфейса UART основного порта (Serial port 0)
14	UART0 TxD	

Примечания:

1. Выбор интерфейса RS-485/RS-232 производится программно.
2. Контакты 8 и 9 зарезервированы для будущего использования. Данные контакты не подключать.

1.5.1 Цепи питания

Контакты 1 (Uin) и 2 (GND) 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 UART0 (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 UART0 невозможно. Без подключения к ПК данные передаются по UART0. При подключении к ПК переключение между интерфейсами производится автоматически на аппарат-

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата					
26-00018		25-00321							
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					
					ЛМАП.402131.043РЭ				
					Лист 15				

ном уровне после прохождения этапа конфигурирования USB-устройства операционной системой.

В качестве дополнительных интерфейсов используются RS-485/RS232, UART1. Прием и передача данных возможны только по одному из интерфейсов, т.е. физические 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.

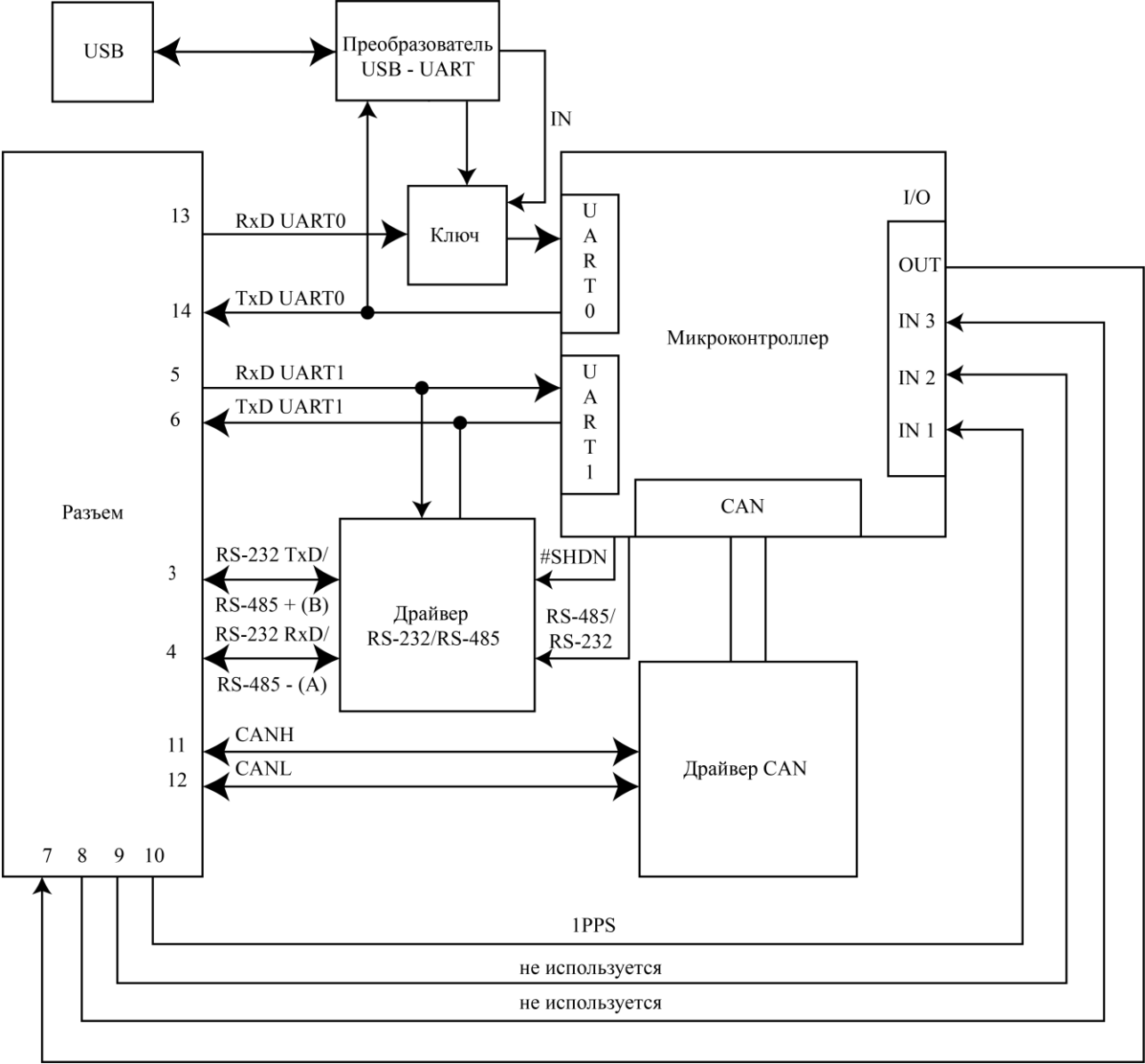


Рисунок 1 – Комбинированная схема внутренней структуры интерфейсов МГ-1

Инв. № подл.	Подп. и дата
26-00018	
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
25-00321	
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
26-00018		25-00321		

0 – нет ДУС,

1 – диапазон измерения угловой скорости $\pm 500^\circ/\text{с}$;

2 – диапазон измерения угловой скорости $\pm 2000^\circ/\text{с}$;

2. А – диапазон измерения ускорения по осям X, Y, Z, десятичная цифра:

0 – нет акселерометра,

1 – диапазон измерения ускорений $\pm 10 \text{ g}$ по всем осям;

2 – диапазон измерения ускорений $\pm 40 \text{ g}$ по всем осям (только для исполнения ЛМАП.402131.043);

3. Р – диапазон напряжения питания, десятичная цифра:

1 – от 5 до 36 В,

4. Н – резистивный подогрев

0 – подогрева нет;

5. 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 компонентов изделия (см. состав изделия – 1.3).

Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.						ЛМАП.402131.043РЭ	Лист
		25-00321		26-00018	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		18

2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПО НАЗНАЧЕНИЮ

2.1 Предельные и предельно-допустимые режимы работы

2.1.1 Предельные и предельно-допустимые режимы работы указаны в таблице 5. Длительность воздействия предельных режимов не должна превышать 0,1 с в течение 10 мин.

Таблица 5 – 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

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
