

Утвержден
ЛМАП.402131.050-ЛУ

МОДУЛЬ ИНЕРЦИАЛЬНЫЙ
ГКВ-1 ВМ, ГКВ-2 ВМ, ГКВ-3 ВМ

Руководство по эксплуатации

ЛМАП.402131.050РЭ

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

ВВЕДЕНИЕ

Руководство по эксплуатации (РЭ) предназначено для ознакомления с техническими характеристиками, условиями эксплуатации ГКВ-1 ВМ, ГКВ-2 ВМ, ГКВ-3 ВМ (далее – изделие или ГКВ), а также их настройки, транспортирования и хранения.

ГКВ построены на базе SMD-модуля ГКВ-1 OEM.

Модуль ГКВ-1 ВМ – базовая версия с алгоритмами вычисления навигации и ориентации на основе данных от встроенных трехосевых датчиков угловой скорости, акселерометров, магнитометров и датчика абсолютного давления.

Модуль ГКВ-2 ВМ – базовая версия модуля со встроенным одноантенным ГНСС-приёмником.

Модуль ГКВ-3 ВМ – базовая версия со встроенным двухантенным ГНСС-приёмником (ГНСС-компас). ГНСС-компас позволяет производить вычисление курса в статике.

Модули предназначены для измерения и выдачи угловых скоростей, ускорений, углов наклона (крена и тангажа), а также обеспечивают работу алгоритмов вычисления ориентации и навигации с коррекцией от внутренних или внешних ГНСС-приемников.

ГКВ может использоваться в составе БПЛА, сканирующих LiDAR-системах, миниатюрных роботах, водных судах и других областях применения. В зависимости от задач, могут быть добавлены дополнительные программные функции и алгоритмы.

К работе с ГКВ допускаются лица, ознакомленные с данным РЭ, прошедшие инструктаж по технике безопасности в соответствии с установленным в эксплуатирующей организации порядком, и имеющие группу электробезопасности не ниже II.

Данное РЭ распространяется на следующие исполнения ГКВ:

ГКВ-1 ВМ-GAPRIA,

где G – диапазон измерения угловой скорости по осям чувствительности;

A – диапазон измерения ускорения.

P – напряжение питания;

R – ГНСС-приемник;

I – интерфейс;

A – алгоритм.

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

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

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

3

Примечание – более подробная информация по исполнениям ГКВ указана в таблице 2 в п. 1.3 Состав изделия.

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

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ЛМАП.402131.050РЭ	Лист
						4
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

1 ОПИСАНИЕ И РАБОТА

1.1 Назначение изделия

ГКВ – инерциальный модуль, который предназначен для измерения угловой скорости, ускорения и магнитного поля по трем осям, абсолютного давления, а также обеспечивают работу алгоритмов вычисления ориентации и навигации с коррекцией от внутренних или внешних ГНСС-приемников и других корректоров.

Напряжение питания от 4,75 до 5,25 В.

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

Масса не более 50 г.

Габаритные размеры не более 39 x 35 x 18,5 мм.

Встроенная энергонезависимая память объёмом 1 GB.

1.2 Технические характеристики

1.2 Технические характеристики

Список возможных интерфейсов представлен ниже:

UART (Serial port 0, 1, 2, 3);

SPI;

CAN;

USB (Serial port 0).

Скорость обмена, алгоритмы выдачи, частота выдачи, а также другие параметры могут быть определены потребителем согласно протоколу информационного взаимодействия ЛМАП.402131.009Д1.

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

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

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

5

Технические характеристики изделия представлены в таблице 1.

Таблица 1 а – Метрологические характеристики канала угловой скорости

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерения угловой скорости, °/с	±500*
Смещение нуля в диапазоне рабочих температур, не более, °/с	± 0,25
Нестабильность смещения нуля (по дисперсии Аллана), не более, °/ч	8
Случайное угловое блуждание (по дисперсии Аллана), не более, °/√ч	0,35
Примечание: * Диапазоны задаются программно из ряда ±500, ±2000 °/с. По умолчанию диапазон измерения угловой скорости ±500 °/с, для других диапазонов необходима калибровка, которая осуществляется по требованию	

Таблица 1 б – Метрологические характеристики канала ускорения

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерения ускорения, g	±10*
Смещение нуля в диапазоне рабочих температур, не более, mg	±5
Нестабильность смещения нуля (по дисперсии Аллана), не более, mg	0,01
Случайное блуждание скорости (по дисперсии Аллана), не более, (мм/с)/√ч	0,7
Примечание: * Диапазоны задаются программно из ряда ±10, ±30 g. По умолчанию диапазон измерения ускорения ±10 g, для других диапазонов необходима калибровка, которая осуществляется по требованию	

Таблица 1 в – Общие технические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Неортогональность осей, не более, °	0,05
Диапазон рабочих температур, °С	от – 40 до + 70
Напряжение питания, В	от 4,75 до 5,25
Потребляемая мощность, не более, Вт	3
Скорость обмена по интерфейсам, не более, мбит/с	3
Масса, не более, кг	0,050

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

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

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

6

Таблица 1 г – Метрологические характеристики канала магнитометра

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерения, Гаусс	± 8
Шум, не более, при рабочей полосе 100 Гц, мГаусс	0,4

