



ООО "НПП "Призма"

**LSten – оптический бесконтактный микрометр.  
Протокол обмена данными на основе Modbus RTU v1.1b.  
rev. В**

Екатеринбург  
2019

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Краткие сведения о протоколе Modbus.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Адресное пространство для хранения параметров датчика.....</b>	<b>4</b>
2.1. Формат выдаваемого результата.....	9
2.1.1. Для случаев, когда параметр «Тип объекта» равен 00, 01, 02, 03, 04, 05, 06 и 07.....	9
2.1.2. Для случаев измерения количества границ (параметр «Тип объекта» равен 08).....	9
<b>3. Используемые команды протокола.....</b>	<b>9</b>
3.1. Запрос с кодом 03h. Чтение нескольких регистров хранения (16-тиразрядных целочисленных переменных).....	10
3.2. Запрос с кодом 05h. Изменение одного регистра флага.....	11
3.3. Запрос с кодом 06h. Изменение одного регистра хранения (16-тиразрядных целочисленных переменных).....	12
3.4. Запрос с кодом 10h. Изменение нескольких регистров хранения (16-тиразрядных целочисленных переменных).....	13
<b>4. Контроль ошибок.....</b>	<b>14</b>
4.1. RTU-фрейм.....	14
4.2. Логические ошибки.....	14
<b>5. Алгоритм генерации контрольной суммы.....</b>	<b>15</b>
5.1. Описание алгоритма.....	15
5.2. Пример подпрограммы вычисления CRC на языке С.....	16
<b>6. Изменения в документе.....</b>	<b>16</b>

## 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОТОКОЛЕ MODBUS

Протокол Modbus обеспечивает связь двух и более устройств по общей линии связи. Этот протокол предполагает одно ведущее (запрашивающее) устройство в линии, которое может передавать команды одному или нескольким ведомым устройствам, обращаясь к ним по уникальному в линии адресу. Микрометры LSten работают всегда в подчинённом режиме, а ведущим устройством (мастером) выступает компьютер или другое устройство пользователя.

Ведомые устройства прослушивают линию связи. Мастер подаёт запрос в линию и переходит в состояние прослушивания линии связи. Ведомое устройство отвечает на запрос, пришедший в его адрес.

Датчики LSten используют протокол обмена Modbus RTU<sup>1</sup>.

Кадры запроса и ответа по протоколу Modbus имеют фиксированный формат и имеют следующие поля: поле адреса, поле функции, поле данных, поле контрольной суммы. В протоколе Modbus RTU сообщение начинается и заканчивается интервалом тишины, продолжительностью 3,5 символа. Первым байтом передаётся поле адреса.

Каждому подчинённому устройству присваивается адрес в пределах от 1 до 255 (хотя протокол Modbus RTU ограничивает это значение до 247). Адрес 0 используется для широковещательной передачи.

Поле функции содержит байт кода команды.

Поле данных в сообщении от главного к подчинённому может содержать адреса регистров, их количество, счетчик передаваемых байтов данных. Поле данных может отсутствовать в определенных типах сообщений.

