

УТВЕРЖДЕН
ЛАНИ.416215.001 РЭ-ЛУ

УРОВНЕМЕР ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЙ

УрТ

Руководство по эксплуатации

ЛАНИ.416215.001 РЭ

Количество листов - 27

Содержание

1 Описание и работа изделия	5
1.1 Назначение изделия	5
1.2 Технические характеристики	5
1.3 Устройство и работа.....	6
2 Использование по назначению	8
2.1 Эксплуатационные ограничения	8
2.2 Требования безопасности	8
2.3 Подготовка изделия к использованию	8
2.4 Указания по включению и опробованию.....	9
2.5 Размещение и монтаж изделия.....	9
3 Техническое обслуживание	11
4 Хранение и транспортирование	11
5 Комплект поставки.....	11
6 Гарантии изготовителя	12
7 Свидетельство о приемке	12
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	13
Методика калибровки	13
А.1 Общие сведения.....	13
А.2 Операции калибровки	13
А.3 Средства калибровки.....	13
А.4 Требования безопасности	13
А.5 Требования к квалификации поверителей	13
А.6 Условия калибровки.....	14
А.7 Подготовка к калибровке.....	14
А.8 Проведение калибровки.....	14
А.9 Оформление результатов.....	15
А.10 Порядок определения градуировочных характеристик.....	15
А.11 Градуировочная таблица	17
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	18

Протокол связи УрТ с компьютером	18
Б.1 Общие сведения	18
Б.2 Режимы передачи	19
Б.3 Функции	22
Б.4 Описание регистров УрТ.....	25

Настоящее руководство по эксплуатации (РЭ) предназначено для ознакомления с принципом работы и конструкцией уровнемеров тензометрических УрТ (далее – уровнемеров) и устанавливает правила их эксплуатации и обслуживания.

Уровнемеры выпускаются в трех исполнениях в зависимости от диапазона измерения уровня: от 0 до 6 м; от 0 до 10 м; от 0 до 60 м.



Каждое исполнение уровнемера выпускается в двух модификациях:

- класс точности 1,0; аналоговый выход 4-20 мА;
- классы точности 1,0; 0,5; 0,25; цифровой интерфейс RS-485, наличие канала измерений температуры воды.

Исполнения и модификации уровнемера обозначаются следующим образом:



1 ОПИСАНИЕ И РАБОТА ИЗДЕЛИЯ

1.1 Назначение изделия

1.1.1 Уровнемер тензометрический предназначен для измерения уровня (и температуры) неагрессивных жидкостей, имеющих однородную плотность, в резервуарах, бассейнах, артезианских скважинах и передачи информации об измеряемом уровне для последующей обработки потребителем.

1.2 Технические характеристики

1.2.1 Уровнемер обеспечивает автоматическое измерение уровня (температуры) воды в рабочих условиях применения в диапазонах и с погрешностями, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Условное обозначение	Диапазон измерений уровня, м	Предел допускаемой относительной приведенной погрешности, %	Диапазон измерений температуры, °С	Предел допускаемой абсолютной погрешности, °С	Выходной сигнал
УрТ-06 УрТ-10 УрТ-60	0 - 6 0 - 10 0 - 60	1	-	-	4-20 мА
УрТ-06-Т УрТ-10-Т УрТ-60-Т	0 - 6 0- 10 0- 60	1	От -5°С до 50°С	1,0	RS-485
УрТ-06-Т-0,5 УрТ-10-Т-0,5 УрТ-60-Т-0,5	0 - 6 0- 10 0- 60	0,5	От -5°С до 50°С	0,5	RS-485
УрТ-06-Т-0,25 УрТ-10-Т-0,25 УрТ-60-Т-0,25	0 - 6 0- 10 0- 60	0,25	От -5°С до 50°С	0,25	RS-485

1.2.2 Выходной сигнал уровнемера в зависимости от исполнения:

- аналоговый «4-20 мА» пропорционально диапазону изменений уровня воды;
- интерфейс RS-485 (протокол MODBUS-RTU).

1.2.3 Питание уровнемера осуществляется от сети постоянного тока напряжением (24 ± 6) В, потребляемая мощность - не более 0,5 В·А.

1.2.4 Время готовности к работе с момента включения питания не более 5 с.

1.2.5 Вид климатического исполнения соответствует УХЛ1 по ГОСТ 15150-69, для эксплуатации при температуре окружающей среды от минус 10 °С до 50 °С.

1.2.6 Степень защиты от воздействия воды соответствует коду IP68 по ГОСТ 14254-96.

1.2.7 Средний срок службы - не менее 8 лет.

1.2.8 Уровнемер в упаковке при транспортировании выдерживает:

- воздействие температуры окружающей среды до минус 50 °С до 50 °С;
- транспортную тряску с ускорением 30 м/с² при частоте ударов от 80 до 120 в минуту в течение 1 ч.

1.2.9 Габаритные размеры (диаметр, высота) и масса: Ø22×115 мм. 0,2 кг

1.3 Устройство и работа

1.3.1 Принцип действия уровнемера основан на преобразовании гидростатического давления и температуры воды в электрические сигналы и дальнейшей их обработке.

1.3.2 После включения питания уровнемер осуществляет :

- автоматическое измерение давления и температуры воды;
- обработку сигналов по встроенным алгоритмам;
- преобразование сигнала датчика гидростатического давления в унифицированный токовый сигнал «4 - 20 мА»;
- передачу информации по интерфейсу RS-485.

1.3.3 Схема уровнемера приведена на рисунке 1.