26-00018		25-00321		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЛМАП.402131.043РЭ

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: НЕСОБЛЮЖДЕНИЕ 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 перед использованием.

- 1) Выполнить внешний осмотр изделия в соответствии с п. 2.2.2.
- 2) Подключение МГ

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
26-00018		25-00321		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЛМАП.402131.043РЭ

2.1) Рекомендуется подключить модуль с помощью кабеля USB-C к ПК. В противном случае подключить модуль согласно схеме подключения (приложение Г).

2.2) При подключении через кабель USB-C отдельно подавать напряжения питания на контакты 1 и 2 не нужно. В противном случае подключить лабораторный источник питания (ЛИПС) к контактам 1 и 2 и включить ЛИПС на выходное напряжение 5 – 36 В, мощность, потребляемая изделием, не должна превышать 2,5 Вт.

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

Подробное описание проверки технических характеристик изделия с использованием оборудования производителя указано в ЛМАП.402131.009ИС.

Далее описана последовательность действий для проверки с помощью демонстрационного ПО.

3) Убедиться в корректности выдаваемой информации:

- убедиться в установленном алгоритме выдачи данных «Данные с датчиков» во вкладке «Параметры» блока «Параметры устройства» вкладки «Настройки» окна демонстрационного ПО;

- с помощью кнопки «Начать запись» в блоке «Запись данных в файл» записать выходные данные МГ в покое за интервал не менее 10 с в файл с форматом .csv.

- рассчитать среднее арифметическое значение записанной угловой скорости по каждой оси. Полученные значения не должны превышать указанное смещение нуля в диапазоне рабочих температур в таблице [1 а](#).

- рассчитать среднее арифметическое значение записанного ускорения по каждой оси и рассчитать среднее значение длины вектора линейного ускорения по формуле (2.1)

$$\sqrt{ax^2 + ay^2 + az^2} \quad (2.1)$$

Полученное значение должно быть в пределах $(1 \pm \Delta)$ g. Полученное значение должно быть в пределах $(1 \pm \Delta)$ g. Величина Δ не должна превышать указанное смещение нуля в диапазоне рабочих температур в таблице [1 б](#).

Инв. № подл.	26-00018	Подп. и дата		Взам. инв. №	25-00321	Инв. № дубл.		Подп. и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЛМАП.402131.043РЭ				
					Лист				
					21				

- 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 ускорения, то МГ признается не прошедшим проверку, и в этом случае следует обратиться к производителю.