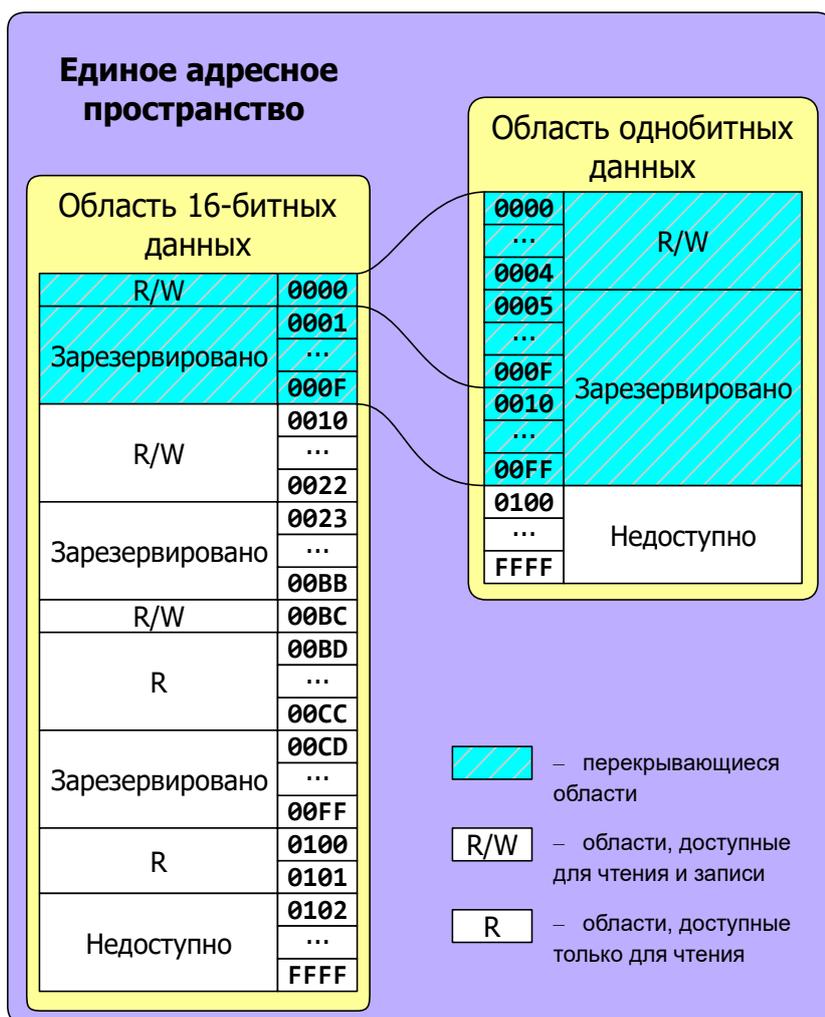
Поле контрольной суммы (CRC) состоит из двух байтов. Контрольная сумма вычисляется передающим устройством и добавляется в конец сообщения, младшим байтом вперёд. Принимающее устройство также вычисляет контрольную сумму в процессе приема и сравнивает ее с полем CRC принятого сообщения. Если суммы не совпали, то имеет место ошибка. Алгоритм генерации CRC приведён в разделе 5.

---

<sup>1</sup> Более подробно: <http://www.modbus.org/specs.php>  
и [http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf)

## 2. АДРЕСНОЕ ПРОСТРАНСТВО ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКА

Все параметры датчика, подлежащие передаче по сети, хранятся в его памяти (в «таблице данных»). Причём каждому параметру соответствует свой индивидуальный адрес. Некоторые параметры могут как считываться, так и записываться; другие параметры можно только считать. В соответствии со спецификацией Modbus RTU v1.1b доступ к элементам в каждой таблице осуществляется с помощью 16-битного адреса, первой ячейке соответствует адрес 0. Таким образом, таблица может содержать до 65536 элементов. Спецификация не определяет, что физически должны представлять собой элементы таблиц и по каким внутренним адресам устройства они должны быть доступны. Поэтому допустимо организовать перекрывающиеся таблицы, что и сделано в датчиках LSten. В этом случае команды, работающие с однобитными данными и с 16-битными регистрами, будут фактически обращаться к одним и тем же данным.



ми и с 16-битными регистрами, будут фактически обращаться к одним и тем же данным.

Адресное пространство в датчиках распределено так, как показано на рис. 2.1. Более подробно все параметры описаны в табл. 2.1–2.2. Здесь и далее все значения приводятся в шестнадцатеричном формате, если не оговаривается иначе.

