

**ТОЛЩИНОМЕР ПОКРЫТИЙ  
КОНСТАНТА К6П**

**Инструкция по монтажу и интеграции**

**УАЛТ.253.000.00ИМ**



Настоящая инструкция по монтажу и интеграции (далее ИМ) предназначена для изучения принципа действия, правил и требований к монтажу, интерфейса и протокола передачи данных и управления толщиной покрытий КОНСТАНТА К6П, (далее прибора), содержит основные сведения необходимые для проектирования и монтажа прибора в состав автоматических и автоматизированных измерительных систем и комплексов.

## 1 Описание и работа

### 1.1 Назначение

1.1.1 В зависимости от подключенного преобразователя, прибор предназначен для

Тип преобразователя (измерительного элемента)	Диапазон измерений толщины покрытий и расстояний, мм	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины покрытий и расстояний, мм	Основное назначение (допускается применение по другим назначениям при согласовании с изготовителем)
МИ1	0-1	(0÷0,2) мм: $\pm(0,02h+0,002)$ (0,2÷1) мм: $\pm 0,03h$	Измерение толщины неферромагнитных покрытий на ферромагнитных основаниях, измерение расстояния до ферромагнитных оснований
МИ3	0-3	(0÷0,3) мм: $\pm(0,02h+0,003)$ (0,3÷3) мм: $\pm 0,03h$	
МИ6	0-6	(0÷0,6) мм: $\pm(0,02h+0,006)$ (0,6÷6) мм: $\pm 0,03h$	
МИ10	0-10	(0÷1) мм: $\pm(0,02h+0,010)$ (1÷10) мм: $\pm 0,03h$	
МИ15	0-15	(0÷1,5) мм: $\pm(0,02h+0,015)$ (1,5÷15) мм: $\pm 0,03h$	
МИ30	0-30	(0÷3) мм: $\pm(0,02h+0,030)$ (3÷30) мм: $\pm 0,03h$	
ВП1	0-1	(0÷0,2) мм: $\pm(0,02h+0,002)$ (0,2÷1) мм: $\pm 0,03h$	Измерение толщины диэлектрических неферромагнитных покрытий на неферромагнитных электропроводящих основаниях, измерение расстояния до неферромагнитных электропроводящих оснований
ВП3	0-3	(0÷0,3) мм: $\pm(0,02h+0,003)$ (0,3÷3) мм: $\pm 0,03h$	
ВП15	0-15	(0÷1,5) мм: $\pm(0,02h+0,015)$ <sup>1</sup> (1,5÷15) мм: $\pm 0,03h$ <sup>1</sup> (0÷15) мм: $\pm(0,03h+0,1)$ <sup>2</sup>	Измерение толщины диэлектрических неферромагнитных покрытий на ферро- или неферромагнитных электропроводящих основаниях, измерение расстояния до ферро- или неферромагнитных электропроводящих оснований в зависимости от настройки <sup>3</sup>
ВП30	0-30	(0÷3) мм: $\pm(0,02h+0,030)$ <sup>1</sup> (3÷30) мм: $\pm 0,03h$ <sup>1</sup> (0÷30) мм: $\pm(0,03h+0,1)$ <sup>2</sup>	
ВП70	0-70	$\pm(0,03h+0,3)$ <sup>1,2</sup> во всем диапазоне измерения	
ВП90	0-90		
ВП120	0-120		

h - действительное значение толщины покрытия или расстояния до основания

<sup>1</sup> - при измерении толщины диэлектрических неферромагнитных покрытий на неферромагнитных электропроводящих основаниях;

<sup>2</sup> - при измерении толщины диэлектрических неферромагнитных покрытий на ферромагнитных электропроводящих основаниях;

<sup>3</sup> - тип основания указан в маркировке преобразователя (F - ферромагнитное электропроводящее основание, NF - неферромагнитное электропроводящее основание)

### 1.2 Рабочие условия эксплуатации:

- для блока обработки информации и преобразователей температура окружающего воздуха от плюс 10 до плюс 35 °С;

- для преобразователей со средствами стабилизации температуры измерительного элемента (естественным или принудительным подогревом, или охлаждением) температурный диапазон окружающего воздуха и объекта измерения может быть расширен до требуемых значений;

- относительная влажность воздуха до 95% при плюс 30 °С;

- номинальное значение напряжения питания при работе от сети 220 ± 22 В, частота питающей сети 50,0 ± 0,5 Гц;

- номинальное значение напряжения питания при работе от линий питания интерфейса USB 5 ± 0,1 В.