Примечание – МГ имеет возможность обновления внутреннего ПО. Обновление происходит через демонстрационное ПО.

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 см². Шероховатость установочной поверхности не должна быть более $\sqrt{Ra3,2}$.

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 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

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
26-00018		25-00321		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЛМАП.402131.043РЭ	Лист 22

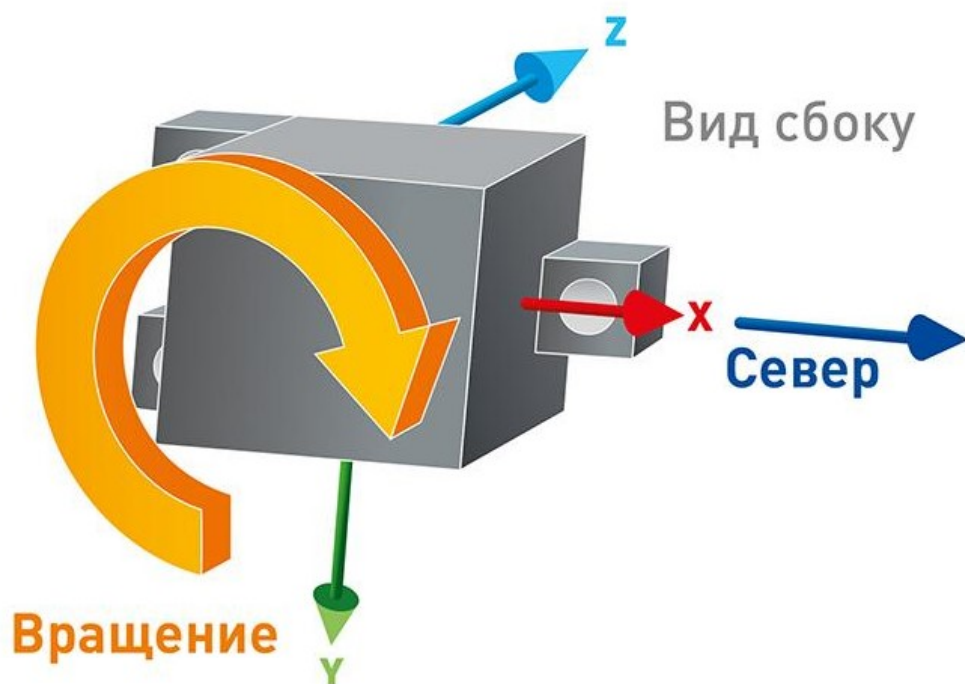


Рисунок 3 – Расположение МГ-1 для калибровки магнитометра МГ-1 по оси Z

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).

