

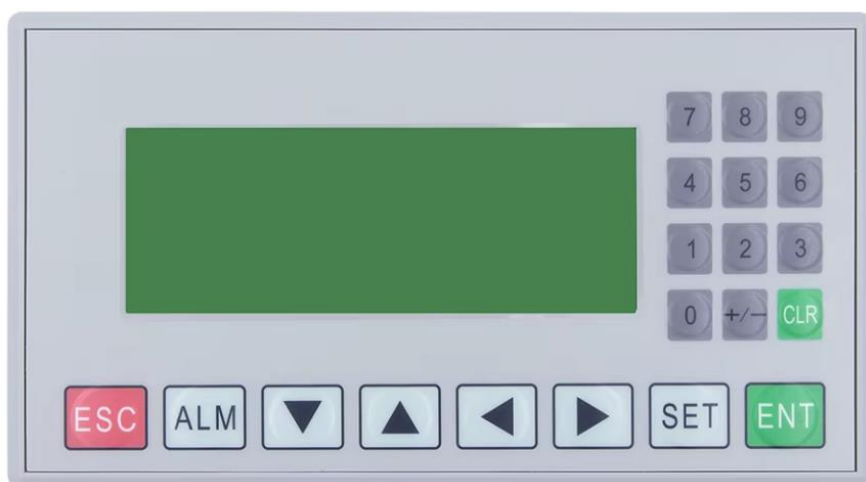


Текстовая терминальная панель

IO20HMI0420.K20

Руководство по эксплуатации

Версия 1.00, июнь, 2026



## Содержание

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 1. Назначение документа .....                             | 3  |
| 2. Описание устройства .....                              | 3  |
| 3. Параметры подключения по Modbus .....                  | 3  |
| 4. Поддерживаемые функции Modbus .....                    | 4  |
| 5. Обработка ошибок и коды исключений .....               | 4  |
| 6. Обзор карты регистров .....                            | 5  |
| 6.1. Holding-регистры .....                               | 5  |
| 6.2. Дискретные входы .....                               | 5  |
| 7. Holding-регистры .....                                 | 6  |
| 7.1. Буфер символов дисплея (регистры 0–39) .....         | 6  |
| 7.2. Маска мигания (регистры 40–44) .....                 | 6  |
| 7.3. Частота мигания (регистр 45) .....                   | 6  |
| 7.4. Очистка дисплея (регистр 46) .....                   | 7  |
| 7.5. Фильтр антидребезга клавиатуры (регистр 47) .....    | 7  |
| 7.6. Управление дисплеем (регистры 100–104) .....         | 7  |
| 7.7. Управление зуммером (регистр 300) .....              | 7  |
| 7.8. Регистры температуры (500–501) .....                 | 8  |
| 8. Дискретные входы — клавиатура (биты 0–21) .....        | 8  |
| 9. Особенности реализации .....                           | 9  |
| 9.1. Кодировки символов .....                             | 9  |
| 9.2. Формат буфера дисплея и порядок байт .....           | 9  |
| 9.3. Маска и частота мигания .....                        | 9  |
| 9.4. Защёлкивание состояний клавиш .....                  | 9  |
| 9.5. Звуковая индикация .....                             | 10 |
| 10. Приложение. Сводная таблица регистров .....           | 11 |
| 10.1. Holding-регистры (функции 0x03 / 0x06 / 0x10) ..... | 11 |
| 10.2. Дискретные входы (функция 0x02) .....               | 11 |

## 1. Назначение документа

Настоящее руководство описывает программный интерфейс панели оператора IO20 HMI0420.K20 по протоколу Modbus RTU. Документ предназначен для инженеров-интеграторов и разработчиков управляющих программ (ведущих устройств Modbus), которым необходимо управлять дисплеем и звуковой индикацией панели, считывать состояние клавиатуры и встроенных датчиков температуры.