Таблица 1 д – Метрологические характеристики канала барометра

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерения, кПа	30 – 125
Шум, 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 – Основные 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) ¹ , не более, °	0,4
Точность измерения тангажа и крена в динамике (1σ), не более: - с коррекцией по акселерометрам, ° - с коррекцией по ГНСС, °	0,3 0,2
Точность измерения курса в динамике (1σ), не более, ° - с коррекцией по ГНСС, ° - с коррекцией по ГНСС в RTK, °	0,3 0,2
Точность измерения магнитного курса (1σ) ² , не более, °	1
Примечание 1 – Двухантенное решение ГНСС при расстоянии между антеннами не менее 1 м. 2 – При калибровке модуля с ГНСС. Калибровка в движении с полной коррекцией не менее 10 мин	

Таблица 1 з – Основные технические характеристики ГНСС-приемника ГКВ-2 ВМ и ГКВ-3 ВМ

Наименование характеристики	Значение
Принимаемые сигналы	ГЛОНАСС GPS GALILEO BeiDou
Погрешность определения горизонтального положения (СЕР) с вероятностью 50%	

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

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

7

Изм Лист № докум. Подп. Дата

Наименование характеристики	Значение
Стандартная, м	1,5
РТК (с поправкой от базовой станции), м	0,01+1 ppm
Погрешность определения высоты (СЕР) с вероятностью 50%	
Стандартная, м	2,25
РТК (с поправкой от базовой станции), м	0,01+1 ppm
Погрешность вычисления горизонтальной скорости, м/с	0,05
Ограничения	
- максимальная скорость, не более, м/с	500
- максимальное ускорение, не более, м/с ² (g)	39,2 (4)
- максимальная высота над уровнем моря, не более, м	80000
Частота выдачи навигационного решения, Гц	от 5 до 10
Частота GPS, МГц	
- L1C/A	1575,42
- L2C	1227,6
Частота ГЛОНАСС, МГц	
- L1OF	$1602+k \cdot 562,5 \cdot 10^{-3}$
- L2OF	$1246+k \cdot 437,5 \cdot 10^{-3}$
Частота GALILEO, МГц	
E1-B/C	1575,42
E5b	1207,14
Частота BeiDou, МГц	
B1	1561,098
B2	1207,14
Примечание – k = -7, ..., 5, 6	

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

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

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

8

По внешним воздействующим факторам ГКВ:

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

Таблица 1 к – Параметры широкополосной вибрации

Оси	Диапазон частот, Гц	Среднеквадратическое значение суммарного ускорения, м/с ² (g)
X, Y, Z	20-2000	100 (10)

– стойкий к воздействию механического удара однократного действия с пиковым ударным ускорением 1000 м/с² (100 g) и длительностью действия ударного ускорения от 0,5 – 2 мс;

– стойкий к воздействию механического удара многократного действия с пиковым ударным ускорением 500 м/с² (50 g) и длительностью ударного ускорения от 1 до 5 мс;

– ГКВ стойкий к линейному ускорению до 100 g в 3-х взаимно перпендикулярных направлениях;

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

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

– прочный к изменению температуры окружающей среды от минус 40 до плюс 70 °С.

1.3 Состав изделия

Комплект поставки:

- 1) Модуль инерциальный ГКВ-1 ВМ/ГКВ-2 ВМ//ГКВ-3 ВМ;
- 2) Упаковка;
- 3) Этикетка;
- 4) Разъем LSHM-130-02.5-L-DV-A-N, SAMTEC;
- 5) Флеш-накопитель¹ со всей необходимой для эксплуатации информацией.

Примечание:

- 1) Флеш-накопитель поставляется в количестве 1 шт. на партию.
- 2) По запросу для ГКВ-2 ВМ и ГКВ-3 ВМ возможно доукомплектование партии ГНСС-антеннами. За подробностями обращаться в отдел продаж (vp@mp-

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

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

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

9

lab.ru или по телефону).

3) По запросу для оперативного подключения модуля к ПК возможно доукомплектование партии оценочной платой (внешний вид согласно приложению В) или переходной дюралевой пластиной с печатной платой (внешний вид согласно приложению Г). За подробностями обращаться в отдел продаж (vp@mp-lab.ru или по телефону).

ГКВ поставляется в исполнениях согласно таблице 2.

Таблица 2 – Исполнения ГКВ

ГКВ	N			G		A		P	R		I	A
	Нет приёмника	Одноантенный	Двухантенный	±500	±2000	±10	±30	4,75 – 5,25	Нет приёмника	Двухчастотный (L1/2)	UART	INS (Полная навигация)
Значения	1 BM			5	6	1	2	4	0	-	2	3
		2 BM		5	6	1	2	4	-	3	2	3
			3 BM	5	6	1	2	4	-	3	2	3

Примечание – Производитель вправе поставить более функциональную версию ГКВ чем та, что требуется заказчику.

Пример запроса: ГКВ-1 BM-524022 означает следующее:

Диапазон угловой скорости по трем осям – ± 500 °/с;

Диапазон ускорения по трем осям – ± 30 g;

Диапазон входного напряжения – 4,75 – 5,25 В;

ГНСС-приёмник – Нет приёмника;

Интерфейс – UART;

Алгоритм – INS (Полная навигация).