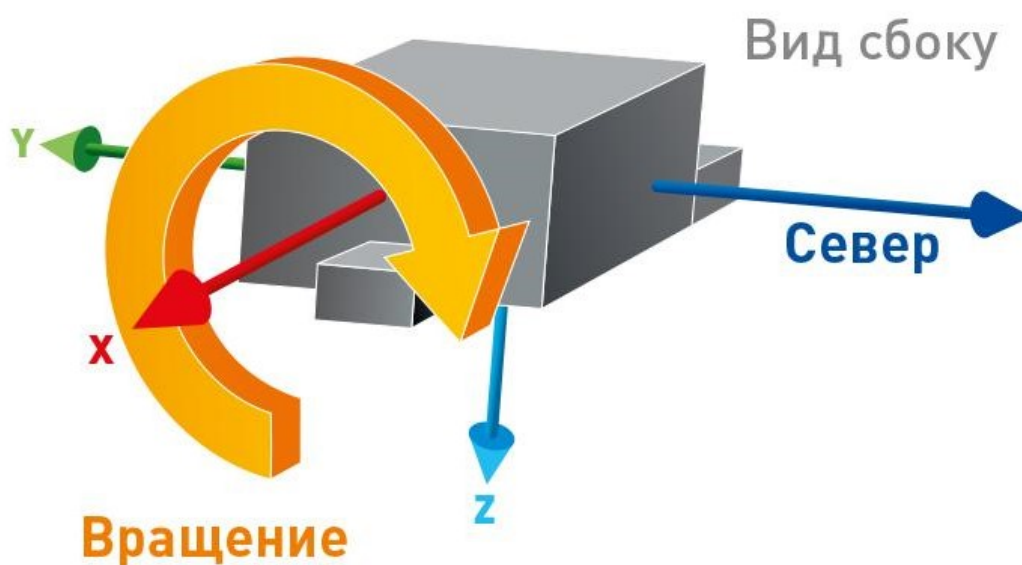


Рисунок 4 – Расположение МГ-1 для калибровки магнитометра МГ-1 по оси X

Важно! Стараться вращать со скоростью не более $\pm 100^\circ/\text{с}$. 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.

Инв. № подл.	Подп. и дата
26-00018	
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
25-00321	
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЛМАП.402131.043РЭ

Параметры $B_0(1)$, $B_0(2)$, $B_0(3)$ – смещения нуля магнитометра, которые имеют калибровку по температуре, параметры $B(1,1) \dots B(3,3)$ – 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 сравнению с остальными элементами матрицы (рис. 5).

Данные | Визуализация | Сеть | Измерения | Карта | Калибровка магнитометра | Настройки

☐ Запись Тип: auto Обработать

Калибровочные коэффициенты

Установить единичные **Запрос** Отправить

	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), описывающаяклонения вектора магнитного поля Земли в зависимости от координат. Зная свои координаты

ты, 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>).

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

1) сбилась калибровка сигналов угловой скорости и ускорения или сигналы модуля не соответствуют пункту 2.2.3:

а) калибровка может быть неверной при стирании энергонезависимой памяти внутри модуля, которая может быть вызвана сбросом питания во время записи.

ВНИМАНИЕ: изменение настроек ГКВ приводит к перезаписи флеш-памяти. В момент записи настроек питание ГКВ 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 ГКВ необходимо заново обновить калибровочные коэффициенты через демонстрационное ПО (калибровочные коэффициенты лежат на флеш-накопителе в составе комплекта, а также они сохранены в базе данных производителя).

2) отказ канала угловой скорости и/или ускорения:

В параметр «Статус» выставлены значения (таблица 6)

Таблица 6 – «Статус» МГ

Биты	Обозначение
3	«1» – отказа АЦП. «0» – годность АЦП
4	«1» – отказ датчика угловой скорости
5	«1» – отказ акселерометра

Инва. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подп. и дата
26-00018		25-00321		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЛМАП.402131.043РЭ	Лист 26

3 ХРАНЕНИЕ

- 3.1 До установки в основное изделие МГ-1 позволяет хранение в собственной упаковке в течение года в отапливаемых складских условиях при НКУ.
- 3.2 Требования к условиям хранения устанавливаются с учетом ГОСТ 9.014.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
26-00018		25-00321		
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ЛМАП.402131.043РЭ				Лист
				27

4 ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ

Транспортирование МГ производят в штатной упаковке или в составе прибора, в котором предусматривается его использование, при температуре окружающей среды от минус 40 до + 70 °С автомобильным, железнодорожным, воздушным или водным транспортом без ограничения скоростей, расстояний, а также высоты полёта при условиях, указанных в РЭ.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
26-00018		25-00321		
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ЛМАП.402131.043РЭ				Лист
				28

