

Отклонения от точного значения вызываются, в основном, погрешностью установки акселерометра, географической широтой места его нахождения, а также помехами и местными отклонениями напряжённости гравитационного поля.

## **7 ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ**

Транспортирование акселерометров, упакованных в тару, должно производиться в условиях, предусмотренных для групп Ж2 по ГОСТ 15150-69, любым видом закрытого транспорта при условии защиты тары от механических повреждений и воздействия атмосферных осадков в виде дождя и мокрого снега.

Изделия помещены в чехол из полимерной пленки, а затем упакованы в индивидуальную или групповую транспортную тару.

Хранение изделий должно производиться в упаковке предприятия-изготовителя в отапливаемых хранилищах (группа Л по ГОСТ 15150-69).



ООО НТФ «МИКРОНИКС»

## **ТРЕХОСЕВОЙ ЦИФРОВОЙ АКСЕЛЕРОМЕТР ВД12**

Руководство по эксплуатации  
ГСПК.402321.040 РЭ

Редакция 3.0

2021 г.

## Содержание

1 ОПИСАНИЕ.....	4
1.1 Назначение изделия.....	4
1.2 Особенности изделия.....	4
2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	4
2.1 Функции изделия.....	4
2.2 Технические характеристики.....	4
3 СОСТАВ КОМПЛЕКТА ПОСТАВКИ.....	5
4 УСТРОЙСТВО И РАБОТА.....	5
4.1 Структура и разрешающая способность.....	5
4.2 Управление динамическим диапазоном и частотой дискретизации.....	6
4.3 Управление выходным буфером.....	8
4.4 Выходные регистры.....	8
4.5 Регистр температуры.....	9
4.6 Последовательный интерфейс.....	9
4.7 Внешний вид.....	11
5 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПО НАЗНАЧЕНИЮ.....	11
5.1 Подключение.....	11
5.2 Монтаж изделия.....	11
6 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ.....	11
7 ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ.....	12

## 4.7 Внешний вид

Акселерометр имеет герметичный корпус, выполненный из нержавеющей стали. Его габаритный чертёж приведён на рисунке 4. На корпусе изделия нанесено условное обозначение датчика, логотип предприятия-изготовителя и заводской номер изделия.

## 5 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПО НАЗНАЧЕНИЮ

## 5.1 Подключение

Подключение изделия к хост-контроллеру осуществляется с помощью его штатного кабеля с разделанными под винтовые клеммы концами. Таблица подключения приведена ниже.

Конт.	Обознач.	Цвет провода
1	+3,3 В	зелёный
2	CS	красный
3	SPC	синий
4	SDA	коричневый
5	SDO	оранжевый
6	Общий	чёрный

## 5.2 Монтаж изделия

Установка акселерометра на контролируемый объект осуществляется с помощью монтажной шпильки М5 или магнитного крепления (магнитной «пятки») типа КМ-2 производства фирмы «Микроникс».

Установку акселерометра при помощи шпильки производить в следующей последовательности:

- На поверхности объекта выполнить опорную площадку диаметром 25 мм, шероховатостью поверхности не более 0,63 и неплоскостью не более 0,01 мм.
- Выполнить в центре площадки отверстие с резьбой М5 глубиной не менее 6 мм при перпендикулярности оси отверстия относительно поверхности площадки не более 1°.
- Ввернуть до упора в резьбовое отверстие корпуса акселерометра шпильку. Затем, вращая изделие, ввернуть его до упора в резьбовое отверстие опорной площадки и затянуть ключом. Крутящий момент при креплении вибропреобразователя шпилькой не должен превышать 2Н·м.
- Соединить акселерометр с хост-контроллером при помощи кабеля.

## 6 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Во время эксплуатации акселерометра пользователь имеет возможность в удобное для себя время проверять его работоспособность и контролировать точность показаний датчика. Это делается на выключенном контролируемом устройстве или на отдельном поверочном месте, где ось Z акселерометра располагается вдоль геовертикали с максимально возможной точностью (погрешность не должна превышать долей градуса).

Затем записать в регистре CTRL2 (21h) бит FDS\_SLOPE:0, а в регистре CTRL1 (20h) биты FS: 00, т.е. выключить ФВЧ и задать динамический диапазон FS равным ±2g. При этом значение постоянной составляющей выходного сигнала в канале Z в условных единицах будет равно 16384±150, что обусловлено ускорением свободного падения в гравитационном поле Земли.