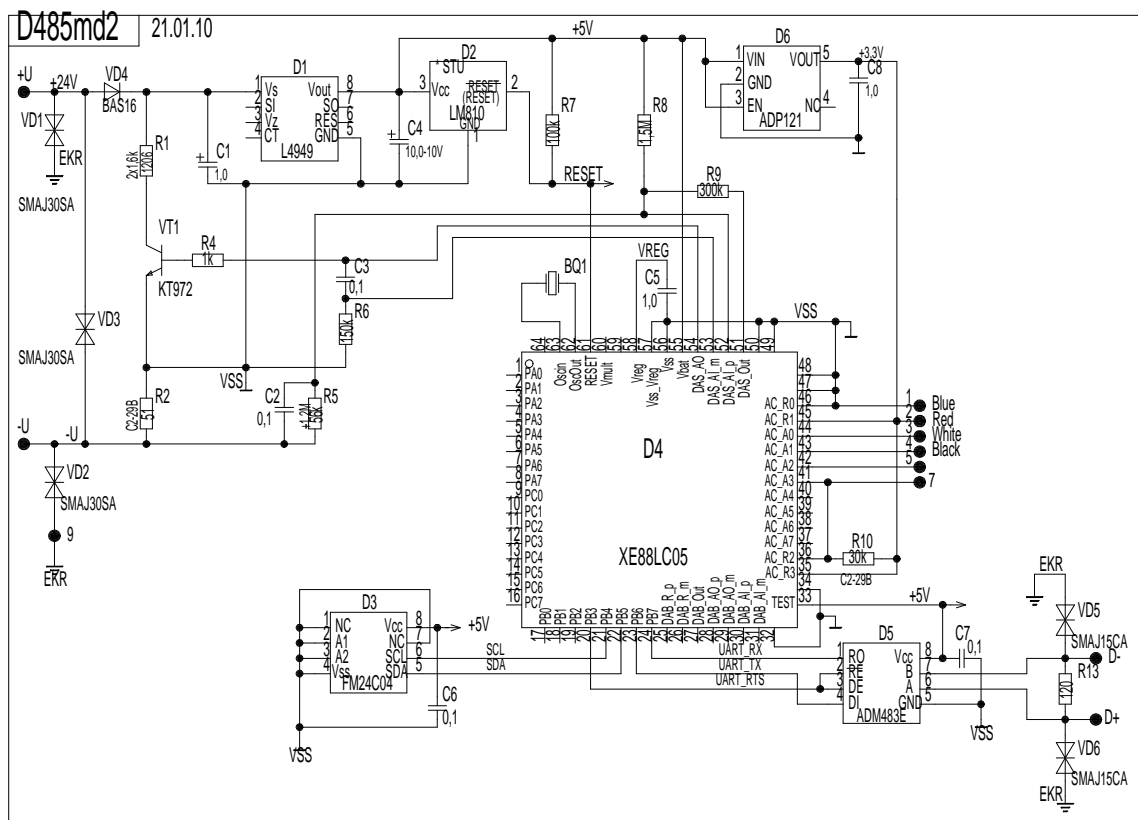


Рисунок 1

1.3.4 По включению питания микросхема L4949 вырабатывает стабилизированное напряжение 5 вольт для питания микроконтроллера XE88LC05 и измерительных устройств: датчика давления (ДД) типа LHP-110 и термистора B57703–M103G (платиновое термосопротивление 700-101BAA). После подачи питания в микроконтроллере запускается программное обеспечение. ДД подключен к источнику опорного напряжения 3.3В ADP121 (точки 1, 2). Выходной сигнал ДД, пропорциональный величине столба жидкости, расположенной над ДД поступает на вход АЦП микроконтроллера XE88LC05 (точки 3, 4). Измеренное значение пересчитывается по калибровочным коэффициентам из флэш-памяти 24C01В в код, который записывается в регистр ЦАП и в регистры оперативной памяти, которые могут быть прочитаны с помощью протокола MODBUS-RTU по RS-485 (скорость 19200, 8 бит, 1 стоп, без четности).

1.3.5 Выходное напряжение ЦАП (точка DAS_OUT) преобразуется в ток 4-20 мА, что соответствует гидростатическому давлению столба жидкости от 0 до 1,0 атм. Перевод значений электрических сигналов в значения в единицах физической величины определяют в процессе градуировки. Градуировка измерительного канала является частью настройки ПИУ и проводится с целью определения градуировочной характеристики. Вычисление коэффициентов аппроксимирующего полинома производится в микроконтроллере по градуировочной таблице, записанной во флэш-памяти 24C01В.

1.3.6 Конструкция уровнемера разработана в соответствии с требованиями, предъявляемыми к гидрологическим приборам и приведена на рисунке 2.

1.3.7 Уровнемер (базовое исполнение) состоит из следующих узлов:

- корпуса 1, изготовленного из нержавеющей стали (в зависимости от размеров датчика давления меняется размер корпуса, диаметр и длина);
- чувствительного элемента 10, в качестве которого используется датчик давления типа LHP ;
- платы электроники 13;
- кабеля связи 14 ;
- крючка 7, предназначенного для крепления уровнемера при эксплуатации;
- втулки 3;
- гаек 6, 8, 9;
- резиновых уплотнений 2,4, 11, 12.

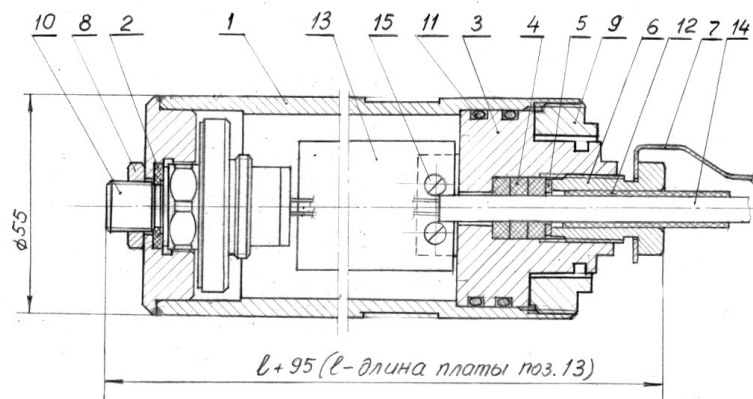


Рисунок 2

2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПО НАЗНАЧЕНИЮ

2.1 Эксплуатационные ограничения

2.1.1 Измеряемая среда должна обладать следующими свойствами: не быть агрессивной к материалам контактирующих с ней деталей датчика давления, не иметь загрязнений, которые могут накапливаться и уплотняться в полости штуцера перед мембраной и вызвать отказ датчика давления.

2.1.2 При эксплуатации датчика состояние измеряемой среды должно оставаться таким, чтобы исключить кратковременные броски давления (гидроудары, резонансные гидравлические явления), величина которых превышает предельно допустимую.

2.2 Требования безопасности

2.2.1 Уровнемер относится к классу III по ГОСТ 12.2.007.0-75 и не использует напряжений, опасных для человека.

2.2.2 Обслуживающему персоналу необходимо знать и соблюдать "Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей".

2.3 Подготовка изделия к использованию

2.3.1 Работать с изделием могут лица, изучившие настоящее руководство по эксплуатации, ознакомившиеся со схемой и конструкцией УрТ и прошедшие инструктаж по технике безопасности.

2.3.2 Внимание! Для обеспечения устойчивой работы УрТ и предотвращения его выхода из строя, питание рекомендуется осуществлять через устройство подавления импульсных помех и грозовых разрядов по первичной сети в соответствии с ГОСТ 13109-97 "Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения".

2.4 Указания по включению и опробованию

Перед включением проверить конструкцию уровнемера на отсутствие внешних повреждений. Для опробования перед монтажом на месте эксплуатации выполнить следующие операции:

- для базовых исполнений подключить УрТ к источнику питания 24 В (рисунок 3) и измерить ток в цепи питания. На воздухе ток должен быть равен 4 мА;
- для специальных исполнений УрТ-Т подключить уровнемер с помощью переходного кабеля “Uport 1130” к персональному компьютеру (рисунок 4). Установить и запустить программы !ask.exe и !info.exe, по <F4> перейти в “Оперативный режим” и проверить в таблице значение температуры и уровня. Значения должны соответствовать температуре окружающей среды и давлению $\pm 0,01 \cdot P_{\text{макс}}$

2.5 Размещение и монтаж изделия

2.5.1 При установке в резервуаре уровнемер закрепляется на штанге на высоте 10-15 см от дна резервуара или подвешивается на нержавеющей тропе, проволоке. Кабель в нескольких точках закрепляется к подвесу с целью исключения его провисания или обрыва. Излишки кабеля сматываются в бухту и крепятся к стенке колодца резервуара. Соединение кабеля уровнемера с сигнальным кабелем связи до места установки блока индикации (переносной/стационарный прибор или компьютер/контроллер) рекомендуется делать с помощью клеммной колодки, при этом соединения необходимо загерметизировать с помощью любого герметика или ленты ПВХ. Внимание! Капилляр кабеля УрТ не герметизировать!