### 1.3 Устройство и работа

1.3.1 Общий вид прибора представлен на рисунке 1.1

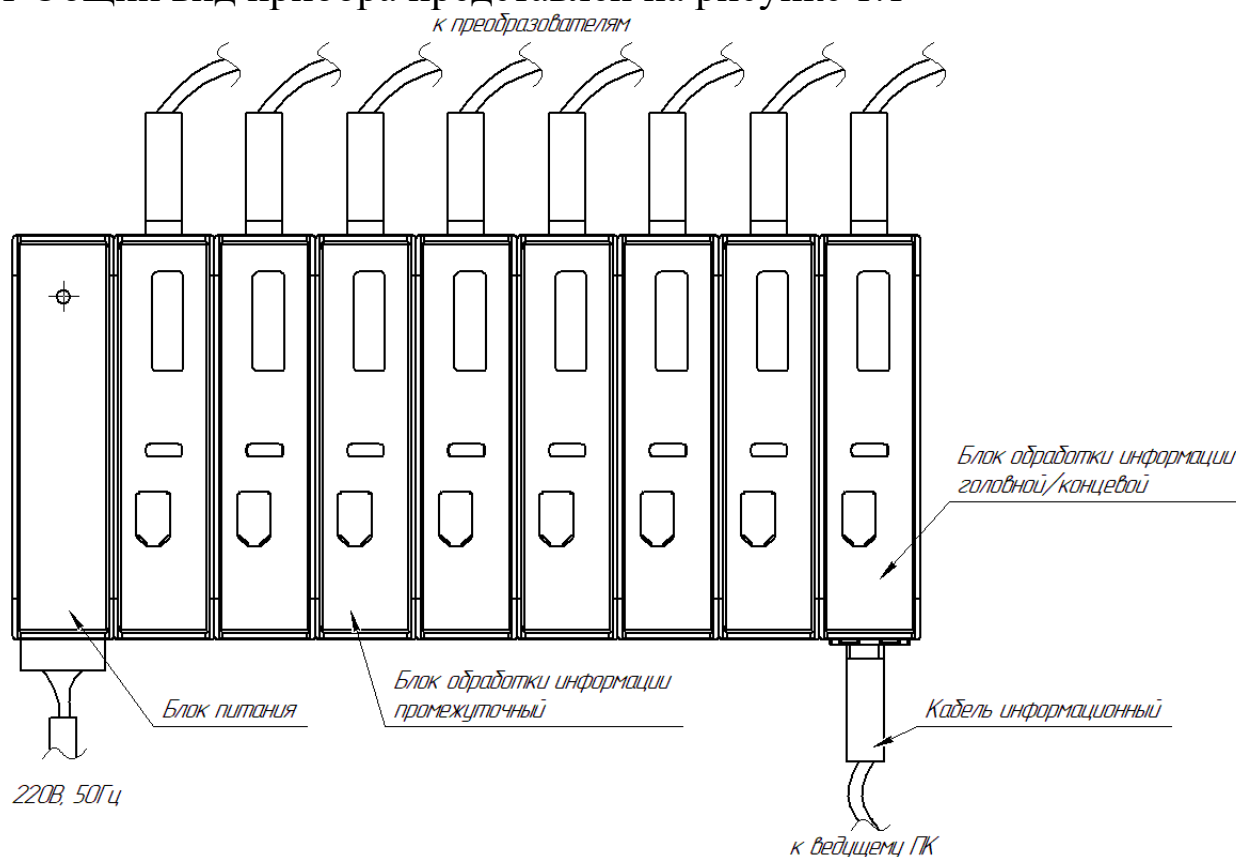


Рисунок 1.1 – Общий вид прибора

1.3.2 Прибор состоит из одного или нескольких блоков обработки информации (далее БОИ), к каждому БОИ подключен измерительный преобразователь (далее преобразователь), при необходимости работы от сети 220В переменного тока прибор снабжается блоком питания (далее БП).

1.3.3 БП осуществляет преобразование переменного напряжения питающей сети 220 В, 50 Гц в постоянное напряжение 5 В.

1.3.4 Магнитоиндукционные преобразователи серии МИ (далее МИ) представляет собой миниатюрный трансформатора с переменным коэффициентом взаимной индукции, зависящей от расстояния между МИ и ферромагнитным объектом контроля (далее ОК) и реализует контактный магнитоиндукционный метод измерения толщины покрытия. МИ снабжен энергонезависимой памятью для хранения его градуировочной характеристики, калибровочных коэффициентов и другой служебной информации.

1.3.5 Вихретоковый параметрический преобразователь серии ВП (далее ВП) представляет собой включенную в высокочастотный автоколебательный контур катушку индуктивности, индуктивность которой зависит от толщины ферромагнитного диэлектрического покрытия или расстояния до ферро- или ферромагнитного электропроводящего основания. В качестве информативного параметра используется частота колебаний автоколебательного контура. ВП снабжен энергонезависимой памятью для хранения его градуировочной характеристики, калибровочных коэффициентов и другой служебной информации.

1.3.6 БОИ осуществляет обработку первичной измерительной информации, получаемой от преобразователя, так же производит все необходимые преобразования и вычисления, формирует результаты измерений, исполняет команды ведущего промышленного контроллера/персонального компьютера (далее ПК).

1.3.7 К одному БОИ подключается один преобразователь, образуя таким образом один независимый канал измерения. К одной шине передачи данных можно подключить до 250 БОИ, таким образом организовать многоканальный прибор, состоящий из независимых параллельных измерительных каналов.

1.3.8 На верхней панели БОИ расположен разъем для подключения преобразователя, на лицевой панели расположен дисплей для вывода служебной информации, разъем USB Type C и служебный разъем IEEE1394.

1.3.9 У головного/концевого БОИ на нижней панели расположен разъем D-SUB 9 pin для подключения кабеля связи с ПК по интерфейсу RS485 4W.

1.3.10 Каждому БОИ присваивается уникальный сетевой адрес, обеспечивающий однозначную идентификацию получаемых результатов измерений.

1.3.11 Каждый БОИ может быть подключен к ПК индивидуально, с использованием интерфейса USB, питание БОИ в этом случае может так же осуществляться от USB.

#### ***1.4 Размещение и подключение прибора***

1.4.1 БП и БОИ рекомендуется размещать в металлическом электротехническом шкафу или щите с достаточными для этого размерами. Не допускается размещение прибора вблизи электрических устройств, генерирующих электрические помехи (драйверы шаговых двигателей, импульсные и частотные преобразователи и т.п.) т.к это может приводить к появлению дополнительных случайных погрешностей при измерениях. Элементы шкафа/щита (корпус, дверь) должны быть подключены к шине защитного заземления.

1.4.2 БП и БОИ устанавливаются на DIN рейку шириной 35 мм. В DIN рейку необходимо предварительно установить необходимое количество соединенных в ряд шинных соединителей (один шинный соединитель на один БП или БОИ). DIN рейка должна быть подключена к шине защитного заземления. При использовании одного БОИ без БП шинные соединители допускается не устанавливать.

1.4.3 Головной/концевой БОИ и БП должны находиться в крайних положениях друг относительно друга (см. рисунок 1.2), в противном случае может нарушаться устойчивость связи прибора с ПК.