Рис. 2.1 – Адресное пространство для хранения параметров датчика

Таблица 2.1 – Однобитные параметры (флаги) и их адресация

Адрес (hex)	Возможность чтения/записи (R/W)	Параметр	Принимаемые значения (hex)	Значение по умолчанию (hex)
0000	R/W	Датчик включен/выключен при подаче питания	0 – выкл. 1 – вкл.	1
0001	R/W	Аналоговый выход включен/выключен	0 – выкл. 1 – вкл.	1
0002	R/W	Синхронизация	0 – по таймеру 1 – по переднему фронту внешнего сигнала	0
0003	R/W	Знак для значения коррекции выводимого результата	0 – плюс 1 – минус	0
0004	R/W	Включение/выключение выдачи результатов в потоке сразу после включения питания	0 – выкл. 1 – вкл.	0
0005–00FF	Зарезервировано <sup>1</sup>			
0100–FFFF	Недоступно <sup>2</sup>			

Примечания:

<sup>1</sup> В случае обращения к зарезервированным регистрам: а) при чтении регистров устройство выдаст нулевые значения зарезервированных регистров; б) при записи в регистры устройство выдаст код ошибки.

<sup>2</sup> При обращении (чтение или запись) к недоступным регистрам устройство выдаст код ошибки.

Таблица 2.2 – 16-битное адресное пространство датчиков LSten

Адрес (hex)	Возможность чтения/записи	Параметр	Принимаемые значения (hex)	Значение по умолчанию (hex)
0000	R/W	16-битный регистр флагов <sup>1</sup>	0000 – 0007	0003
0001–000F	Зарезервировано <sup>2</sup>			
0010	R/W	Сетевой адрес	0000 – 00FF	0001
0011	R/W	Формат байта при работе с последовательными протоколами: 00 – паритета нет, 1 стоп-бит; 01 – контроль четности, 1 стоп-бит; 02 – контроль нечетности, 1 стоп-бит; 03 – паритета нет, 2 стоп-бита; 04 – контроль четности, 2 стоп-бита; 05 – контроль нечетности, 2 стоп-бита.	0000 – 0005	0000
0012	R/W	Скорость последовательного интерфейса: 01 – 9600 бод; 02 – 19200 бод;	0001 – 0008	0005

Адрес (hex)	Возможность чтения/записи	Параметр	Принимаемые значения (hex)	Значение по умолчанию (hex)
		<b>03</b> – 38400 бод; <b>04</b> – 57600 бод; <b>05</b> – 115200 бод; <b>06</b> – 230400 бод; <b>07</b> – 460800 бод; <b>08</b> – 921600 бод.		
<b>0013</b>	R/W	Период измерения датчика и заполнения буфера предварительной обработки (дискрет – 0,1 мс; минимальное значение – 1 мс): $t = (\text{значение параметра}) * 0,1 \text{ [мс]}$ . Например: для $t = 1 \text{ мс}$ параметр равен <b>000A</b> ; для $t = 5,2 \text{ мс}$ параметр равен <b>0034</b> .	<b>000A</b> – <b>FFFF</b>	<b>000A</b>
<b>0014</b>	R/W	Константа $n$ , задающая период выдачи данных при потоковом режиме: $n = T/t,$ где $t$ – период измерения датчика, $T$ – период выдачи результатов.	<b>0001</b> – <b>FFFF</b>	<b>000A</b>
<b>0015</b>	R/W	Допустимое время отсутствия сигнала (дискретность – 1 мс), $\tau$ [мс]: $\tau = (\text{значение параметра}) \cdot 1 \text{ мс}$	<b>0000</b> – <b>FFFF</b>	<b>000A</b>
<b>0016</b>	R/W	Тип предварительной фильтрации данных: <b>00</b> – скользящее усреднение по $k$ значениям; <b>01</b> – медианная фильтрация с окном $m$ .	<b>0000</b> , <b>0001</b>	<b>0000</b>
<b>0017</b>	R/W	Количество точек усреднения, $k$	<b>0001</b> – <b>00FF</b>	<b>0001</b>
<b>0018</b>	R/W	Количество точек медианного фильтра, $m$ (должно быть нечётным: $m = 2h + 1$ , где $h = 0, 1, \dots, 24$ )	<b>0001</b> , <b>0003</b> , <b>0005</b> , ..., <b>0031</b>	<b>0001</b>
<b>0019</b>	R/W	Нижняя граница аналогового выхода	<b>0000</b> – <b>C350</b>	<b>0000</b>
<b>001A</b>	R/W	Верхняя граница аналогового выхода	<b>0000</b> – <b>C350</b>	<b>C350</b>
<b>001B</b>	R/W	Настройка дискретных выходов: $00XY$ , где $X$ отвечает за первый выход, $Y$ – за второй. <b>0</b> – дискретный выход выключен; <b>1</b> – дискретный выход включен (начальное значение – 0); <b>2</b> – дискретный выход включен (начальное значение – 1); Пример: <b>12</b> – первый выход включен, с начальным значением «0», второй выход включен с начальным значением «1».	<b>0000</b> , <b>0001</b> , <b>0002</b> , <b>0010</b> , <b>0011</b> , <b>0012</b> , <b>0020</b> , <b>0021</b> , <b>0022</b>	<b>0000</b>
<b>001C</b>	R/W	Первый перепад первого дискретного выхода	<b>0000</b> – <b>C350</b>	<b>0000</b>