2.5.2 При установке в скважине УрТ крепится к трубопроводу непосредственно под фланцем над насосным агрегатом для исключения его повреждения при монтаже или демонтаже скважины. Кабель без провисаний с шагом примерно 3 м крепится к трубопроводу. Если требуется производить пересчет уровня от поверхности, то необходимо измерить высоту секций трубопровода и внести соответствующую запись в паспорт скважины. Отсчет уровня в этом случае будет определяться как разность между глубиной постановки УрТ и показаниями блока индикации (БИ).

2.5.3 Кабель связи, соединяющий УрТ и БИ, прокладывается воздушной линией или закапывается в землю на глубину до 20 см (или прокладывается в трубе диаметром не менее 0,5 дюйма). При прокладке кабеля необходима маркировка его жил для исключения неправильного соединения УрТ и БИ. Целесообразно соединение связи кабеля с БИ осуществлять через клеммную колодку.

Схема подключения базовых модификаций уровнемера приведена на рисунке 3.

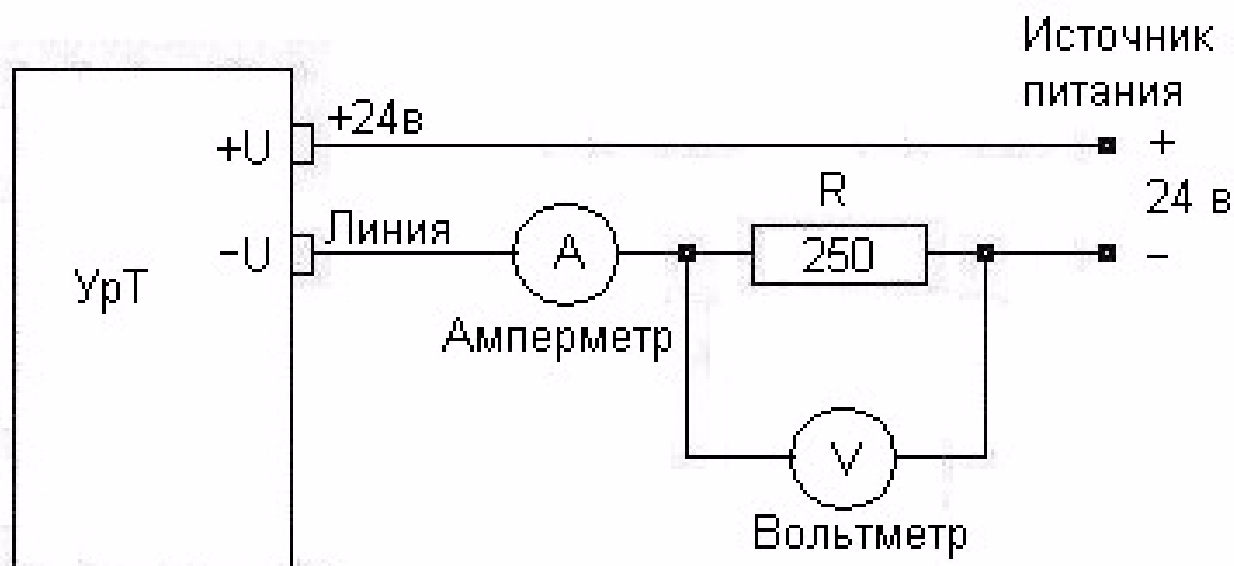


Рисунок 3

Схема подключения специальных модификаций приведена на рисунке 4.

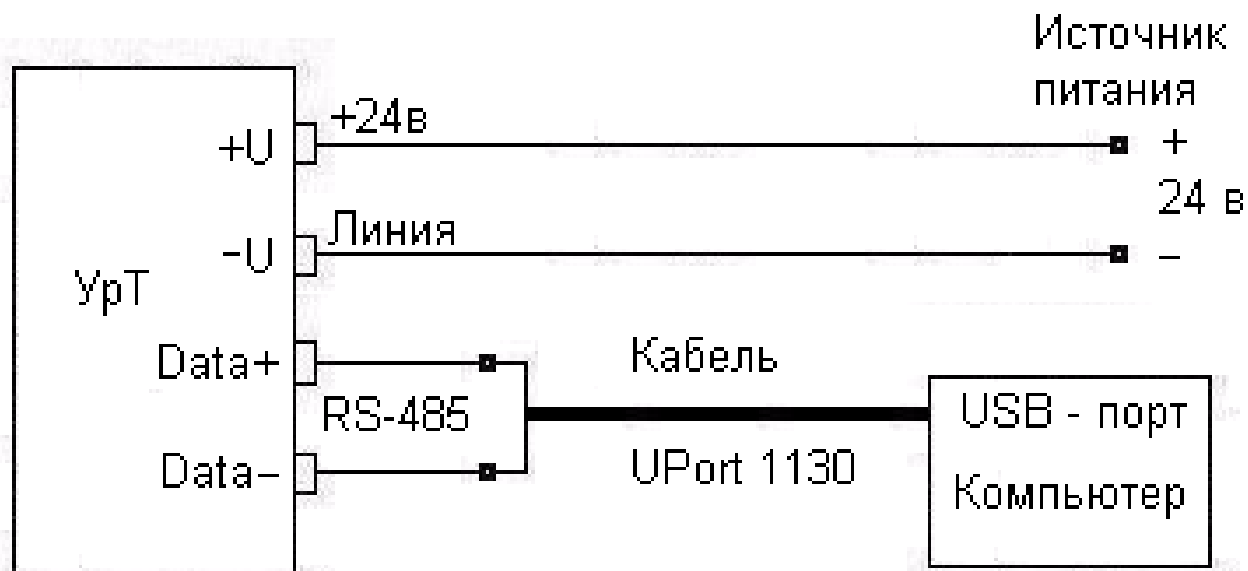


Рисунок 4

3 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

3.1.1 Для УрТ предусмотрены следующие виды технического обслуживания:

- внешний осмотр, контроль работоспособности;
- периодическая калибровка.

3.1.2 Внешний осмотр и контроль работоспособности проводятся согласно 2.4

3.1.3 Периодическая калибровка проводится согласно методике калибровки (приложение А).

3.1.4 Текущий ремонт осуществляется предприятием-изготовителем по договору. В течение гарантийного срока ремонт УрТ осуществляется бесплатно.

4 ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ

4.1.1 Уровнемеры УрТ должны храниться в условиях, установленных для группы 1 ГОСТ 15150-69 в упаковке в складских помещениях при температуре воздуха от 0 до 40 °С и относительной влажности воздуха до 80 % при температуре 25 °С.

