

# Описание интерфейса СЭПТ

Объектный словарь CANopen и регистры Modbus.

Версия микропрограммы 3.1.00

## Содержание

1. Краткое описание алгоритма работы прибора .....	2
1.1. Измерение напряжения, тока и частоты .....	2
1.2. Определение типа сети и режима работы .....	2
1.3. Агрегация и обработка данных, вычисление мощности .....	3
1.4. Вычисление энергии .....	3
1.5. Вычисление угла сдвига фаз .....	4
2. Используемые форматы данных .....	4
2.1. Представление целочисленных типов .....	4
2.2. Представление текстовых строк .....	5
2.3. Представление байтовых массивов .....	6
3. Поддерживаемые средства Modbus .....	6
3.1. Настройки интерфейса Modbus .....	6
3.2. Поддерживаемые функции Modbus .....	6
3.2.1. READ HOLDING REGISTERS (0x03), READ INPUT REGISTERS (0x04) .....	6
3.2.2. WRITE SINGLE REGISTER (0x06), WRITE MULTIPLE REGISTERS (0x10) .....	7
3.2.3. MASK WRITE REGISTER (0x16) .....	7
3.2.4. READ/WRITE MULTIPLE REGISTERS (0x17) .....	7
3.2.5. READ EXCEPTION STATUS (0x07) .....	8
3.2.6. GET COMM EVENT COUNTER (0x0B), GET COMM EVENT LOG (0x0C) .....	8
3.2.7. REPORT SLAVE ID (0x11) .....	8
3.2.8. MEI READ DEVICE IDENTIFICATION (0x2B / 0x0E) .....	8
3.2.9. DIAGNOSTICS (0x08) .....	8
4. Поддерживаемые средства CANopen .....	9
4.1. Общие сведения .....	9
4.2. Сетевой номер CANopen (Node ID) .....	10
4.3. Состав и параметры TPDO .....	10
4.3.1. TPDO: счетчики накопленной энергии .....	11
4.3.2. TPDO: мощность .....	12
4.3.3. TPDO: напряжение и сила тока .....	12
4.3.4. TPDO: частота, угол сдвига фаз, масштабы физических величин .....	13
4.3.5. TPDO: диагностика прибора .....	13
4.3.6. TPDO, используемые для калибровки .....	14
4.3.7. TPDO: информация о приборе .....	14
5. Объекты CANopen (SDO) и регистры Modbus .....	15
5.1. Общие сведения .....	15
5.2. Список объектов CANopen и регистров Modbus .....	15
5.2.1. Общая информация о приборе (CANopen: communication profile) .....	16
5.2.2. Константы прибора .....	16
5.2.3. Значения измеренных величин .....	17
5.2.4. Калибровочные коэффициенты .....	18
5.2.5. Вспомогательные данные для калибровки .....	19
5.2.6. Настройки и команды .....	19
5.2.7. Диагностика прибора .....	20
5.2.8. Управление режимами тестирования .....	21
5.2.9. Отладочные переменные .....	21

5.3. Команды управления прибором .....	23
5.3.1. Настройки прибора .....	23
5.3.2. Парольная защита настроек и команд .....	23
5.3.3. Изменение пароля доступа .....	24
5.3.4. Список команд .....	24
5.3.5. Команда CONFIG SAVE .....	24
5.3.6. Команда CONFIG REVERT .....	25
5.3.7. Команда CONFIG DEFAULT .....	25
5.3.8. Команда INTERFACE RESET .....	26
5.3.9. Команда REBOOT .....	26
5.3.10. Команда REBOOT TO BOOTLOADER .....	26
5.3.11. Команда PASSWORD SET .....	26
6. Особые режимы интерфейса .....	26
6.1. Установление связи с прибором при неизвестных настройках .....	26
6.2. Обновление микропрограммы прибора .....	27
6.2.1. Общие сведения .....	27
6.2.2. Обновление микропрограммы с программным переходом в режим загрузчика .....	28
6.2.3. Обновление микропрограммы с аппаратным переходом в режим загрузчика .....	28
История изменений .....	30

## 1. Краткое описание алгоритма работы прибора

### 1.1. Измерение напряжения, тока и частоты

Гальванически развязанный измерительный узел прибора (далее – "Модуль АЦП"), содержащий входные аналоговые цепи и аналого-цифровой преобразователь, преобразует напряжение и силу тока на входе прибора и передает их в виде потока цифровых данных в центральный процессор. Также в модуле АЦП имеется детектор переходов через нуль, с помощью которого измеряется период входного напряжения.

### 1.2. Определение типа сети и режима работы

На основании результатов измерения периода делается вывод о типе исследуемой сети и выбирается режим работы:

- постоянный ток (переходы через 0 отсутствуют);
- переменный ток, частота в допустимом диапазоне (40...60 Гц);
- переменный ток, частота вне допустимого диапазона.

В последнем случае (при некорректной частоте) измерения считаются недостоверными, точность измерения напряжения, тока и мощности не нормируется. Энергия в этом режиме не учитывается во избежание накопления ошибок.

### 1.3. Агрегация и обработка данных, вычисление мощности

В режиме переменного тока при корректной частоте данные обрабатываются порциями по 10 периодов. В режиме постоянного тока, а также при некорректной частоте, данные обрабатываются порциями, соответствующими 10 периодам номинальной частоты 50 Гц.

Для каждой порции данных вычисляются следующие величины:

- среднеквадратическое значение напряжения  $U_{rms}$ ;
- среднеквадратическое значение силы тока  $I_{rms}$ ;
- активная мощность  $P$ ;
- реактивная мощность  $Q$ ;
- реактивная мощность первой гармоники  $Q_1$ ;

– полная мощность  $S$ .

Активная мощность  $P$  вычисляется численным интегрированием произведения отсчетов тока и напряжения.

Реактивная мощность  $Q$  вычисляется численным интегрированием произведения отсчетов тока на ортогональное дополнение напряжения, полученное при помощи цифрового фильтра, реализующего преобразование Гильберта (сдвиг фазы на  $90^\circ$  для всех частотных составляющих). Данный метод аналогичен вычислению суммарной реактивной мощности по всем гармоникам после преобразования Фурье.

Реактивная мощность первой гармоники  $Q_1$  вычисляется из коэффициентов дискретных преобразований Фурье напряжения и тока, вычисленных только для основной частоты сети.

Полная мощность  $S$  вычисляется как произведение среднеквадратических значений напряжения и тока.

В зависимости от режима работы (вида входного сигнала) могут вычисляться не все виды мощности. А именно:

- при работе на постоянном токе значения реактивных мощностей  $Q$  и  $Q_1$  принимаются равными 0, а значение полной мощности  $S$  принимается равным абсолютной величине активной мощности  $P$ ;
- при недопустимой частоте переменного тока значения реактивных мощностей  $Q$  и  $Q_1$  также принимаются равными 0, а значение активной мощности  $P$  принимается равным по абсолютной величине полной мощности  $S$ , а знак активной мощности определяется знаком результата численного интегрирования произведения напряжения и тока.

#### **1.4. Вычисление энергии**

Исходя из вычисленных значений мощностей и интервала времени, за который взята порция данных, производится расчет приращений энергий всех видов (активной, реактивной, реактивной первой гармоники, полной).

Энергия не учитывается, если среднеквадратическое значение силы тока меньше заданного порога нечувствительности (для активной и полной энергии – 0.1% от номинального тока, для реактивной энергии – 0.2% от номинального тока).

Положительные и отрицательные приращения энергии (кроме полной) суммируются в отдельные счетчики (потребленной и рекуперированной энергии соответственно). Рекуперированная энергия считается со знаком "плюс" (т.е. равна сумме абсолютных величин отрицательных приращений энергии).

Активная энергия учитывается отдельно для постоянного и переменного тока.

Для реактивной энергии понятия "потребление" и "рекуперация" понимаются условно и соответствуют, например, индуктивному или емкостному характеру нагрузки.

Итого имеется 9 счетчиков энергии:

- активная энергия постоянного тока потребленная;
- активная энергия постоянного тока рекуперированная;
- активная энергия переменного тока потребленная;
- активная энергия переменного тока рекуперированная;
- реактивная энергия переменного тока потребленная;
- реактивная энергия переменного тока рекуперированная;
- реактивная энергия первой гармоники переменного тока потребленная;
- реактивная энергия первой гармоники переменного тока рекуперированная;
- полная энергия переменного тока (не имеет направления).

Накопленные значения энергии периодически сохраняются в энергонезависимой памяти (с интервалом 1 мин).

#### **1.5. Вычисление угла сдвига фаз**

Угол сдвига фаз между током и напряжением представляется в виде пары значений ( $\cos \varphi$ ,  $\sin \varphi$ ), вычисляемых по формулам:

$$\cos \varphi = P / S; \quad -1 \leq \cos \varphi \leq 1$$

$$\sin \varphi = Q / S; -1 \leq \sin \varphi \leq 1$$

При этом в силу свойств используемых методов расчета мощности равенство  $\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi = 1$  может не выполняться, особенно при работе на переменном токе с несинусоидальной формой. Также при  $P = Q = 0$  значения синуса и косинуса оба принимаются равными нулю.