Приложение А
(справочное)
Внешний вид МГ-1

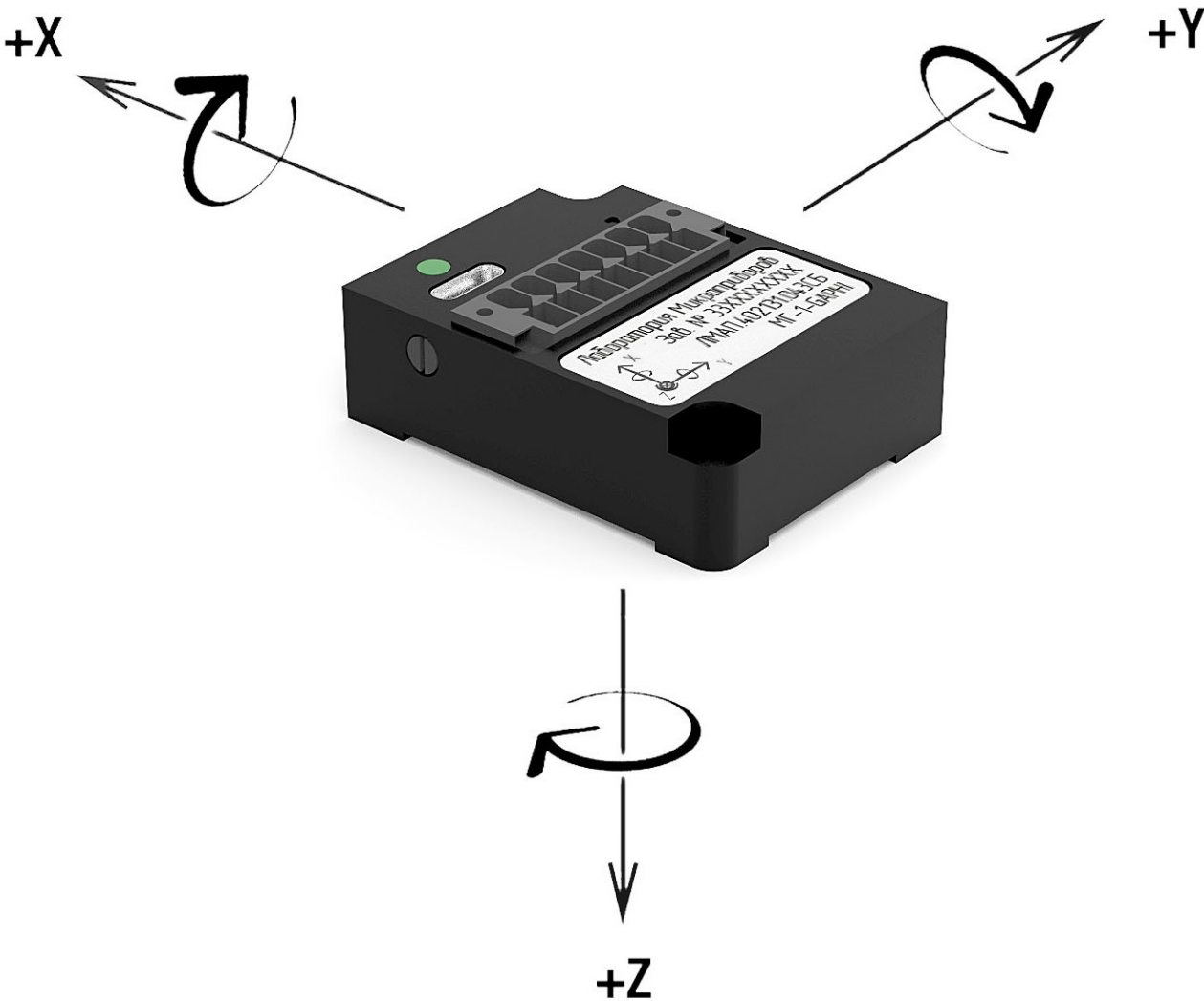


Рисунок А – Общий вид МГ-1

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
26-00018		25-00321		

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЛМАП.402131.043РЭ

Приложение Б
(справочное)