4.1.2 В помещении для хранения УрТ не должно быть агрессивных примесей (паров кислот, щелочей), вызывающих коррозию.

4.1.3 УрТ можно транспортировать любым видом транспортных средств, на любое расстояние в условиях, установленных для группы 5 ГОСТ 15150-69.

4.1.4 При транспортировании должна быть обеспечена защита транспортной тары от непосредственного воздействия атмосферных осадков. Расстановка и крепление груза на транспортных средствах должны обеспечивать устойчивое положение груза при транспортировании.

4.1.5 После транспортирования при отрицательных температурах УрТ должен быть выдержан при нормальных условиях не менее 12 ч.

5 КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ

Комплект поставки уровнемера включает:

- уровнемер тензометрический УрТ;
- паспорт.

6 ГАРАНТИИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ

6.1.1 Изготовитель – ЗАО НТЦ «Гидромет», г. Обнинск

6.1.2 Гарантийный срок эксплуатации - 18 месяцев со дня ввода в эксплуатацию при условии соблюдения условий транспортирования и эксплуатации.

6.1.3 Гарантийный срок хранения - 6 месяцев со дня поставки уровнемера.

7 СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПРИЕМКЕ

Уровнемер тензометрический УрТ _____ Зав. №

изготовлен и принят в соответствии с действующей технической документацией ЛАНИ.416215.001 и признан годным для эксплуатации.

Руководитель организации

МП

личная подпись

расшифровка подписи

год, месяц, число

МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ

А.1 Общие сведения

Настоящий раздел устанавливает методы калибровок измерительных каналов.

А.2 Операции калибровки

При проведении калибровки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2

Таблица 2

Наименование операции	Номер пункта методики	Проведение операций при	
		первичной калибровке	периодической калибровке
Внешний осмотр и опробование	А.7.1	да	да
Определение метрологических характеристик канала измерений давления	А.7.2	да	да
Определение метрологических характеристик канала измерений температуры	А.7.3	да	да

А.3 Средства калибровки

При проведении калибровки должны быть применены следующие средства измерений и вспомогательные средства:

- термометр (набор термометров) для измерений температуры воды, диапазон 0 -50 °С погрешность не более 0,1°С;
- манометр избыточного давления грузопоршневой МП-2,5 (для исполнений УрТ-06; УрТ-10) или МП-6 (для исполнений УрТ-60), класс точности 0,2 (для УрТ класса точности 1,0 и 0,5) и 0,05 (для УрТ класса точности 0,25);
- источник постоянного тока напряжением (24 ± 2) В;
- миллиамперметр типа Д5076, шкала 0 - 25 мА, класс точности 0,2;
- термостат водяной с мешалкой;
- персональный компьютер.

А.4 Требования безопасности

При проведении калибровки необходимо руководствоваться общими правилами техники безопасности и производственной санитарии и указаниями по технике безопасности, приведенными в эксплуатационной документации на используемые средства.

А.5 Требования к квалификации поверителей

К проведению поверки допускаются лица, имеющие удостоверение поверителя и изучившие настоящую методику и руководство по эксплуатации.

А.6 Условия калибровки

При проведении калибровки должны быть соблюдены следующие нормальные условия измерений по ГОСТ 8.395- 80:

- температура окружающего воздуха (20±5) °С;
- относительная влажность 30-80 %;
- атмосферное давление 84 -106 гПа;

А.7 Подготовка к калибровке

А.7.1 Подготовить средства калибровки к проведению работ согласно эксплуатационной документации.

А.7.2 Выдержать уровнемер в течение не менее четырех часов при температуре помещения лаборатории.

А.7.3 Очистить фланец с датчиком от загрязнения.

А.8 Проведение калибровки

А.8.1 Внешний осмотр и опробование

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие изделия следующим требованиям:

- наличие руководства по эксплуатации;
- соответствие комплектности требованиям настоящего руководства;
- отсутствие видимых механических повреждений и загрязнения датчика.

При опробовании уровнемера проверить работоспособность согласно 2.4 руководства по эксплуатации.

А.8.2 Определение метрологических характеристик канала измерений давления.

Метрологические характеристики канала измерений гидростатического давления определяют методом сличения показаний уровнемера с показаниями манометра. Сличения проводят не менее чем в трех точках, равномерно распределенных по диапазону изменений давления. Отсчет показаний проводят через 1 мин после задания давления.

Для уровнемеров исполнений УрТ снимают показания миллиамперметра $I_{из}$, рассчитывают истинные значения тока I_i по формуле:

$$I_i = 4 + 16 * P_i / P_{\text{макс.}} \quad (1)$$

где P_i - показания по манометру;

$P_{\text{макс}}$ - верхний предел (0,06; 0,10; 0,60 МПа).

Для каждой точки диапазона определяют погрешность $\Delta I_i = I_{ui} - I_i$

Предел допускаемого значения абсолютной погрешности измерений (по диапазону выходного тока) составляет $\Delta I_{\max} = 0,16 \text{ мА}$.

Значения погрешности ΔI_i не должны превышать величины $0,8 * \Delta I_{\max}$.

Для уровнемеров исполнений УрТ-Т погрешность при измерении гидростатического давления γ_i в *i*-той точке диапазона определяют по формуле:

$$\gamma_i = 100 * (P_{ui} - P_i) / P_{\max}, \quad (2)$$

где P_{ui} - значения давления по показаниям уровнемера.

Значения погрешности γ_i не должны превышать значения $0,8 * \gamma_{\max}$, где γ_{\max} - предел допускаемого значения в соответствии с таблицей 1 руководства по эксплуатации.

А.8.3 Определение метрологических характеристик канала измерений температуры. Метрологические характеристики канала измерений температуры определяют методом непосредственного сличения показаний уровнемера со значениями температуры по эталонному термометру. Сличения проводят в термостате не менее чем в трех точках, равномерно распределенных по диапазону. Отсчет показаний выполняют, если в течение 2 мин значение температуры изменяется не более чем на $0,05 \text{ }^\circ\text{С} / \text{мин}$.

Погрешность измерений температуры Δt_i в *i*-той точке диапазона определяют по формуле:

$$\Delta t_i = T_i - T_{oi}, \quad (3)$$

где T_i - значение температуры по показаниям уровнемера в *i*-той точке диапазона;

T_{oi} - значение температуры по эталонному термометру.

Значения погрешности Δt_i не должны превышать $0,8 * \Delta t_{\max}$, где Δt_{\max} - предел допускаемого значения в соответствии с таблицей 1 руководства по эксплуатации.

А.9 Оформление результатов

Положительные результаты калибровки оформляют выдачей сертификата калибровки. При отрицательных результатах калибровки проводят градуировку измерительных каналов согласно А.10-А.11 и повторную калибровку. При отрицательных результатах повторной калибровки изделие признается непригодным для применения и направляется в ремонт.