1.4 Устройство и работа

ГКВ состоит из трехосевых датчика угловой скорости, акселерометра,

Изм Лист № докум. Подп. Дата
 Инв. № подл.
 Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Инв. № дубл.
 Подп. и дата

ЛМАП.402131.050РЭ

магнитометра, а также барометра и вычислителя. Датчик угловой скорости и акселерометр каждого ГКВ индивидуально калибруются в диапазоне рабочих температур.

1.4.1 Общие сведения о работе изделия

ГКВ предназначен для выдачи данных инерциальных датчиков. Данные от инерциальных датчиков выдаются в калиброванном виде (а также могут передаваться в кодах АЦП, т.е. без калибровки). По умолчанию ГКВ настроен на выдачу калиброванных данных с датчиков (тип пакета 0x0B), если иное не обговорено с заказчиком. Набор выдаваемых данных устанавливается в «Наборном пакете» (тип 0x27).

1.4.2 Алгоритмы работы изделия

Данные с датчиков угловой скорости и акселерометра

Данные с датчиков угловой скорости и акселерометра представляют собой калиброванные данные. Сигналы считываются вычислителем в цифровом виде и калибруются во всем диапазоне температур.

Общая модель датчиков описывается формулой 1.1.

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

где S – калиброванные данные датчика;

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

G – матрица масштабных коэффициентов.

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix}; \quad (1.3)$$

$$G = \begin{bmatrix} G_{11} & 0 & 0 \\ 0 & G_{22} & 0 \\ 0 & 0 & G_{33} \end{bmatrix}; \quad (1.4)$$

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

Интв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Интв. № дубл.
Подп. и дата	

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

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

11

В0 – смещение нуля датчиков в кодах АЦП.

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 5 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 коды АЦП.

Инклинометр

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

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

Ориентация

Алгоритм ориентации выдаёт три угла ориентации (курс, крен, тангаж) или кватернион ориентации [q0 q1 q2 q3], где q0 – скалярная часть, q1, q2, q3 – 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).

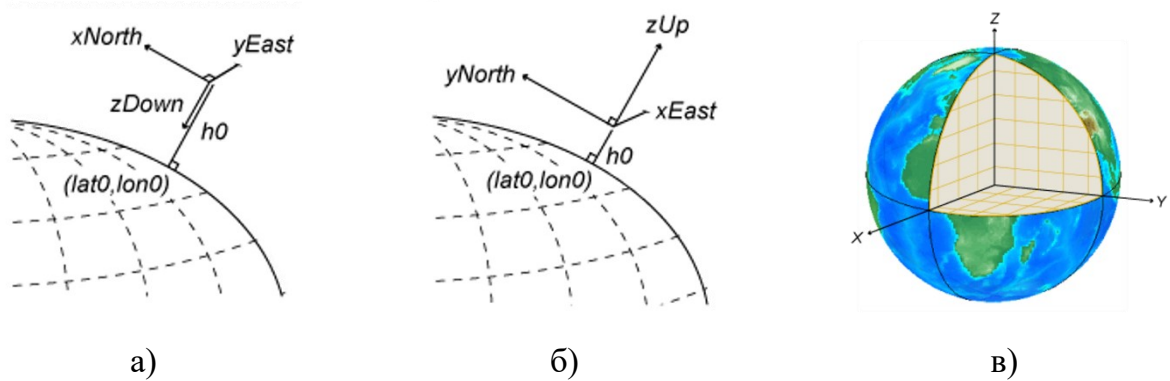
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

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

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

12



а) – NED СК, б) – ENU СК, в) – ECEF СК

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.

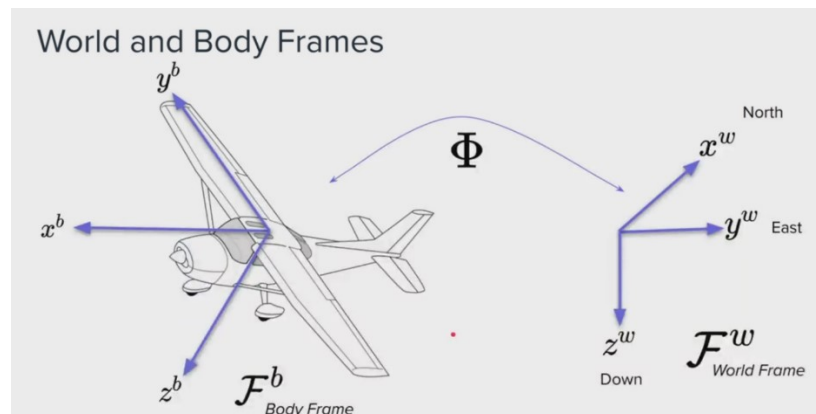


Рисунок 1.2 – Поворот СК

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.

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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЛМАП.402131.050РЭ
-----	------	----------	-------	------	-------------------

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.

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 (1.20).

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

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

Работа алгоритма

Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	ЛМАП.402131.050РЭ				Лист
									14
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

$$pitch = \arctan\left(\frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right) \quad (1.7)$$

$$roll = \arctan2(-A_y, -A_x)$$

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

Для корректировки по акселерометрам есть два параметра: время усреднения Δt_{Alg} (секунды), и СКО корректировки σ_{Alg} (радианы).