**Состав документа.** Приведены параметры подключения, перечень поддерживаемых функций Modbus, механизм обработки ошибок, полная карта Holding-регистров и дискретных входов, а также детали реализации (кодировки символов, формат буфера дисплея, маска и частота мигания, защёлкивание состояний клавиш). В приложении дана сводная таблица всех регистров.

## 2. Описание устройства

Панель IO20 HMI0420.K20 — это устройство человеко-машинного интерфейса на базе микроконтроллера STM32F405RGT6. С точки зрения ведущего устройства Modbus панель предоставляет следующие функциональные блоки:

- **Символьный дисплей** 4 строки × 20 символов (80 знакомест) на OLED-модуле US2066 с поддержкой мигания отдельных знакомест и аппаратного курсора.
- **Матричная клавиатура** на 22 логические клавиши (функциональные, цифровые и навигационные), состояние которых считывается как дискретные входы.
- **Звуковой сигнализатор (зуммер)** с программируемой длительностью одиночного сигнала.
- **Датчик температуры TMP100** (внешний, по шине I<sup>2</sup>C) и **внутренний датчик температуры МК** (через АЦП).

## 3. Параметры подключения по Modbus

Панель работает в режиме ведомого устройства (slave) протокола Modbus RTU поверх асинхронного последовательного интерфейса. Все параметры связи жёстко заданы в прошивке и не изменяются по сети.

| Параметр                  | Значение                                              |
|---------------------------|-------------------------------------------------------|
| Протокол                  | Modbus RTU (двоичный режим)                           |
| Физический интерфейс      | UART (порт USART1 микроконтроллера)                   |
| Скорость обмена           | 115200 бит/с                                          |
| Формат кадра              | 8N1 — 8 бит данных, без контроля чётности, 1 стоп-бит |
| Адрес ведомого (Slave ID) | 10 (десятичное)                                       |
| Контрольная сумма         | CRC-16 (Modbus), младший байт первым                  |
| Признак конца кадра       | пауза 3,5 символа (стандарт Modbus RTU)               |
| Широковещание (broadcast) | не обрабатывается (см. примечание)                    |

**Примечания по обработке кадра**

- Панель реагирует только на кадры, у которых первый байт равен адресу 10. Кадры с другим адресом игнорируются без ответа.
- Кадры с кодом функции 0 отбрасываются (нулевой код функции трактуется как недопустимый); отдельный широкопередаточный режим не реализован.
- При несовпадении CRC ответ не формируется — в соответствии со спецификацией Modbus.
- Максимальный размер кадра приёма/передачи — 128 байт.

## 4. Поддерживаемые функции Modbus

Панель обрабатывает четыре кода функции. Запросы с любыми другими кодами приводят к ответу-исключению с кодом 0x01 (недопустимая функция).

| Код       | Функция                  | Назначение в панели                                                                             |
|-----------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0x02 (2)  | Read Discrete Inputs     | Чтение состояния клавиш клавиатуры (биты 0–21)                                                  |
| 0x03 (3)  | Read Holding Registers   | Чтение буфера дисплея, маски и частоты мигания, фильтра клавиатуры и регистров температуры      |
| 0x06 (6)  | Write Single Register    | Запись одного регистра: символы, мигание, очистка, настройки дисплея, фильтр клавиатуры, зуммер |
| 0x10 (16) | Write Multiple Registers | Групповая запись блока дисплея (регистры 0–46)                                                  |

**Важно о доступе**

Не все регистры доступны на чтение и не все — на запись. Тип доступа индивидуален для каждого блока и указан в таблицах раздела 7. В частности, регистры настроек дисплея (100–104) и зуммера (300) доступны только на запись функцией 0x06; функция 0x10 обслуживает только блок дисплея (адреса 0–46).

