

Система команд датчика «ПАСКАЛЬ-Д»

**2014**

**Оглавление**

[Общее описание 3](#_Toc394062810)

[Протокол MODBUS 3](#_Toc394062811)

[Адресация MODBUS 3](#_Toc394062812)

[Серийный номер датчика 3](#_Toc394062813)

[Регистры хранения датчика 4](#_Toc394062814)

[Поиск по серийному номеру 9](#_Toc394062815)

[Вспомогательные регистры хранения 10](#_Toc394062816)

## Общее описание

Датчики «ПАСКАЛЬ-Д» подключаются в единую физическую информационную линию, организованную в виде стандартного интерфейса RS-485. Одновременно в линии могут работать до 247 датчиков. Параметры обмена по линии соответствуют следующим значениям: 19200,8,1,нет.

В качестве логического протокола обмена используется стандартный протокол MODBUS.

## Протокол MODBUS

Датчики работают в стандартном протоколе MODBUS RTU и полностью соответствуют соглашениям стандарта. Для чтения данных из датчика и установки новых параметров используется логическая область протокола «Регистры хранения» (Holding Registers). Для чтения регистров хранения используется команда (функция) 3. Допускается чтение сразу группы регистров. Для записи в регистр хранения применяется команда (функция) 6.

Формат пакетов, контрольные суммы полностью соответствуют стандарту MODBUS RTU. Для реализации функций быстрого поиска и поиска по серийному номеру датчики используют зарезервированные стандартом сетевые адреса 248, 253 и 255.

Отдельные сообщения в линии RS-485 разделяются по паузе. Сообщение должно начинаться и заканчиваться интервалом тишины, длительностью не менее 3,5 символов при данной скорости передачи. Во время передачи сообщения не должно быть пауз длительностью более 1,5 символов. Проверка целостности сообщения осуществляется с помощью двухбайтовой CRC.

## Адресация MODBUS

Каждый датчик имеет собственный назначаемый сетевой адрес в диапазоне 1..247 в соответствии со стандартом. Данный адрес может быть прочитан и изменён обращением к регистру хранения номер 0. Собственный сетевой адрес сохраняется в энергонезависимой памяти.

Кроме собственного сетевого адреса датчик принимает и обрабатывает и отвечает на сообщения, посылаемые на адрес 0, что позволяет обращаться к датчику, только если он – единственное устройство в линии RS-485.

Дополнительно датчик использует сетевой адрес 248 для быстрого поиска вновь подключённых датчиков. Сразу после подачи питания датчик полноценно отвечает не только на собственный сетевой адрес в диапазоне 1..247, но и на адрес 248. Это позволяет мастер - устройству MODBUS одновременно с опросом текущих датчиков по установленным сетевым адресам проводить быстрый поиск новых, выполняя текущий опрос по сетевому адресу 248. В случае обнаружения датчика на адресе 248 мастер сразу выполняет процедуру поиска всех датчиков по серийному номеру (см. соответствующий раздел далее). После записи в регистр хранения номер 0 датчика сетевого адреса датчик перестаёт отвечать на адрес 248, т.к. он занесён мастер – устройством в список текущего опроса найденных датчиков.

Ещё одним расширением стандартной адресации является сетевой адрес 253, используемый для быстрого поиска датчиков по серийным номерам.

Дополнительно у датчика имеется широковещательный сетевой адрес 255. Приняв сообщение на адрес 255, датчик обрабатывает и выполняет его, но не посылает ответ. Поэтому сетевой адрес 255 применяется только для групповой записи параметров во все датчики одновременно.

Краткое описание адресации к датчикам «Паскаль-Д» приведено в таблице ниже.