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.

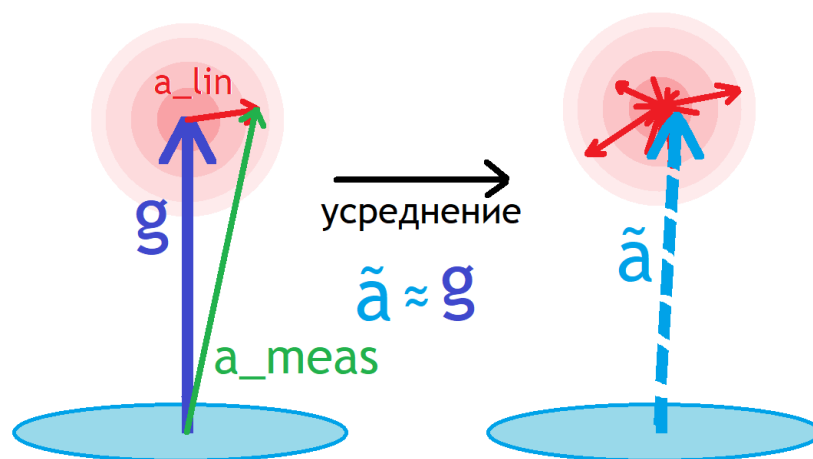


Рисунок 1.3 – Наглядное представление определения вектора \tilde{a}

Инов. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инов. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

После каждых Δt секунд накопления происходит корректировка ориентации по вектору \vec{a} с сигмой σ .

Примечания

1 Рекомендуется использовать режим "Наборный пакет" для получения необходимых параметров. Настроить ГКВ можно согласно протоколу информационного взаимодействия ЛМАП.402131.009Д1 или использовать для настройки демонстрационное программное обеспечение (ПО), которое работает по этому же протоколу.

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

3 ГКВ имеет возможность обновления внутреннего ПО. Обновление происходит через демонстрационное ПО.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ЛМАП.402131.050РЭ				Лист
									16
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

1.5 Назначение выводов

Стандартное назначение выводов показано в таблице 3. Нумерация контактов указана в приложении Б.

Таблица 3 – Назначение основных выводов разъема ГKB

Конт.	Цепь	Назначение
35	nRST ¹	Аппаратный сброс (активный уровень — лог. 0)
Индикация		
Управление внешними светодиодами статуса ГНСС:		
4	PD15 PE15	Решение ГНСС
6	PD10	Решение курса
16	PE14	Поправки от БС
Управление внешними светодиодами статуса режима работы ГKB:		
9	PD7	Рабочий режим
21	PC14	Модуль не исправлен
32	PE0	Управление внешним светодиодом статуса ИНС
60	PE1	Управление внешним светодиодом статуса записи данных
Синхронизация		
12	E1PPS	Выход сигнала синхронизации (1PPS) от ГНСС-приемника ²
18	SYNC IN ³	Вход сигнала синхронизации
20	SYNC OUT	Выход сигнала синхронизации
Интерфейсы		
8	TX3	Выход и вход интерфейса UART дополнительного порта 3 (Serial port 3) ⁴
10	RX3	
24	TX0	Выход и вход интерфейса UART основного порта (Serial port 0)
26	RX0	
28	TX2	Выход и вход интерфейса UART дополнительного порта 2 (Serial port 2) ⁵
30	RX2	
29	USB-	Интерфейс USB основного порта
31	USB+	
41	CAN L	Интерфейс CAN
43	CAN H	
52	TX1	Выход и вход интерфейса UART дополнительного порта 1 (Serial port 1)
54	RX1	
Питание ⁶		
27	GND	Общий питания
33	GND	Общий питания
45	3,3 В	Использовать исключительно в качестве источника опорного напряжения для внешних преобразователей логических уровней (максимальный выходной ток цепи 1мА)
51	GND	Общий питания
53	GND	Общий питания
55	GND	Общий питания
57	Uвх	Напряжение питания 5В
59	Uвх	Напряжение питания 5В
Примечание		
1 – цепь имеет встроенное доопределение к 3,3В резистором с номинальным сопротивлением 10кОм;		
2 – только для ГKB-2 ВМ/3 ВМ;		
3 – цепь встроенного доопределения не имеет;		

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

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

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

17

4 – в ГKB-3 ВМ не использовать, т.к. занят ГНСС приемником (в ГKB-1 ВМ/2 ВМ можно подключить внешнее устройство по выбранному протоколу);
 5 – в ГKB-2 ВМ/3 ВМ не использовать, т.к. занят ГНСС приемником (в ГKB-1 ВМ можно подключить внешнее устройство по выбранному протоколу);
 6 – Цепи питания необходимо подключать все

1.5.1 Цепи питания ГKB

Контакты 57 и 59 (Напряжение питания) и контакты 27, 33, 51, 53, 55 (Общий питания) предназначены для подключения внешнего напряжения питания.

ВНИМАНИЕ: Должны быть подключены все семь контактов питания.

1.5.2 Цифровые интерфейсы

Список возможных интерфейсов представлен ниже:

UART (Serial port 0, 1, 2, 3);

SPI;

CAN;

USB (Serial port 0).