## 5. Обработка ошибок и коды исключений

При невозможности выполнить запрос панель формирует стандартный ответ-исключение Modbus: код функции с установленным старшим битом (функция | 0x80) и один байт кода исключения.

| Код  | Наименование         | Когда возникает                                                                                                                                                           |
|------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0x01 | ILLEGAL FUNCTION     | Код функции не входит в число 2, 3, 6, 16                                                                                                                                 |
| 0x02 | ILLEGAL DATA ADDRESS | Зарезервирован (определён в прошивке)                                                                                                                                     |
| 0x03 | ILLEGAL DATA VALUE   | Зарезервирован (определён в прошивке)                                                                                                                                     |
| 0x04 | SLAVE DEVICE FAILURE | Обработчик не смог выполнить запрос: адрес/количество вне допустимого диапазона, запрос затрагивает несуществующие или несовместимые регистры, недостаточная длина данных |

### Особенности

- Большинство ошибок адресации и диапазона в текущей прошивке возвращаются единым кодом 0x04 (SLAVE DEVICE FAILURE), а не более конкретными 0x02/0x03.
- При ошибке CRC, при слишком коротком кадре, а также при адресе ведомого, отличном от 10, ответ не отправляется вовсе.
- Чтение/запись не должны пересекать границы функциональных блоков (например, один запрос не может одновременно охватывать буфер дисплея и регистры температуры) — такой запрос вернёт исключение 0x04.

## 6. Обзор карты регистров

Адресное пространство разделено на две независимые таблицы Modbus: Holding-регистры (16-битные, функции 3/6/16) и дискретные входы (однобитные, функция 2). Ниже приведён обзор; детальное описание — в разделах 7 и 8.

### 6.1. Holding-регистры

| Адрес | Кол-во  | Доступ | Назначение                                       |
|-------|---------|--------|--------------------------------------------------|
| 0–39  | 40 рег. | RW     | Буфер символов дисплея (по 2 символа в регистре) |
| 40–44 | 5 рег.  | RW     | Маска мигания знакомест (80 бит)                 |
| 45    | 1 рег.  | RW     | Частота мигания, Гц                              |
| 46    | 1 рег.  | W      | Очистка дисплея (любое значение)                 |
| 47    | 1 рег.  | RW     | Фильтр антидребезга клавиатуры, мс               |
| 100   | 1 рег.  | W      | Дисплей вкл./выкл.                               |
| 101   | 1 рег.  | W      | Контрастность (0–255)                            |
| 102   | 1 рег.  | W      | Кодировка символов (0 = cp1251, 1 = cp866)       |
| 103   | 1 рег.  | W      | Курсор вкл./выкл.                                |
| 104   | 1 рег.  | W      | Позиция курсора (0–79)                           |
| 300   | 1 рег.  | W      | Зуммер — длительность сигнала, мс                |
| 500   | 1 рег.  | R      | Температура датчика TMP100, °C                   |
| 501   | 1 рег.  | R      | Температура кристалла МК, °C                     |

**Условные обозначения:** **R** — доступно на чтение (функция 0x03), **W** — доступно на запись (функции 0x06 и/или 0x10).

### 6.2. Дискретные входы

| Адрес | Кол-во  | Доступ | Назначение                                 |
|-------|---------|--------|--------------------------------------------|
| 0–21  | 22 бита | R      | Состояние клавиш клавиатуры (функция 0x02) |

## 7. Holding-регистры

### 7.1. Буфер символов дисплея (регистры 0–39)

40 регистров содержат 80 знакомест дисплея (4 строки × 20 символов). В каждом регистре упакованы два соседних символа. Знакоместа нумеруются построчно слева направо, сверху вниз: позиции 0–19 — первая строка, 20–39 — вторая, 40–59 — третья, 60–79 — четвёртая.

| Свойство            | Значение                                                                                                 |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Адреса              | 0–39 (40 регистров)                                                                                      |
| Доступ              | Чтение (0x03), запись (0x06 и 0x10)                                                                      |
| Упаковка            | 2 символа на регистр; младший байт — левый (чётный) символ, старший байт — правый (нечётный)             |
| Кодировка           | Коды символов в кодировке хоста (ср1251 по умолчанию либо ср866), задаётся регистром 102; см. раздел 9.1 |
| Соответствие адреса | регистр N ↔ знакоместа 2·N и 2·N+1                                                                       |

#### Порядок байт

В 16-битном значении регистра левый символ располагается в младшем байте (биты 0–7), правый — в старшем (биты 8–15). Поскольку Modbus передаёт значение регистра старшим байтом вперёд, правый символ пары уходит в линию первым. См. также раздел 9.2.