Для вычисления угла сдвига фаз в градусах или радианах рекомендуется использовать следующие формулы:

$$\varphi^* = \arccos(\cos \varphi), \text{ если } \sin \varphi \geq 0,$$

$$\varphi^* = -\arccos(\cos \varphi), \text{ если } \sin \varphi < 0.$$

## 2. Используемые форматы данных

### 2.1. Представление целочисленных типов

Целочисленные типы в СЭППТ-01 в соответствии со спецификациями протоколов CANopen и Modbus представляются в виде двоичных чисел различной разрядности, беззнаковых или в дополнительном коде. При этом порядок следования байтов для CANopen – little endian (младший байт первым), а для Modbus – big endian (старший байт первым). При этом, поскольку протокол Modbus основан на 16-битных регистрах, значения с разрядностью больше 16 бит размещаются в нескольких регистрах с последовательными номерами, причем регистр с наименьшим номером содержит старшие биты числа, а регистр с наибольшим номером – младшие.

Используемые целочисленные типы перечислены в Табл. 1.

Далее по тексту названия целочисленных типов даны в терминах CANopen.

Тип данных	Разрядность	Тип в CANopen	Представление в Modbus
беззнаковый	8 бит	UNSIGNED8	В одном регистре (0x0000 .. 0x00FF)
знаковый	8 бит	INTEGER8	В одном регистре с расширением знака (0xFF80 .. 0x007F)
беззнаковый	16 бит	UNSIGNED16	В одном регистре
знаковый	16 бит	INTEGER16	В одном регистре
беззнаковый	24 бита	UNSIGNED24	Не используется
знаковый	24 бита	INTEGER24	Не используется
беззнаковый	32 бита	UNSIGNED32	В двух регистрах, старший первым
знаковый	32 бита	INTEGER32	В двух регистрах, старший первым
беззнаковый	64 бита	UNSIGNED64	В четырех регистрах, старший первым
знаковый	64 бита	INTEGER64	В четырех регистрах, старший первым

Табл. 1. Целочисленные типы данных

### 2.2. Представление текстовых строк

Текстовые строки представляются в кодировке ASCII. Каждый объект типа "строка" имеет фиксированный размер в байтах, который указывается при описании объекта и равен максимальной длине строки, которую он может содержать; если фактическая длина строки меньше размера объекта, то конец строки обозначается нулевым байтом.

При работе по интерфейсу CANopen для строк используется тип VISIBLE\_STRING с указанием длины в байтах.

При работе по протоколу Modbus текстовые строки размещаются в нескольких 16-битных регистрах с последовательными номерами, по 2 символа в каждом регистре, из которых первый по порядку располагается в старшем байте регистра. Таким образом, например, при чтении строки функцией Modbus READ HOLDING REGSITERS байты данных располагаются в теле пакета (PDU) в естественной последовательности.

Далее по тексту текстовые строки обозначены как тип STRING(n), где n – размер объекта в байтах (максимальная длина строки). Для Modbus объект типа STRING(n) размещается в [(n+1)/2] последовательных регистрах.

## **2.3. Представление байтовых массивов**

Для представления блоков двоичных данных, не имеющих стандартного типа, могут использоваться массивы байтов (так называемый "binary blob").

При работе по интерфейсу CANopen байтовые массивы могут иметь тип OCTET\_STRING или DOMAIN с указанием длины в байтах.

При работе по протоколу Modbus байтовые массивы размещаются в нескольких 16-битных регистрах с последовательными номерами, по 2 байта в каждом регистре, из которых первый по порядку располагается в старшем байте регистра. Таким образом, например, при чтении массива функцией Modbus READ HOLDING REGSITERS байты данных располагаются в теле пакета (PDU) в естественной последовательности.

Далее по тексту байтовые массивы обозначены как тип BINBLOB(n), где n – размер объекта в байтах. Для Modbus объект типа BINBLOB(n) размещается в  $\lceil (n+1)/2 \rceil$  последовательных регистрах.

## **3. Поддерживаемые средства Modbus**

### **3.1. Настройки интерфейса Modbus**

В приборе реализован протокол Modbus RTU по интерфейсу RS-485 с возможностью выбора скорости, режима контроля четности и адреса устройства.

Скорость интерфейса выбирается из ряда: 300, 600, 1200, 2400, 4800, 7200, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800, 921600 бит/с.

Режим контроля четности выбирается из трех вариантов: четный (even), нечетный (odd) или без контроля четности (none); в последнем случае, согласно спецификации протокола Modbus, необходимо 2 стоповых бита.

Адрес устройства на шине Modbus задается числом от 1 до 247.

Настройки интерфейса по умолчанию: 19200 бит/с, четный, 1 стоповый бит ("19200,e,1"), адрес устройства на шине 10.

### **3.2. Поддерживаемые функции Modbus**

СЭППТ-01 поддерживает следующие функции Modbus в соответствии с MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b:

#### **3.2.1. READ HOLDING REGISTERS (0x03), READ INPUT REGISTERS (0x04)**

Производят чтение блока размером от 1 до 125 16-битных регистров за один запрос. Поскольку в реализации протокола Modbus СЭППТ-01 нет разделения на регистры ввода (input) и регистры хранения (holding), данные функции эквивалентны и адресуют одни и те же регистры.

При чтении блока регистров одним запросом необходимо, чтобы все указанные регистры существовали и были доступны для чтения, в противном случае запрос не выполняется и возвращается ошибка (ILLEGAL DATA ADDRESS, если в запрос попадает хотя бы один адрес несуществующего регистра, или SLAVE DEVICE FAILURE, если все регистры существуют, но хотя бы один является регистром только для записи).

Значения, хранящиеся в нескольких регистрах Modbus (например, 32- и 64-битные числа), следует читать целиком одним запросом, в противном случае возможно получение неверного результата, если значение параметра изменится в промежутке времени между запросами. То же соображение относится к чтению нескольких параметров, если важно, чтобы полученные значения соответствовали одному и тому же моменту измерения (например, активная и реактивная мощность или косинус и синус угла сдвига фаз).

#### **3.2.2. WRITE SINGLE REGISTER (0x06), WRITE MULTIPLE REGISTERS (0x10)**

Производят запись одиночного регистра или блока размером от 1 до 123 16-битных регистров за один запрос.

При записи блока регистров одним запросом необходимо, чтобы все указанные регистры существовали и были доступны для записи, в противном случае запрос не выполняется и возвращается ошибка (ILLEGAL DATA ADDRESS, если в запрос попадает хотя бы один адрес несуществующего регистра, или SLAVE DEVICE FAILURE, если все регистры существуют, но хотя бы один является регистром только для чтения).

Ошибки верхнего уровня, возникающие при попытке записи в регистры (например, значение вне допустимого диапазона, несовместимость параметров друг с другом и т.п.), не приводят к отмене всего запроса, однако в ответе на запрос возвращается ошибка (как правило, SLAVE DEVICE FAILURE). Поскольку при этом неясно, какой именно параметр не удалось записать, может быть целесообразно записывать разные значения отдельными запросами.

Значения, хранящиеся в нескольких регистрах Modbus (например, 32- и 64-битные числа), необходимо записывать целиком в рамках одного запроса WRITE MULTIPLE REGISTERS, в противном случае, как правило, возвращается ошибка SLAVE DEVICE FAILURE (если в описании объекта в разделе 12 не указано иначе).

### 3.2.3. MASK WRITE REGISTER (0x16)

Производит чтение регистра, наложение заданных битовых масок И/ИЛИ и запись полученного значения обратно в тот же регистр. Данная функция применима только для регистров, доступных для чтения и записи и не являющихся частью составного 32- или 64-битного значения.

### 3.2.4. READ/WRITE MULTIPLE REGISTERS (0x17)

Данная функция производит сначала запись блока размером от 1 до 121 16-битных регистров (аналогично WRITE MULTIPLE REGISTERS), а затем чтение другого блока размером от 1 до 125 регистров (аналогично READ HOLDING REGISTERS).

Вся операция происходит атомарно по отношению к изменениям данных в регистрах. Если операция записи завершается с ошибкой, то чтение не выполняется.

### 3.2.5. READ EXCEPTION STATUS (0x07)

Функция возвращает регистр ошибок прибора (8 бит). В текущей реализации СЭППТ-01 данный регистр не используется и равен нулю.

### 3.2.6. GET COMM EVENT COUNTER (0x0B), GET COMM EVENT LOG (0x0C)

Данные функции могут использоваться для низкоуровневой диагностики протокола Modbus в соответствии с его спецификацией.

Поле состояния устройства (Status), возвращаемое данными функциями, в текущей реализации СЭППТ-01 не используется и равно нулю.

### 3.2.7. REPORT SLAVE ID (0x11)

Функция возвращает идентификатор прибора (для СЭППТ-01 slave id = 100) и признак активности (run indicator), равный 0xFF, если прибор производит измерения (т.е. находится в рабочем режиме), либо 0x00, если по каким-либо причинам измерения не выполняются (например, модуль АЦП неисправен или не прогрелся до необходимой температуры).