А.10 Порядок определения градуировочных характеристик

А.10.1 Порядок определения градуировочных характеристик измерительных каналов. Надо установить прессом давление в датчике и записать установленное значение в таблицу (поле *ру[8]*). Допускается проведение калибровки по 8 точкам. Если точек меньше, то для

завершения списка надо ввести нулевую точку. Давление устанавливается по делениям манометра, а в таблицу записывается в микроамперах. Расчёт осуществляется по формуле $I_i = 4000 + 16000 * P_i / P_{\text{макс.}}$, где $P_{1...8} - \{0 \dots P_{\text{макс.}}\}$, $P_{\text{макс.}}$ - диапазон настройки датчика. Например: для настройки шестиметрового датчика ($P_{\text{макс.}} = 0.6$) можно выбрать давление в 7 точках $P_{1...7} - \{0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6\}$. В результате в таблицу запишем 7 значений тока $I_{1...7}$ и ноль $\{4000, 6667, 9333, 12000, 14667, 17333, 20000, 0\}$.

А.10.2 Каждая из 5-ти строк таблицы ***hx[5][8]*** предназначена для ввода 16-битных значений АЦП в интервале $0 \div 65535$. Кроме этого каждой строке соответствует своё значение температуры. Измеренные значения получают компьютером в результате опроса датчика по протоколу MODBUS-RTU (адрес 113 – давление, адрес 114 - температура). Если в таблице заполнена одна строка, то температурная компенсация не используется.

А.10.3 Каждая из 5-ти строк таблицы ***px[5][8]*** предназначена для ввода тока в цепи питания датчика в микроамперах в зависимости от 16-битного значения ЦАП. Кроме этого каждой строке соответствует своё значение температуры. Значения тока измеряются внешним амперметром. В режиме калибровки датчик выдает значения тока последовательно для 10-ти 16-битных значений ЦАП $\{0, 1000, 9500, 18000, 26500, 35000, 43500, 52000, 60500, 65535\}$. Значения тока в микроамперах, соответствующие первому и последнему значению (минимальное и максимальное) в таблицу не заносятся. Для корректного измерения тока надо отключить опрос датчика по COM – порту (при опросе потребление тока превышает 4 мА).

А.10.4 Каждое 16-битное измеренное значение АЦП в интервале $0 \div 65535$, получаемое компьютером в результате опроса датчика по протоколу MODBUS-RTU (адрес 114) соответствует температуре окружающей среды. После заполнения таблицы ***tx[8]*** надо определить 8-битный код выбора температурных точек, т.е. выделить те значения, которые используются для расчёта температурной компенсации давления. Для расчёта температуры могут использоваться 8 точек, а для температурной компенсации не более 5-ти из них. Каждой ячейке строки слева направо соответствует номер бита в коде выбора точек, начиная с нулевого $\{0,1,2,3,4,5,6,7\}$. Значение бита 1, если значение в ячейке используется для компенсации. Например: для компенсации используются ячейки 0, 1, 4. ($2^0 + 2^1 + 2^4 = 1 + 2 + 16 = 19$), или ставим единицы в соответствующие биты “00010011”. Это число 13 шестнадцатеричное или 19 десятичное (в файле настройки это число в десятичном виде).

Температура окружающей среды ***ty[8]*** в тысячных долях градуса ($^{\circ}\text{C} * 1000$), измеренная внешним термометром, соответствующая 16-битным значениям АЦП.

А.11 Градуировочная таблица

Давление пресса на датчик в сопоставимых току единицах в интервале 4000 ÷ 20000 микроампер

ру[8] - монотонно возрастающий ряд значений (если значение меньше предыдущего, то обработка ряда завершается)

Таблица 3

--	--	--	--	--	--	--	--

16-битное значение АЦП в интервале 0 ÷ 65535, соответствующее давлению пресса для каждой температуры

hx[5][8] – 5 строк, соответствующих значениям температуры, выбранным в параметре status

Ток в цепи питания датчика в микроамперах в зависимости от 16-битного значения ЦАП для каждой температуры

rx[5][8] – 5 строк, соответствующих значениям температуры, выбранным в параметре status

1000 9500 18000 26500 35000 43500 52000 60500

16-битное значение АЦП в интервале 0 ÷ 65535, соответствующее температуре окружающей среды

tx[8] - монотонно возрастающий ряд значений (если значение меньше предыдущего, то обработка ряда завершается)

0 1 2 3 4 5 6 7

--	--	--	--	--	--	--	--

Температура окружающей среды в тысячных долях градус (°C * 1000)

ty[8]

--	--	--	--	--	--	--	--

ПРОТОКОЛ СВЯЗИ УРТ С КОМПЬЮТЕРОМ

Б.1 Общие сведения

Для обмена данными в сети нужны, как минимум, два устройства. Одно из них - главное устройство MASTER (в дальнейшем будем называть его ЗАКАЗЧИК), которое может начать обмен данными, отправив в сеть пакет с инструкциями, а другое - подчиненное устройство SLAVE (в дальнейшем будем называть его ИСПОЛНИТЕЛЬ), которое обрабатывает принятые инструкции.. Порядок обмена данными в сети называется протоколом обмена.

Протокол необходимая часть работы системы. Он определяет как ЗАКАЗЧИК и ИСПОЛНИТЕЛЬ устанавливают и прерывают контакт, как идентифицируются отправитель и получатель, каким образом происходит обмен сообщениями, как обнаруживаются ошибки. Протокол управляет циклом запроса и ответа, который происходит между устройствами ЗАКАЗЧИК и ИСПОЛНИТЕЛЬ.

Протокол подразумевает, что в сети один ЗАКАЗЧИК и до 247 ИСПОЛНИТЕЛЕЙ. Хотя протокол и поддерживает до 247 ИСПОЛНИТЕЛЕЙ, драйвер двухпроводной линии RS-485 обычно поддерживает 32 ИСПОЛНИТЕЛЯ. Каждому ИСПОЛНИТЕЛЮ присвоен уникальный адрес устройства в диапазоне от 1 до 247.

Только ЗАКАЗЧИК может инициировать транзакцию. Транзакции бывают либо типа запрос/ответ (адресуется только один ИСПОЛНИТЕЛЬ), либо ширококвещательные - без ответа (адресуются все ИСПОЛНИТЕЛИ). Транзакция содержит один кадр запроса и один кадр ответа, либо один кадр ширококвещательного запроса.

Некоторые характеристики протокола Modbus фиксированы. К ним относятся формат кадра, последовательность кадров, обработка ошибок и исключительных ситуаций, и выполнение функций.

Другие характеристики выбираются пользователем. К ним относятся тип связи, скорость обмена, проверка на четность и число стоповых бит, Эти параметры не могут быть изменены во время работы системы.

При передаче по линиям данных, сообщения помещаются в «конверт». «Конверт» покидает устройство через «порт» и «пересылается» по линиям адресуемому устройству. Протокол Modbus описывает «конверт» в форме кадров сообщений. В сообщении есть АДРЕС

получателя, *ФУНКЦИЯ*, которую получатель должен выполнить, *ДАННЫЕ*, необходимые для выполнения этой функции, и *КОНТРОЛЬНАЯ СУММА* для контроля достоверности.