Габаритные, установочные и присоединительные размеры

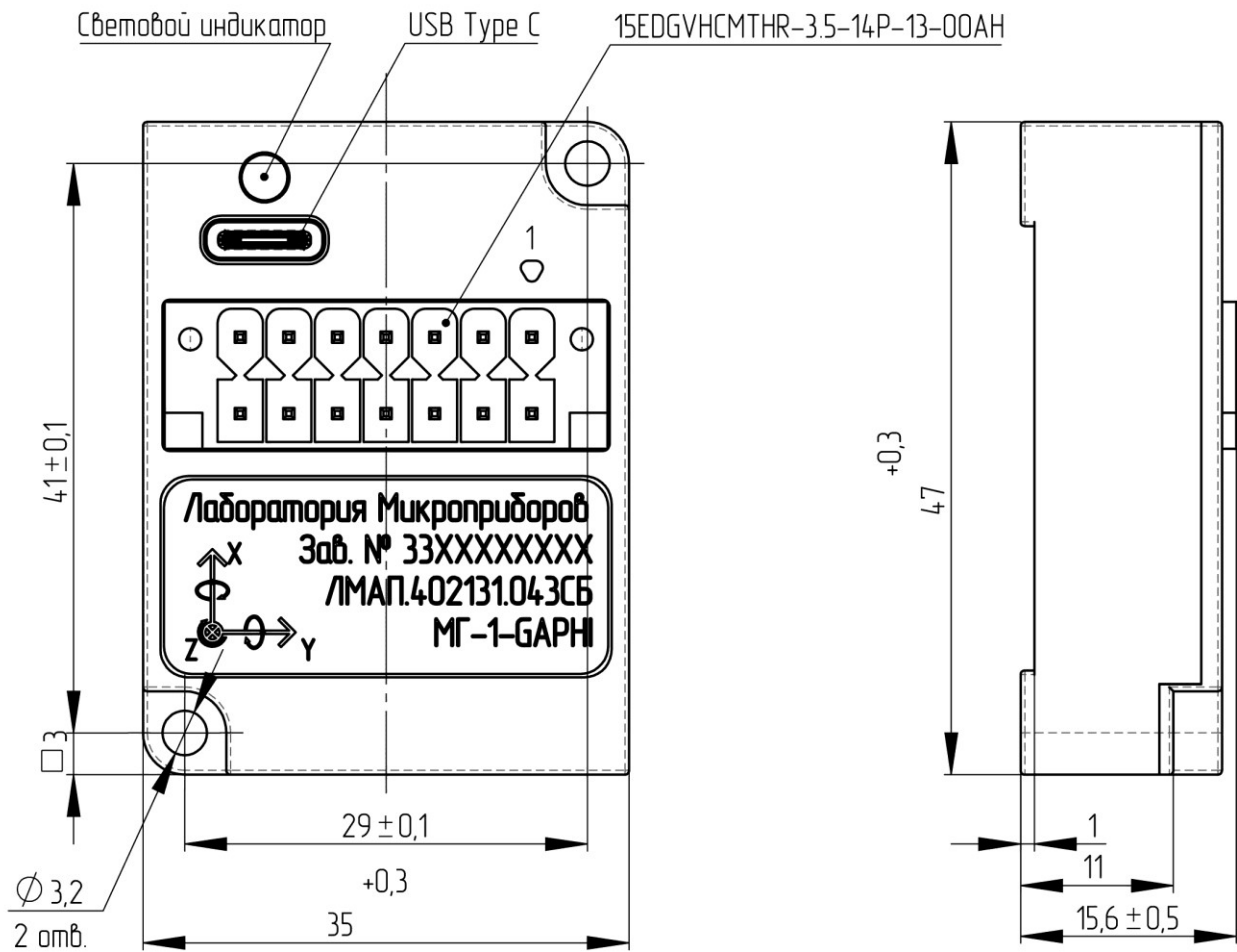


Рисунок Б – Габаритный чертеж изделия

Инов. № подл.	Подп. и дата
26-00018	
Взам. инв. №	Инов. № дубл.
25-00321	
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЛМАП.402131.043РЭ

Приложение В

(справочное)

Нумерация выводов разъема

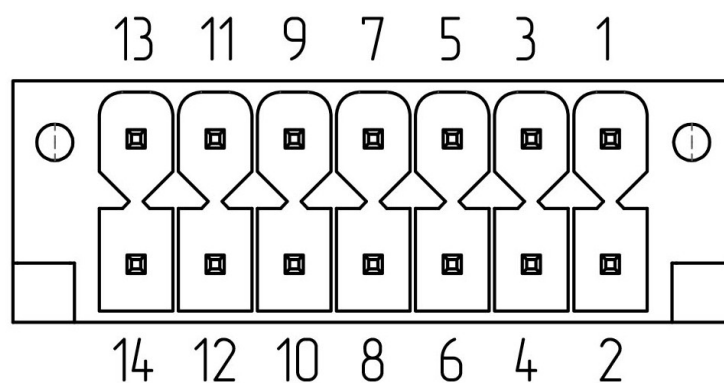


Рисунок В – Нумерация выводов разъема

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
26-00018		25-00321		
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ЛМАП.402131.043РЭ				
				Лист
				31

Приложение Г

(справочное)