### 3.2.8. MEI READ DEVICE IDENTIFICATION (0x2B / 0x0E)

Данная подфункция функции ENCAPSULATED INTERFACE TRANSPORT (0x2B) возвращает набор текстовых строк, идентифицирующих прибор. В данной реализации поддерживается базовый набор идентификаторов (basic conformity level):

ID объект а	Название	Содержание
0x00	VendorName	Идентификатор изготовителя ("L-Card")

0x01	ProductCode	Код модели прибора (например, "ST100-1/30" для СЭППТ-01 на 30 А)
0x02	MajorMinorRevision	Номер версии микропрограммы в виде строки (например, "1.2.33")

Табл. 2. Данные, возвращаемые MEI READ DEVICE IDENTIFICATION

### 3.2.9. DIAGNOSTICS (0x08)

Функции диагностики Modbus поддерживаются в соответствии со спецификацией протокола. Реализованы следующие подфункции:

- 0x00: RETURN QUERY DATA;
- 0x01: RESTART COMMUNICATIONS;
- 0x02: RETURN DIAGNOSTIC REGISTER (возвращает 0);
- 0x04: FORCE LISTEN ONLY MODE;
- 0x0A: CLEAR COUNTERS AND DIAGNOSTIC REGISTER;
- 0x0B: RETURN BUS MESSAGE COUNT;
- 0x0C: RETURN BUS COMMUNICATION ERROR COUNT;
- 0x0D: RETURN SLAVE EXCEPTION COUNT;
- 0x0E: RETURN SLAVE MESSAGE COUNT;
- 0x0F: RETURN SLAVE NO RESPONSE COUNT;
- 0x10: RETURN SLAVE NAK COUNT;
- 0x11: RETURN SLAVE BUSY COUNT;
- 0x12: RETURN BUS CHARACTER OVERRUN COUNT;
- 0x14: CLEAR OVERRUN COUNTER AND FLAG.

Особое значение имеет подфункция RESTART COMMUNICATIONS (0x08/0x01), с помощью которой выполняется сброс протокола Modbus. По этому запросу вводятся в действие изменения настроек интерфейса RS-485 и протокола Modbus. При этом отклик на сам запрос RESTART COMMUNICATIONS посылается со старыми настройками. Таким образом можно выполнить перенастройку интерфейса без обязательного сохранения настроек прибора в энергонезависимой памяти с последующим перезапуском.

## 4. Поддерживаемые средства CANopen

### 4.1. Общие сведения

В данной версии микропрограммы СЭППТ-01 средства CANopen реализованы в сокращении.

Физический уровень – шина CAN на скорости 250000 бит/с.

Используются 11-битные идентификаторы сообщений CAN.

Поддерживаются следующие объекты CANopen:

- асинхронные TPDO, посылаемые по таймеру (тип 255);
- асинхронные TPDO, посылаемые по запросу RTR (тип 253);
- стандартный сервер SDO с поддержкой expedited и segmented запросов;
- heartbeat с фиксированным периодом 1 с;
- специфический запрос LSS для выхода в загрузчик (для обновления микропрограммы).

Все основные данные и результаты измерений входят в состав периодических TPDO, поэтому для снятия показаний прибора поддержка SDO внешней системой не требуется. Для настройки параметров прибора и управления им при помощи специальных команд используется протокол SDO.

В объектном словаре опущены объекты, описывающие параметры и состав PDO (PDO communication parameters, PDO mapping). Состав и параметры TPDO описаны в разделе 8.

Далее по тексту адресация объектов объектного словаря CANopen дана в виде "индекс : субиндекс", причем индекс указывается в шестнадцатеричной системе счисления с префиксом "0x", а субиндекс — в десятичной.

## 4.2. Сетевой номер CANopen (Node ID)

Node ID прибора по умолчанию равен 71 и может быть изменен командами настройки, описанными в разделе 12. При работе в одной сети CAN до четырех СЭППТ-01 рекомендуется назначать им Node ID 71, 72, 73, 74.

Замечание: из-за большого количества TPDO СЭППТ-01 помимо назначенного ему Node ID использует также номер (Node ID + 4) – например, 71 и 75, 72 и 76 и т.д. Как следствие, в сети CAN не должно быть устройств с Node ID, равным Node ID СЭППТ-01 + 4.

## 4.3. Состав и параметры TPDO

Ниже перечислены параметры TPDO (Transmitted Process Data Object) – сообщений, передаваемых СЭППТ-01 в CAN. Каждый TPDO имеет уникальный идентификатор сообщения и содержит не более 8 байт данных, заполненных значениями объектов из объектного словаря прибора (например, числовыми значениями измеренных величин). Каждый объект подробно описан в разделе 12.

Идентификатор сообщения CAN (COB-ID) каждого TPDO вычисляется как сумма Node ID прибора и некоторой константы.

Для TPDO, посылаемых периодически по таймеру, указаны период и "фаза", т.е. относительный временной сдвиг посылки. Например, три TPDO с одинаковыми периодами T и фазами 0, T/3 и 2T/3 образуют приблизительно равномерную во времени последовательность { A, B, C, A, B, C, ... } с шагом T/3, а если все фазы равны 0, то все TPDO будут посылаться подряд – { ABC, ... ABC, ... } с шагом T. Данные параметры являются ориентировочными, поскольку точный момент доставки сообщения зависит от процессов в сети CAN.

### 4.3.1. TPDO: счетчики накопленной энергии

<b>TPDO 0x180 + Node ID; период 1 с, фаза 0 с. Активная энергия постоянного тока</b>			
<b>Смещение</b>	<b>Тип</b>	<b>Объект</b>	<b>Описание объекта</b>
+ 0	INTEGER32	0x2100 : 1	Активная энергия постоянного тока потребленная
+ 4	INTEGER32	0x2100 : 2	Активная энергия постоянного тока рекуперирующая
<b>TPDO 0x200 + Node ID; период 1 с; фаза 0.1 с. Активная энергия переменного тока</b>			
<b>Смещение</b>	<b>Тип</b>	<b>Объект</b>	<b>Описание объекта</b>
+ 0	INTEGER32	0x2100 : 3	Активная энергия переменного тока потребленная
+ 4	INTEGER32	0x2100 : 4	Активная энергия переменного тока рекуперирующая
<b>TPDO 0x280 + Node ID; период 1 с; фаза 0.1 с. Реактивная энергия переменного тока</b>			
<b>Смещение</b>	<b>Тип</b>	<b>Объект</b>	<b>Описание объекта</b>
+ 0	INTEGER32	0x2100 : 5	Реактивная энергия переменного тока потребленная
+ 4	INTEGER32	0x2100 : 6	Реактивная энергия переменного тока рекуперирующая
<b>TPDO 0x184 + Node ID; период 1 с; фаза 0.1 с. Реактивная энергия I гармоника перем. тока</b>			
<b>Смещение</b>	<b>Тип</b>	<b>Объект</b>	<b>Описание объекта</b>
+ 0	INTEGER32	0x2100 : 7	Реактивная энергия первой гармоники потребленная
+ 4	INTEGER32	0x2100 : 8	Реактивная энергия первой гармоники рекуперирующая
<b>TPDO 0x300 + Node ID; период 1 с; фаза 0.2 с. Полная энергия перем. тока, полная мощность</b>			



Смещение	Тип	Объект	Описание объекта
+ 0	INTEGER32	0x2100 : 9	Полная энергия переменного тока
+ 4	INTEGER32	0x2101 : 4	Полная мощность

Табл. 3. TPDO: счетчики накопленной энергии

Данные TPDO содержат счетчики энергии различных видов, накопленной за время эксплуатации прибора.

Для получения величины энергии в кВт·ч (квар·ч, кВА·ч) следует полученное целочисленное значение разделить на  $10^{ne}$ , где ne – количество цифр дробной части энергии (из TPDO 0x480, см. 10).

Счетчики энергии обнуляются при переходе целочисленного значения через 999 999 999. Рекуперированная энергия считается со знаком "плюс" (значения счетчиков положительные).

#### 4.3.2. TPDO: мощность

TPDO 0x380 + Node ID; период 1 с; фаза 0.2 с. Активная и реактивная мощность			
Смещение	Тип	Объект	Описание объекта
+ 0	INTEGER32	0x2101 : 1	Активная мощность
+ 4	INTEGER32	0x2101 : 2	Реактивная мощность
TPDO 0x204 + Node ID; период 1 с; фаза 0.2 с. Реактивная мощность I гармоника			
Смещение	Тип	Объект	Описание объекта
+ 0	INTEGER32	0x2101 : 3	Реактивная мощность первой гармоники перемен. тока
TPDO 0x300 + Node ID; период 1 с; фаза 0.2 с. Полная энергия перемен. тока, полная мощность			
Смещение	Тип	Объект	Описание объекта
+ 0	INTEGER32	0x2100 : 9	Полная энергия переменного тока
+ 4	INTEGER32	0x2101 : 4	Полная мощность

Табл. 4. TPDO: мощность

Данные TPDO содержат текущие измеренные значения мощности различных видов.

Для получения величины мощности в Вт (вар, ВА) следует полученное целочисленное значение разделить на  $10^{np}$ , где np – количество цифр дробной части мощности (из TPDO 0x480, см. 10).

Значения активной и реактивной мощностей могут быть как положительными, так и отрицательными в зависимости от того, в каком квадранте находится вектор полной мощности.

