

ВОЛНОМЕР

КОМПЛЕКС МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ МАЛЫЙ

МК-26-2

Руководство по эксплуатации

по вопросам продаж и поддержки обращайтесь:

Волгоград (844)278-03-48, Воронеж (473)204-51-73, Екатеринбург (343)384-55-89, Казань (843)206-01-48,
Краснодар (861)203-40-90, Красноярск (391)204-63-61, Москва (495)268-04-70, Самара (846)206-03-16,
Нижний Новгород (831)429-08-12, Новосибирск (383)227-86-73, Ростов-на-Дону (863)308-18-15,
Санкт-Петербург (812)309-46-40, Саратов (845)249-38-78, Уфа (347)229-48-12

единый адрес hdy@nt-rt.ru

веб-сайт hydromet.nt-rt.ru

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.....	18
2.1 Эксплуатационные ограничения	18
2.2 Требования безопасности	18
2.3 Подготовка изделия к использованию	18
2.4 Указания по включению и опробованию.....	18
2.5 Размещение и монтаж изделия.....	19
3 Техническое обслуживание	22
4 Хранение и транспортирование	22
5 Комплект поставки.....	23
6 Основные сведения об изделии	24
7 Ресурсы, сроки службы и хранения, гарантии изготовителя.....	25
8 Свидетельство о приёмке	25
9 Учёт работы изделия	26
10 Учёт технического обслуживания.....	26
11 Работы при эксплуатации	27
11.1 Учет выполнения работ	27
11.2 Поверка средств измерения.....	28
12 Хранение	29
Методика градуировки	30
А.1 Общие сведения.....	30
А.2 Средства градуировки.....	30
А.3 Порядок определения градуировочных характеристик.....	30
Протокол связи МК–26–2 с компьютером	34
Б.1 Общие сведения	34
Б.2 Режимы передачи	35

Б.3 Функции	38
Б.4 Описание регистров МК–26–2	41
Б.5 Оперативное управление	43
Протокол связи МК–26–2 с GPRS-модемом	45
В.1 Telit GT864	45
Восстановление поверхностных волн	47
Г.1 Обозначения	47
Г.2 Линейная теория волн	47
Г.3 Фазовый сдвиг	48
Г.4 Дисперсионное уравнение	48
Г.5 Линейная теория	48
Г.6 Предположения	49
Г.7 Давление на глубине и поверхностное волнение	50
Г.8 Высокочастотный барьер	50
Г.9 Первичная обработка давления	50
Г.10 Спектральные оценки	52
Г.11 Восстановление поверхностных волн	53
Г.12 Средняя высота волны и период	53

Комплексы метеорологические малые МК-26 предназначены для измерения метеорологических и гидрологических параметров и передачи данных потребителю.

МК-26 выпускаются в четырех модификациях:

— МК-26-1 - базовый комплекс для измерения метеорологических параметров приземного слоя атмосферы с выводом информации на персональный компьютер потребителя по протоколу Modbus-RTU;

— МК-26-2 – мобильный комплекс для измерения метеорологических параметров приземного слоя атмосферы с индикацией данных или с выводом информации на персональный компьютер потребителя по протоколу Modbus-RTU или с передачей данных через модем сотовой связи;

— МК-26-3 – комплекс для измерения абсолютного давления и температуры с выводом информации на персональный компьютер потребителя по протоколу Modbus-RTU;

— МК-26-4 - комплекс для измерения избыточного гидростатического давления и температуры воды с выводом информации на персональный компьютер потребителя по протоколу Modbus-RTU.

Настоящее руководство по эксплуатации (РЭ) предназначено для ознакомления с принципом работы и устройством комплекса метеорологического малого МК-26-2 и устанавливает правила его использования и обслуживания. РЭ содержит указания о возможных неисправностях и способах их устранения. В РЭ изложены правила хранения, транспортирования и утилизации МК-26-2.

Для автоматического измерения метеорологических параметров в состав комплекса МК-26-2 включаются:

- блок измерительный с контроллером и индикатором БИ;
- датчик абсолютного давления атмосферный на базе резонатора кварцевого манометрического абсолютного давления РКМА-Р;
- датчик температуры ДТ;
- датчик влажности и температуры ДВ;
- датчик ветра М-127, ДВМ или ДВМ-6410;
- радиационная защита.