Адрес (hex)	Возможность чтения/записи	Параметр		Принимаемые значения (hex)	Значение по умолчанию (hex)
001D	R/W	Второй перепад первого дискретного выхода		0000 – C350	C350
001E	R/W	Первый перепад второго дискретного выхода		0000 – C350	0000
001F	R/W	Второй перепад второго дискретного выхода		0000 – C350	C350
0020	R/W	Способ вычисления результата при измерении объекта, дающего две границы света: $0 - R = (A + B) / 2;$ $1 - R =  A - B ,$ где A и B – показания на двух границах, R – результат		0000, 0001	0001
0021	R/W	Тип объекта: 00 – щель (первая по направлению сканирования); 01 – щель (последняя по направлению сканирования); 02 – штырь (первый по направлению сканирования); 03 – штырь (последний по направлению сканирования); 04 – не определять тип (считать по первым двум границам по направлению сканирования); 05 – не определять тип (считать по последним двум границам по направлению сканирования); 06 – полубесконечный объект (определяется координата первой границы по направлению сканирования); 07 – полубесконечный объект (определяется координата последней границы по направлению сканирования); 08 – выдавать количество обнаруженных границ.		0000 – 0008	0004
0022	R/W	Коррекция выводимого результата		0000 – FFFF	0
0023-00BB		Зарезервировано <sup>2</sup>			
00BC	R/W	2 байта ASCII-кода		См. табл. 3.7	XXXX <sup>3</sup>
00BD	R	1 и 2 байты	Модель устройства (20 символов в ASCII-коде)	0000 – FFFF	-
00BE	R	3 и 4 байты		0000 – FFFF	-
00BF	R	5 и 6 байт		0000 – FFFF	-
00C0	R	7 и 8 байты		0000 – FFFF	-
00C1	R	9 и 10 байты		0000 – FFFF	-
00C2	R	11 и 12 байты		0000 – FFFF	-

Адрес (hex)	Возможность чтения/записи	Параметр		Принимаемые значения (hex)	Значение по умолчанию (hex)
00C3	R	13 и 14 байты		0000 - FFFF	-
00C4	R	15 и 16 байты		0000 - FFFF	-
00C5	R	17 и 18 байты		0000 - FFFF	-
00C6	R	19 и 20 байты		0000 - FFFF	-
00C7	R	1 и 2 байты	Диапазон датчика, мм: $D = ((1 \text{ байт}) * 16777216 + (2 \text{ байт}) * 65536 + (3 \text{ байт}) * 256 + (4 \text{ байт})) / 1000$	0000 - FFFF	-
00C8	R	3 и 4 байты		0000 - FFFF	-
00C9	R	1 и 2 байты	Расстояние между передатчиком и приёмником, мм: $M = ((1 \text{ байт}) * 16777216 + (2 \text{ байт}) * 65536 + (3 \text{ байт}) * 256 + (4 \text{ байт})) / 1000$	0000 - FFFF	-
00CA	R	3 и 4 байты		0000 - FFFF	-
00CB	R	1 и 2 байты	Серийный номер устройства: $sn = (1 \text{ байт}) * 16777216 + (2 \text{ байт}) * 65536 + (3 \text{ байт}) * 256 + (4 \text{ байт})$	0000 - FFFF	-
00CC	R	3 и 4 байты		0000 - FFFF	-
00CD- 00FF		Зарезервировано <sup>2</sup>			
0100	R	Защёлкнутый результат		0000 - C350, FFFE, FFFF	FFFE <sup>4</sup>
0101	R	Последнее измеренное значение		0000 - C350, FFFE, FFF F	FFFE <sup>4</sup>
0102- FFFF		Недоступно <sup>5</sup>			