#### 4.3.3. TPDO: напряжение и сила тока

TPDO 0x400 + Node ID; период 1 с; фаза 0.3 с. Напряжение, сила тока			
Смещение	Тип	Объект	Описание объекта
+ 0	INTEGER32	0x2102 : 1	Среднеквадратическое значение напряжения
+ 4	INTEGER32	0x2102 : 2	Среднеквадратическое значение силы тока

Табл. 5. TPDO: напряжение и сила тока

Данный TPDO содержит текущие измеренные значения среднеквадратического напряжения и силы тока.

Для получения величины напряжения в вольтах или силы тока в амперах следует полученные целочисленные значения разделить на  $10^{n_u}$  и  $10^{n_i}$ , где  $n_u$ ,  $n_i$  – количество цифр дробной части напряжения или силы тока соответственно (из TPDO 0x480, см. 10).

#### 4.3.4. TPDO: частота, угол сдвига фаз, масштабы физических величин

TPDO 0x480 + Node ID; период 1 с; фаза 0.4 с. Частота, угол сдвига фаз, масштабы величин			
Смещение	Тип	Объект	Описание объекта
+ 0	UNSIGNED16	0x2103 : 2	Частота или одно из специальных значений: 0x0000: на входе постоянное напряжение 0x8000: нет измерений 0x8001: частота ниже допустимой 0xFFFF: частота выше допустимой
+ 2	INTEGER8	0x2103 : 3	Косинус угла сдвига фаз ( $\cos \varphi$ )
+ 3	INTEGER8	0x2103 : 4	Синус угла сдвига фаз ( $\sin \varphi$ )
+ 4	UNSIGNED8	0x2103 : 1	Режим работы (тип сети): 0x00: постоянный ток 0x01: переменный ток 0x02: ошибка: частота вне допустимого диапазона 0xFF: нет поступают данные от АЦП
+ 5	UNSIGNED8	из значений 0x2000 : 1, 2	4 старших бита: кол-во цифр дробной части энергии 4 младших бита: кол-во цифр дробной части мощности
+ 6	UNSIGNED8	из значений 0x2000 : 3, 4	4 старших бита: кол-во цифр дробной части напряжения 4 младших бита: кол-во цифр дробной части силы тока
+ 7	UNSIGNED8	из значений 0x2000 : 5, 6	4 старших бита: кол-во цифр дробной части частоты 4 младших бита: кол-во цифр дробной части $\cos \varphi$ , $\sin \varphi$

Табл. 6. TPDO: частота, угол сдвига фаз, масштабы физических величин

Данный TPDO содержит текущие измеренные значения частоты переменного напряжения, косинуса и синуса угла сдвига фаз между током и напряжением ( $\cos \varphi$ ,  $\sin \varphi$ ), индикатор режима работы (типа сети), а также константы, задающие масштаб для пересчета показаний прибора в физические величины.

Для получения частоты в Гц следует полученное целочисленное значение разделить на  $10^{n_f}$ , где  $n_f$  – количество цифр дробной части частоты. Для получения значений  $\cos \varphi$ ,  $\sin \varphi$  следует полученное целочисленное значение разделить на  $10^{n_{cs}}$ , где  $k$  – количество цифр дробной части синуса и косинуса (константы  $n_f$ ,  $n_{cs}$  передаются в этом же TPDO).

#### 4.3.5. TPDO: диагностика прибора

TPDO 0x500 + Node ID; период 0.2 с; фаза 0.05 с. Диагностика прибора			
Смещение	Тип	Объект	Описание объекта
+ 0	UNSIGNED16	0x5000 : 2	Напряжение $U_1$ в цепи питания (1 ед = 0.01 В)
+ 2	INTEGER8	0x5000 : 3	Температура модуля АЦП, °С
+ 3	UNSIGNED8	—	Номер отладочной переменной

+ 4	UNSIGNED3 2	0x5100 : ?	Значение отладочной переменной с указанным номером
-----	----------------	------------	--

Табл. 7. TPDO: диагностика прибора

Отладочные переменные предназначены для диагностики работы прибора и отладки встроенной в него микропрограммы. Список отладочных переменных приведен в разделе 19. При каждой посылке диагностического TPDO передается значение одной отладочной переменной и ее порядковый номер от 0 до N – 1, где N – количество отладочных переменных. При этом в момент передачи переменной с номером 0 создается временная копия всех отладочных переменных для передачи в CAN. Таким образом, за N циклов передачи диагностического TPDO передается полный набор значений отладочных переменных, соответствующих одному и тому же моменту времени.

#### 4.3.6. TPDO, используемые для калибровки

TPDO 0x404 + Node ID (вариант 1); период 1 с; фаза 0.5 с. Долговременные средние U, I			
Смещение	Тип	Объект	Описание объекта
+ 0	INTEGER24	0x3101 : 1	Сохраненное долговременное среднее $U_{вх}$ в кодах АЦП
+ 3	INTEGER24	0x3101 : 2	Сохраненное долговременное среднее $I_{вх}$ в кодах АЦП
+ 6	UNSIGNED1 6	1/1024 от 0x3101 : 3	Время сбора долговременных средних (значение от 0 до 32767, 1 ед = 1024 точки)
TPDO 0x404 + Node ID (вариант 2); период 1 с; фаза 0.5 с. Средние U, I с учетом смещения нуля			
Смещение	Тип	Объект	Описание объекта
+ 0	INTEGER24	0x3102 : 1	Среднее $U_{вх}$ в кодах АЦП с учетом смещения нуля
+ 3	INTEGER24	0x3102 : 2	Среднее $I_{вх}$ в кодах АЦП с учетом смещения нуля
+ 6	UNSIGNED1 6	—	Константа 0xF00B (идентификатор варианта TPDO)
TPDO 0x484 + Node ID; период 1 с; фаза 0.6 с. Кратковременные средние U, I до коррекции			
Смещение	Тип	Объект	Описание объекта
+ 0	INTEGER32	0x3100 : 1	Кратковременное среднее $U_{вх}$ в кодах АЦП
+ 4	INTEGER32	0x3100 : 2	Кратковременное среднее $I_{вх}$ в кодах АЦП

Табл. 8. TPDO, используемые для калибровки

Данные TPDO содержат усредненные значения напряжения и тока на входе прибора в отчетах АЦП и предназначены для калибровки. При нормальной эксплуатации прибора данные TPDO следует игнорировать.

Примечание: вариант TPDO 0x404 зависит от модификации микропрограммы.

#### 4.3.7. TPDO: информация о приборе

TPDO 0x504 + Node ID; период 1 с; фаза 0.7 с. Информация о приборе			
Смещение	Тип	Объект	Описание объекта
+ 0	UNSIGNED1 6	—	Код модели прибора, для ST-100/1 равно 0x3153 ("S1")

+ 2	UNSIGNED1 6	0x2001 : 2	Номинальный ток шунта, А
+ 4	UNSIGNED3 2	0x1018 : 4	Серийный номер прибора

Табл. 9. TPDO: информация о приборе

При помощи данного TPDO можно идентифицировать тип, исполнение и экземпляр прибора. Более подробную информацию о приборе, включая версии аппаратного и программного обеспечения, можно узнать при помощи SDO (описано в разделе 12).

## 5. Объекты CANopen (SDO) и регистры Modbus

### 5.1. Общие сведения

В данном разделе описаны объекты (переменные), доступные извне по протоколу SDO CANopen или через регистры Modbus. Поскольку большинство объектов одинаково для обоих интерфейсов, а различается только адресация и способ доступа, описание приводится совместно для CANopen и Modbus.

Адреса объектов CANopen приводятся в нотации "индекс : субиндекс", причем индекс указывается в шестнадцатеричной системе счисления с префиксом "0x", а субиндекс — в десятичной системе счисления.

В соответствии с соглашениями CANopen для каждой группы объектов, имеющих общий индекс и разные субиндексы, определен объект с субиндексом 0, типом UNSIGNED8, только для чтения, содержащий количество объектов в данной группе (максимальный субиндекс). Ниже для краткости эти служебные объекты опущены.

Адреса регистров Modbus приводятся в десятичной системе счисления, начиная с 0 (в том виде, в котором адреса передаются в запросах Modbus). Существует также альтернативная нотация Modicon "3xxxx" / "4xxxx", в которой регистры нумеруются с 1, а первая цифра задает номер функции Modbus (т.е. "30051" адресует holding register 50). Это различие необходимо учитывать при настройке контроллеров Modbus на работу с СЭППТ-01.

### 5.2. Список объектов CANopen и регистров Modbus

Ниже приведен список объектов, доступных через сервис SDO CANopen или через регистры Modbus (в зависимости от того, какой интерфейс используется для подключения).

Для объектов, требующих развернутого описания, в таблицах даны ссылки на соответствующие разделы руководства.