Когда сообщение достигает ИСПОЛНИТЕЛЯ, он вскрывает конверт, читает сообщение, и, если не возникло ошибок, выполняет требуемую задачу. Затем ИСПОЛНИТЕЛЬ помещает в конверт ответное сообщение и посылает его ЗАКАЗЧИКУ. В ответном сообщении есть *АДРЕС* устройства, *ФУНКЦИЯ*, которая была выполнена, *ДАННЫЕ*, полученные в результате выполнения задачи, и *КОНТРОЛЬНАЯ СУММА* для контроля достоверности.

Если сообщение было широковещательным (сообщение для всех ИСПОЛНИТЕЛЕЙ), на что указывает адрес 0, то ответное сообщение не передается.

Обычно ЗАКАЗЧИК посылает следующее сообщение другому ИСПОЛНИТЕЛЮ после приема корректного ответа, либо после истечения времени ожидания ответа (тайм-аута). Все сообщения могут рассматриваться как запросы ЗАКАЗЧИКА, генерирующие ответные сообщения ИСПОЛНИТЕЛЯ. Широковещательные сообщения могут рассматриваться как запросы, не требующие ответных сообщений.

Б.2 Режимы передачи

Режим передачи определяет структуру отдельных блоков информации в сообщении и системы счисления, используемую для передачи данных. В системе Modbus существуют два режима передачи ASCII и RTU (Remote Terminal Unit). Мы используем режим передачи RTU, поэтому будем описывать протокол Modbus-RTU. Последовательный порт должен быть настроен следующим образом: скорость 19200, 8 бит, 1 стоповый бит, без контроля четности. В режиме RTU данные передаются непрерывным потоком в виде 8-разрядных двоичных символов.

Существует два типа ошибок, которые могут возникать в системах связи: ошибки передачи и программные или оперативные ошибки. Система Modbus имеет способы определения каждого типа ошибок.

Ошибки связи обычно заключаются в изменении бита или бит сообщения. Например, байт 0001 0100 может измениться на 0001 0110. Ошибки связи выявляются при помощи символа кадра, контроля по четности и избыточным кодированием.

Когда обнаруживается ошибка кадрирования, четности и контрольной суммы, обработка сообщения прекращается. ИСПОЛНИТЕЛЬ не должен генерировать ответное сообщение. Тот же результат будет, если был использован адрес несуществующего ИСПОЛНИТЕЛЯ.

Если возникает ошибка связи, данные сообщения ненадежны. Устройство ИСПОЛНИТЕЛЬ не может с уверенностью определить, что сообщение было адресовано именно

ему. Иначе ИСПОЛНИТЕЛЬ может ответить сообщением, которое не является ответом на исходный запрос. Устройство ЗАКАЗЧИК должно программироваться так, чтобы в случае не получения ответного сообщения в течение определенного времени, ЗАКАЗЧИК должен фиксировать ошибку связи. Продолжительность этого времени зависит от скорости обмена, типа сообщения, и времени опроса ИСПОЛНИТЕЛЬ. По истечению этого периода, ЗАКАЗЧИК должен быть запрограммирован на ретрансляцию сообщения.

Для обеспечения качества передачи данных система Modbus обеспечивает несколько уровней обнаружения ошибок. Для обнаружения множественного изменения битов сообщения система использует избыточный контроль: CRC. Обнаружение ошибок с помощью CRC выполняется автоматически.

В режиме RTU началом нового кадра является тишина в сети в течение времени прохождения 3.5 символов ($T+T+T+T/2$, где T – время прохождения символа при выбранной скорости приёма/передачи данных). ИСПОЛНИТЕЛЬ считает время после прихода символа, и если прошло время, равное периоду следования 3.5 символов, то обрабатывает принятые данные. Следующий принимаемый байт - это адрес устройства в новом сообщении.

Формат кадра сообщения в режиме RTU

Таблица 4

T+T+T+T/2	Адрес	Функция	Данные	Контрольная сумма	T+T+T+T/2
	8 бит	8 бит	N * 8 бит	16 бит	

Поле адреса следует сразу за началом кадра и состоит из одного 8-разрядного символа. Эти биты указывают адрес устройства, которое должно принять сообщение, посланное ЗАКАЗЧИКОМ. Каждый ИСПОЛНИТЕЛЬ должен иметь уникальный адрес, и только адресуемое устройство может ответить на запрос, который содержит его адрес. В ответном сообщении адрес информирует ЗАКАЗЧИКА, с каким ИСПОЛНИТЕЛЕМ установлена связь. В широковещательном режиме используется адрес 0. Все ИСПОЛНИТЕЛИ интерпретируют такое сообщение как выполнение определенного действия, но без посылки подтверждения.

Поле кода функции указывает адресуемому ИСПОЛНИТЕЛЮ, какое действие выполнить. Коды функций Modbus специально разработаны для связи ПК и промышленных коммуникационных систем Modbus.

Старший бит этого поля устанавливается в единицу ИСПОЛНИТЕЛЕМ в случае, если он хочет просигнализировать ЗАКАЗЧИКУ, что ответное сообщение содержит ошибку. Этот бит остается нулём, если ответное сообщение повторяет запрос или в случае нормального сообщения.

Коды используемых функций Modbus

Таблица 5

Код	Название	Действие
03	READ HOLDING REGISTERS	Получение текущего значения одного или нескольких регистров хранения.
06	FORCE SINGLE REGISTER	Запись нового значения в регистр.
16	FORCE MULTIPLE REGISTERS	Установить новые значения нескольких последовательных регистров.

Поле данных содержит информацию, необходимую ИСПОЛНИТЕЛЮ для выполнения указанной функции, если это запрос, или содержит данные, подготовленные ИСПОЛНИТЕЛЕМ, если это ответ на запрос. Данные передаются старшим байтом вперёд (1→0). Если передаётся 4-байтовое число (2 регистра) с плавающей запятой, то в каждом из 2-х регистров порядок следования байт тоже старшим байтом вперёд (1→0→3→2).

Это поле позволяет ЗАКАЗЧИКУ и ИСПОЛНИТЕЛЮ проверять сообщение на наличие ошибок. Иногда, вследствие электрических помех или других воздействий, сообщение при пересылке от одного устройства к другому может незначительно измениться. Результат проверки контрольной суммы укажет ИСПОЛНИТЕЛЮ или ЗАКАЗЧИКУ реагировать или нет на такое сообщение. Это увеличивает надежность и эффективность систем MODBUS.

В Modbus-RTU применяется циклический код CRC-16 (Cyclic Redundancy Check). Сообщение (только биты данных, без учета старт/стоповых бит и бит четности) рассматриваются как одно последовательное двоичное число, у которого старший значащий бит (MSB) передается первым. Сообщение умножается на X^{16} (сдвигается влево на 16 бит), а затем делится на $X^{16}+X^{15}+X^2+1$, выражаемое как двоичное число (11000000000000101). Целая часть результата игнорируется, а 16-ти битный остаток (предварительно инициализированный единицами для предотвращения случая, когда все сообщение состоит из нулей) добавляется к сообщению как два байта контрольной суммы. Полученное сообщение, включающее CRC, затем в приемнике делится на тот же полином ($X^{16}+X^{15}+X^2+1$). Если ошибок не было, остаток от деления должен получиться нулевым. Получатель сообщения должен рассчитать CRC-код и сравнить его с полученным кодом. Вся арифметика выполняется по модулю 2 (без переноса).