Примечания:

<sup>1</sup> При чтении 16-битного регистра флагов считываются также и зарезервированные биты (для дополнения до 16 бит). Считываемые зарезервированные биты всегда сброшены, запись в них какого-либо значения игнорируется датчиком.

<sup>2</sup> В случае обращения к зарезервированным регистрам: а) при чтении регистров устройство выдаст нулевые значения зарезервированных регистров; б) при записи в регистры устройство выдаст код ошибки.

<sup>3</sup> Запись XXXX означает, что как такового значения по умолчанию нет. При включении питания устройства это значение равно 0; при передаче датчику, например, команды «Восстановить параметры по умолчанию» это значение станет равным «DF» (4446h) и т. д. См. также раздел 3.3.

<sup>4</sup> Запись FFFE означает, что датчик не сделал ещё ни одного измерения и выдавать

пока нечего (см. раздел 2.1).

<sup>5</sup> При обращении (чтение или запись) к недоступным регистрам устройство выдаст код ошибки.

## 2.1. Формат выдаваемого результата

### 2.1.1. Для случаев, когда параметр «Тип объекта» равен 00, 01, 02, 03, 04, 05, 06 и 07

Результаты измерения датчика выдаются в виде кода в диапазоне от 0 до 50000 (С350h). Числу 0 соответствует начальная точка диапазона, числу 50000 – конечная. Для расчета фактического значения размера (в миллиметрах) нужно использовать следующую формулу:

$$\text{размер} = \text{диапазон} \cdot \frac{\text{код}}{50000},$$

где *код* – результат, выдаваемый датчиком, *диапазон* – диапазон датчика в миллиметрах (неизменяемое значение, соответствующее данному датчику).

Кроме диапазона 0...50000 ещё используются два специальных значения:

65534 – для указания на то, что датчик не сделал ещё ни одного измерения и выдавать пока нечего;

65535 – для указания на то, что сигнал отсутствует.

### 2.1.2. Для случаев измерения количества границ (параметр «Тип объекта» равен 08)

Для выдачи количества обнаруженных границ также используется код в диапазоне от 0 до 9999<sup>2</sup>. Для получения фактического значения количества границ нужно использовать следующую формулу:

$$\text{количество границ} = \text{код}.$$

Кроме диапазона от 0 до 9999 в данном случае ещё используется одно специальное значение: 65534 – для указания на то, что датчик не сделал ещё ни одного измерения и выдавать пока нечего.

## 3. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ КОМАНДЫ ПРОТОКОЛА

В датчиках LSten используются стандартные команды протокола

---

<sup>2</sup> Физически датчик LSten не может обнаружить количество границ более 30. Когда устройство выдаёт слишком большое или неправдоподобное число, то следует снова произвести настройку датчика (подробнее – в техописании на прибор).

Modbus с кодами: **03h** (чтение нескольких регистров хранения), **05h** (изменение одного регистра флага), **06h** (изменение одного регистра хранения), **10h** (изменение нескольких регистров хранения).

### 3.1. Запрос с кодом 03h.

#### Чтение нескольких регистров хранения (16-тиразрядных целочисленных переменных)

Адреса регистров хранения, к которым можно обратиться по этой команде, приведены в табл. 2.2. Количество регистров для чтения в запросе должно быть не более 125, в противном случае устройство выдаст код ошибки (см. табл. 4.2).

Широковещательный запрос не поддерживается.

Форма запроса и ответ датчика приведены соответственно в таблицах 3.1, 3.2.