*Таблица – Сетевые адреса MODBUS*

|  |  |
| --- | --- |
| **Сетевые адреса** | **Использование** |
| 0 | Любой датчик полноценно отвечает на обращение на этот адрес как на собственный сетевой адрес. Используется только для одного датчика в линии |
| 1..247 | Собственный сетевой адрес. Датчик формирует ответ на запрос в диапазоне адресов 1..247, только если адрес в MODBUS пакете совпадает с его собственным |
| 248 | Дополнительный адрес быстрого поиска. Датчик отвечает на это адрес сразу после подачи питания до момента записи в регистр хранения 0 – указание собственного сетевого адреса |
| 249..252 | Зарезервированы. Не используются |
| 253 | Адрес условного ответа. Датчик отвечает только в случае, если маска серийного номера совпадает с серийным номером датчика |
| 254 | Зарезервирован. Не используется |
| 255 | Групповой адрес. Пакеты, посылаемые на этот адрес принимаются и обрабатываются всеми датчиками, но ответ не формируется |

## Серийный номер датчика

Каждый датчик имеет уникальный серийный номер, хранящийся в регистрах 1 и 2. Номер точно соответствует номеру, указанному на шильдике датчика, что позволяет однозначно идентифицировать обнаруженные датчики. В программном обеспечении верхнего уровня следует использовать только уникальные серийные номера датчиков. Собственные сетевые адреса MODBUS в шине RS-485 должны использоваться только мастер – устройством. Серийный номер представляет собой 32 битовое число, где десятичный номер записан и хранится в двоично-десятичном коде. Например, серийный номер датчик №12345678 будет записан в регистрах хранения 1 и 2 следующим образом:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Регистр хранения номер 2 | | | | Регистр хранения номер 1 | | | |
| 0x12 | | 0x34 | | 0x56 | | 0x78 | |
| 0001 | 0010 | 0011 | 0100 | 0101 | 0110 | 0111 | 1000 |

## Регистры хранения датчика

Основные регистры хранения датчика приведены в таблице ниже.