1 Описание и работа изделия

1.1 Назначение изделия

1.1.1 МК–26–2 предназначен для измерения атмосферного давления, температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра, обработки результатов измерений по алгоритмам рекомендуемым Всемирной Метеорологической Организацией, приведенным в "Руководстве по метеорологическим приборам и методам наблюдений" и передачи информации потребителю.

1.2 Технические характеристики

1.2.1 МК–26–2 обеспечивает автоматическое измерение метеопараметров в рабочих условиях применения в диапазонах и с погрешностями, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерения	Пределы допускаемой абсолютной погрешности
1.Температура воздуха, °С	От минус 40 до 50	$\pm 0,3$
2.Относительная влажность воздуха, %	От 10 до 90	$\pm 2,0$
	От 0 до 100	$\pm 4,0$
3.Атмосферное давление, гПа	От 800 до 1100	$\pm 0,5$
4.Скорость ветра V, м/с	От 0,6 до 60	$\pm (0,3+0,05V)$
5.Направление ветра, градус	От 0 до 360	$\pm 10,0$

1.2.2 Для связи МК–26–2 использует интерфейс RS-232, к которому подключается компьютер потребителя с протоколом MODBUS-RTU или GPRS-модем для связи с FTP-сервером потребителя или SMTP-сервером провайдера для отправки электронной почты потребителю. Кроме того для связи используется второй порт RS-232/RS-485, к которому подключается или компьютер потребителя с протоколом MODBUS-RTU или дополнительный интеллектуальный датчик с протоколом MODBUS-RTU (скорость 19200, 8 бит, 1 стоп, без четности).

1.2.3 Энергопитание МК–26–2 осуществляется от источника постоянного тока напряжением (12 ± 2) В. Потребляемая мощность - не более 1 В·А.

1.2.4 Время готовности к работе с момента включения питания не более 3 с.

1.2.5 Вид климатического исполнения соответствует УХЛ1 по ГОСТ 15150-69, для эксплуатации при температуре окружающей среды от минус 40 °С до 50 °С.

1.2.6 Степень защиты от воздействия воды соответствует коду IP65 по ГОСТ 14254-96.

1.2.7 Средний срок службы - не менее 8 лет.

1.2.8 МК–26–2 в упаковке при транспортировании выдерживает:

- воздействие температуры окружающей среды от 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.

1.3 Устройство и работа

1.3.1 МК–26–2 разработан в соответствии с требованиями, предъявляемыми к проведению метеорологических измерений, изложенными в «Наставлениях гидрометеорологическим станциям и постам, выпуск 3, часть 1».



В соответствии с наставлениями метеорологические датчики температуры, влажности воздуха, параметров ветра должны устанавливаться на мачте над поверхностью земли, чтобы исключить влияние расположенных поблизости сооружений. Датчики температуры и влажности воздуха размещены в радиационной защите, имеют естественную или принудительную аспирацию и защиту от прямых солнечных лучей, осадков. Датчик атмосферного давления установлен внутри корпуса блока измерительного (БИ). Блок измерительный может располагаться как непосредственно на метеоплощадке (в защитном боксе), так и внутри помещения.

Принцип действия МК–26–2 основан на дистанционном измерении метеорологических параметров (температуры воздуха, относительной влажности воздуха, скорости и направления воздушного потока, атмосферного давления) посредством контактных датчиков. Выходные сигналы датчиков поступают в измерительный микроконтроллер блока БИ. Микроконтроллер осуществляет управление работой комплекса, преобразование цифровых кодов в физические величины, осреднение полученных значений, вывод информации на индикатор и в линию связи. Микроконтроллер передает данные по своей инициативе в GPRS-модем для передачи в FTP-сервер потребителя или в SMTP-сервер провайдера для отправки электронной почты потребителю или выдает данные по запросу из центра сбора данных потребителя.

Визуализация данных, полученных от комплексов МК–26–2, осуществляется в центре сбора данных потребителя (персональный компьютер с программным обеспечением).