Таблица 3.1 – Запрос с кодом 03h

Сетевой адрес	Код команды	Адрес первого регистра		Количество регистров для чтения (N)		CRC-16	
		ст. байт	мл. байт	ст. байт	мл. байт	мл. байт	ст. байт
01	03						

Таблица 3.2 – Ответ на запрос с кодом 03h

Сетевой адрес	Код команды	Количество байтов в ответе	Данные (N*2 байт)			CRC-16	
			Значение 1-го регистра	...	Значение N-го регистра	мл. байт	ст. байт
01	03	N*2					

#### Пример

Для считывания модели, диапазона датчика, расстояния между передатчиком и приёмником, серийного номера датчика можно воспользоваться командой:

Запрос:

**01 03 00 0D 00 10 04 22**

Ответ:

**01 03 20 4C 53 74 65 6E 2C 20 20 CF CE 20 32 2E 33 2E 30 2E 78 20 20 00 00 88 B8 00 0F 42 40 00 00 01 52 53 86,**

где

**4C 53 74 65 6E 2C 20 20 CF CE 20 32 2E 33 2E 30 2E 78 20 20** – модель датчика («LSten, ПО 2.3.0.x » – в ASCII коде);

**00 00 88 B8** – диапазон датчика (35 мм при переводе в десяти-

ричный формат (см. табл. 2.2));

**00 0F 42 40** – расстояние между передатчиком и приёмником (1000 мм при переводе в десятичный формат);

**00 00 01 52** – серийный номер датчика (338 в десятичном формате).

### 3.2. Запрос с кодом 05h.

#### Изменение одного регистра флага

В адресном пространстве однобитных данных, для данного запроса доступны регистры с адресами: **0000-0003** (см. табл. 2.1). В случае широковещательного запроса ответа нет.

Таблица 3.3 – Запрос с кодом 05h

Сетевой адрес	Код команды	Адрес регистра флага		Значение флага		CRC-16	
		ст. байт	мл. байт	ст. байт (FFh или 00h)	мл. байт (00h)	мл. байт	ст. байт
<b>01</b>	<b>05</b>						

Таблица 3.4 – Ответ на запрос с кодом 05h (повторяет запрос)

Сетевой адрес	Код команды	Адрес регистра флага		Значение флага		CRC-16	
		ст. байт	мл. байт	ст. байт (FFh или 00h)	мл. байт (00h)	мл. байт	ст. байт
<b>01</b>	<b>05</b>						

Значение флага **FF00h** означает, что флаг установлен, значение **0000h** – флаг сброшен.

Чтобы изменить несколько настроечных параметров одной командой, воспользуйтесь запросом с кодом **06h** с доступом к регистру хранения **0000** (см. раздел 3.3).

#### Пример

Запрос:

**01 05 00 00 FF 00 8C 3A**

Эта команда послана датчику с сетевым адресом 1 для установки параметра «Включение при подаче питания».

Ответное сообщение:

**01 05 00 00 FF 00 8C 3A**

### 3.3. Запрос с кодом 06h.

#### Изменение одного регистра хранения (16-тиразрядных целочисленных переменных)

Этот запрос доступен только для регистров «R/W» (см. табл. 2.2). При записи в регистры для чтения устройство выдаст код ошибки (см. табл. 4.2).

В случае широковежательного запроса ответа нет.

Таблица 3.5 – Запрос с кодом 06h

Сетевой адрес	Код команды	Адрес регистра		Новое значение регистра		CRC-16	
		ст. байт	мл. байт	ст. байт	мл. байт	мл. байт	ст. байт
01	06						

Таблица 3.6 – Ответ на запрос с кодом 06h (повторяет принятый запрос)

Сетевой адрес	Код команды	Номер регистра		Новое значение регистра		CRC-16	
		ст. байт	мл. байт	ст. байт	мл. байт	мл. байт	ст. байт
01	06						

Регистр с адресом 00BCh служит приёмником специальных команд (перечисленных в табл. 3.7). Эти команды посылаются внутри запросов с кодами 06h и 10h, в поле «Новое значение регистра», в виде двух байтов ASCII-кода. Регистр с адресом 00BCh всегда можно прочитать, чтобы узнать последнюю принятую устройством специальную команду.