#### 5.2.1. Общая информация о приборе (CANopen: communication profile)

Адрес в CANopen	Регистры Modbus	Тип значения	Доступ	Описание объекта
0x1000 : 0	—	UNSIGNED3 2	R/O	Тип устройства (не исп., равно 0)
0x1001 : 0	—	UNSIGNED8	R/O	Регистр ошибок (не исп., равно 0)
0x1008 : 0	0–15	STRING(32)	R/O	Код модели прибора ("ST100/n-{I <sub>ном</sub> , A}")
0x1009 : 0	—	STRING(8)	R/O	Аппаратная версия прибора (в виде строки)
—	16	UNSIGNED8	R/O	Аппаратная версия прибора (в виде числа)
0x100A : 0	—	STRING(8)	R/O	Версия микропрограммы (в виде строки "x.y.zz")

Адрес в CANopen	Регистры Modbus	Тип значения	Доступ	Описание объекта
—	17	UNSIGNED8	R/O	Версия микропрограммы (первая цифра, x)
—	18	UNSIGNED8	R/O	Версия микропрограммы (вторая цифра, y)
—	19	UNSIGNED8	R/O	Версия микропрограммы (третья и четвертая цифры, zz)
0x1010 : 1	—	UNSIGNED32	R/W	Команда сохранения настроек в энергонезависимой памяти (см. 22)
0x1011 : 1	—	UNSIGNED32	R/W	Команда восстановления настроек по умолчанию (см. 22)
0x1018 : 1	—	UNSIGNED32	R/O	Неиспользуемое слово LSS ID (равно 0)
0x1018 : 2	—	UNSIGNED32	R/O	Неиспользуемое слово LSS ID (равно 0)
0x1018 : 3	—	UNSIGNED32	R/O	Неиспользуемое слово LSS ID (равно 0)
—	20, 21	резерв	R/O	0xFFFF
0x1018 : 4	22, 23	UNSIGNED32	R/O	Серийный номер прибора

Табл. 10. Объектный словарь: общая информация о приборе

## 5.2.2. Константы прибора

Перечисленные ниже константы определяются номинальными диапазонами измеряемых величин, но не зависят от конкретного экземпляра прибора, в отличие от калибровочных коэффициентов, описанных в разделе 15.

Адрес в CANopen	Регистры Modbus	Тип значения	Доступ	Описание объекта
0x2000 : 1	100	UNSIGNED8	R/O	Кол-во цифр дробной части энергии (константа ne)
0x2000 : 2	101	UNSIGNED8	R/O	Кол-во цифр дробной части мощности (константа pr)
0x2000 : 3	102	UNSIGNED8	R/O	Кол-во цифр дробной части напряжения (константа pu)
0x2000 : 4	103	UNSIGNED8	R/O	Кол-во цифр дробной части силы тока (константа pi)
0x2000 : 5	104	UNSIGNED8	R/O	Кол-во цифр дробной части частоты (константа pf)
0x2000 : 6	105	UNSIGNED8	R/O	Кол-во цифр дробной части $\cos \varphi$ , $\sin \varphi$ (константа pcs)
—	106–109	резерв	R/O	0xFFFF
0x2001 : 1	110, 111	UNSIGNED32	R/O	Число импульсов частотного выхода на 1 кВт·ч
0x2001 : 2	112	UNSIGNED16	R/O	Номинальный ток шунта, А

Адрес в CANopen	Регистры Modbus	Тип значения	Доступ	Описание объекта
0x2001 : 3	113	UNSIGNED16	R/O	Номинальное напряжение, В
0x2001 : 4	114, 115	UNSIGNED32	R/O	Порог чувствительности по току для активной энергии <sup>(4)</sup>
0x2001 : 5	116, 117	UNSIGNED32	R/O	Порог чувствительности по току для реакт. энергии <sup>(4)</sup>
0x2001 : 6	118, 119	UNSIGNED32	R/O	Уровень перехода счетчиков энергии через 0 (rollover)
0x2001 : 7	120	UNSIGNED8	R/O	Вспомогательный параметр (shift_e)
0x2001 : 8	121	UNSIGNED8	R/O	Вспомогательный параметр (gain_reg_val)
0x2080 : 0	198, 199	UNSIGNED32	R/O	Версия формата блока констант

Табл. 11. Объектный словарь: константы прибора

### 5.2.3. Значения измеренных величин

Адрес в CANopen	Регистры Modbus	Тип значения	Доступ	Описание объекта
0x2100 : 1	1000, 1001	INTEGER32	R/O	Активная энергия пост. тока потребленная <sup>(1)</sup>
0x2100 : 2	1002, 1003	INTEGER32	R/O	Активная энергия пост. тока рекуперируемая <sup>(1)</sup>
0x2100 : 3	1004, 1005	INTEGER32	R/O	Активная энергия перемен. тока потребленная <sup>(1)</sup>
0x2100 : 4	1006, 1007	INTEGER32	R/O	Активная энергия перемен. тока рекуперируемая <sup>(1)</sup>
0x2100 : 5	1008, 1009	INTEGER32	R/O	Реактивная энергия перемен. тока потребленная <sup>(1)</sup>
0x2100 : 6	1010, 1011	INTEGER32	R/O	Реактивная энергия перемен. тока рекуперируемая <sup>(1)</sup>
0x2100 : 7	1012, 1013	INTEGER32	R/O	Реактивная энергия I гармоники потребленная <sup>(1)</sup>
0x2100 : 8	1014, 1015	INTEGER32	R/O	Реактивная энергия I гармоники рекуперируемая <sup>(1)</sup>
0x2100 : 9	1016, 1017	INTEGER32	R/O	Полная энергия переменного тока <sup>(1)</sup>
—	1018– 1029	резерв	R/O	0xFFFF
0x2101 : 1	1030, 1031	INTEGER32	R/O	Активная мощность <sup>(2)</sup>
0x2101 : 2	1032, 1033	INTEGER32	R/O	Реактивная мощность <sup>(2)</sup>
0x2101 : 3	1034, 1035	INTEGER32	R/O	Реактивная мощность I гармоники перемен. тока <sup>(2)</sup>

Адрес в CANopen	Регистры Modbus	Тип значения	Доступ	Описание объекта
0x2101 : 4	1036, 1037	INTEGER32	R/O	Полная мощность <sup>(2)</sup>
—	1038– 1049	резерв	R/O	0xFFFF
0x2102 : 1	1050, 1051	INTEGER32	R/O	Среднеквадратическое значение напряжения <sup>(3)</sup>
0x2102 : 2	1052, 1053	INTEGER32	R/O	Среднеквадратическое значение силы тока <sup>(4)</sup>
—	1054– 1059	резерв	R/O	0xFFFF
0x2103 : 1	1060	UNSIGNED8	R/O	Режим работы (тип сети): 0x00: постоянный ток 0x01: переменный ток 0x02: ошибка: частота вне допустимого диапазона 0xFF: нет поступают данные от АЦП
0x2103 : 2	1061	UNSIGNED16	R/O	Частота <sup>(5)</sup> или одно из специальных значений: 0x0000: на входе постоянное напряжение 0x8000: нет измерений 0x8001: частота ниже допустимой 0xFFFF: частота выше допустимой
0x2103 : 3	1062	INTEGER8	R/O	Косинус угла сдвига фаз (cos φ) <sup>(6)</sup>
0x2103 : 4	1063	INTEGER8	R/O	Синус угла сдвига фаз (cos φ) <sup>(6)</sup>
—	1064– 1069	резерв	R/O	0xFFFF

Табл. 12. Объектный словарь: значения измеренных величин

Примечание 1. Для преобразования в физические величины показаний прибора, представленных в целочисленном формате, следует в начале работы считать из соответствующих регистров константы, задающие количество цифр дробной части этих величин (ne, np, ni, nf, ncs, см. 13). Затем считанные из прибора целочисленные значения следует преобразовать следующим образом:

(1) Для получения энергии в кВт·ч (квар·ч, кВА·ч) – INTEGER32 разделить на  $10^{ne}$

(2) Для получения мощности в Вт (вар, ВА) – INTEGER32 разделить на  $10^{np}$

(3) Для получения напряжения в В – INTEGER32 разделить на  $10^{ni}$

(4) Для получения силы тока в А – INTEGER32 разделить на  $10^{nf}$

(5) Для получения частоты в Гц – UNSIGNED16 разделить на  $10^{nfs}$

(6) Для получения косинуса и синуса угла сдвига фаз – INTEGER8 разделить на  $10^{ncs}$

Примечание 2. Счетчики энергии обнуляются при достижении величины "уровень перехода через 0 (rollover)" (см. Табл. 11). Обычно rollover =  $10^9$ , что соответствует  $10^{9-ne}$  кВт·ч (квар·ч, кВА·ч). Рекуперированная энергия считается со знаком "плюс" (значения счетчиков положительные).