В качестве основного (MAIN) интерфейса применяется UART (контакты 24 и 26) или USB (контакты 29 и 31). При подключении по USB, UART (Serial port 0) может работать только на выдачу данных. Через данные интерфейсы осуществляется передача с частотой 1кГц вычисленных данных с момента включения и производится настройка и обновление ГKB.

В качестве дополнительного интерфейса (Serial port 1) используется UART (контакты 52 и 54).

Также в ГKB реализован CAN-интерфейс.

Подключение дополнительных внешних приборов и их протоколы взаимодействия согласовываются с производителем.

1.5.3 Сигналы синхронизации

Контакт 18 – вход сигнала синхронизации и контакт 12 – выход сигнала синхронизации (1PPS) от ГНСС-приемника.

Значение входа синхронизации устанавливается в параметре «Статус» бит 0.

Контакт 20 – выход сигнала синхронизации.

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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<i>ЛМАП.402131.050РЭ</i>	Лист 18

2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПО НАЗНАЧЕНИЮ

2.1 Предельные и предельно-допустимые режимы работы

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

Таблица 4 – Предельные и предельно-допустимые режимы работы

Наименование характеристики	Предельно-допустимые		Предельные	
	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.
Напряжение в цепи питания, В	4,75	5,25	4,75	5,25

Примечание – Присутствует защита от подачи напряжения обратной полярности.

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 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) Подключение ГКВ
 - 2.1) Подключить модуль согласно таблице 3.

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

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

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

20

2.2) Включить источник питания (ИП) на выходное напряжение 4,75 – 5,25 В, мощность, потребляемая изделием, не должна превышать 3 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 «данные с датчиков» во вкладке настройки в группе параметры;

- записать значение угловой скорости в покое, среднее значение угловой скорости за интервал не менее 10 с должно быть не более $\pm 0,25$ °/с;

- записать значение 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 $(1 \pm 0,01)$ g.

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

- барометр должен выдавать изменяющиеся во времени сигналы, реагировать на изменение давления (путем изменения высоты, например);

- для ГКВ-2 ВМ и ГКВ-3 ВМ подключить ГНСС антенну и установить антенну под открытым небом или в помещении с симулятором ГНСС сигналов. Спустя 50 с после включения ГКВ записать данные от ГНСС приемника. Координаты, выдаваемые ГКВ должны соответствовать координатам проведения проверки или заданным на симуляторе.

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

Примечание – следует иметь в виду, что при угловых скоростях, превышающих 2000 °/с статусы отказов также могут быть сформированы.

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

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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЛМАП.402131.050РЭ
-----	------	----------	-------	------	-------------------

Лист
21

2.2.4 Указание об ориентировании изделия

Ориентация осей ГКВ указана в Приложении А и образует правую тройку. Положительным вращением считается вращение по часовой стрелке по направлению оси.

2.2.5 Указание об установке ГКВ

2.2.5.1 Допустимая плоскостность установки ГКВ не более 0,03 мм на площадь 0,35 см². Шероховатость установочной поверхности не должна быть более $\sqrt{Ra}2.5$.

2.2.5.2 Заземление изделия ГКВ не требуется.

2.2.6 Указания о взаимосвязи (соединении) ГКВ с другими изделиями

ГКВ подключается к другим изделиям согласно таблице 3.

2.2.7 Протокол информационного взаимодействия

Протокол информационного взаимодействия с изделием описан в ЛМАП.402131.009Д1.

2.2.8 Перечень возможных неисправностей изделия в процессе его 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 ГКВ (калибровочные коэффициенты лежат на флеш-накопителе в составе комплекта, а также они сохранены в базе данных производителя).

б) выбран диапазон измерения угловой скорости без калибровки. Для модуля может быть выбран диапазон из ряда ± 500 , ± 2000 °/с (см. таблицу 1 а).

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

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

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

22

2) отказ канала угловой скорости и/или ускорения:

В параметр «Статус» выставлены значения (таблица 5)

Таблица 5 – «Статус» ГКВ

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 ускорения
8	«1» – отказ оси Y канала ускорения
9	«1» – отказ оси Z канала ускорения

При возникновении отказа каналов, необходимо вернуть изделие производителю.

Если сбилась калибровка, можно обновить калибровочные коэффициенты при помощи демо ПО и mat-файла, которые находятся на flash-накопителе согласно руководству оператора RU.ЛМАП.502900-01 34 01 (При возникновении трудностей при настройке, можно обращаться на support@mp-lab.ru или по телефону компании).

Если необходим диапазон измерения угловой скорости или ускорения не по умолчанию, необходима перекалибровка у производителя (для этого необходимо отправить датчик в офис ООО ЛМП).