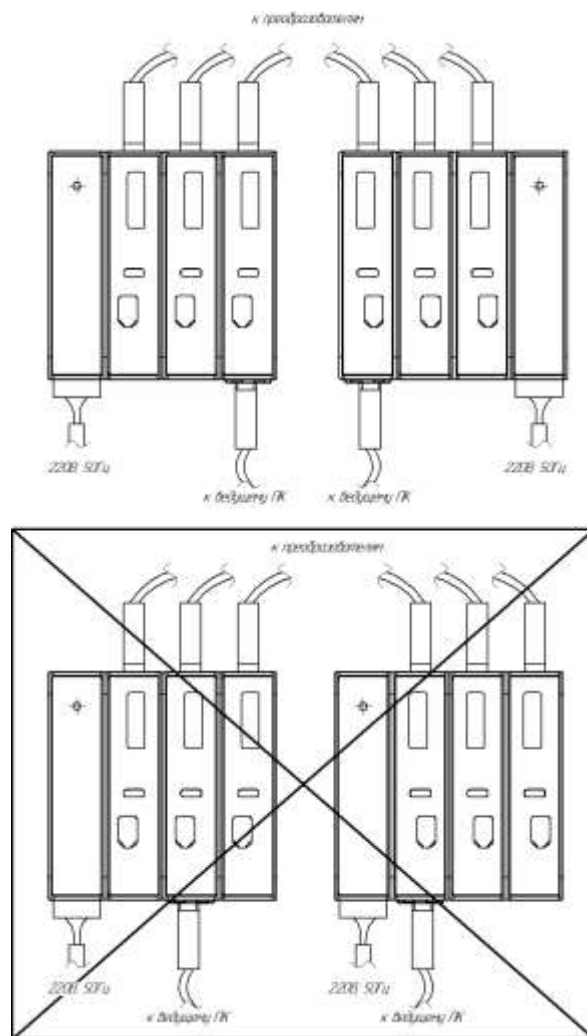


Рисунок 1.2 – Правильное и неправильное относительное расположение БП и головного/концевого БОИ

1.4.4 Преобразователь устанавливают в устройство, обеспечивающего перемещение, позиционирование и установку преобразователя на поверхность ОК.

1.4.5 Для обеспечения повторяемости результатов измерений и исключения случайных составляющих погрешностей предъявляются требования к установке и позиционированию преобразователя относительно ОК:

- преобразователь должен устанавливаться на ОК по нормали к его поверхности, отклонение от нормали не должно превышать  $1^\circ$ ;

- усилие прижима преобразователя к поверхности ОК должно находиться в диапазоне 0,8-1,5 Н (80-150 гр.) недостаточное усилие не будет обеспечивать повторяемость результатов, чрезмерное усилие может повредить преобразователь или поверхность ОК;

- вокруг МИ преобразователя на расстоянии  $3x - 5x$  диапазонов измерения не должно быть непостоянных ферромагнитных объектов, вокруг ВП на расстоянии  $3x - 5x$  диапазонов измерения не должно быть не постоянных ферромагнитных и электропроводящих объектов. Под непостоянством подразумеваются окружающие преобразователь элементы, которые изменяют свое пространственное положение относительно преобразователя.

Требования к установке и позиционированию преобразователя относительно ОК представлены на рисунке 1.3.