#### 5.2.4. Калибровочные коэффициенты

Адрес в CANopen	Регистры Modbus	Тип значения	Доступ	Описание объекта
0x3000 : 1	2000, 2001	UNSIGNED32	R/O	Версия формата калибровочных данных

Адрес в CANopen	Регистры Modbus	Тип значения	Доступ	Описание объекта
0x3000 : 2	2002, 2003	INTEGER32	R/O	Смещение нуля в канале напряжения
0x3000 : 3	2004, 2005	INTEGER32	R/O	Смещение нуля в канале тока
0x3000 : 4	2006, 2007	INTEGER32	R/O	Масштабный коэффициент напряжения
0x3000 : 5	2008, 2009	INTEGER32	R/O	Масштабный коэффициент силы тока
0x3000 : 6	2010, 2011	INTEGER32	R/O	Масштабный коэффициент мощности
0x3000 : 7	2012, 2013	INTEGER32	R/O	Масштабный коэффициент энергии
0x3000 : 8	2014, 2015	UNSIGNED32	R/O	Постоянная частотного выхода
0x3000 : 9	2016, 2017	UNSIGNED32	R/O	Предварительный сдвиг для частотного выхода
0x3000:1 0	2018, 2019	UNSIGNED32	R/O	Порог мощности для частотного выхода
0x3000:11	2020, 2021	INTEGER32	R/O	Регистр сдвига фазы АЦП
0x3001 : 1	2100	UNSIGNED16	R/O	Калибровочный коэффициент внешнего делителя напряжения, умноженный на 32768 (0 = отсутствует)

Табл. 13. Объектный словарь: калибровочные коэффициенты

### 5.2.5. Вспомогательные данные для калибровки

Адрес в CANopen	Регистры Modbus	Тип значения	Доступ	Описание объекта
0x3100 : 1	2500, 2501	INTEGER32	R/O	Кратковременное среднее $U_{вх}$ в кодах АЦП
0x3100 : 2	2502, 2503	INTEGER32	R/O	Кратковременное среднее $I_{вх}$ в кодах АЦП
0x3101 : 1	2504, 2505	INTEGER32	R/O	Сохраненное долговременное среднее $U_{вх}$ в кодах АЦП
0x3101 : 2	2506, 2507	INTEGER32	R/O	Сохраненное долговременное среднее $I_{вх}$ в кодах АЦП
0x3101 : 3	2508, 2509	UNSIGNED32	R/O	Время сбора долговременных средних (кол-во точек)
0x3102 : 1	2510, 2511	INTEGER32	R/O	Среднее $U_{вх}$ в кодах АЦП с учетом смещения нуля
0x3102 : 2	2512, 2513	INTEGER32	R/O	Среднее $I_{вх}$ в кодах АЦП с учетом смещения нуля

Табл. 14. Объектный словарь: вспомогательные данные для калибровки



## 5.2.6. Настройки и команды

Адрес в CANopen	Регистры Modbus	Тип значения	Доступ	Описание объекта
0x4000 : 0	3000– 3003	UNSIGNED6 4	W/O	Пароль для авторизации команд и изменения настроек
0x4001 : 1	3004	UNSIGNED8	R/W *	Выбор интерфейса связи (0 = CAN, 1 = Modbus)
0x4001 : 2	3005	UNSIGNED8	R/W *	Адрес устройства на шине Modbus (1...247)
0x4001 : 3	3006, 3007	UNSIGNED3 2	R/W *	Скорость интерфейса RS-485 (бит/с)
0x4001 : 4	3008	UNSIGNED8	R/W *	Контроль четности RS-485 (0 = none, 1 = odd, 2 = even)
0x4001 : 5	3009	UNSIGNED8	R/W *	Node ID устройства в сети CANopen (1...127)
0x4001 : 6	3010	UNSIGNED8	R/W *	Уставка термостата модуля АЦП (1 ед = 0.5 °C)
0x4010 : 1	3100– 3103	UNSIGNED6 4	W/O	Новый пароль (для изменения, первая копия)
0x4010 : 2	3104– 3107	UNSIGNED6 4	W/O	Новый пароль (для изменения, вторая копия)
0x40FF : 0	3110	UNSIGNED1 6	W/O	Командное слово (см. 20)
0x4100 : 1	3120	UNSIGNED8	R/O	Статус записи настроек в NVRAM (для контроля выполнения команды сохранения настроек): 0x00 = запись завершена успешно 0x01 = запись не окончена 0x80 = запись завершена с ошибкой
0x4100 : 2	3121	UNSIGNED8	R/O	Статус последней записи состояния счетчика в NVRAM (производится периодически): 0x00 = последняя запись завершена успешно 0x01 = запись происходит в данный момент 0x80 = последняя запись завершена с ошибкой
0x4101 : 0	3150, 3151	UNSIGNED3 2	R/W	Тайм-аут на переход в загрузчик, мс (см. 23)

Табл. 15. Объектный словарь: настройки и команды

\* без авторизации – только для чтения.

Описание команд управления прибором приведено в разделе 20.

## 5.2.7. Диагностика прибора

Адрес в CANopen	Регистры Modbus	Тип значения	Доступ	Описание объекта
0x5000 : 1	5000	UNSIGNED8	R/O	Статус инициализации прибора (битовая маска): бит 0: "1" = не найдены калибровочные данные, используются ориентировочные коэффициенты, точность измерений не обеспечивается; бит 1: "1" = не найдена сохраненная накопленная энергия, счет начат с нуля; бит 2: "1" = не найдены настройки прибора, взяты значения по умолчанию.
0x5000 : 2	5001	UNSIGNED16	R/O	Напряжение $U_1$ в цепи питания (1 ед = 0.01 В)
0x5000 : 3	5002	INTEGER8	R/O	Температура модуля АЦП, °С
0x5000 : 4	5003	UNSIGNED8	R/O	Напряжение питания модуля АЦП, В
0x5000 : 5	5004	UNSIGNED8	R/O	Статус инициализации модуля АЦП: биты 1, 0: результат загрузки конфигурации (передается от ЦП прибора в модуль АЦП по ИК каналу): 0x00 = не принята, нет в EEPROM, взята по умолчанию; 0x01 = не принята, загружена из EEPROM; 0x02 = принята, совпадает с сохраненной в EEPROM; 0x03 = принята, отличается от сохраненной, сохранена; бит 3: "1" = подключен делитель ДНЕ-25; бит 4: "1" = модуль с поддержкой делителя ДНЕ-25; бит 5: "1" = используется режим переполюсовки (chop); бит 6: "1" = ошибка записи нижнего порога в термостат; бит 7: "1" = ошибка записи верхнего порога в термостат.
0x5000 : 6	5005	UNSIGNED8	R/W	Флаг обновления энергии 1= счетчики энергии измялись с момента обнуления флага (сбрасывается записью 0 в данную ячейку)
0x5001 : 0	5090– 5097	BINBLOB(16)	R/O	Контрольная сумма микропрограммы прибора (md5)
—	5099	UNSIGNED16	R/O	Время обработки последнего запроса Modbus, мкс

Табл. 16. Объектный словарь: диагностика прибора

## 5.2.8. Управление режимами тестирования

Адрес в CANopen	Регистры Modbus	Тип значения	Доступ	Описание объекта
0x5008 : 1	59000, 59001	UNSIGNED32	R/W *	Включение режимов тестирования (битовая маска): бит 0: "1" = включить принудительное управление частотными выходами
0x5008 : 2	59002, 59003	UNSIGNED32	R/W *	Отключение режимов тестирования (битовая маска): бит 0: "1" = отключить принудительное управление частотными выходами
0x5009 : 1	59100, 59101	UNSIGNED32	R/W	Период тестовых импульсов частотного выхода активной мощности DC (в единицах по 10 нс)
0x5009 : 2	59102, 59103	UNSIGNED32	R/W	Период тестовых импульсов частотного выхода активной мощности AC (в единицах по 10 нс)
0x5009 : 3	59104, 59105	UNSIGNED32	R/W	Период тестовых импульсов частотного выхода реактивной мощности (в единицах по 10 нс)

Табл. 17. Объектный словарь: управление режимами тестирования

\* без авторизации – только для чтения.

### 5.2.9. Отладочные переменные

Адрес в CANopen	Регистры Modbus	Тип значения	Доступ	Описание объекта
—	60000	UNSIGNED8	R/O	Количество отладочных переменных (N)
—	60001	UNSIGNED8	R/O	Длина имени отладочной переменной в байтах (L)
—	60002	UNSIGNED16	R/O	Номер регистра – начало массива значений (R <sub>V</sub> )
—	60003	UNSIGNED16	R/O	Номер регистра – начало массива имен (R <sub>N</sub> )
0x5100 : 1	R <sub>V</sub> , R <sub>V</sub> +1	UNSIGNED32	R/O	Значение отладочной переменной №0
0x5100 : 2	R <sub>V</sub> +2, R <sub>V</sub> +3	UNSIGNED32	R/O	Значение отладочной переменной №1
...	...	...	...	...
0x5101 : 1	начиная с R <sub>N</sub>	STRING(L)	R/O	Имя отладочной переменной №0
0x5101 : 2	начиная с R <sub>N</sub> +[(L+1)/2]	STRING(L)	R/O	Имя отладочной переменной №1
...	...	...	...	...
—	65535	резерв	R/O	0xFFFF

Табл. 18. Объектный словарь: отладочные переменные

В Табл. 19 перечислены отладочные переменные, определенные в описываемой версии микропрограммы прибора. Отладочные переменные предназначены для диагностики работы прибора и отладки микропрограммы. Для обычной эксплуатации использование отладочных переменных не требуется.

Все отладочные переменные имеют тип UNSIGNED32 и доступны только для чтения. Переменные, являющиеся счетчиками, обнуляются при переходе через 2<sup>32</sup>.