Коды исключительных ситуаций приведены в таблице. Когда ИСПОЛНИТЕЛЬ обнаруживает одну из этих ошибок, он посылает ответное сообщение ЗАКАЗЧИКУ, содержащее адрес ИСПОЛНИТЕЛЯ, код функции, код ошибки и контрольную сумму. Для указания на то, что ответное сообщение – это уведомление об ошибке, старший бит поля кода функции устанавливается в 1.

Коды ошибок

Таблица 6

Код	Название	Смысл
01	ILLEGAL FUNCTION	Функция в принятом сообщении не поддерживается на данном ИСПОЛНИТЕЛЕ.
02	ILLEGAL DATA ADDRESS	Адрес, указанный в поле данных, является недопустимым для данного ИСПОЛНИТЕЛЯ.
03	ILLEGAL DATA VALUE	Значения в поле данных недопустимы для данного ИСПОЛНИТЕЛЯ.
04	SLAVE DEVICE FAILURE	ИСПОЛНИТЕЛЬ не может записать данные во FLASH память.

Б.3 Функции

Цель данного раздела - определить общий формат соответствующих команд, доступных программисту системы MODBUS. В разделе описаны формат каждого запросного сообщения, выполняемая функция и формат нормального ответного сообщения.

Функция 03 (Чтение регистров/Read Holding Registers)

Применяется для чтения двоичного содержания регистров ИСПОЛНИТЕЛЯ.

ЗАПРОС:

Сообщение запроса специфицирует начальный регистр и количество регистров для чтения. Нумерация регистров начинается с 0 (регистры 1-16 нумеруются как 0-15).

Запрос на чтение регистров 42-43 ИСПОЛНИТЕЛЯ с адресом 1.

Таблица 7

Номер байта	Номер байта в числе	Условное обозначение	Пример	
			01	01
0	-	Адрес	01	01
1	-	Функция	03	03
2	[1]	Начальный адрес	000В	00
3	[0]			0В
4	[1]	Количество регистров	0002	00
5	[0]			02
6	[1]	Контрольная сумма	В5С9	В5
7	[0]			С9

ОТВЕТ:

Данные регистров в ответе передаются как два байта на регистр. Байты регистров передаются старшим байтом вперед. Количество регистров передаваемых за одно обращение определяется возможностями ИСПОЛНИТЕЛЯ.

Ответ на команду чтение регистров 42-43 ИСПОЛНИТЕЛЯ с адресом 1.

Таблица 8.

Номер байта	Номер байта в числе	Условное обозначение	Пример	
0	-	Адрес	01	01
1	-	Функция	03	03
2		Счётчик байт	04	
3	[1]	Данные регистр 11	0000	00
4	[0]			00
5	[1]	Данные регистр 12	D20F	D2
6	[0]			0F
7	[1]	Контрольная сумма	E697	E6
8	[0]			97

Функция 06 (Запись одного регистра/Preset Single Register)

Применяется для записи значения в единичный регистр. При широковещательной передаче на всех ИСПОЛНИТЕЛЯХ устанавливается один и тот же регистр.

Обычно используется для первоначальной установки адреса ИСПОЛНИТЕЛЯ.

ЗАПРОС:

Запрос содержит ссылку на регистр, который необходимо установить и значение, которое надо в него записать.

Запрос на запись регистра 00 ИСПОЛНИТЕЛЯ с адресом 1.

Таблица 9.

Номер байта	Номер байта в числе	Условное обозначение	Пример	
0	-	Адрес	01	01
1	-	Функция	06	06
2	[1]	Адрес регистра	0000	00
3	[0]			00
4	[1]	Данные	0100	01
5	[0]			00
6	[1]	Контрольная сумма	885A	88
7	[0]			5A

ОТВЕТ:

Нормальный ответ повторяет запрос.

Ответ на запрос записи регистра 00 ИСПОЛНИТЕЛЯ с адресом 1.

Таблица 10.

Номер байта	Номер байта в числе	Условное обозначение	Пример	
0	-	Адрес	01	01
1	-	Функция	06	06
2	[1]	Адрес регистра	0000	00
3	[0]			00
4	[1]	Данные	0100	01
5	[0]			00
6	[1]	Контрольная сумма	885A	88
7	[0]			5A

Функция 16 (Запись в регистры/Preset Multiple Regs)

Применяется для записи значений в последовательность регистров. Запрос указывает регистры для записи, их количество и данные, которые содержатся в поле данных запроса.

Количество регистров записываемых за одно обращение определяется возможностями ИСПОЛНИТЕЛЯ.

ЗАПРОС:

Запрос содержит ссылку на регистр, который необходимо установить и значение, которое надо в него записать.

Запрос на запись в регистры с 0 по 2 ИСПОЛНИТЕЛЯ с адресом 1.

Таблица 11.

Номер байта	Номер байта в числе	Условное обозначение	Пример	
0	-	Адрес	01	01
1	-	Функция	10	10
2	[1]	Начальный адрес	0000	00
3	[0]			00
4	[1]	Количество регистров	0003	00
5	[0]			03
6	-	Счётчик байт	06	06
7	[1]	Данные	0119	01
8	[0]			19
9	[1]	Данные	0405	04
8	[0]			05
10	[1]	Данные	0204	03
11	[0]			04
12	[1]	Контрольная сумма	EВ01	EВ
13	[0]			01

ОТВЕТ:

Нормальный ответ содержит адрес ИСПОЛНИТЕЛЯ, код функции, начальный адрес, и количество регистров.

Ответ на запрос записи регистров 0-2 ИСПОЛНИТЕЛЯ с адресом 1.

Таблица 12.

Номер байта	Номер байта в числе	Условное обозначение	Пример	
0	-	Адрес	01	01
1	-	Функция	10	10
2	[1]	Начальный адрес	0000	00
3	[0]			00
4	[1]	Количество регистров	0003	00
5	[0]			03
6	[1]	Контрольная сумма	8008	80
7	[0]			08

Для контроля записи регистров можно послать запрос на чтение регистров 0-2 ИСПОЛНИТЕЛЯ с адресом 1: 01 03 00 00 00 03 05 СВ и если всё было записано правильно, от ИСПОНИТЕЛЯ придёт ответ: 01 03 06 01 19 04 05 02 04 2С F4.