### 7.2. Маска мигания (регистры 40–44)

Пять регистров задают признак мигания для каждого из 80 знакомест: 1 — знакоместо мигает, 0 — отображается постоянно. В каждом регистре упакованы 16 знакомест.

| Свойство      | Значение                                                                                    |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Адреса        | 40–44 (5 регистров, 80 бит)                                                                 |
| Доступ        | Чтение (0x03), запись (0x06 и 0x10)                                                         |
| Порядок бит   | старший бит вперёд: бит 15 регистра — первое (левое) знакоместо блока, бит 0 — шестнадцатое |
| Соответствие  | регистр 40 → знакоместа 0–15, 41 → 16–31, 42 → 32–47, 43 → 48–63, 44 → 64–79                |
| Значение бита | 1 = мигает, 0 = постоянно                                                                   |

### 7.3. Частота мигания (регистр 45)

Регистр задаёт частоту мигания знакомест, отмеченных маской (раздел 7.2).

| Свойство    | Значение                                                                                                                                                   |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Адрес       | 45 (1 регистр)                                                                                                                                             |
| Доступ      | Чтение (0x03), запись (0x06 и 0x10)                                                                                                                        |
| Единицы     | Герц (Гц)                                                                                                                                                  |
| Диапазон    | 1–11 Гц (максимум ограничен частотой обновления дисплея)                                                                                                   |
| Особенность | значение пересчитывается через целочисленное деление (период = 11 / частота), поэтому фактическая частота округляется; запись значения 0 эквивалентна 1 Гц |

## 7.4. Очистка дисплея (регистр 46)

| Свойство | Значение                                                                            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Адрес    | 46 (1 регистр)                                                                      |
| Доступ   | Только запись (0x06 и 0x10); на чтение недоступен                                   |
| Действие | запись любого значения очищает буфер дисплея (все знакоместа заполняются пробелами) |

## 7.5. Фильтр антидребезга клавиатуры (регистр 47)

Регистр задаёт время подавления дребезга контактов клавиатуры: изменение состояния клавиши считается достоверным, если оно сохраняется в течение указанного времени.

| Свойство              | Значение                                   |
|-----------------------|--------------------------------------------|
| Адрес                 | 47 (1 регистр)                             |
| Доступ                | Чтение (0x03), запись только функцией 0x06 |
| Единицы               | миллисекунды (мс)                          |
| Значение по умолчанию | 5 мс                                       |

### Ограничение

Регистр 47 не входит в блок групповой записи: функция 0x10 (запись нескольких регистров) обслуживает только адреса 0–46. Для изменения фильтра используйте функцию 0x06.

## 7.6. Управление дисплеем (регистры 100–104)

Блок регистров управления параметрами дисплея. Все регистры доступны только на запись функцией 0x06.

| Адрес | Параметр           | Диапазон | Описание                                                         |
|-------|--------------------|----------|------------------------------------------------------------------|
| 100   | Дисплей вкл./выкл. | 0 / ≠0   | 0 — погасить дисплей, любое ненулевое значение — включить        |
| 101   | Контрастность      | 0–255    | Уровень контрастности OLED-модуля                                |
| 102   | Кодировка символов | 0 / 1    | 0 — ср1251 (по умолчанию), 1 — ср866; иные значения игнорируются |
| 103   | Курсор вкл./выкл.  | 0 / ≠0   | 0 — скрыть курсор, ненулевое значение — показать                 |
| 104   | Позиция курсора    | 0–79     | Номер знакоместа, в котором отображается курсор                  |