Встроенное программное обеспечение написано на языке программирования “С”. Для программирования используется бесплатный “32KB KickStart edition of IAR Embedded Workbench for ARM”.

1.3.2 Центральным устройством комплекса является блок измерительный БИ. В корпусе БИ расположена плата измерительного контроллера и датчик атмосферного давления. На лицевой панели корпуса может быть размещен жидкокристаллический индикатор. Для подключения метеорологических датчиков и линии связи установлены разъёмы разных типов (рисунок 1).



Рисунок 1

Внутри корпуса БИ разъёмы соединены с разъёмами измерительного контроллера (рисунок 2). Разъёмы и номера контактов в разъёмах распределены следующим образом:



- тумблер справа для включения МК–26–2, а слева для – жидкокристаллического индикатора (ЖКИ). Тумблер вверх – включен. ЖКИ можно включать/выключать в любое время. **Включать ЖКИ можно только при температуре выше -30°C.**



- красный светодиод включается 4 раза в секунду в момент сброса внешнего сторожевого таймера. Если он моргает, то программа в микроконтроллере работает.

 - желтый светодиод включается после запуска программы и далее указывает на прием/передачу данных по нулевому коммуникационному порту. При передаче выключается, при приеме включается.

 - зеленый светодиод выключается после запуска программы и далее указывает на передачу/прием данных по первому коммуникационному порту. При передаче включается, при приеме выключается.

Внутри корпуса БИ разъёмы соединены с разъемами измерительного контроллера в соответствии с рисунком 2. Разъемы и номера контактов в разъемах распределены следующим образом:



— разъем RPSMA для подключения антенны 2,4 ГГц;



— температура и влажность соединяется с разъемом XP4 или платиновый термометр через плату АЦП соединяется с разъемом XP4 по 4-х проводной схеме;

- Контакт 1 — +3.3 вольта или белый провод ТСПТ-300;
- Контакт 2 — $\perp$ или белый провод ТСПТ-300;
- Контакт 3 — sClk шина CLOCK;
- Контакт 4 — sDat шина DATA или красный провод ТСПТ-300;
- Контакт 5 — + 5 вольт для питания датчика или красный провод ТСПТ-300;



— скорость и направление ветра соединяется с разъемом XP1;

- Контакт 1 — +5 вольт;
- Контакт 2 — $\perp$;
- Контакт 3 — А;
- Контакт 4 — М ;



— коммуникационный разъем соединяется с разъемами плате XP9 / J9 (Com1), XP10 / J7 (Com0), XP11 (+12 вольт) и J3 (программирование). Для подключения внешних датчиков по RS-485 может дублироваться. Для подключения GPRS-модема по RS-232 возможна установка дополнительного разъема DB-9, соединенного с XP10 (Com0) и тумблера

для переключения протоколов (если тумблер направлен на модем, то включается передача данных на FTP-сервер по инициативе МК-26).

- Контакт 1 — Rx₁ RS-232 или Data+ RS-485 (Com1);
- Контакт 2 — Tx₁ RS-232 или Data- RS-485 (Com1);
- Контакт 3 — $\perp$;
- Контакт 4 — переключение МК-26-2 в программирования (контакт на землю);
- Контакт 5 — Tx₀ RS-232 или Data- RS-485 (Com0);
- Контакт 6 — Rx₀ RS-232 или Data+ RS-485 (Com0);
- Контакт 7 — питание 12 вольт для модема;



— скорость и направление ветра от датчика WindSonic (соединяется с XP9, питание датчика с XP11) или подключение датчика МК-26-4 (соединяется с J9, питание 18, 19);

- Контакт 1 — Com1 контроллера (Rx RS-232 XP9 или Data+ RS485 J9) ;
- Контакт 2 — Com1 контроллера (Tx RS-232 XP9 или Data- RS485 J9);
- Контакт 3 — $\perp$;
- Контакт 4 — питание 12 вольт для датчика через ключ (XP11 или 18, 19).



— осадки соединяется с разъемом XP2 или дополнительный разъем для подключения RS485 (COM1), который соединяется с J9;

- Контакт 1 — осадки или Data+ RS-485 (Com1);
- Контакт 2 — $\perp$ или Data- RS-485 (Com1).