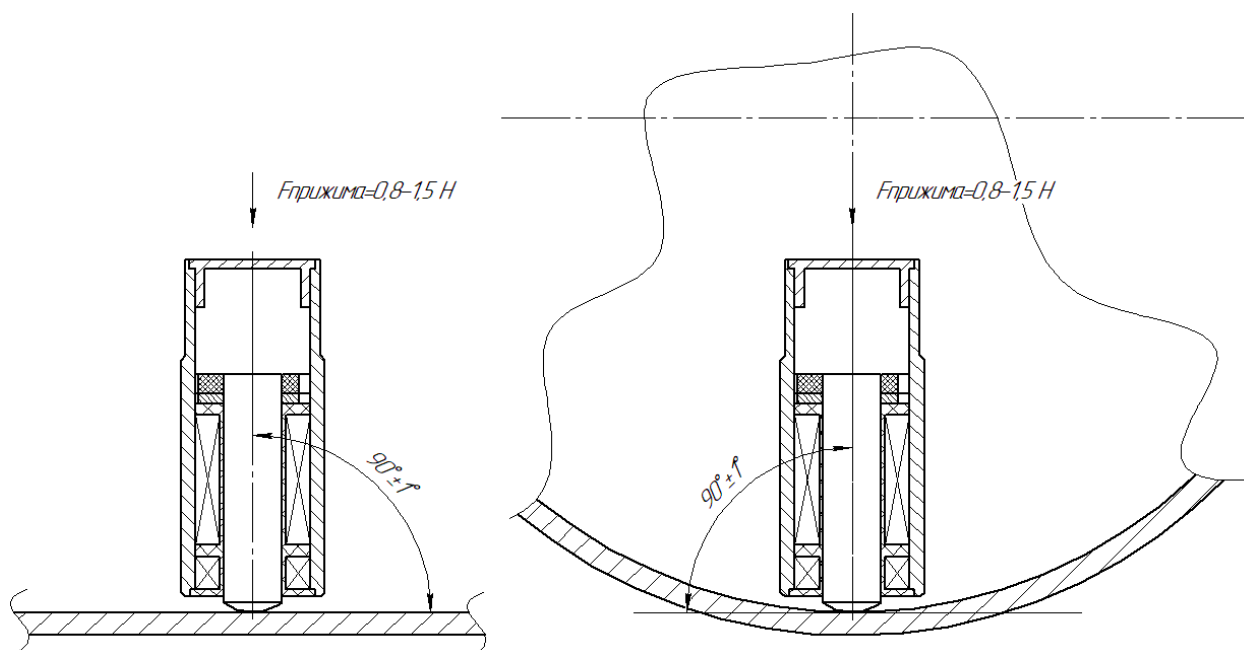


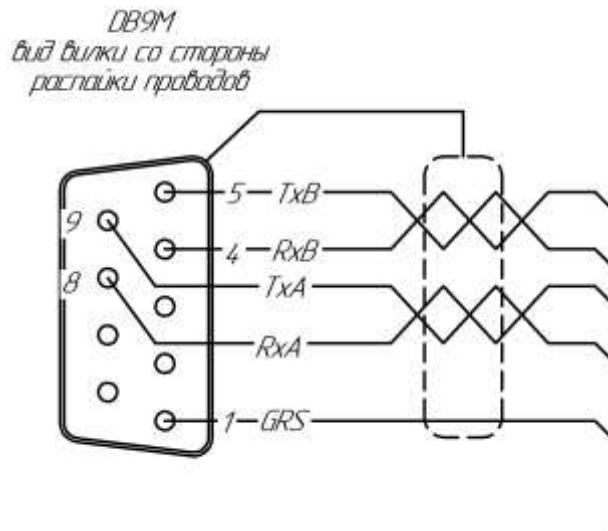
Рисунок 1.3 Требования к установке и позиционированию преобразователя относительно ОК

1.4.6 Соединительные кабели при прокладке должны быть защищены от механических повреждений, перегибов, переломов. Места вводов кабелей должны быть снабжены кабельными протекторами. Особое внимание при прокладке и фиксации кабелей следует обратить в местах соединения кабелей и разъемов, местах выхода кабелей из преобразователей, местах, где кабель имеет подвижность. Для уменьшения электромагнитных помех, наводимых на линию связи между преобразователем и БОИ, по возможности исключить параллельную прокладку кабеля преобразователя с силовыми кабелями, а также исключить прокладку кабеля преобразователя в непосредственной близости от источников электромагнитных помех (импульсные преобразователи, трансформаторы, ШИМ регуляторы, шаговые двигатели и т.д.).

1.4.7 К БП через разъем с пружинными контактами с соблюдением полярности подключается питание переменного тока с напряжением  $(220 \pm 22)$  В частотой  $(50 \pm 0,5)$  Гц, мощностью не менее 200 Вт. На разъем нанесена маркировка полярности питающего напряжения (L – фаза, N – нейтраль). Рекомендуется использовать гибкий кабель типа ШВВП, ПВС и аналоги с сечением жилы не менее  $0,5 \text{ мм}^2$ .

1.4.8 К головному/концевому БОИ подключается кабель информационный, обеспечивающий связь между прибором и ПК. Подключенный разъем фиксировать резьбовыми шпильками.

В случае самостоятельной сборки информационного кабеля рекомендуется использовать кабель типа многопроволочная экранированная витая пара, сечением жилы не менее  $0,25 \text{ мм}^2$ . Тип разъема: вилка D-SUB 9 контактов, 2-х рядный. Схема разъема приведена на рисунке 1.4.



GRS – общий провод

Рисунок 1.4 Схема распайки вилки информационного кабеля.

1.4.9 Подключение преобразователя к БОИ осуществляется цилиндрическим разъемом с механической фиксацией вилки в розетке типа Push-Pull. Для подключения необходимо совместить красную метку на корпусе вилки преобразователя с красной меткой на розетке БОИ и вставить вилку в розетку до упора, при этом раздастся характерный щелчок. Для того, чтобы отсоединить преобразователь, необходимо вынуть (потянуть) вилку из розетки, удерживая ее за внешний подвижный корпус с ребристой поверхностью (рисунок 1.5). При правильных действиях отсоединение преобразователя происходит при незначительном усилии.



Рисунок 1.5 Отсоединение преобразователя от БОИ

**ЗАПРЕЩЕНО** дергать или пытаться вытащить вилку из розетки за кабель, проворачивать вилку вокруг своей оси и пытаться выкрутить ее.

1.4.10 Помещение, где располагается БИ должно быть оборудовано электропитанием от сети переменного напряжения ( $220 \pm 22$ ) В частотой ( $50 \pm 0,5$ ) Гц, мощностью не менее 1 кВт, освещением общего назначения, шинами заземления, системой отопления и кондиционирования для обеспечения требуемых условий эксплуатации прибора.

1.4.11 В помещении не должно быть тряски, вибрации, не допускается хранение и применение летучих кислот, щелочей и других агрессивных или взрывоопасных веществ.



## **2 Использование по назначению**

### ***2.1 Указание мер безопасности***

2.1.1 Питание прибора осуществляется от сети переменного тока с номинальным напряжением 220 В, частотой 50 Гц или от линий питания интерфейса USB с номинальным напряжением 5 В постоянного тока.

2.1.2 К работе с прибором допускаются лица, имеющие квалификационную группу не ниже II в соответствии с правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, указанными в приложении к приказу Министерства труда и социальной защиты РФ № 903н от 15.12.20.

2.1.3 Прибор должен быть подключен к шине защитного заземления.

2.1.4 К работе с прибором допускается персонал, изучивший руководство по эксплуатации, освоивший основные приемы работы с прибором, прошедший инструктаж по технике безопасности.

2.1.5 Монтажные работы, осмотр и техническое обслуживание составных частей прибора (за исключением проверки их функционирования) производятся только при выключенном питании.

2.1.6 Для обеспечения безотказной работы следует соблюдать следующие правила:

- не разбирать составные части прибора;
- предохранять составные части прибора от ударов и попадания на них влаги при эксплуатации;
- не работать с составными частями прибора, если они загрязнены;
- проводить виды технического обслуживания, предусмотренные эксплуатационной документацией.

### **ЗАПРЕЩАЕТСЯ:**

- производить подчистку контактов разъемов изделий абразивными материалами и инструментом;
- эксплуатировать прибор при обнаружении в нем неисправности;
- вскрывать во время работы прибор его составные части и отключать соединительные кабели.

### ***2.2 Подготовка к работе и первое включение***

2.2.1 После монтажа прибора перед первым включением убедится в правильности выполненного подключения.