*Таблица 1 - Перечень основных регистров хранения датчика ПАСКАЛЬ-Д*

| **№ регистра** | **Наименование** | **Чтение** | **Запись** |
| --- | --- | --- | --- |
| **0** | Регистр сетевого адреса | Младший байт регистра содержит сетевой адрес датчика. Старший байт содержит то же значение сетевого адреса или значение 248 (дополнительный стартовый сетевой адрес) | Запись в регистр устанавливает значение сетевого адреса 1..247. Остальные значения недопустимы. После записи в регистр из старшего и младшего байта читается сетевой адрес |
| **1** | Регистр серийного номера младший | Младшее слово серийного номера датчика в двоично-десятичном коде | Запись в регистр не изменяет значение серийного номера |
| **2** | Регистр серийного номера старший | Старшее слово серийного номера датчика в двоично-десятичном коде | Запись в регистр не изменяет значение серийного номера |
| **3** | Температура датчика DS18B20 | Значение температуры передаётся в виде целочисленного знакового числа, где температура представлена значением в единицах по 1/16 градуса Цельсия. Кроме этого в значении может передаваться ошибка в работе датчика. Для анализа ошибок следует рассматривать регистр как беззнаковое число, где зарезервированы следующие значения:  **0x8000** - Ещё не прочитан  **0x9000** - Датчик закорочен  **0xA000** - Нет датчика  **0xB000** - Ошибка CRC  **0xC000** - Ошибка 85 градусов  **0xD000** – Плата неисправна | При выполнении записи любого значения в этот регистр выполняется внеочередное чтение значения температуры с датчика |
| **4** | Давление с датчика MS5540C | Значение давления передаётся в виде целочисленного беззнакового числа, где давление в единицах по 1/10 миллибар. Для передачи ошибок в работе датчика зарезервированы следующие значения:  **0xFFFF** – Ещё не прочитан  **0xFFFE** – Датчик отключён  **0xFFFD -** Нет микросхемы датчика  **0xFFFC** - Датчик закорочен на ноль  **0xFFFB** - Ошибка в интерфейсе с микросхемой  **0xFFFA** - Ошибка в работе микросхемы  **0xFFF9** – Нет сигнала частоты 32 кГц на микросхеме  **0xFFF8** – Плата неисправна | При выполнении записи любого значения в этот регистр выполняется внеочередное чтение значения давления и температуры с датчика MS5540C |
| **5** | Температура датчика MS5540C | Значение температуры передаётся в виде целочисленного знакового числа, где температура представлена значением в единицах по 1/10 градуса Цельсия. Кроме этого в значении может передаваться ошибка в работе датчика. Для анализа ошибок следует рассматривать регистр как беззнаковое число, где зарезервировано следующее значение:  **0x8000** – Нет значения  Более подробно ошибка в работе с микросхемой MS5540C передаётся в регистре хранения Reg[4] «Давление с датчика MS5540C» | При выполнении записи любого значения в этот регистр выполняется внеочередное чтение значения давления и температуры с датчика MS5540C |
| **6** | Влажность с датчика CC2D23S | Значение влажности передаётся в виде 14-ти разрядного беззнакового целого числа. Для получения показаний влажности в процентах следует использовать следующую формулу:  Влажность=(Reg[6]/16384)\*100  Кроме этого в значении может передаваться ошибка в работе датчика. Для анализа ошибок следует рассматривать регистр как беззнаковое число, где зарезервированы следующие значения:  **0xFFFF** - Ещё не прочитан  **0xFFFE** – Датчик отключён  **0xFFFD** - Нет микросхемы датчика  **0xFFFC** - Датчик закорочен на ноль  **0xFFFB** - Ошибка в работе микросхемы - нет готовности преобразования  **0xFFFA** - Ошибка в работе микросхемы - нет подтверждения ACK | При выполнении записи любого значения в этот регистр выполняется внеочередное чтение значения влажности и температуры с датчика CC2D23S |
| **7** | Температура датчика CC2D23S | Значение температуры передаётся в виде 14-ти разрядного беззнакового числа. Для получения показаний температуры в градусах Цельсия следует использовать следующую формулу:  Темп=(Reg[7]/16384)\*165-40  Для анализа ошибок следует рассматривать регистр как беззнаковое число, где зарезервировано следующее значение:  **0x8000** – Нет значения  Более подробно ошибка в работе с микросхемой CC2D23S передаётся в регистре хранения Reg[6] «Влажность с датчика CC2D23S» | При выполнении записи любого значения в этот регистр выполняется внеочередное чтение значения влажности и температуры с датчика CC2D23S |
| **8** | Номер версии ПО | Номер версии программного обеспечения. Следует представлять номер версии в виде текста, где старший байт версии в десятичном представлении отделяется от младшего точкой. Например, значение 258 следует отображать «1.2» | Нет действий |
| **9** | Контрольная сумма ПО | Контрольная сумма программного обеспечения. Следует отображать в виде 4 шестнадцатеричных символов, например «F362» | Нет действий |
| **10** | Аппаратный идентификатор датчика | 1 – плата на основе микроконтроллера PIC18F14K22 | Нет действий |
| **11** | Напряжение линии +5 вольт | Показания АЦП измерения напряжения линии на делителе +5>>10к/4.7к<<GND | Нет действий |
| **12** | Напряжение питания +3.3 вольт | Показания АЦП измерения напряжения питания. Измерение встроенного источника напряжения +1.024 или +2.048 в относительно питания платы датчика +3.3 в.  Чтением регистра следует выполнять в следующей последовательности:   1. Записать в него значение 1 или 2 2. Выждать паузу 20 мс (+1.024) или 40 мс (+2.048) 3. Прочитать регистр 4. Записать в регистр значение 0 | Запись значения 1 включает внутренний источник опорного напряжения +1.024.  Запись значения 2 включает внутренний источник опорного напряжения +2.048.  Запись значения 0 выключает внутренний источник опорного напряжения  В случае постоянного включения источника опорного напряжения ток потребляемой платой датчика увеличивается на 50 мкА |
| **13** | Управление индикацией ошибок | Настройка индикации ошибок датчика на красном светодиоде.  Светодиод горит, если появляется разрешённая в данном регистре ошибка. Состояние разрешённых ошибок побитово:  Бит 0 – Датчик температуры DS18B20  Бит 1 – Датчик влажности CC2D23S  Бит 2 – Датчик давления MS5540C  Бит 3 - В течение 10 секунд плата датчика не опрашивается | Записывает побитовую настройку индикации ошибок |
| **14** | Регистр управления красным светодиодом | Нет действия | Запись в данный регистр числа приводит к миганию красного светодиода. Время мигания - записанное число в единицах секунд. Максимальное записываемое значение -255 секунд |
| **15..1023** |  | Зарезервировано | Зарезервировано |
| **1024** | Младший регистр маски поиска по серийному номеру | Содержит младшее слово маски серийного номера. При старте содержит «Младшее слово серийного номера датчика» (см. регистр 1)  В маске записывается серийный номер в двоично-десятичном коде, где в каждом полубайте используются числа 0x0..0x9. Значения 0xA..0xE не используются. Значение 0xF обозначает игнорирование данной цифры при сравнении с серийным номером.  Регистр используется при поиске по серийному номеру | Записывает младшее слово маски серийного номера |
| **1025** | Старший регистр маски поиска по серийному номеру | Содержит старшее слово маски серийного номера. При старте содержит «Старшее слово серийного номера датчика» (см. регистр 2).  В маске записывается серийный номер в двоично-десятичном коде, где в каждом полубайте используются числа 0x0..0x9. Значения 0xA..0xE не используются. Значение 0xF обозначает игнорирование данной цифры при сравнении с серийным номером.  Регистр используется при поиске по серийному номеру | Записывает старшее слово маски серийного номера |
| **1026** | Период обновления температуры DS18B20 | Слово содержит интервал обновления температуры в единицах по 50 мс. Допустимые значения 2..2400 (не более 2 минут) | Устанавливает интервал обновления температуры. Если значение не попадает в разрешённый диапазон, то устанавливается значение 40 (2 секунды) |
| **1027** | Период обновления давления и температуры из датчика MS5540C | Слово содержит интервал обновления давления и температуры в единицах по 50 мс. Допустимые значения 20..24000 (не более 20 минут).  Так же допустимым считается значение 0, которое приводит к отключению работы датчика давления MS5540C и появлению ошибки **0xFFFE (**Датчик отключён) | Устанавливает интервал обновления температуры. Если значение не попадает в разрешённый диапазон, то устанавливается значение 600 (30 секунд) |
| **1028** | Период обновления влажности и температуры с датчика CC2D23S | Слово содержит интервал обновления давления и температуры в единицах по 50 мс. Допустимые значения 20..24000 (не более 20 минут)  Так же допустимым считается значение 0, которое приводит к отключению работы датчика давления CC2D23S и и появлению ошибки **0xFFFE (**Датчик отключён) | Устанавливает интервал обновления температуры. Если значение не попадает в разрешённый диапазон, то устанавливается значение 600 (30 секунд) |