— напряжение 12 вольт соединяется с разъемом XPS. Для удобства подключения внешнего кабеля питания и связи может быть установлен 4-контактный разъем, на который дополнительно выведены цепи Rx₀ или Data- (контакт 4) и Tx₀ или Data+ (контакт 3) Com0).

- Контакт 1 — +12 вход;
- Контакт 2 — $\perp$.

Измерительный контроллер содержит:

- 32-битные таймеры для измерения частоты – 2 канала;
- последовательная шина I2C – 2 шт.;
- аналого-цифровой преобразователь 10 бит – 4 дифференциальных канала;
- разъем для подключения внешнего 24-битного АЦП (2 канала);
- универсальные дискретные входы/выходы – 4 шт.;
- температурно-стабилизированный генератор импульсов 16 мГц;
- супервизор питающего напряжения и сторожевой таймер;
- преобразователь напряжения;
- часы реального времени с батареей.
- встроенную энергонезависимую память;
- энергонезависимую FRAM-память 128 Кбайт;
- преобразователь интерфейса RS-232;
- преобразователи интерфейса RS-485;
- преобразователь интерфейса Ethernet;
- радиомодуль 2,4 ГГц;
- электронный ключ для включения питания метеокомплекса;
- электронный ключ для включения питания датчика уровня;
- электронный ключ для включения питания датчика влажности и температуры.

Контроллер размещен в БИ (корпус IP65) и подключен к разъемам на корпусе как на рисунке 2.

Габаритные размеры 200×120×75 мм, масса 0,5 кг.



Рисунок 2

1.3.3 Датчик абсолютного давления атмосферный выполнен на основе кварцевого преобразователя давления и платинового датчика температуры. Выходные сигналы: частота – давление, электрическое сопротивление – температура, для учета температурной поправки. Для измерения атмосферного давления используется датчик АтК на базе кварцевого преобразователя давления воздуха РКМА-Р. Фотография датчика приведена на рисунке 3.



Рисунок 3

Габаритные размеры 50×29×26 мм, масса 0,1 кг.

1.3.4 Принцип действия платинового термометра основан на пропорциональном изменении его электрического сопротивления в зависимости от изменения температуры. Выходной сигнал – сопротивление. Фотография датчика приведена на рисунке 4.



Рисунок 4.

Габаритные размеры : $\varnothing 8 \times 30$ мм, масса 0,1 кг.

1.3.5 Датчик температуры и влажности воздуха выполнен на основе чувствительного элемента SHT-15/SHT-75. Фотография SHT-15/SHT-75 и датчика в корпусе приведена на рисунке 5.

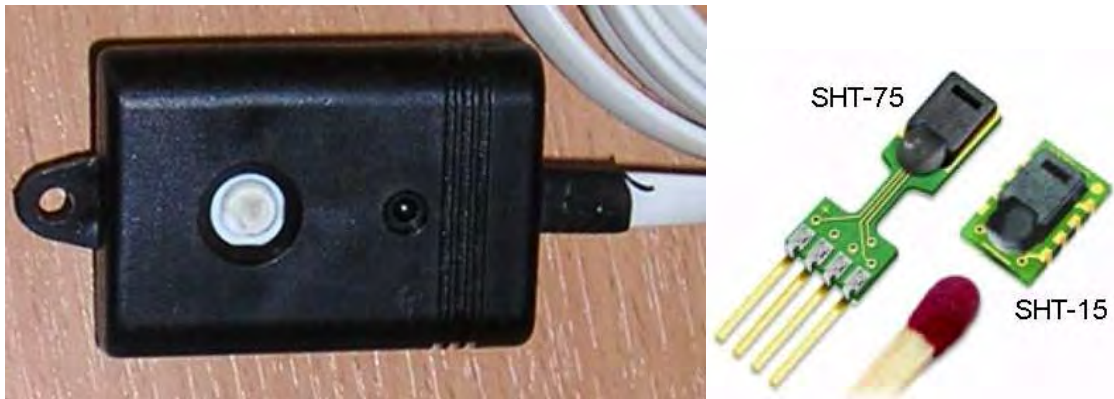


Рисунок 5

Выходной сигнал датчика – двухпроводный последовательный интерфейс (типа I2C). Чувствительный элемент SHT-15/SHT-75 располагается в защитном корпусе и связан с атмосферой через специальный фильтр. Фотография фильтра приведена на рисунке 6.