SPC после падающего фронта CS, в то время как последний бит (бит 15, бит 23,...) начинается с последнего падающего фронта SPC непосредственно перед восходящим фронтом CS.

Бит RW определяет направление передачи данных (запись/чтение в регистр). Когда он равен 0, байт данных DI(7:0) записывается в изделие, а когда он равен 1, байт данных читается из регистра акселератора. В последнем случае изделие будет устанавливать SDO в начале бита 8 (т. е. в DO7).

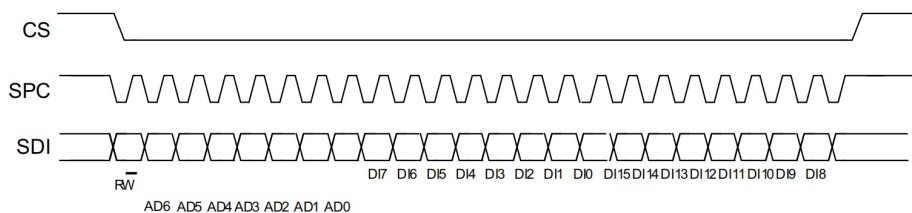
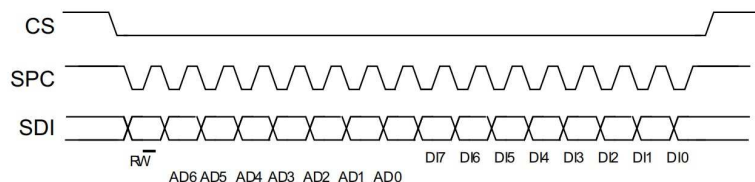
Биты 1-7 (AD6-0) задают адрес регистра. Биты 8-15 DI(7-0) в режиме записи представляют байт данных (старший бит первый). Также представляют байт данных биты DO(7-0) в режиме чтения. Осциллограммы режима записи представлены на рисунках 2 и 3.

Данное руководство по эксплуатации (РЭ) предназначено для ознакомления обслуживающего персонала с устройством, конструкцией, работой и техническим обслуживанием трёхосевого цифрового акселерометра ВД12 (далее — «прибор» или «изделие») с версией программного обеспечения v.0.1 и выше.

Пример полного наименования:

**Трёхосевой цифровой акселерометр Микроникс ВД12 ГСПК.402321.040**

Изделие не является источником повышенной опасности. Перед началом работ необходимо ознакомиться с настоящим руководством, так как параметры и срок службы акселерометра зависят от его правильной эксплуатации.



Рисунки 2 и 3. Осциллограммы команды записи (рис.2- однобайтовые, а рис.3-двухбайтовые данные)

Команда записи выполняется за 16 периодов тактовой частоты шины. Многобайтовая команда записи выполняется путем добавления блоков из 8 тактовых импульсов к предыдущему блоку.

На рисунке 2:

Бит 0: бит команды записи, значение 0.

Биты 1-7: адрес регистра AD(6-0).

Биты 8-15: данные DI(7-0). Старший бит идёт первым.

Бит 16-...: данные DI(...-8). Дополнительные биты данных в многобайтовой команде записи.

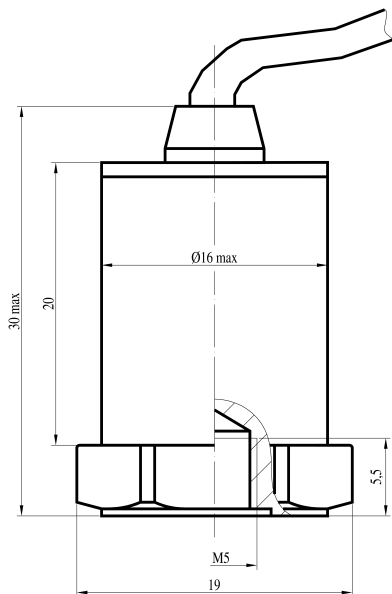


Рисунок 4. Габаритный чертёж акселерометра

## 1 ОПИСАНИЕ

### 1.1 Назначение изделия

- Акселерометр ВД12 предназначен для преобразования механических колебаний в электрические сигналы, пропорциональные ускорению корпуса акселерометра.
- Основное назначение акселерометра — работа в качестве чувствительного элемента (датчика вибрации) виброизмерительных и вибродиагностических систем.