## Поиск по серийному номеру

Для автоматического определения всех датчиков в линии и назначения сетевых адресов используется поиск по серийным номерам. Данная процедура предполагает, что в линии может присутствовать произвольное число датчиков с одинаковыми сетевыми адресами, но обязательно с разными серийными номерами (гарантируется производителем датчиков).

Для поиска по серийному номеру используется зарезервированный сетевой адрес 253, на который датчик отвечает в случае, если установленная маска серийного номера совпадает с собственным серийным номером. Маска серийного номера хранится в регистрах 1024 и 1025 и представляет собой стандартное двоично-десятичное число, где может присутствовать дополнительные полубайты 0xF, обозначающие совпадение цифры серийного номера. Например, регистры серийного номера содержат следующие значения для серийного номера датчика №12345678: Reg[1]=0x5678 и Reg[2]=0x1234

Если регистры маски серийного номера содержат маску 0xFFFFFFF8 (Reg[1024]=0xFFF8 и Reg[1025]=0xFFFF), то датчик отвечает на любую команду сетевого адреса 253 как на команду собственного адреса, т.к. при сравнении серийного номера и маски цифры 1234567 считаются совпавшими из-за значения 0xF в маске, а последняя цифра серийного номера 8 совпадает с цифрой в маске.

Если регистры маски серийного номера содержат маску 0xF9345678 (Reg[1024]=0x5678 и Reg[1025]=0x F934), то датчик не отвечает на любую команду сетевого адреса 253, т.к. при сравнении серийного номера и маски все цифры совпали кроме второй слева – в серийном номере 2, а в маске 9.