Рисунок 6

Корпус датчика обеспечивает защиту от прямого воздействия солнечных лучей.

Габаритные размеры 40×15×15, масса 0.1 кг

1.3.6 Датчик ветра ДВМ-6410 обеспечивает преобразования скорости ветра в частоту следования последовательностей электрических импульсов и направления ветра (азимут) в

ШИМ сигнал. Выходной сигнал датчика - две последовательности импульсов амплитудой 5В. Первая с частотой от 0 до 75 Гц пропорциональной скорости ветра. Вторая с частотой 244 Гц с шириной (от 1мкс) импульса пропорциональной направлению ветра. Для правильного измерения азимута, штанга крепления датчика должна быть направлена на север. Флюгер закреплен при градуировке. Фотография приведена на рисунке 7.



Рисунок 7

Габаритные размеры: 381х38х457 мм, масса 1,332кг

1.3.7 Датчик ветра ДВМ/М-127 обеспечивает преобразования скорости и направления ветра в частоту следования и фазовый сдвиг последовательностей электрических импульсов. Выходной сигнал датчика - две последовательности импульсов частотой следования от 2 до 50 Гц. Фазовый сдвиг между последовательностями от 0 до 360 градусов. Рабочий диапазон от -50°C до +50°C. Фотография приведена на рисунке 8.



Рисунок 8

Габаритные размеры: 380х194х412 мм, масса 2,0кг или 695х295х635 мм, масса 5,8 кг

1.3.8 Радиационная защита используется для защиты датчиков влажности и температуры от прямого воздействия солнечных лучей и осадков, обеспечивает естественную аспирацию. . Фотография приведена на рисунке 9.

Габаритные размеры 180×180×190 мм , масса 0,6 кг.



Рисунок 9

1.3.9 Электропитание комплекса обеспечивается от блока бесперебойного питания (ББП) 12В, располагаемого в помещении. ББП в состав МК–26–2 не входит. Является дополнительным оборудованием в случае отсутствия питания 12В.

1.3.10 Схема МК–26–2 приведена на рисунке 10.