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

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

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

23

3 ХРАНЕНИЕ

3.1 До установки в основное изделие ГКВ позволяет хранение в собственной упаковке в течение полугода 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	ЛМАП.402131.050РЭ	Лист
						24
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Приложение А
 (справочное)
 Внешний вид ГКВ

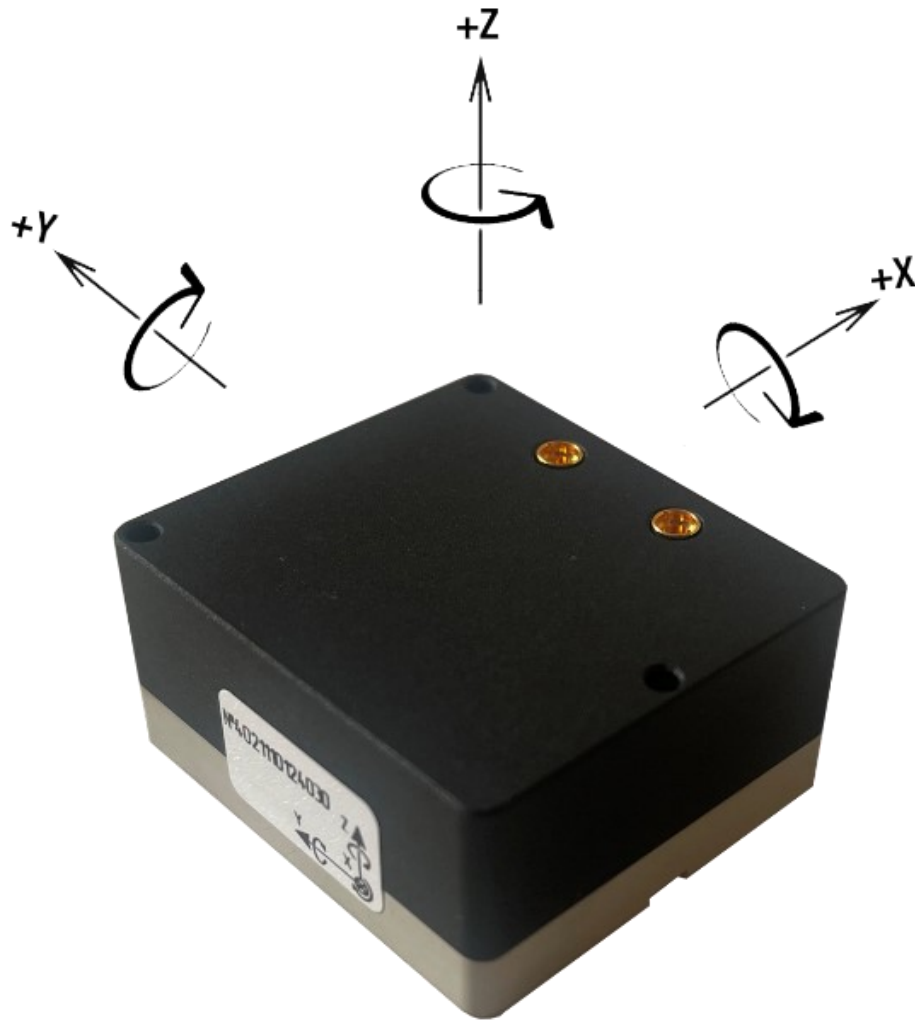