Используя данную возможность избирательного ответа датчиков в зависимости от установленного значения маски серийного номера, рекомендуется следующая последовательность поиска мастер - устройством датчиков в линии по серийному номеру.

1. Завести в мастер - устройстве маску поиска, и присвоить ей значение 0xFFFFFFF0 (активный только первый младший разряд цифры серийного номера)
2. Записать по сетевому групповому адресу 255 текущее значение маски поиска без контроля ответа, т.к. на этот адрес датчики не отвечают
3. Прочитать по сетевому адресу 253 регистры хранения 1 и 2 (серийный номер датчика). Если получен правильный ответ (совпала контрольная сумма), то следует добавить данный серийный номер в список опроса, установить датчику нужный сетевой адрес (например, по порядку начиная с 1) и перейти к пункту 4. Если ответ не получен, то так же перейти к пункту 4. Если ответ есть, но контрольная сумма неправильная, то обнаружен конфликт серийного номера – следует запомнить текущую маску поиска и выполнить перебор следующего, более старшего разряда маски – пройти значения от 0 до 9 – например, рекурсивно запустить алгоритм поиска, где создана новая маска и в ней активны уже два разряда. При необходимости, в случае обнаружения конфликтов рекурсивно запускать поиск и для более старших разрядов маски. По окончании рекурсивно запущенного поиска восстановить старую маску и перейти к пункту 4.
4. Увеличить младший разряд маски поиска и если он не более 9, то перейти к пункту 2.
5. Поиск закончен. В списке опроса все подключённые датчики.

## Вспомогательные регистры хранения

В таблице ниже приведены вспомогательные регистры, используемые для настройки и диагностики датчика.