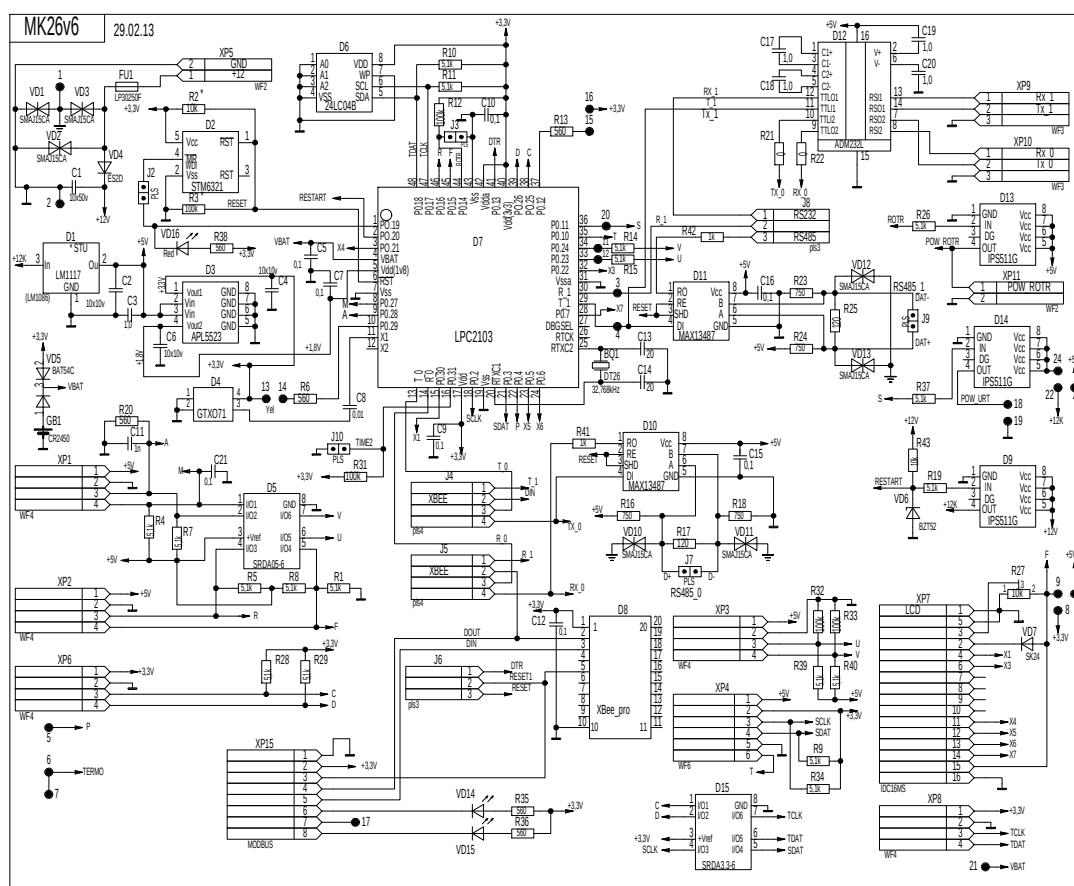


Рисунок 10.

1.3.11 По включению питания микросхема LM1117 вырабатывает стабилизированное напряжение 5 вольт, которое микросхемой LP2966 преобразуется в 3.3 вольта и 1.8 вольт для питания микроконтроллера LPC2103/LPC2106 и измерительных устройств: датчика

температуры (ДТ), кварцевого датчика абсолютного давления АтК, датчика относительной влажности (ДВО), датчика скорости и направления ветра ДВМ. Через 140 миллисекунд после подачи питания в микроконтроллере запускается программное обеспечение, под управлением которого выполняются измерения и обработка результатов.

Выходной сигнал АтК, пропорциональный величине абсолютного давления, поступает на вход 32-разрядного таймера микроконтроллера LPC2103/LPC2106. Временной интервал подсчёта входных импульсов формируется с помощью термо-стабилизированного генератора GTXO71 16 мГц, от которого работает и сам микроконтроллер LPC2103/LPC2106. Температура кварцевого стекла измеряется либо с помощью термометра DS1631, подключаемого к контроллеру по I2C, либо с помощью платинового термосопротивления класса В ($W_{100} = 1.385$, поэтому используются стандартные коэффициенты преобразования сопротивления в температуру $R_0 = 100$, $A = 3.9083 \cdot 10^{-3}$, $B = -5.775 \cdot 10^{-7}$, $C = -4.183 \cdot 10^{-12}$). Измеренное значение частоты и полученное значение температуры кварца пересчитывается по градуировочным коэффициентам из флэш-памяти в абсолютное давление, которое записывается в регистры оперативной памяти, которые могут быть прочитаны с помощью протокола MODBUS-RTU по RS-232/RS-485.

ДВО подключен к 2-м цифровым входам/выходам микроконтроллера, через которые программно реализован последовательный протокол обмена. Коды встроенного в датчик АЦП пересчитываются в значения влажности и температуры по формулам, приведенным в документации на датчик SHT-15/SHT-75 и записывается в регистры оперативной памяти, которые могут быть прочитаны с помощью протокола MODBUS-RTU по RS-232/RS-485.

Принцип работы датчика скорости и направления ветра основан на использовании зависимостей между скоростью воздушного потока и числом оборотов винта и между направлением вектора скорости и положением свободно ориентирующейся флюгарки. При этом скорость и направление ветра преобразуются в частоту следования и фазовый сдвиг последовательностей электрических импульсов при помощи двух пульсаторов, выполненных на герконах. Опорная и основная серия импульсов подаются на 2 цифровых входа, которые вызывают прерывания в программе при каждом прохождении импульса. Программно рассчитывается частота следования импульсов и фазовый сдвиг.