Схема подключения

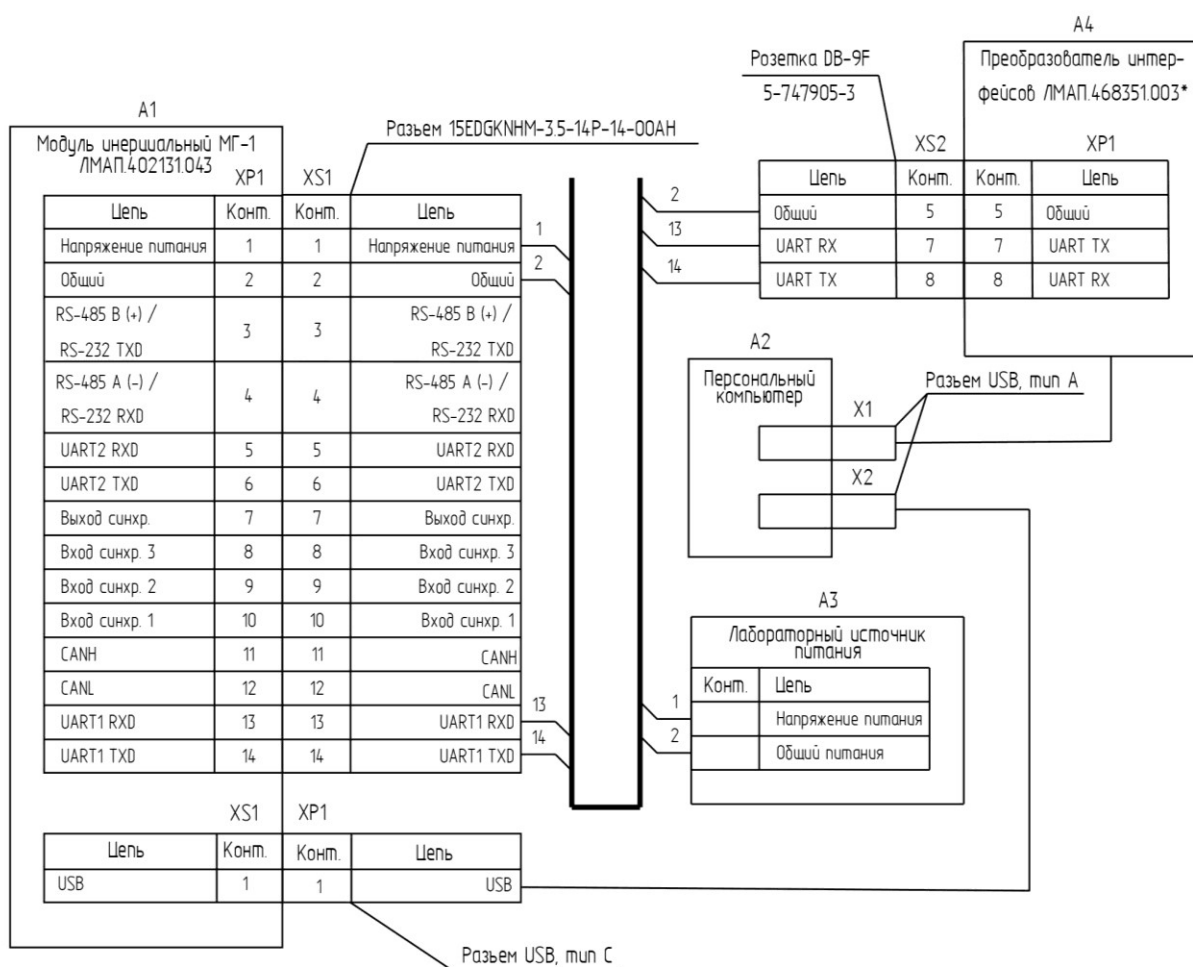


Таблица 1 Назначение цепей разъема XP1

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	Цепи интерфейсов RS-485/RS-232	9	Вход синхр. 2	
3	RS-485 B (+) / RS-232 TXD		10	Вход синхр. 1	
4	RS-485 A (-) / RS-232 RXD	Цепи интерфейса UART (канал 2)	11	CANH	Цепи интерфейса CAN
5	UART2 RXD		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

Инв. № подл.	26-00018	Подп. и дата	Взам. инв. №	25-00321	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЛМАП.402131.043РЭ	
						Лист
						32

[illegible]