2.2.2 Включение прибора осуществляется подачей напряжения питания на БП или подключение БОИ к ПК с использованием интерфейса USB. После подключения напряжения питания встроенное в БОИ программное обеспечение (далее встроенное ПО) выполняет диагностику и в случае успешного прохождения всех тестов выводит на дисплей БОИ версию встроенного ПО и сетевой адрес БОИ (рисунок 2.1). Время готовности БОИ после включения питания не более 30 сек.

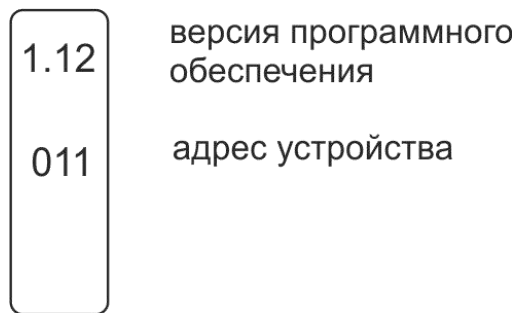


Рисунок 2.1. Информация, отображаемая на дисплее БОИ

2.2.3 Сетевой адрес БОИ устанавливается на заводе изготовителе по умолчанию, и при необходимости может быть изменен посредством служебной утилиты при индивидуальном подключении БОИ к ПК с использованием интерфейса USB.

**ВНИМАНИЕ!** Значение адреса должно находиться в диапазоне от 2 до 255. Адреса 0 и 1 зарезервированы.

### 2.3 Описание интерфейса и протокола обмена данными

2.3.1 Обмен данными между БОИ и ПК ведется по физическому интерфейсу RS-485 (4-проводный полудуплексный с выделенным проводом земли). Передача данных производится по последовательному асинхронному каналу с параметрами, приведенными в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Параметры канала связи

Параметр	Значение
Скорость обмена данными	921600 бит/с
Количество бит данных	8
Количество стоповых бит	1
Контроль четности	NO
Интервал между байтами одного пакета	Не более 1 мс

2.3.2 Схема подключения БОИ и ПК приведена на рисунке 2.2. К шине передачи данных подключается один ПК и один или несколько БОИ.

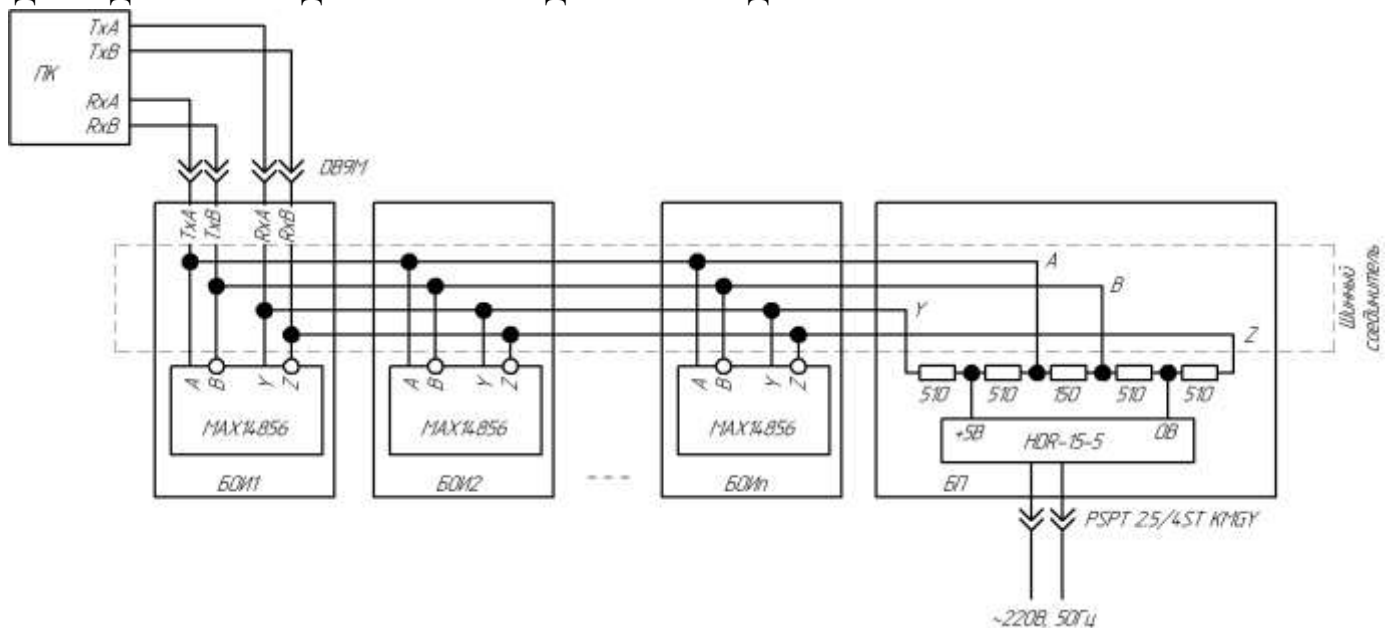


Рисунок 2.2 Схема подключения БОИ к ПК

2.3.3 Управление осуществляется передачей пакетов определённой структуры в полудуплексном режиме. На каждый запрос БОИ обязательно формирует ответ. Размер пакета зависит от конкретной команды. Размер ответного пакета так же зависит от конкретной команды. Организация обмена представлена на рисунке 2.3.

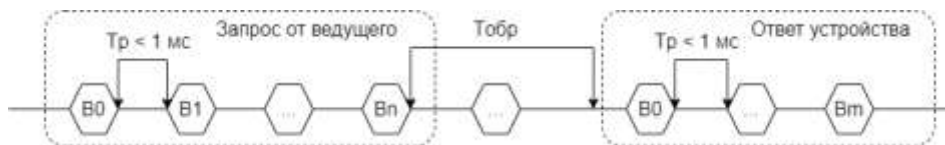


Рисунок 2.3 Организация обмена БОИ и ПК

2.3.4 Последовательность байт разделяется на пакеты по временной характеристике. Каждый следующий после первого байт относится к текущему пакету если он приходит не позже, чем через  $T_r = 1$  мс после предыдущего.