## 7.7. Управление зуммером (регистр 300)

| Свойство | Значение                                                                                       |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Адрес    | 300 (1 регистр)                                                                                |
| Доступ   | Только запись (0x06)                                                                           |
| Единицы  | миллисекунды (мс)                                                                              |
| Действие | запуск одиночного звукового сигнала указанной длительности; запись значения 0 выключает сигнал |

## 7.8. Регистры температуры (500–501)

Два регистра содержат измеренные значения температуры. Доступны только на чтение функцией 0x03.

| Адрес | Источник                         | Тип       | Описание                                                   |
|-------|----------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------|
| 500   | Датчик TMP100 (I <sup>2</sup> C) | int16, °C | Температура внешнего датчика в градусах Цельсия            |
| 501   | Датчик кристалла МК (АЦП)        | int16, °C | Внутренняя температура микроконтроллера в градусах Цельсия |

### Формат и признак ошибки

- Значение передаётся как 16-битное целое со знаком (int16) в градусах Цельсия; дробная часть отбрасывается.
- При ошибке связи с датчиком TMP100 регистр 500 принимает значение –274 (–0x112), что заведомо вне физического диапазона и служит признаком неисправности.

## 8. Дискретные входы — клавиатура (биты 0–21)

Состояние клавиатуры считывается функцией 0x02 (Read Discrete Inputs). Доступны 22 бита (адреса 0–21); каждый бит соответствует логической клавише. Допускается чтение любого непрерывного поддиапазона в пределах 0–21.

| Бит | Клавиша | Назначение                                     |
|-----|---------|------------------------------------------------|
| 0   | ALM     | Аварийная / функциональная клавиша «Alarm»     |
| 1   | SET     | Клавиша «Set»                                  |
| 2   | UP      | Стрелка «Вверх»                                |
| 3   | DOWN    | Стрелка «Вниз»                                 |
| 4   | LEFT    | Стрелка «Влево»                                |
| 5   | RIGHT   | Стрелка «Вправо»                               |
| 6   | 1       | Цифровая клавиша «1»                           |
| 7   | 2       | Цифровая клавиша «2»                           |
| 8   | 3       | Цифровая клавиша «3»                           |
| 9   | 4       | Цифровая клавиша «4»                           |
| 10  | 5       | Цифровая клавиша «5»                           |
| 11  | 6       | Цифровая клавиша «6»                           |
| 12  | 7       | Цифровая клавиша «7»                           |
| 13  | 8       | Цифровая клавиша «8»                           |
| 14  | 9       | Цифровая клавиша «9»                           |
| 15  | 0       | Цифровая клавиша «0»                           |
| 16  | MINUS   | Клавиша «минус» (–)                            |
| 17  | CLEAR   | Клавиша сброса / точка                         |
| 18  | UPx     | Дополнительный сигнал «Вверх» (см. примечание) |
| 19  | DOWNx   | Дополнительный сигнал «Вниз» (см. примечание)  |

| Бит | Клавиша | Назначение            |
|-----|---------|-----------------------|
| 20  | ENTER   | Клавиша ввода «Enter» |
| 21  | ESC     | Клавиша отмены «Esc»  |

### Особенности клавиш «Вверх»/«Вниз»

Физические клавиши «Вверх» и «Вниз» одновременно выставляют по два бита: «Вверх» — биты 2 (UP) и 18 (UPx), «Вниз» — биты 3 (DOWN) и 19 (DOWNx). Ведущее устройство может использовать любой из них в зависимости от логики приложения.

## 9. Особенности реализации

### 9.1. Кодировки символов

Дисплей построен на ПЗУ знакогенератора с собственной таблицей символов («SOC2004B вариант #3»). Прошивка автоматически перекодирует символы между кодировкой хоста и внутренним представлением модуля, поэтому ведущее устройство передаёт привычные коды ср1251 или ср866.

- **ср1251** (значение регистра 102 = 0) — кодировка по умолчанию.
- **ср866** (значение регистра 102 = 1).

Перекодировка выполняется в обе стороны: при записи символов коды хоста преобразуются во внутренние коды ПЗУ, при чтении буфера — обратно. Значения регистра 102, отличные от 0 и 1, игнорируются (кодировка не меняется).