*Таблица 2 - Перечень вспомогательных регистров хранения датчика ПАСКАЛЬ-Д*

| **№**  **регистра** | **Наименование** | **Чтение** | **Запись** |
| --- | --- | --- | --- |
| **2048** | Код ошибки при работе с датчиком температуры DS18B20 | Код ошибки передаётся в значение температуры (регистр номер 3). Однако датчик устанавливает ошибку в значении температуры только после 8-ми последовательно возникших ошибках при обращении к датчику. В данном регистре ошибка появляется сразу в момент возникновения. Следует рассматривать регистр как беззнаковое целое число, где зарезервированы следующие значения:  **0x0000** – Нет ошибки  **0x8000** - Ещё не прочитан  **0x9000** - Датчик закорочен  **0xA000** - Нет датчика  **0xB000** - Ошибка CRC  **0xC000** - Ошибка 85 градусов  **0xD000** – Плата неисправна | Запись любого значения обнуляет регистр - сбрасывает текущую ошибку до появления новой |
| **2049** | Код ошибки при работе с датчиком давления MS5540C | Код ошибки передаётся в значение давления (регистр номер 4). Однако датчик устанавливает ошибку в значении давления только после 4-х последовательно возникших ошибках при обращении к датчику. В данном регистре ошибка появляется сразу в момент возникновения. Следует рассматривать регистр как беззнаковое целое число, где зарезервированы следующие значения:  **0x0000** – Нет ошибки  **0xFFFF** – Ещё не прочитан  **0xFFFE** – Датчик отключён  **0xFFFD -** Нет микросхемы датчика  **0xFFFC** - Датчик закорочен на ноль  **0xFFFB** - Ошибка в интерфейсе с микросхемой  **0xFFFA** - Ошибка в работе микросхемы  **0xFFF9** – Нет сигнала частоты 32 кГц на микросхеме  **0xFFF8** – Плата неисправна | Запись любого значения обнуляет регистр - сбрасывает текущую ошибку до появления новой |
| **2050** | Код ошибки при работе с датчиком влажности CC2D23S | Код ошибки передаётся в значение влажности (регистр номер 6). Однако датчик устанавливает ошибку в значении влажности только после 4-х последовательно возникших ошибках при обращении к датчику. В данном регистре ошибка появляется сразу в момент возникновения. Следует рассматривать регистр как беззнаковое число, где зарезервированы следующие значения:  **0xFFFF** - Ещё не прочитан  **0xFFFE** – Датчик отключён  **0xFFFD** - Нет микросхемы датчика  **0xFFFC** - Датчик закорочен на ноль  **0xFFFB** - Ошибка в работе микросхемы - нет готовности преобразования  **0xFFFA** - Ошибка в работе микросхемы - нет подтверждения ACK | Запись любого значения обнуляет регистр - сбрасывает текущую ошибку до появления новой |
| **2051** | Калибровочное слово CW1 датчика давления MS5540C | Калибровочное слово CW1 датчика давления MS5540C, записанное при производстве датчика | Нет действий |
| **2052** | Калибровочное слово CW2 датчика давления MS5540C | Калибровочное слово CW2 датчика давления MS5540C, записанное при производстве датчика | Нет действий |
| **2053** | Калибровочное слово CW3 датчика давления MS5540C | Калибровочное слово CW3 датчика давления MS5540C, записанное при производстве датчика | Нет действий |
| **2054** | Калибровочное слово CW4 датчика давления MS5540C | Калибровочное слово CW4 датчика давления MS5540C, записанное при производстве датчика | Нет действий |
| **2055** | Данные давления D1 из датчика давления MS5540C | «Сырые» необработанные данные давления из датчика давления MS5540C | Нет действий |
| **2056** | Данные температуры D2 из датчика давления MS5540C | «Сырые» необработанные данные показаний температуры из датчика давления MS5540C | Нет действий |
| **2057** | Данные 0 и 1 «scratchpad memory» из датчика DS18B20 | «Сырые» необработанные данные из массива «scratchpad memory». Байт номер 0 (младший полубайт) и байт номер 1 (старший полубайт) | Нет действий |
| **2058** | Данные 2 и 3 «scratchpad memory» из датчика DS18B20 | «Сырые» необработанные данные из массива «scratchpad memory». Байт номер 2 (младший полубайт) и байт номер 3 (старший полубайт) | Нет действий |
| **2059** | Данные 4 и 5 «scratchpad memory» из датчика DS18B20 | «Сырые» необработанные данные из массива «scratchpad memory». Байт номер 4 (младший полубайт) и байт номер 5 (старший полубайт) | Нет действий |
| **2060** | Данные 6 и 7 «scratchpad memory» из датчика DS18B20 | «Сырые» необработанные данные из массива «scratchpad memory». Байт номер 6 (младший полубайт) и байт номер 7 (старший полубайт) | Нет действий |
| **2061** | Данные 8 «scratchpad memory» из датчика DS18B20 | «Сырые» необработанные данные из массива «scratchpad memory». Байт номер 8 (младший полубайт) | Нет действий |

## Отключение датчика давления

В случае, если датчик давления MS5540C не установлен или неисправен, то можно отключить датчик. Для этого следует установить нулевой период обновления информации с датчика (Записать нулевое значение в регистр 1027 – «Период обновления давления и температуры из датчика MS5540C»). Записанное значение сохраняется в энергонезависимой памяти.

Если датчик отключён, то в значении, читаемом из регистра 4 («Давление с датчика MS5540C») будет присутствовать значение **0xFFFE (**Датчик отключён). В значении регистра 5 («Температура датчика MS5540C») так же будет выдаваться ошибка **0x8000** (Нет значения).

## Отключение датчика влажности

В случае, если датчик влажности CC2D23S не установлен или неисправен, то можно отключить датчик. Для этого следует установить нулевой период обновления информации с датчика (Записать нулевое значение в регистр 1028 – «Период обновления влажности и температуры с датчика CC2D23S»). Записанное значение сохраняется в энергонезависимой памяти.

Если датчик отключён, то в значении, читаемом из регистра 6 («Влажность с датчика CC2D23S») будет присутствовать значение **0xFFFE (**Датчик отключён). В значении регистра 7 («Температура датчика CC2D23S») так же будет выдаваться ошибка **0x8000** (Нет значения).