Синтаксис и назначение специальных команд соответствует спецификации ASCII-протокола, также применяемого в датчиках LSten. Подробно с этим можно ознакомиться в техническом описании: <http://prizmasensors.ru/files/teh-lsten.pdf>.

Таблица 3.7 – Параметры специальных команд, посылаемых в запросе с кодом функции 06h по адресу регистра 00BCh

Назначение команды	Параметр (2 байта в ASCII-коде)
Запись параметров в энергонезависимую память	<b>FL (46h 4Ch)</b>
Включить датчик	<b>ON (4Fh 4Eh)</b>
Выключить датчик	<b>OF (4Fh 46h)</b>
Защелкнуть результат	<b>FX (46h 58h)</b>
Восстановить параметры по умолчанию	<b>DF (44h 46h)</b>
Настройка датчика	<b>SU (53h 55h)</b>

#### Пример

Запрос:

01 06 00 BC 46 58 7B B4

Это команда «Защелкнуть результат» для датчика с сетевым адресом 1.

Ответ:

**01 06 00 BC 46 58 7B B4**

После получения команды «Защелкнуть результат», датчик сделает измерение и сохранит измеренное значение в регистре по адресу 0100h.

### 3.4. Запрос с кодом 10h.

#### Изменение нескольких регистров хранения (16-тиразрядных целочисленных переменных)

Данный запрос доступен для регистров с адресами 0000h, 0010h–0025h, 00BCh (см. табл. 2.2). При записи в регистры «только для чтения», устройство выдаст код ошибки (см. табл. 4.2).

Число регистров для записи может быть в диапазоне от 1 до 125, в противном случае устройство выдаст код ошибки (см. табл. 4.2).

В случае широковещательного запроса ответа нет.

Таблица 3.8 – Запрос с кодом 10h

Сетевой адрес	Код команды	Адрес первого регистра		Число регистров для записи (N)		Количество записываемых байт (2*N)		...
		ст. байт	мл. байт	ст. байт	мл. байт	XX		
<b>01</b>	<b>10</b>	ст. байт	мл. байт	ст. байт	мл. байт	XX		
		Записываемые данные (N*2 байт)				CRC-16		
		Значение 1-го регистра		...	Значение N-го регистра		мл. байт	ст. байт
		ст. байт	мл. байт		ст. байт	мл. байт		

Таблица 3.9 – Ответ на запрос с кодом 10h

Сетевой адрес	Код команды	Адрес первого регистра		Количество записанных регистров (N байт)		CRC-16	
		ст. байт	мл. байт	ст. байт	мл. байт	мл. байт	ст. байт
<b>01</b>	<b>10</b>	ст. байт	мл. байт	ст. байт	мл. байт	мл. байт	ст. байт

### Пример

Запрос:

**01 10 00 19 00 02 04 C3 50 00 00 0E 9C**

Этой командой устанавливаются новые значения нижней границы аналогового выхода (C3 50) и верхней границы аналогового выхода (00 00).

Ответ:

01 10 00 19 00 02 90 0F

## 4. КОНТРОЛЬ ОШИБОК

Во время обмена данными могут возникать ошибки двух типов:

- ошибки, связанные с искажениями при передаче данных;
- логические ошибки.

Ошибки первого типа обнаруживаются при помощи фреймов символов, контроля чётности и контрольной суммы. Ошибки второго типа относятся к формату протокола.

### 4.1. RTU-фрейм

В RTU режиме сообщение должно начинаться и заканчиваться интервалом тишины – временем не менее 3,5 символов при данной скорости в сети. Новое сообщение может начинаться после этого интервала.

Фрейм сообщения передаётся непрерывно. Если интервал тишины продолжительностью 1,5 возник во время передачи фрейма, принимающее устройство должно игнорировать этот фрейм как неполный.