### 1.2 Особенности изделия

- В соответствии с ГОСТ Р 52931 по метрологическим свойствам акселерометр относится к изделиям третьего порядка, не являющимся средством измерения, но имеющим точностные характеристики.
- Изделие не входит в предусмотренную РД 34.11.410 номенклатуру средств измерений, подлежащих поверке. Точностные характеристики ВД12 обеспечиваются калибровками, предусмотренными изготовителем устройства.
- В случае отказа акселерометр ремонту и восстановлению не подлежит.

## 2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

### 2.1 Функции изделия

Изделие реализует следующие функции:

- преобразование механических колебаний в цифровой код, значения которого пропорциональны ускорению корпуса изделия;
- выдача оцифрованных (частота дискретизации Fд) выборок виброускорения внешнему устройству (хост-контроллеру) через интерфейс SPI;
- измерение температуры в корпусе изделия и выдача её значения внешнему устройству через интерфейс SPI;
- параметризация изделия пользователем.

### 2.2 Технические характеристики

Технические характеристики изделия приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование параметра	Значение
Напряжение питания изделия, В	3,3±0,33
Потребляемый ток, не более, мкА	150
Динамический диапазон измеряемых ускорений, g	±2g/±4g/±8g/±16g
Чувствительность (в зависимости от выбранного динамического диапазона), mg	0,97 — 7,8
Нижняя частота измеряемого ускорения, Гц	0
Верхняя частота измеряемого ускорения (по выбору из 10 возможных значений), Гц	5,5 - 2840
Частота дискретизации (Fд) (в соответствии с выбранным частотным диапазоном), Гц	12,5 - 6400
Среднеквадратическое значение шума в каналах измерения ускорения (в зависимости от выбранного динамического диапазона измерений при Fд= 1 — 800 Гц), mg	6,3 - 17
Сдвиг нуля измеряемого ускорения в зависимости от температуры, mg/ °C	±0,2

Содержимое обоих регистров представляет собой 16-разрядное число, выраженное в коде с дополнением до двух.

Чтение данных из регистров X, Y, Z производится в момент появления «1» (бита готовности) в младшем разряде регистра STATUS (27h).

Если в третьем бите (бит FDS\_SLOPE) управляющего регистра CTRL2 (21h) записана «1», то данные с выходных регистров проходят через фильтр верхних частот, подавляющий в спектре сигналов область нулевых частот и, тем самым, устраняющий влияние гравитационного поля Земли. В режиме самотестирования этот бит устанавливается равным «0» и в канале оси Z появляется постоянный сигнал (постоянная составляющая сигнала) с ускорением 1g.

### 4.5 Регистр температуры

Выходной сигнал датчика температуры акселерометра записывается в регистр OUT\_T(26h).

Температура представлена в дополнительном коде с разрешением 1°C/двоичный разряд. Нулевое значение кода соответствует 25°C. Данные в регистре обновляются с частотой 12,5 Гц.

### 4.6 Последовательный интерфейс

Устройство выдаёт данные и принимает команды по последовательному дуплексному интерфейсу типа SPI, который представлен четырьмя сигналами: CS (chip select или SS – slave select), SPC (serial phase clock или SCK – serial clock), SDI (serial data input или MOSI – master out slave in) и SDO (serial data output или MISO – master input slave out). В сетевой архитектуре изделие является ведомым (slave).

Оциллограммы команд чтения и записи представлены на рисунке 1.

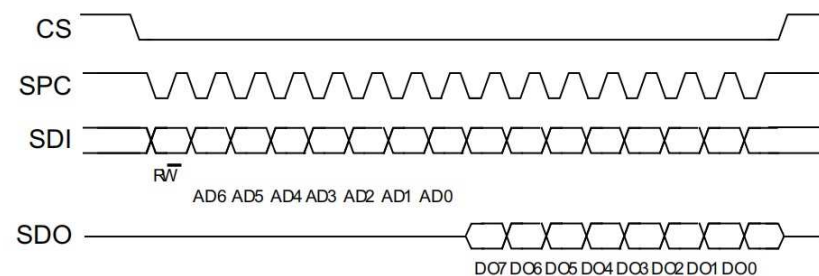


Рисунок 1. Осциллограммы команд чтения и записи

Сигнал CS — это сигнал активации последовательного порта (выбор ведомого) и он управляется мастером шины SPI. Сигнал имеет низкий уровень во время обмена данными и возвращается в высокое состояние после его завершения. SPC — это тактовый сигнал последовательного порта и он управляется мастером SPI. SPC устанавливается в высокое состояние, когда CS имеет высокий уровень (нет передачи). SDI и SDO — это соответственно последовательный порт ввода и вывода данных. Эти сигналы изменяются по падающему фронту SPC и должны быть захвачены по восходящему фронту SPC.