№	Имя переменной	Описание переменной
0	startup info	Информационное слово. Десятичная запись "хyzzef", где: х.у.zz – версия микропрограммы; е – флаг обновления энергии, копия регистра [0x5000 : 6]; f – статус инициализации прибора, копия регистра [0x5000 : 1]
1	adc overruns	Счетчик переполнений буфера в модуле АЦП
2	adc rx bytes	Счетчик байт, принятых от модуля АЦП по последовательному интерфейсу
3	adc badsig pkts	Счетчик отброшенных неверных сигнатур пакета данных АЦП
4	adc goodhdr pkts	Счетчик принятых корректных заголовков пакетов данных АЦП
5	adc badhdr pkts	Счетчик отброшенных пакетов данных АЦП с некорректным заголовком
6	adc goodcrc pkts	Счетчик принятых пакетов данных АЦП с правильной CRC
7	adc badcrc pkts	Счетчик отброшенных пакетов данных АЦП с неверной CRC
8	adc ready pkts	Счетчик пакетов данных АЦП, помещенных в очередь на обработку
9	adc process pkts	Счетчик обработанных пакетов данных АЦП
10	can bus off err	Счетчик ошибок BUS-OFF шины CAN

№	Имя переменной	Описание переменной
11	can xmit	Счетчик пакетов CAN, отправленных в сеть
12	can put ok	Счетчик пакетов CAN, успешно помещенных в буфер передачи
13	can put fail	Счетчик пакетов CAN, не помещенных в буфер передачи (буфер переполнен)
14	nv read error	Счетчик ошибок чтения NVRAM
15	nv read good	Количество считанных корректных записей NVRAM
16	nv read bad	Количество считанных некорректных или пустых записей NVRAM
17	nv write req	Счетчик запросов на запись в NVRAM (состояния счетчика или настроек)
18	nv write error	Счетчик ошибок записи NVRAM
19	nv write ok	Количество успешно выполненных запросов на запись в NVRAM
20	total minutes	Счетчик минут суммарного времени работы прибора (последний порядковый номер записи с сохраненным состоянием счетчика)
21	min stack free	Минимальное количество свободных 32-битных слов стека с момента запуска
22	adc poweroffs	Счетчик отключений питания модуля АЦП по тайм-ауту приема данных
23	max adc isr mcs	Максимальное время обработки прерывания приема данных АЦП, мкс
24	max pkt proc mcs	Максимальное время обработки принятого пакета данных АЦП, мкс
25	max mainloop mcs	Максимальный период основного цикла программы, мкс
26	dft overflows	Счетчик ошибок при вычислении ДПФ (расчет Q первой гармоники)
27	adc startup ms	Время запуска модуля АЦП (от подачи питания до поступления данных)
28	can rx count	Счетчик принятых пакетов CAN
29	can rx overruns	Счетчик переполнений буфера приемника CAN
30	adc diag word	Слово диагностики модуля АЦП. Десятичная запись числа "хххуууzzz", где: ххх = напряжение питания модуля АЦП (В), копия регистра [0x5000 : 4]; ууу = 100 * калибровочный коэффициент делителя ДНЕ-25 (0 = нет делителя или коэффициент не считался); zzz = статус инициализации модуля АЦП, копия регистра [0x5000 : 5].
31	nv last refresh	Адрес в NVRAM, по которому выполнена операция auto page refresh при сохранении настроек прибора (для версии с DataFlash)

Табл. 19. Список отладочных переменных

### 5.3. Команды управления прибором

В данном разделе описаны управляющие команды, которые могут быть поданы прибору путем записи специальных значений в соответствующие объекты CANopen (SDO) или в регистры Modbus.

#### 5.3.1. Настройки прибора

В контексте данного раздела к настройкам прибора относятся следующие параметры (см. 17):

- выбор интерфейса связи (CANopen или RS-485/Modbus);
- адрес устройства на шине Modbus;
- скорость интерфейса RS-485;
- контроль четности RS-485;
- Node ID устройства в сети CANopen;
- уставка термостата модуля АЦП;
- пароль доступа.

Перечисленные настройки могут быть сохранены в энергонезависимой памяти подачей специальной команды (см. 22).

Настройки интерфейсов связи вводятся в действие при включении питания, при программном сбросе процессора прибора или по команде переинициализации интерфейса связи (INTERFACE RESET, см. 23). При работе через Modbus настройки также вводятся в действие по запросу RESTART COMMUNICATIONS.

Пароль доступа представляет собой произвольное 64-битное целое число, отличное от нуля. Нулевой пароль (заводское значение по умолчанию) означает отключение парольной защиты.

При изменении пароля доступа новый пароль вводится в действие немедленно, но если не подавалась команда сохранения настроек, то после выключения питания или программного сброса вновь будет действовать старый, сохраненный пароль.

Уставка термостата модуля АЦП вводится в действие при включении питания или программном сбросе процессора прибора.

### 5.3.2. Парольная защита настроек и команд

Для предотвращения случайного или преднамеренного нарушения работы прибора или его связи с внешней системой используется авторизация при помощи пароля, представляющего собой произвольное 64-битное целое число, отличное от 0.

Авторизация необходима для выполнения любых команд и для записи в регистры настроек прибора. Если в настройках задан нулевой пароль, то авторизация не требуется.

Авторизация выполняется записью пароля по специально выделенному адресу (см. 17, "Пароль для авторизации команд и изменения настроек"). При работе через Modbus значение необходимо записывать целиком одним запросом WRITE MULTIPLE REGISTERS.

Если пароль верен (либо защита отключена), то операция записи пароля завершается успешно, и в течение 1 ч становятся доступны для записи регистры настроек и команд. Если пароль неверен, то возвращается ошибка, при этом авторизация немедленно отменяется, даже если ранее был введен верный пароль.

Пароль сохраняется в энергонезависимой памяти вместе с настройками прибора.

Заводское значение пароля по умолчанию – 0 (защита отключена).

### 5.3.3. Изменение пароля доступа

Для изменения пароля необходимо сначала выполнить авторизацию при помощи старого пароля, а затем записать новый пароль в двух экземплярах по соответствующим адресам (см. 17, "Новый пароль"). При этом:

- Если используется протокол Modbus, то обе копии нового пароля необходимо записывать одновременно и целиком одним запросом WRITE MULTIPLE REGISTERS; если копии идентичны, то новый пароль вводится в действие;
- При работе через CANopen необходимо сначала записать (в произвольном порядке) обе копии нового пароля, а затем записать в командное слово код команды PASSWORD SET (см. 21). Если обе копии пароля совпадают, то пароль вводится в действие, в противном случае возвращается ошибка.

Новый пароль вводится в действие немедленно после успешного выполнения команды смены пароля. Однако он не сохраняется в энергонезависимой памяти, пока не будет выполнено сохранение настроек прибора (см. 22).

### 5.3.4. Список команд

В Табл. 20 перечислены условные названия команд и их коды.

Подача команды производится записью ее кода в объект "командное слово" (см. 17). Подробные описания всех команд приведены ниже.

Название команды	Код	Назначение команды
CONFIG SAVE	0x4353	Сохранение настроек прибора в энергонезависимой памяти
CONFIG REVERT	0x4352	Возврат к сохраненным настройкам прибора
CONFIG DEFAULT	0x4344	Запись в энергонезависимую память настроек по умолчанию

Название команды	Код	Назначение команды
INTERFACE RESET	0x4952	Переинициализация интерфейса связи
REBOOT	0x4242	Программный сброс прибора (перезагрузка)
REBOOT TO BOOTLOADER	0x424C	Переход в загрузчик (для обновления микропрограммы)
PASSWORD SET	0x5053	Изменение пароля доступа (при работе через CANopen)

Табл. 20. Коды команд

### 5.3.5. Команда CONFIG SAVE

По этой команде инициируется процесс сохранения настроек прибора (значений объектов CANopen [0x4001 : \*] или соответствующих регистров Modbus, см. 17) в энергонезависимой памяти. Успешный результат записи командного слова означает, что команда принята к исполнению в фоновом режиме. Результат выполнения команды можно проконтролировать, опрашивая объект "Статус записи настроек" (см. 17).

При работе через CANopen полным аналогом данной команды является стандартная команда "store parameters", подаваемая записью константы 0x65766173 ("save") в объект [0x1010 : 1].

### 5.3.6. Команда CONFIG REVERT

По этой команде настройки прибора (значения объектов CANopen [0x4001 : \*] или соответствующих регистров Modbus, см. 17) возвращаются к состоянию, последний раз сохраненному в энергонезависимой памяти. При этом настройки не вводятся в действие автоматически, а только изменяются значения переменных, как если бы были выполнены операции записи в соответствующие объекты (регистры). Для введения настроек в действие можно использовать команду INTERFACE RESET (см. 23).

### 5.3.7. Команда CONFIG DEFAULT

По этой команде инициируется процесс сохранения в энергонезависимой памяти (но не записи в текущие регистры) настроек по умолчанию, перечисленных в Табл. 17. Успешный результат записи командного слова означает, что команда принята к исполнению в фоновом режиме. Результат выполнения команды можно проконтролировать, опрашивая объект "Статус записи настроек" (см. 17).

Параметр	Значение по умолчанию
Выбор интерфейса связи (CAN/Modbus)	тот, по которому подана команда
Адрес устройства на шине Modbus	10
Скорость интерфейса RS-485	19200 бит/с
Контроль четности RS-485	четный (even)
Node ID устройства в сети CANopen	71
Уставка термостата модуля АЦП	35 °С
Пароль доступа	0 (защита отключена)

Табл. 21. Настройки по умолчанию

При работе через CANopen полным аналогом данной команды является стандартная команда "restore default parameters", подаваемая записью константы 0x64616F6C ("load") в объект [0x1011 : 1].