Рисунок А.1 – Общий вид ГКВ-3 ВМ и ориентация осей

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЛМАП.402131.050РЭ

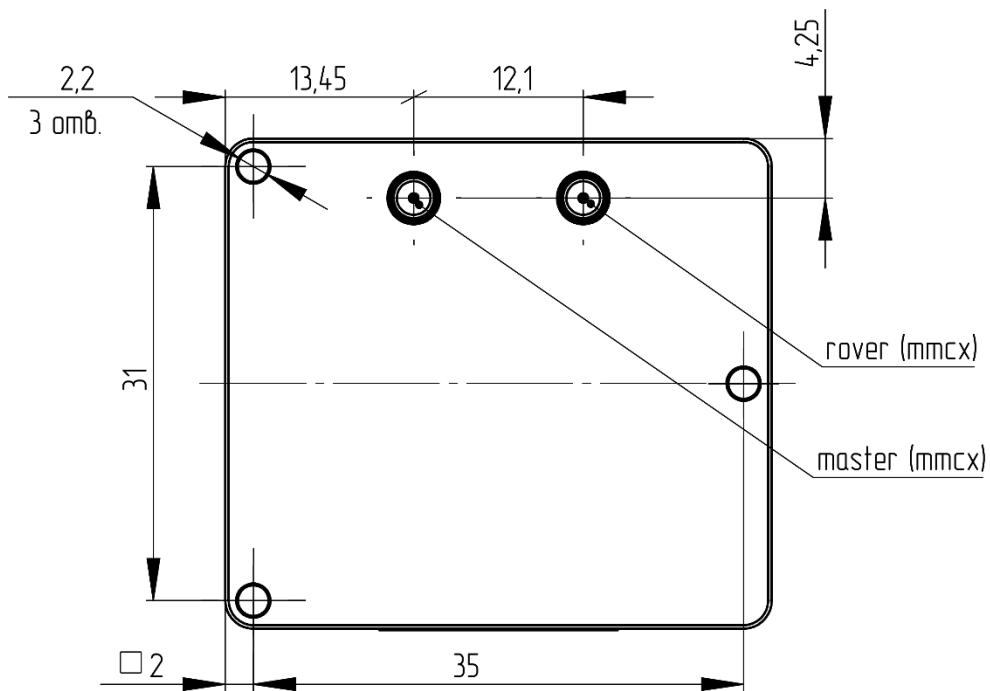
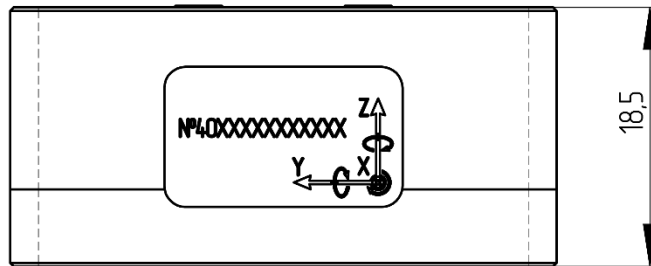
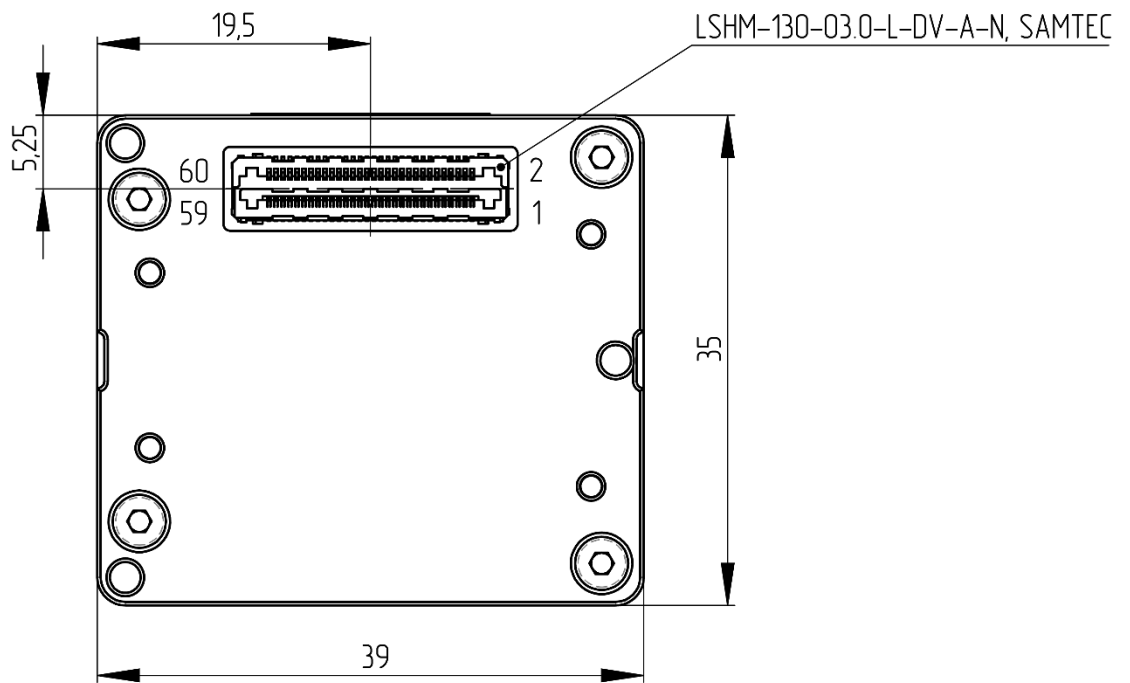


Рисунок Б.3 – Габаритный чертеж ГKB-3 ВМ

Габаритные и установочные размеры ГKB-2 ВМ аналогичны ГKB-3 ВМ.

Отличие – в отсутствии одного разъема MMCX (Rover).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

28

Приложение В

(справочное)