2.3.5 БОИ при получении пакета прекращает приём последующих байтов на время  $T_{обр}$  обработки пакета и время передачи ответа. Время формирования ответа составляет не более 5 мс. Для команд `ResetCalibration`, `SetZeroPoint`, `SetMeasurePoint` время формирования ответа составляет не более 65 мс

2.3.6 Общая структура пакета (см. рисунок 2.4):

- Пакет имеет минимальный размер в 5 байт.
- Первый байт всегда 0xF5.
- Второй байт содержит адрес ведомого устройства (2 – 255).
- Третий байт содержит номер команды.
- Байты с параметрами команды.
- Предпоследний и последний байты содержат контрольную сумму CRC16.

Предпоследний байт содержит младший байт CRC16. Последний байт содержит старший байт CRC16.

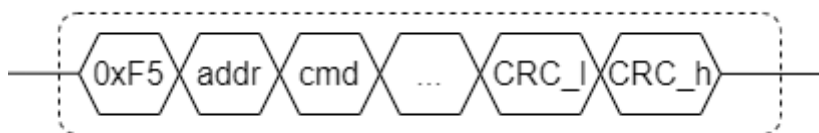


Рисунок 2.4 - Общая структура пакета

2.3.7 Адрес БОИ может быть установлен в диапазоне 2 – 255. Адреса 0 и 1 зарезервированы.

2.3.8 Контрольная сумма CRC16 вычисляется по полиному  $x^{16}+x^{12}+x^5+1$ :

```
uint16_t calcCRC16(uint8_t const* data, uint32_t size) {
    uint32_t s1, s2, s3;
    uint8_t crc_h = 0;
    uint8_t crc_l = 0;
    for (uint32_t i = 0; i < size; ++i) {
        s2 = data[i] ^ crc_h;
        s3 = s2 / 16;
        s2 = s2 ^ s3;
        s1 = s2 * 16;
```

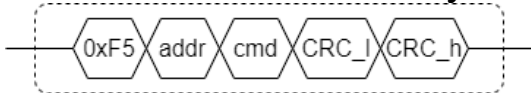
```

s1 = s1 ^ crc_l;
s3 = s2 / 8;
crc_h = s3 ^ s1;
s3 = s2 * 32;
crc_l = s3 ^ s2;
}
return (uint16_t)(crc_h << 8) + (uint16_t)crc_l;
}

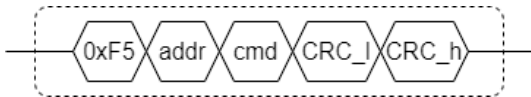
```

## 2.4. Команды управления

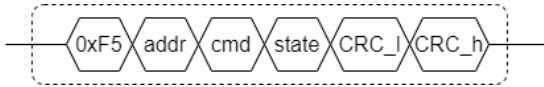
2.4.1 **Reset, cmd = 1.** Осуществляет программный перезапуск микроконтроллера после ответа на команду. Запрос 5 байт. Ответ 5 байт.



2.4.2 **GetStatus, cmd = 2.** Возвращает текущий статус устройства. Запрос 5 байт:



Ответ 6 байт:



```
enum class State : uint8_t
```

```

{
Init = 0,
Searching,
LoadingProbeMem,
Idle,
UpdatingAirCode,
Measuring
};

```

Содержание ответа:

Init – начальная инициализация устройства;

Searching – поиск преобразователя;

LoadingProbeMem – загрузка параметров из памяти преобразователя;

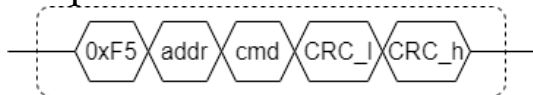
Idle – ожидание поступления команды на обновление кода воздуха или на запуск измерения;

UpdatingAirCode – обновление воздуха;

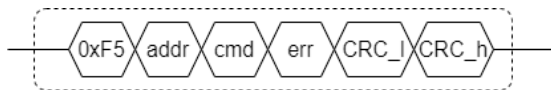
Measuring – измерение.

2.4.3 **UpdateAirCode, cmd=23.** Запускает процедуру калибровки преобразователя на воздухе. Время выполнения команды не более 1 сек. Во время выполнения данной команды преобразователь должен находиться на расстоянии от ОК не менее 3х - 5х диапазонов измерения.

Запрос 5 байт:



Ответ 6 байт:



```
enum class Error : uint8_t
```

```
{
None = 0,
UnknownCommand = 1,
Internal = 2,
BadParams = 3,
Busy = 4,
Unstable = 5,
NoMeasurement = 6,
};
```

Возвращает код ошибки:

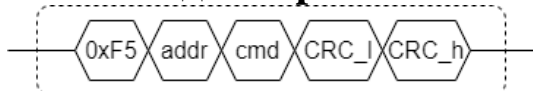
None – ошибок нет;

Internal – внутренняя ошибка работы с периферией;

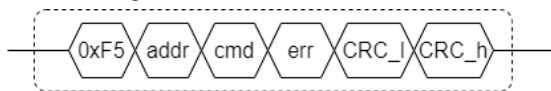
Busy – устройство занято другой командой (обновление кода воздуха или проведение измерения).

Обновление кода воздуха успешно запущено если код ошибки = None.

**2.4.4 CheckAirCode, cmd = 25.** Проверка завершения процедуры калибровки преобразователя на воздухе. Проверку успешного выполнения калибровки преобразователя на воздухе необходимо выполнять не ранее чем через 1 сек после подачи команды «**UpdateAirCode, cmd=23**». Запрос 5 байт:



Ответ 6 байт:



Возвращает код ошибки:

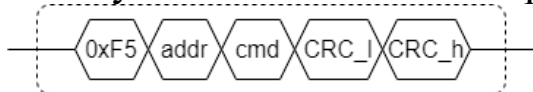
None – ошибок нет;

Internal – внутренняя ошибка работы с периферией;

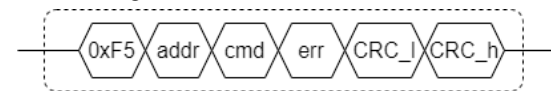
Busy – устройство в процессе обновление кода воздуха.