Мгновенное значение скорости ветра определяется по формуле:

$$V = \frac{f}{k}, \quad \text{где } k \text{ — коэффициент винта, } f \text{ — частота} \quad (1)$$

Мгновенное значение направления ветра α определяется по формуле:

$$\alpha = 360^\circ \times f \times \Delta \quad \text{где } \Delta \text{ — временной сдвиг основной серии от опорной} \quad (2)$$

Полученные значения записываются в регистры оперативной памяти, которые могут быть прочитаны с помощью протокола MODBUS-RTU по RS-232/RS-485.

1.3.12 Градуировка измерительных каналов является частью настройки МК–26–2 и проводится с целью определения градуировочной характеристики каждого измерительного канала для последующего вычисления коэффициентов аппроксимирующего полинома. Порядок определения градуировочных характеристик измерительных каналов и вычисления коэффициентов аппроксимирующего полинома приведен в приложении А. В МК–26–2 градуировка требуется для канала измерения абсолютного давления и для канала температуры.

Абсолютное давление вычисляется по формуле:

$$P = C_0(f) + C_1(f) \times t + C_2(f) \times t^2 \quad (3)$$

где t – температура кварца, C_0 , C_1 , C_2 – коэффициенты зависящие от частоты кварца, каждый из которых определяется по формуле:

$$C_i(f) = A_{i0} + A_{i1} \times f + A_{i2} \times f^2 \quad (4)$$

где A_{i0} , A_{i1} , A_{i2} – коэффициенты аппроксимирующего полинома 2-ой степени.

Таким образом для вычисления абсолютного давления МК–26–2 всегда используются 3 из 8-ми возможных аппроксимирующих полиномов, по одному для каждой из температур, при которых производилась градуировка. Выбираются 3 ближайших полинома из окружения измеренного значения температуры, которые будут использованы для вычисления коэффициентов C_i формулы 3. Затем измеренное значение частоты кварца подставляется поочередно в эти 3 полинома 2-ой степени и вычисляются коэффициенты C_0 , C_1 , C_2 . Затем из полученных коэффициентов формируется полином 2-ей степени, в который подставляется измеренное значение температуры кварца. Такая аппроксимация называется кусочно-параболической. Если для градуировки используются только 2 точки, аппроксимация будет кусочно-линейной. Температура кварца измеряется либо платиновым термосопротивлением (ТС), подключенным ко 2-му дифференциальному входу АЦП (эталонное сопротивление подключено к 0-му дифференциальному входу АЦП), либо термометром DS1631, подключенным к разъему ХР6.

Термометр платиновый подключен ко 1-му дифференциальному входу АЦП, а эталонное сопротивление (не зависит от температуры) к 0-му дифференциальному входу АЦП. Сопротивления соединены последовательно, так что при включении питания через них протекает одинаковый ток. Измерение отношения падения напряжения на термометре к падению напряжения на эталонном сопротивлении происходит по прерыванию с частотой, установленной в энергонезависимой памяти.

Код АЦП по градуировочным коэффициентам из флэш-памяти пересчитывается в электрическое сопротивление по формуле полинома 1-ой степени:

$$R_t = B_0 + B_1 \times code \quad (5)$$

где code – измеренный код АЦП, к которому подключено термосопротивление, B_0 , B_1 – коэффициенты полинома для расчета сопротивления. Температура вычисляется по формулам ГОСТ Р 8.625-2006 «Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний».

Номинальные статические характеристики преобразования ТС должны соответствовать уравнению:

$$R_t = W_t \cdot R_0, \quad (6)$$

где R_t - сопротивление ТС при температуре t , Ом;

W_t - значение отношения сопротивлений при температуре t к сопротивлению при 0°C.

Интерполяционное уравнение для платинового ТС с $W_{100} = 1,3910$

$W_t = 1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3$ - для диапазона температур от минус 200 до 0°C;

$W_t = 1 + At + Bt^2$ - для диапазона температур от 0 до 600°C,

$W_t = 1 + At + Bt^2$ - для диапазона температур от 600 до 1100°C,

где : $A = 3.969 \cdot 10^{-3}$ $B = -5.841 \cdot 10^{-7}$, $C = -4.33 \cdot 10^{-12}$

Интерполяционное уравнение для платинового ТС с $W_{100} = 1,3850$

$W_t = 1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3$ - для диапазона температур от минус 200 до 0°C;