Команды read register и write register выполняются за 16 тактовых импульсов или кратно 8 в случае нескольких байтов чтения/записи. Длительность бита - это время между двумя задними фронтами SPC. Первый бит (бит 0) начинается с первого падающего фронта

Таблица 8. Структура регистра CTRL1 (20h)

Fd3	Fd2	Fd1	Fd0	FS1	FS0	HF_Fд	BDU
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------	-----

Где FS: 00 –  $\pm 2g$ ; 10 –  $\pm 4g$ ; 11 –  $\pm 8g$ ; 01 –  $\pm 16g$ ;

HF\_Fд – разрешение выбора режима HF, по умолчанию равен 0;

BDU – блокировка обновления данных (0: непрерывное обновление, 1: выходные регистры не обновляются, пока не прочитаны оба байта данных), по умолчанию равен 0.

Задав BDU: 1, можно предотвратить обновление данных в регистре младшего байта во время чтения регистра старшего байта двухбайтового кода выборки сигнала.

#### 4.3 Управление выходным буфером

Для минимизации времени общения с внешним компьютером (хост-контроллером) акселерометр имеет в своем составе выходной буфер данных типа FIFO на 256 ячеек, каждая из которых содержит шесть байт данных (по два байта на каждую ось).

Данные на выход изделия можно отправлять пятью способами, записав соответствующий код в регистр FIFO\_CTR (25h). Его структура приведена ниже.

Таблица 9. Структура регистра FIFO\_CTR (25h)

FMODE2	FMODE1	FMODE0	0*	Module_to_FIFO	0*	0*	0*
--------	--------	--------	----	----------------	----	----	----

\* – отмеченные биты должны быть 0 во избежание некорректной работы или поломки изделия.

Возможные значения FMODE приведены в таблице 10.

Таблица 10. Режимы FIFO

FMODE2	FMODE1	FMODE0	
0	0	0	Режим байпаса. Буфер FIFO отключен
0	0	1	Режим FIFO, обновление данных прекращается когда буфер полон
0	1	1	Потоковый режим пока триггер не взведен, потом режим FIFO
1	0	0	Байпасный режим пока триггер не взведен, потом режим FIFO
1	1	0	Непрерывный режим, при переполнении буфера новые данные пишутся поверх старых

#### 4.4 Выходные регистры

С выхода FIFO данные поступают в шесть выходных регистров OUT\_X\_L(28h), OUT\_X\_H(29h), OUT\_Y\_L(2Ah), OUT\_Y\_H(2Bh), OUT\_Z\_L(2Ch), OUT\_Z\_H(2Dh). Их структура идентична. Для примера в таблицах 11 и 12 приведена структура регистров данных оси X.

Таблица 11. Младший байт данных

X_L7	X_L6	X_L5	X_L4	X_L3	X_L2	0	0
------	------	------	------	------	------	---	---

Если задан режим HF, то биты X\_L3, X\_L2 равны 0.

Если задан режим LP, то биты X\_L5 – X\_L2 равны 0.

Таблица 12. Старший байт данных

X_H7	X_H6	X_H5	X_H4	X_H3	X_H2	X_H1	X_H0
------	------	------	------	------	------	------	------

Наименование параметра	Значение
Изменение значения измеренного ускорения в зависимости от температуры, % / °C	0,01
Количество осей измерения ускорения	3
Интерфейс выхода	SPI
Разрядность выходного сигнала, бит	16
Объем (для каждой оси) встроенного стека FIFO, ячеек	256
Диапазон рабочих и измеряемых температур, °C	минус 40 - +85
Дискретность представления температуры, °C	1
Частота обновления значения температуры, Гц	12,5
Устойчивость к одиночным ударам (без питания, по любой оси), g	3000 в течение 0,5 мс
Устойчивость к электрическому разряду, кВ	2
Предельно допустимое напряжение на любом контакте изделия, В	2,2
Габариты (с учетом амортизатора кабеля), мм	30x19
Масса (без кабеля), не более, г	35
Степень защиты, не ниже	IP67
Длина встроенного кабеля, м	0,7

### 3 СОСТАВ КОМПЛЕКТА ПОСТАВКИ

Изделие является моноблочным с смонтированным в корпус разделанным под винтовые клеммы присоединительным кабелем.

Комплект поставки вибропреобразователя приведен в таблице 2.