Обновление кода воздуха успешно завершено если код ошибки = None.

**2.4.5 StartMeasurement, cmd = 27.** Запуск измерения. Преобразователь должен быть установлен на ОК. Запрос 5 байт:



Ответ 6 байт:



Возвращает код ошибки:

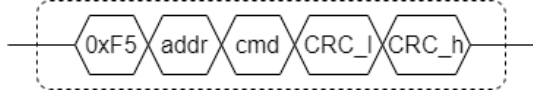
None – ошибок нет;

Internal – внутренняя ошибка работы с периферией;

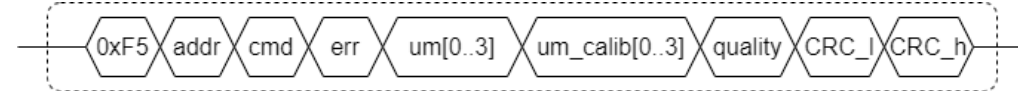
Busy – устройство занято другой командой (обновление кода воздуха или проведение измерения).

Запуск измерения успешно начат если код ошибки = None.

**2.4.6 GetMeasurementResult, cmd=29.** Возвращает результат измерения с последнего успешного запуска измерения. Запрос 5 байт:



Ответ 15 байт:



Возвращает код ошибки:

None – ошибок нет;

Internal – внутренняя ошибка работы с периферией;

Busy – устройство ещё производит измерение;

Unstable – измерение произведено, результат не стабилен;

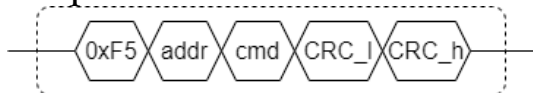
Байт quality – содержит оценку качества измерения от 0 до 100%.

um[0..3] – четыре байта содержат значение измеренной толщины в мкм БЕЗ применённой калибровки, тип float, младший байт передаётся первым (little endian);

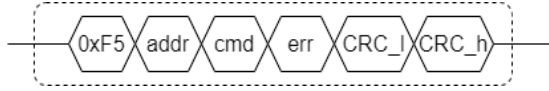
um\_calib[0..3] – четыре байта содержат значение измеренной толщины в мкм с применённой калибровкой, тип float, младший байт передаётся первым (little endian).

**2.4.7 ResetCalibration, cmd=35.** Производит сброс текущей калибровки преобразователя.

Запрос 5 байт:



Ответ 6 байт:



Возвращает код ошибки:

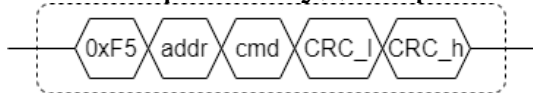
None – ошибок нет;

Internal – внутренняя ошибка работы с периферией;

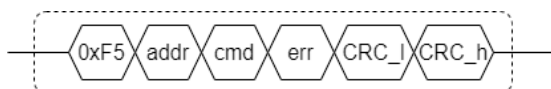
Busy – устройство занято другой командой (обновление кода воздуха или проведение измерения).

Калибровка успешно сброшена если код ошибки = None.

**2.4.8 SetZeroPoint, cmd=31.** Калибровка в точке 0. Последний валидный результат измерения будет принят за 0 мкм. Запрос 5 байт:



Ответ 6 байт:



Возвращает код ошибки:

None – ошибок нет;

Internal – внутренняя ошибка работы с периферией;

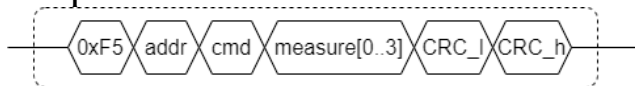
Busy – устройство занято другой командой (обновление кода воздуха или проведение измерения);

NoMeasurement – последнее проведённое измерение не корректно или с момента запуска не было произведено измерений.

Одноточечная калибровка успешно выполнена и сохранена в память преобразователя если код ошибки = None.

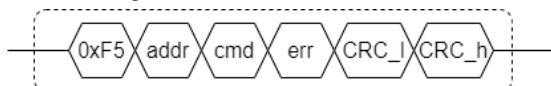
**2.4.9 SetMeasurePoint, cmd=33.** Калибровка на известной толщине покрытия (калибровка второй точки). Производится только после выполнения калибровки в точке 0.

Запрос 9 байт:



measure[0..3] – четыре байта содержат значение толщины в мкм для второй точки калибровки, тип float, младший байт передаётся первым (little endian).

Ответ 6 байт:



Возвращает код ошибки:

None – ошибок нет;

Internal – внутренняя ошибка работы с периферией;

Busy – устройство занято другой командой (обновление кода воздуха или проведение измерения);

NoMeasurement – последнее проведённое измерение не корректно или с момента запуска не было произведено измерений.

Двухточечная калибровка успешно выполнена и сохранена в память преобразователя если код ошибки = None.

## 2.5 Выполнение единичных измерений

2.5.1 БОИ выполняет команды ПК, поэтому корректная работоспособность всего комплекса обеспечивается корректностью последовательности действий и команд ПК.

2.5.2 Для проведения измерения толщины покрытия необходимо выполнить следующую последовательность действий и команд:

2.5.2.1 Обеспечить нахождение преобразователя на расстоянии не менее 3x - 5 x диапазонов измерения от ОК.

2.5.2.2 Выполнить калибровку на воздухе, для чего последовательно каждому БОИ подать команду «**UpdateAirCode, cmd=23**». Не ранее чем через 1 секунду убедиться в успешном выполнении калибровки на воздухе, для чего

последовательно каждому БОИ подать команду «**CheckAirCode, cmd = 25**» и получить ответ «None».