При скорости 9600 и 11 битах в кадре (стартовый бит + 8 бит данных + бит контроля чётности + стоп-бит) интервал тишины продолжительностью 3,5 символа равен  $3,5 \cdot 11 / 9600 \approx 0,004$ , т. е. более 4 мс; интервал тишины продолжительностью 1,5 символа равен  $1,5 \cdot 11 / 9600 \approx 0,0017$ , то есть более 1 мс. Для скоростей более 19200 бод допускается использовать интервалы 1,75 и 0,75 мс соответственно.

### 4.2. Логические ошибки

Для сообщений об ошибках второго типа протокол Modbus RTU предусматривает, что устройство может отсылать ответы, свидетельствующие об ошибочной ситуации. Признаком того, что ответ содержит сообщение об ошибке, является установленный старший бит кода команды. Пример кадра при выявлении ошибки ведомым устройством приведён в табл. 4.1.

Поведение при наличии/отсутствии логических ошибок:

- 1) Если датчик принимает корректный запрос и может его нормаль-

но обработать, то возвращает нормальный ответ;

2) Если датчик не принимает какого-либо значения, никакого ответа не отправляется. Управляющее устройство диагностирует ошибку по тайм-ауту;

3) Если датчик принимает запрос, но обнаруживает ошибку при подсчёте контрольной суммы, никакого ответа не отправляется. Управляющее устройство диагностирует ошибку по тайм-ауту;

4) Если датчик принимает запрос, но не может его обработать (обращение к недоступному регистру и т. д.), отправляется ответ, содержащий в себе данные об ошибке.

Таблица 4.1 – Пример кадра ответа при возникновении ошибки

Направление передачи	Сетевой адрес	Код команды	Данные (или код ошибки)	CRC
Запрос	01	04	01 01 00 01	61 F6
Ответ	01	84	01	82 C0

В этом примере от датчика пришёл ответ с указанием на ошибку в запросе – код команды 04h не поддерживается.

Таблица 4.2 – Коды ошибок, применяемые в датчиках LSten

Код	Расшифровка
01	Не поддерживаемый код команды
02	Адрес данных, указанный в запросе, недоступен
03	Величина, содержащаяся в поле данных запроса, является недопустимой величиной
04	Ошибка записи во Flash
05	Недопустимое количество запрашиваемых регистров
06	Недопустимая операция: запись в регистры, предназначенные только для чтения
07	Недопустимая операция: запись в зарезервированные регистры

## 5. АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦИИ КОНТРОЛЬНОЙ СУММЫ

### 5.1. Описание алгоритма

1. 16-ти битовый регистр загружается числом FFFFh, и используется далее как регистр CRC.

2. Первый байт сообщения складывается по ИСКЛЮЧАЮЩЕМУ ИЛИ с содержимым регистра CRC. Результат помещается в регистр CRC.

3. Регистр CRC сдвигается вправо на 1 бит, старший бит обнуляется.

4. (Если младший бит 0): Повторяется шаг 3 (сдвиг)

(Если младший бит 1): Делается операция ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ

регистра CRC и полиномиального числа **A001h**.

5. Шаги 3 и 4 повторяются восемь раз.

6. Повторяются шаги со 2 по 5 для следующего сообщения. Это повторяется до тех пор, пока все байты сообщения не будут обработаны.

7. Финальное содержание регистра CRC и есть контрольная сумма.

## 5.2. Пример подпрограммы вычисления CRC на языке C

```
// Подпрограмма вычисления контрольной суммы
int CRC_control(char *mas, char len)
{
    int i, j, c, result;

    result = 0xFFFF;
    for (j = 0; j < len; j++)
    {
        c = mas[j];
        result ^= c;
        for (i = 0; i < 8; i++)
        {
            c = result & 1;
            result >>= 1;
            if (c) result ^= 0xa001;
        }
    }
    // контрольная сумма выдается младшим байтом вперед, поэтому меняем байты местами
    c = ((result & 0xff)<<8) | ((result & 0xff00)>>8);
    return (c);
}
```

## 6. ИЗМЕНЕНИЯ В ДОКУМЕНТЕ

rev.	Изменения
А	Исходная редакция
В	В адресном пространстве добавлен однобитный параметр «Включение/выключение выдачи результатов в потоке сразу после включения питания»