Б.4 Описание регистров УрТ

Структура данных

Ниже приведена структура данных, используемая для настройки УрТ. Все параметры структуры доступны для записи и чтения с помощью функций протокола Modbus.

```
typedef struct {
    _U8  algoritm;    // настройка датчика уровня
                    // 0 - тестовый режим 1,2,3 - (поправки в зависимости от кода)
                    // 11,12,13 - (поправки в зависимости от температуры)
    _U8  object;     // адрес ИСПОЛНИТЕЛЯ
    _U8  hmax;       // глубина настройки датчика
    _U8  status;     // выбор кодов T-CODE для I-DATA & P-CODE
    _U8  ntav;       // количество точек для осреднения температуры
    _U8  nhav;       // количество точек для осреднения уровня
    _U8  daccfg;     // настройка ЦАП (RegDasCfg0, RegDasCfg1 контроллера XE88)
    _U8  ptoh;       // коэффициент преобразования давления в уровень воды
                    // плюс включает зависимость плотности воды от температуры
    _U8  cfg1;       // регистр АЦП (RegAcCfg1 контроллера XE88LC05)
    _U8  cfg0;       // регистр АЦП (RegAcCfg0 контроллера XE88LC05)
    _U8  cfg[2][3]; // регистры АЦП для настройки 2-х каналов
                    // RegAcCfg3 - RegAcCfg5 контроллера XE88LC05
                    // для каждого канала
    _U16 py[8];      // давление пресса на датчик в сопоставимых току единицах в
                    // интервале 4000 ÷ 20000 микроампер
    _U16 hx[5][8];  // 16-битное значение АЦП в интервале 0 ÷ 65535, соответствующее
                    // давлению пресса для каждой температуры (до 5-ти значений)
    _U16 px[5][8];  // ток в цепи питания датчика в микроамперах в зависимости от
                    // 16-битного значения ЦАП для каждой температуры

```

```

// (до 5-ти значений)
_U16 tx[8]; // 16-битное значение АЦП в интервале 0 ÷ 65535, соответствующее
// температуре окружающей среды
_U16 ty[8]; // температура окружающей среды в тысячных долях градус
// (°C * 1000)
_U16 id; //идентификатор датчика
//*****
_U16 uVal[2]; // 16-битные значения кода АЦП для каналов 0 и 1
_U16 ufVal[2]; // значения уровня и температуры в целых числах
// температуры * 1000
// уровень * 1000, если algorithm = 1 или 11
// уровень * 100, если algorithm = 2 или 12
// уровень * 10, если algorithm = 3 или 13
_F32 fVal[2]; // значения уровня и температуры
} eepromData;

```

Последние 32 байта структуры данных, 4 числа целых без знака uVal[2], ufVal[2] и 2 числа с плавающей запятой fVal[2], доступны только для чтения. Каждая пара байт структуры данных соответствует регистру протокола Modbus. Подробнее соответствие содержимого структуры данных и регистров протокола Modbus будет описано ниже.

Прежде чем использовать полученные числа надо проверить их пригодность для обработки. 4-байтные числа с плавающей запятой, в которых все биты всех 4-х байтов равны 1 считаются непригодными для обработки (отсутствие данных, ошибки измерения и т.д.). Для проверки достаточно сравнить числа в обоих регистрах, входящих в состав проверяемого значения с числом 65535 (0xFFFF шестнадцатеричное) или все 4 байта с числом 255 (0xFF шестнадцатеричное).

Регистры настройки УрТ

Таблица 13.

Номер регистра	Номер байта	Структура	Описание
0	0	object	адрес ИСПОЛНИТЕЛЯ
	1	algorithm	настройка метекомплекса
1	2	status	какие точки массива температур используются для поправок к давлению
	3	hmax	глубина настройки датчика
2	4	nhav	количество точек для осреднения влажности
	5	ntav	количество точек для осреднения температуры
3	6	ptoh	Коэффициент преобразования давления в уровень воды
	7	daccfg	настройка ЦАП (RegDasCfg0, RegDasCfg1 контроллера XE88LC05)
4	8	cfg0	RegAcCfg0 контроллера XE88LC05
	9	cfg1	RegAcCfg1 контроллера XE88LC05
5	10	cfg[0][0]	RegAcCfg2 контроллера XE88 (канал 0 АЦП)
	11	cfg[0][1]	RegAcCfg3 контроллера XE88 (канал 0 АЦП)
6	12	cfg[1][2]	RegAcCfg4 контроллера XE88 (канал 0 АЦП)
	13	cfg[0][0]	RegAcCfg2 контроллера XE88 (канал 1 АЦП)
7	14	cfg[1][1]	RegAcCfg3 контроллера XE88 (канал 1 АЦП)
	15	cfg[1][2]	RegAcCfg4 контроллера XE88 (канал 1 АЦП)
8 ÷ 15	с 16 по 31	py[i]	давление пресса на датчик в сопоставимых току единицах в интервале 1000 - 20000
16 ÷ 23	с 32 по 47	hx ₀ [i]	16-битные значения кодов АЦП в интервале 0 ÷ 65535, соответствующие значения температуры для датчика
24 ÷ 31	с 48 по 63	hx ₁ [i]	16-битные значения кодов АЦП в интервале 0 ÷ 65535, соответствующие значения температуры для датчика
32 ÷ 39	с 64 по 79	hx ₂ [i]	16-битные значения кодов АЦП в интервале 0 ÷ 65535, соответствующие значения температуры для датчика
40 ÷ 47	с 80 по 95	hx ₃ [i]	16-битные значения кодов АЦП в интервале 0 ÷ 65535, соответствующие значения температуры для датчика
48 ÷ 55	с 96 по 111	hx ₄ [i]	16-битные значения кодов АЦП в интервале 0 ÷ 65535, соответствующие значения температуры для датчика
56 ÷ 63	с 112 по 127	px ₀ [i]	токи в цепи питания датчика в микроамперах в зависимости от значения ЦАП (8 значений от 1000 до 60500) для датчика
64 ÷ 71	с 128 по 143	px ₁ [i]	токи в цепи питания датчика в микроамперах в зависимости от значения ЦАП (8 значений от 1000 до 60500) для датчика
72 ÷ 79	с 144 по 159	px ₂ [i]	токи в цепи питания датчика в микроамперах в зависимости от значения ЦАП (8 значений от 1000 до 60500) для датчика
80 ÷ 87	с 160 по 175	px ₃ [i]	токи в цепи питания датчика в микроамперах в зависимости от значения ЦАП (8 значений от 1000 до 60500) для датчика
88 ÷ 95	с 176 по 191	px ₄ [i]	токи в цепи питания датчика в микроамперах в зависимости от значения ЦАП (8 значений от 1000 до 60500) для датчика
96 ÷ 103	с 192 по 207	tx[i]	16-битное значение АЦП в интервале 0 ÷ 65535, соответствующее значение температуры для датчика
104 ÷ 111	с 208 по 223	ty[i]	температура окружающей среды в тысячных долях градуса (°C * 1000)
112	224 225	id	идентификатор

Регистры результатов измерений

Таблица 14.

Номер регистра	Номер байта	Структура	Параметр
113	226	uVal[0]	код давления
	227		
114	228	uVal[1]	код температуры
	229		
115	230	ufVal[0]	уровень в целых
	231		
116	232	ufVal[1]	температура в целых
	233		
117	234	fVal[0]	Уровень
118	235		
	236		
119	237	fVal[1]	Температура
	238		
120	239		
	240 241		