Сохраненные настройки по умолчанию не вводятся в действие автоматически. Чтобы ввести их в действие, необходимо либо выполнить сброс микропрограммы прибора (отключением питания или командой REBOOT), либо последовательно выполнить команды CONFIG REVERT (загрузить сохраненные настройки в регистры) и INTERFACE RESET (ввести в действие значение из регистров).

### **5.3.8. Команда INTERFACE RESET**

По этой команде производится сброс и переинициализация интерфейса связи в соответствии с текущими значениями объектов CANopen [0x4001 : \*] или соответствующих регистров Modbus (см. 17).

Эту команду можно использовать для ввода в действие настроек, измененных путем записи в соответствующие объекты (регистры), причем не обязательно сохраненных в энергонезависимой памяти.

После успешного выполнения данной команды дальнейшая работа с прибором должна производиться с новыми настройками, в том числе, возможно, по другому физическому интерфейсу.

### **5.3.9. Команда REBOOT**

По этой команде производится программный сброс процессора прибора и его переинициализация, как если бы было выключено и снова включено питание. Как и все остальные команды, данная команда требует авторизации по паролю.

### **5.3.10. Команда REBOOT TO BOOTLOADER**

Данная команда предназначена для обновления микропрограммы прибора. Действие команды аналогично действию команды REBOOT, но после перезапуска прибора происходит вызов специального загрузчика, имеющего свой собственный протокол связи на основе Modbus. При этом настройки интерфейса Modbus для загрузчика берутся из текущих значений объектов CANopen [0x4001 : \*] или соответствующих регистров Modbus (см. 17).

Как и все остальные команды, данная команда требует авторизации по паролю.

Обновление микропрограммы производится при помощи специальной программы lboot.

Время, в течение которого загрузчик будет ожидать соединения, задается в миллисекундах параметром "Тайм-аут на переход в загрузчик" (см. 17). Этот параметр не сохраняется в энергонезависимой памяти и по умолчанию равен 30000 (30 с). При необходимости можно изменить тайм-аут, записав нужное значение перед подачей команды REBOOT TO BOOTLOADER. Максимальная допустимая величина тайм-аута – 300000 (5 мин).

### **5.3.11. Команда PASSWORD SET**

Данная команда используется при работе через CANopen для изменения пароля доступа. Порядок применения команды описан в разделе 21.

## **6. Особые режимы интерфейса**

### **6.1. Установление связи с прибором при неизвестных настройках**

В ряде случаев может быть необходимо установить соединение с прибором, не зная текущих настроек интерфейса, либо временно подключить прибор к другому оборудованию, не меняя сохраненных настроек на основную систему.

Для этой цели в СЭППТ-01 предусмотрен специальный режим принудительного переключения интерфейса с фиксированными параметрами (интерфейс Modbus, настройки по умолчанию – 19200, even, 1 стоп-бит).

Чтобы активировать этот режим, следует соединить между собой контакты 1 и 9 интерфейсного разъема X1 (например, используя ответную часть разъема с перемычкой между указанными контактами). Данная операция не требует отключения питания.

После отсоединения перемычки происходит переинициализация интерфейса с теми настройками, которые заданы в конфигурации прибора.

Режим принудительного переключения интерфейса не отменяет необходимости в авторизации для операций, защищенных паролем (если пароль установлен).

Таким образом, возможны, к примеру, следующие применения данного способа установления связи с прибором:

– Настройки интерфейса неизвестны или несовместимы с имеющимся в наличии оборудованием,

необходимо настроить прибор на работу в определенной системе с известными параметрами. Решение: устанавливается соединение в режиме принудительного переключения интерфейса, программируется нужный режим, подается команда сохранения настроек в энергонезависимой памяти.

- Допущена ошибка при задании настроек прибора, в результате чего утеряна связь. Решение: то же, что в предыдущем случае.
- Прибор настроен на работу в основной системе (настройки которой могут быть известны или неизвестны), необходимо временно, не отключая питания, подключить прибор к тестовому оборудованию, а затем вернуть в основную систему. Решение: тестовое оборудование настраивается на режим Modbus с настройками по умолчанию и снабжается кабелем с разъемом, имеющим описанную выше перемычку. При подключении этого кабеля автоматически активируется режим принудительного переключения интерфейса, после отсоединения восстанавливаются основные настройки. Знание пароля доступа не обязательно (если не требуется выполнение защищенных паролем команд).

## **6.2. Обновление микропрограммы прибора**

### **6.2.1. Общие сведения**

Программное обеспечение СЭППТ-01 допускает возможность обновления через штатный интерфейс связи без демонтажа прибора, с сохранением калибровки и величины накопленной энергии (если в описании устанавливаемой версии микропрограммы не указано иначе).

Обновление микропрограммы производится при помощи специальной программы lboot, использующей протокол Modbus. Подробное описание программы lboot содержится в прилагаемой к ней документации.

Для обновления микропрограммы СЭППТ-01 необходимы:

- компьютер с интерфейсом RS-485 (в виде отдельного устройства или адаптера RS-232 / RS-485);
- интерфейсный кабель СЭППТ-01 для подключения по RS-485 (с разъемом DE-9F);
- файл с образом программы (.bin) и соответствующий ему файл с электронной подписью этой программы (.bin.sig), находящиеся в одном каталоге;
- программа lboot версии не ниже 0.1.1.

Для работы программы lboot необходимо, чтобы прибор был переведен в режим загрузчика (bootloader). Имеется два способа перехода в режим загрузчика:

- программный – при помощи команды REBOOT TO BOOTLOADER;
- аппаратный – путем установления соединения с загрузчиком при включении питания.

Процедура обновления микропрограммы для каждого из этих способов описана ниже.

### **6.2.2. Обновление микропрограммы с программным переходом в режим загрузчика**

Данный способ удобен, если прибор эксплуатируется в режиме подключения по интерфейсу Modbus, а также в том случае, когда отключение питания прибора затруднительно.

Соединение с прибором может быть установлено в штатном режиме или в режиме принудительного переключения интерфейса (см. 23).

Для перехода в режим загрузчика необходимо выполнить авторизацию по паролю (см. 21) и затем подать команду REBOOT TO BOOTLOADER (см. 23). При этом настройки интерфейса Modbus для подключения программы lboot соответствуют настройкам, установленным в приборе.

Соответствующие функции могут быть встроены в программу, осуществляющую считывание и регистрацию показаний прибора, либо выполнены при помощи отдельной утилиты, прилагаемой к пакету обновления вместе с программой lboot.

После перехода в загрузчик необходимо до истечения установленного тайм-аута запустить программу lboot со следующими параметрами:

```
lboot -v --con-time=<тайм-аут> --mb-port=<порт> --mb-baudrate=<скорость> --  
mb-parity=<четность> --mb-addr=<адрес_modbus> mbrtu <файл_с_программой.bin>
```

Значения параметров:

**тайм-аут** – время в миллисекундах (например, 2000), в течение которого программа lboot будет



пытаться установить соединение с загрузчиком;

**порт** – имя коммуникационного порта компьютера (для Windows – com1, com2, ..., для номеров больше 9 – \\.\com10, \\.\com11, ...);

**скорость** – скорость соединения в бит/с;

**четность** – режим контроля четности: e – четный, o – нечетный, n – отключен;

**адрес\_modbus** – адрес устройства на шине Modbus, 1...247.

### 6.2.3. Обновление микропрограммы с аппаратным переходом в режим загрузчика

Данный способ необходим, если нет возможности подать команду перехода в режим загрузчика (например, прибор эксплуатируется в режиме подключения по интерфейсу CAN, а компьютер, используемый для обновления микропрограммы, не оборудован адаптером CAN). Для использования данного способа также не требуется вводить пароль доступа, но необходима возможность отключения питания прибора и интерфейсного кабеля.

Способ основан на том, что при включении питания СЭППТ-01 в течение короткого времени (около 1 с) ожидает соединения в режиме загрузчика по интерфейсу Modbus при следующих настройках: 115200 бит/с, четный, адрес устройства 192.

Последовательность действий:

- 1) Отключить питание СЭППТ-01.
- 2) Присоединить интерфейсный кабель к компьютеру.
- 3) Запустить программу lboot со следующими параметрами:  
**lboot -v --con-time=<тайм-аут> --mb-port=<порт> --mb-baudrate=115200 mbrtu <файл\_с\_программой.bin>**

Значения параметров:

**тайм-аут** – время в миллисекундах, в течение которого программа lboot будет пытаться установить соединение с загрузчиком;

**порт** – имя коммуникационного порта компьютера (для Windows – com1, com2, ..., для номеров больше 9 – \\.\com10, \\.\com11, ...).

Значение тайм-аута в данном режиме должно быть достаточно велико, например, 10000 или 30000 мс, поскольку в момент запуска программы lboot прибор еще не включен.

- 4) Включить питание СЭППТ-01.
- 5) Убедиться, что процесс перепрограммирования начался, и дождаться его завершения.
- 6) Отключить интерфейсный кабель.

По окончании обновления микропрограммы прибор автоматически выйдет из режима загрузчика. Если обновление завершилось успешно, будет сразу запущена новая программа.

## 7.

## 8. История изменений

Дата	Содержание изменений
31.10.2014	Обновлено описание регистра "статус инициализации модуля АЦП" (0x5000:5) и отладочных переменных 0 и 30.