### 9.2. Формат буфера дисплея и порядок байт

Каждый Holding-регистр буфера хранит два знакоместа. Внутри 16-битного значения левый (с меньшим адресом, чётный) символ занимает младший байт, правый (нечётный) — старший. На уровне протокола Modbus значение регистра передаётся старшим байтом вперёд, то есть в линии правый символ пары предшествует левому. Чтобы вывести строку, удобно записывать пары символов групповой функцией 0x10, начиная с регистра, равного (позиция первого знакоместа / 2).

### 9.3. Маска и частота мигания

Маска мигания (регистры 40–44) задаётся в порядке «старший бит — первое знакоместо»: бит 15 регистра соответствует левому знакоместу в группе из 16, бит 0 — правому. Частота (регистр 45) хранится внутри как период обновления и пересчитывается целочисленно (период = 11 / частота, частота = 11 / период). Из-за округления при делении фактическая частота может отличаться от запрошенной; максимально достижимое значение — 11 Гц.

### 9.4. Защёлкивание состояний клавиш

Состояния клавиш фиксируются (защёлкиваются) во внутреннем регистре и сбрасываются только в момент чтения функцией 0x02. Благодаря этому кратковременное нажатие не теряется между опросами: пока клавиша удерживается, соответствующий бит остаётся установленным при каждом чтении; после отпускания бит сохраняется до ближайшего чтения и затем сбрасывается.

**Поведение при кратковременном нажатии**

Если клавиша была нажата и отпущена между двумя операциями чтения, ведущее устройство всё равно получит признак нажатия при следующем чтении, поскольку защёлка обновляется только во время чтения. Это штатное поведение прошивки, гарантирующее, что одиночные нажатия не пропадают.

**9.5. Звуковая индикация**

Помимо программного управления зуммером через регистр 300, прошивка автоматически выдаёт короткий звуковой сигнал (около 2 мс) при каждом достоверном нажатии любой клавиши, обеспечивая тактильно-звуковую обратную связь оператору.

## 10. Приложение. Сводная таблица регистров

### 10.1. Holding-регистры (функции 0x03 / 0x06 / 0x10)

| Адрес | Кол-во | Доступ | Описание                                                |
|-------|--------|--------|---------------------------------------------------------|
| 0–39  | 40     | RW     | Буфер символов дисплея (2 символа на регистр)           |
| 40–44 | 5      | RW     | Маска мигания знакомест (80 бит)                        |
| 45    | 1      | RW     | Частота мигания, Гц (1–11)                              |
| 46    | 1      | W      | Очистка дисплея (любое значение)                        |
| 47    | 1      | RW     | Фильтр антидребезга клавиатуры, мс (запись только 0x06) |
| 100   | 1      | W      | Дисплей вкл./выкл.                                      |
| 101   | 1      | W      | Контрастность (0–255)                                   |
| 102   | 1      | W      | Кодировка: 0 = cp1251, 1 = cp866                        |
| 103   | 1      | W      | Курсор вкл./выкл.                                       |
| 104   | 1      | W      | Позиция курсора (0–79)                                  |
| 300   | 1      | W      | Зуммер: длительность сигнала, мс                        |
| 500   | 1      | R      | Температура TMP100, °C (int16)                          |
| 501   | 1      | R      | Температура кристалла МК, °C (int16)                    |

\* Запись регистра 47 возможна только функцией 0x06; групповая запись 0x10 охватывает адреса 0–46.

### 10.2. Дискретные входы (функция 0x02)

| Адрес | Кол-во  | Описание                                                                                                                                |
|-------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0–21  | 22 бита | Состояние клавиш: 0=ALM, 1=SET, 2=UP, 3=DOWN, 4=LEFT, 5=RIGHT, 6–15 = «1»...«0», 16=MINUS, 17=CLEAR, 18=UPx, 19=DOWNx, 20=ENTER, 21=ESC |