Внешний вид оценочной платы

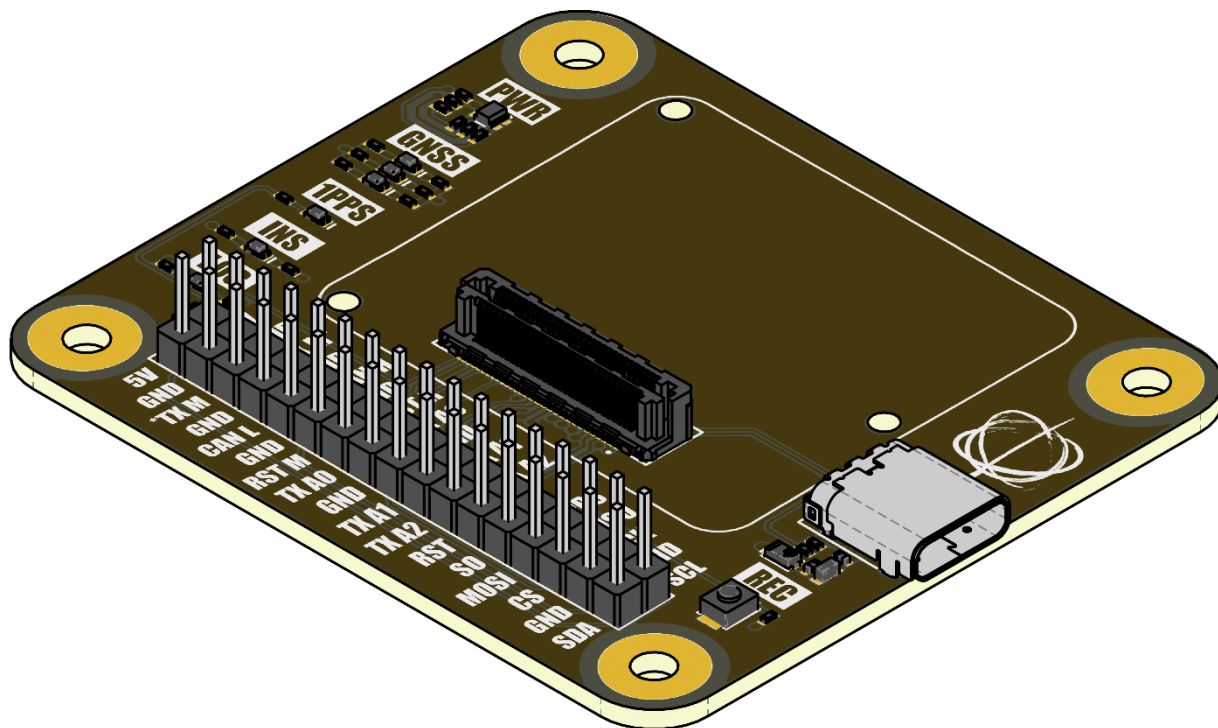


Рисунок В.1 – Внешний вид оценочной платы

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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЛМАП.402131.050РЭ

Лист

29

Приложение Г

(справочное)

Внешний вид переходной дюралевой пластины с печатной платой

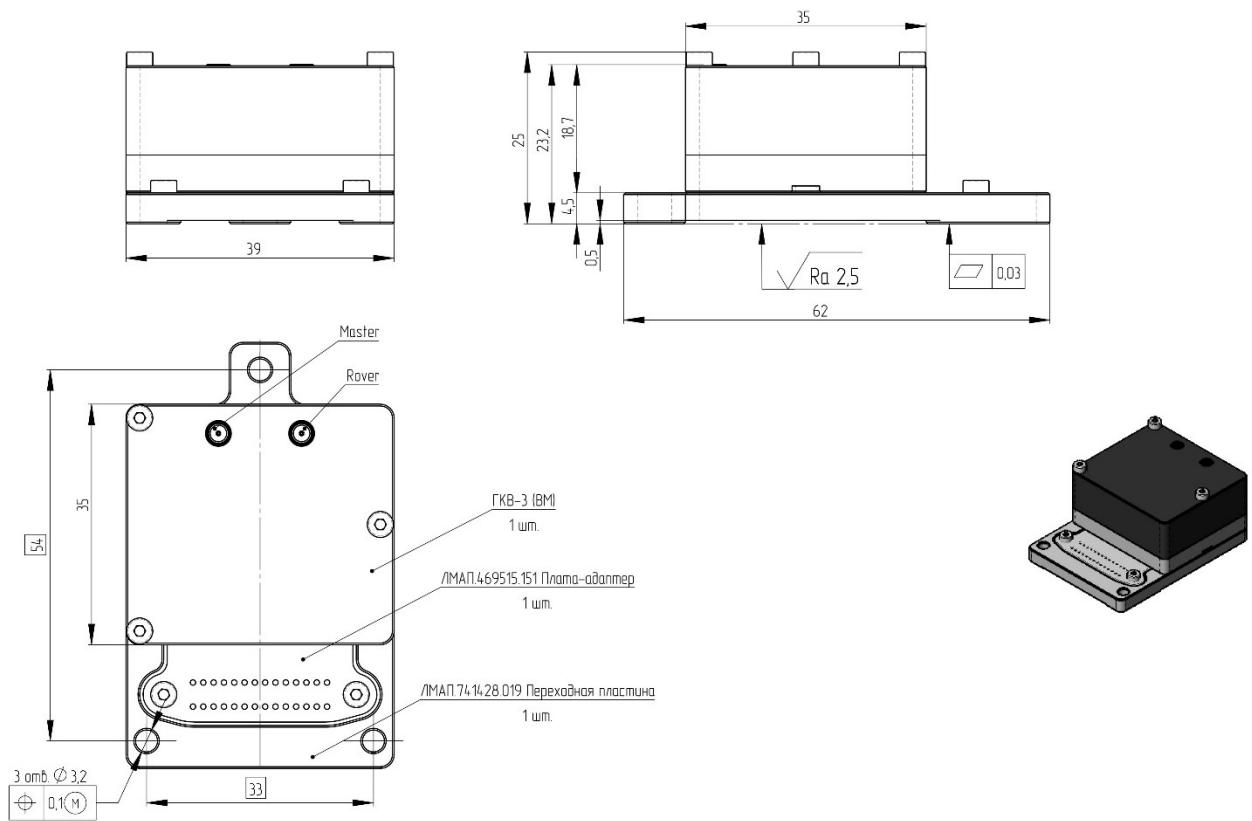


Рисунок Г.1 – Внешний вид переходной дюралевой пластины с печатной платой

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ЛМАП.402131.050РЭ					Лист
										30
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Лист регистрации изменений

<i>Изм.</i>	<i>Номера листов (страниц)</i>				<i>Всего листов (страниц) в докум.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Входящий № сопроводительного докум. и дата</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>
	<i>измененных</i>	<i>замененных</i>	<i>новых</i>	<i>аннулированных</i>					
<i>1</i>		<i>Все</i>			<i>31</i>	<i>ЛМАП.2-2025</i>			<i>14.01.25</i>
<i>2</i>		<i>Все</i>			<i>31</i>	<i>ЛМАП.10-2025</i>			<i>20.01.25</i>