Таблица 2

Наименование	Обозначение	Кол-во	Примечание
Цифровой акселерометр	ГСПК.402321.040 ТУ	1 шт.	
Этикетка	ГСПК.402321.040 ЭТ	1 экз.	
Руководство по эксплуатации	ГСПК.402321.040 РЭ	1 экз.	Поставляется на партию не менее 10 шт. или по заказу

### 4 УСТРОЙСТВО И РАБОТА

#### 4.1 Структура и разрешающая способность

Цифровой акселерометр ВД12 состоит из микроэлектромеханических систем — MEMS (Micro-ElectroMechanical Systems) с тремя взаимно перпендикулярными емкостными чувствительными элементами и микропроцессора с SPI интерфейсом. Ориентация осей акселерометра указана на корпусе изделия. Кроме элементов, чувствительных к механическому перемещению, в изделии имеется встроенный датчик температуры. Это позволяет не только оценивать температуру в корпусе изделия, но и, при необходимости, компенсировать небольшую, не превышающую 0,01% / °C, температурную погрешность измеряемого ускорения.

Выходной сигнал изделия представляет собой выборки, оцифрованные 10, 12 или

14-разрядным АЦП (в зависимости от режима работы) и представленные в виде 16-разрядного кода с дополнением до двух. Зависимость разрядности АЦП от режима приведена в таблице 3.

Таблица 3

Режим работы изделия	Пониженное потребление, $F_d \leq 800$ Гц	Высокое разрешение, $F_d \leq 800$ Гц	Высокое разрешение, $F_d > 800$ Гц
Разрядность АЦП	10	14	12

Чувствительность акселерометра по любой из осей в наиболее используемом режиме с 12-разрядной оцифровкой сигналов представлена в таблице 4.

Таблица 4

Динамический диапазон	$\pm 2g$	$\pm 4g$	$\pm 8g$	$\pm 16g$
Чувствительность	0,976 mg	1,95 mg	3,9 mg	7,81 mg

При низких частотах дискретизации (узкополосный вибросигнал,  $F_d \leq 800$  Гц), чувствительность акселерометра соответственно в 4 раза выше (0,244 — 1,95 mg).

Уровень собственных шумов, который у акселерометра не зависит от частоты дискретизации, в режиме пониженного энергопотребления приведен в таблице 5.

Таблица 5

Динамический диапазон	$\pm 2g$	$\pm 4g$	$\pm 8g$	$\pm 16g$
Среднеквадратическое значение шума (СКЗ)	6,3 mg	8,2 mg	11 mg	17 mg

#### 4.2 Управление динамическим диапазоном и частотой дискретизации

Необходимые параметры акселерометра задаются с помощью записи соответствующих кодов в регистры параметризации. Одним из основных параметров является частота дискретизации измеряемого вибросигнала  $F_d$ , зависящая от ширины полосы спектра частот этого сигнала. Она задаётся путём записи требуемого кода в регистр CTRL1 (см. таблицу 6).

Таблица 6

CTRL1( $F_d[3:1]$ )	CTRL1(HF_ $F_d$ )	$F_d$ [Гц]	Режим
Режим пониженного энергопотребления (LP)			
0000	-	-	PO
1000	-	1	LP
1001	-	12,5	
1010	-	25	
1011	-	50	
1100	-	100	
1101	-	200	
1110	-	400	
1111	-	800	
Режим высокого разрешения (HR)			
0001	-	12,5	HR
0010	-	25	

0011	-	50	HR
0100	-	100	
0101	0	200	
0110	0	400	
0111	0	800	HF
0101	1	1600	
0110	1	3200	
0111	1	6400	

Здесь и далее:

- PD – (power down) низкая потребляемая мощность («спящий» режим);
- LP – (low power) пониженная потребляемая мощность;
- HR – (high resolution) высокое разрешение;
- HF – (high frequency) высокая частота.

В тракте изделия имеется фильтр низких частот, частота среза которого связана с частотой дискретизации (см. таблицу 7).

Таблица 7

$F_d$ [Гц]	Частота среза ФНЧ [Гц]
Режим LP	
800	3200
400	
200	
100	
50	
25	
12,5	
1	
Режим HR	
800	365
400	177
200	88
100	44
50	22
25	11
12,5	5,5
Режим HF	
6400	2840
3200	1420
1600	710

Выбор динамического диапазона (FS – full scale) наряду с частотой дискретизации производится записью соответствующего кода в упомянутый регистр CTRL1 (20H - его адрес в 16-разрядной системе счисления). Структура регистра приведена в таблице 8.