**ВАЖНО!** Команда «**UpdateAirCode, cmd=23**» запускает процедуру автоматической калибровки преобразователя на «воздухе» - при отсутствии взаимодействия преобразователя с ОК и другими объектами. Автоматическая калибровка на воздухе позволяет компенсировать временной и температурный дрейф параметров преобразователя и БОИ и уменьшить погрешность измерений. Выполнять автоматическую калибровку на воздухе необходимо каждый раз перед началом проведения серии измерений.

**ВАЖНО!** Команда «**UpdateAirCode, cmd=23**» должна подаваться только тогда, когда преобразователя не взаимодействует с ОК другими объектами (расстояние между преобразователем и ОК не менее 3х - 5х диапазонов измерения). При невыполнении данного условия автоматическая калибровка будет выполнена не корректно, а погрешность измерений может существенно увеличиться.

2.5.2.3 Установить преобразователь на поверхность ОК в требуемой точке, дождаться стабилизации положения преобразователя относительно ОК.

2.5.2.4 Выполнить измерение, для чего последовательно каждому БОИ подать команду «**StartMeasurement, cmd = 27**». Обеспечить паузу для выполнения измерения (время измерения не превышает 500 мс). Последовательно от каждого БОИ запросить результат измерения, для чего подать команду «**GetMeasurementResult, cmd=29**».

Ответ содержит:

- результат измерения без применения параметров пользовательской калибровки (без аддитивной и мультипликативной поправки результата измерения);

- результат измерения с учетом аддитивной и мультипликативной поправки, которую пользователь вводит при выполнении одноточечной или двухточечной калибровки;

- критерий качества результата измерения, изменяющийся в диапазоне от 0 до 100%, являющийся косвенной оценкой стабильности результата измерения. Чем выше критерий качества, тем меньше случайная составляющая погрешности содержится в результате. Если критерий качества ниже 30% рекомендуется выполнить повторное, контрольное измерение в этой точке без перемещения преобразователя относительно ОК.

2.5.2.5 Отвести преобразователь от ОК и переместить в следующую точку контроля.

2.5.2.6 Выполняя п. 2.5.2.3-2.5.2.5 выполнить измерения толщины покрытия согласно карте контроля в требуемых точках.

## **2.6 Выполнение калибровки**

2.6.1 Для исключения систематической погрешности измерений, возникающей вследствие вариации свойств ОК и условий проведения



измерений, при измерении толщины покрытий необходимо выполнить калибровку БОИ с подключенным преобразователем. При выполнении процедуры калибровки рассчитываются поправочные коэффициенты, которые в дальнейшем автоматически применяются к результату измерения, таким образом позволяют исключить/уменьшить аддитивную (постоянную) и мультипликативную (переменную, зависящую от результата измерения) составляющие систематической погрешности.

2.6.2 Калибровка, в общем случае, предполагает установку нуля и верхнего предела измерения. Установка нуля позволяет исключить/уменьшить аддитивную составляющую систематической погрешности, установка верхнего предела измерения позволяет исключить/уменьшить мультипликативную составляющую систематической погрешности.

2.6.3 Калибровку выполняют с использованием комплекта мер толщины покрытий МТ на подготовленном образце детали или конструкции без покрытия, аналогичном или близком по геометрическим и электрофизическим свойствам, а также виду механической обработки контролируемым деталям или конструкциям, или контрольном образце (далее образец) с участком без покрытия и с участком с покрытием известной толщины.

**ВНИМАНИЕ!** Если калибровка преобразователей выполнялась на образцовых основаниях из комплекта поставки прибора, то в некоторых случаях в результатах измерений толщины покрытий на деталях или конструкциях может присутствовать не исключённая систематическая погрешность.

2.6.4 Для выполнения калибровки необходимо выполнить следующую последовательность действий и команд:

2.6.4.1 Сбросить параметры текущей калибровки, для чего последовательно каждому БОИ подать команду «**ResetCalibration, cmd=35**».

2.6.4.2 Выполнить калибровку на воздухе п. 2.5.2.1, 2.5.2.2.

2.6.4.3 Выполнить установку нуля, для чего:

- установить преобразователь на образец без покрытия;
- выполнить измерение п. 2.5.2.3, 2.5.2.4;
- последовательно каждому БОИ подать команду «**SetZeroPoint, cmd=31**»;
- после выполнения описанной выше процедуры провести несколько контрольных измерений МТ в требуемом диапазоне контролируемых толщин на образце.

В случае, если абсолютная погрешность измерения МТ не превышает допустимого значения, следует приступить к измерениям, в противном случае продолжить калибровку.

2.6.4.4 Выполнить калибровку точки в предполагаемом диапазоне измерения, для чего:

- на образце, покрытой мерой толщины  $h_{\max}$ , произвести измерение п. 2.5.2.3, 2.5.2.4 ( $h_{\max}$ - мера толщины из прилагаемого комплекта МТ, соответствующая верхней точки предполагаемого диапазона контролируемых толщин, например,  $h_{\max} \approx 100$  мкм, если толщина контролируемого покрытия

должна находиться в диапазоне от 50 до 100 мкм). При необходимости допускается составлять блок из двух мер;

- последовательно каждому БОИ подают команду «**SetMeasurePoint, cmd=33**», в качестве параметра «measure» передается действительное значение толщины МТ;

- после выполнения описанной выше процедуры провести несколько контрольных измерений МТ в требуемом диапазоне контролируемых толщин на образце. В случае, если абсолютная погрешность измерения МТ не превышает допустимого значения, следует приступить к измерениям, в противном случае повторить процедуру калибровки.

2.6.4.5 Калибровку рекомендуется выполнять в начале смены, после длительного (более одного часа) простоя.

2.6.4.6 В случаях возникновения сомнений в получаемых результатах измерений, рекомендуется выполнять контрольные измерения на образец и комплекта МТ. В случаях превышения предельно допустимой погрешности измерений необходимо выполнить калибровку прибора.