$W_t = 1 + At + Bt^2$ - для диапазона температур от 0 до 850°C,

где : $A = 3.9083 \cdot 10^{-3}$ $B = -5.775 \cdot 10^{-7}$, $C = -4.183 \cdot 10^{-12}$

Интерполяционное уравнение для платинового ТС с $W_{100} = 1,3750$

$W_t = 1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3$ - для диапазона температур от минус 200 до 0°C;

$W_t = 1 + At + Bt^2$ - для диапазона температур от 0 до 850°C,

где : $A = 3.81019 \cdot 10^{-3}$ $B = 6.01875 \cdot 10^{-7}$, $C = 6.145 \cdot 10^{-12}$

Электрическое сопротивление по градуировочным коэффициентам R_0 , A , B , C из флэш-памяти, которые берутся из паспорта на термосопротивление или стандартные из ГОСТа, пересчитывается в температуру.

Результаты записываются в регистры оперативной памяти, которые могут быть прочитаны с помощью протокола MODBUS-RTU по RS-232 /RS-485.

1.3.13 Для передачи данных потребителю по каналу сотовой связи к порту RS-232 МК-26-2 может быть подключен GPRS-модем Telit GT864. Список AT команд для настройки модемов и привязки их к оператору сотовой связи приведен в приложении В.

2 Использование по назначению

2.1 Эксплуатационные ограничения

2.1.1 Эксплуатационные ограничения комплекса МК-26-2 касаются его датчика абсолютного давления. Измеряемая среда не должна иметь загрязнений, которые могут накапливаться и уплотняться в полости штуцера перед кварцевым стеклом и вызвать отказ датчика.

2.2 Требования безопасности

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

2.2.2 МК-26-2 относится к классу III по ГОСТ 12.2.007.0-75 и не использует напряжений, опасных для человека.

2.2.3 Внешний источник питания, применяемый в случае необходимости для преобразования более высокого напряжения в безопасное 12 вольт, должен иметь сертификат электробезопасности.

Мерами предосторожности являются:

- соблюдение правил техники безопасности;
- исправность предохранителей.

2.3 Подготовка изделия к использованию

2.3.1 Работать с изделием могут лица, изучившие настоящее руководство по эксплуатации, ознакомившиеся со схемой и конструкцией МК-26-2 и прошедшие инструктаж по технике безопасности.

2.3.2 Внимание! Для обеспечения устойчивой работы МК-26-2 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 МК-26-2 на отсутствие внешних повреждений. Для опробования перед монтажом на месте эксплуатации выполнить следующие операции:

- соединить составные части МК-26-2 (БИ, ББП и персональный компьютер);

— запустить программу «Обслуживание МК-26-2», которая находится в директории service\ask компакт-диска МК-26-2 (файл ask.exe);

Более подробно работа с программой описана в «Руководстве пользователя». Главное окно программы приведено на рисунке 11.

★ Обслуживание МК-26-2						
08/09/2011			10:16:06			
Параметры	> <	Среднее	Текущее	Минимум	Максимум	Код
Температура, °		23.594549	23.594549	22.59455	24.59455	0.000000
Давление, мм.рт.ст	3.0	739.59454	739.59454			0.000000
Влажность, %		59.189098	59.189098			59.18910
Скорость, м/с	0.5	5.7972751	5.7972751		7.594550	5.797275
Направление, °		117.97275	117.97275		117.9727	117.9727
Уровень, м		3.9189100	3.9189100			0.000000
Темпер. воды, °		10.594550	10.594550			0.000000
Высота волны, м		7.5945501			0.797275	
Период, сек		7.5945501				
Темпер. ПДТК, °			25.918909			
Точка росы, °			12.594550			
COM1: "Все нормально" Порт_1 АКП_01 10:16 08/09/2011						
F1Помощь F2Запись F3Чтение F4Архив F8Старт F9Стоп TABНомер ESCВыход						

Рисунок 11

Значения должны соответствовать давлению, температуре и влажности окружающей среды, скорости и направлению ветра.

2.5 Размещение и монтаж изделия

2.5.1 Внешний вид установленного комплекса приведен на рисунке 12.

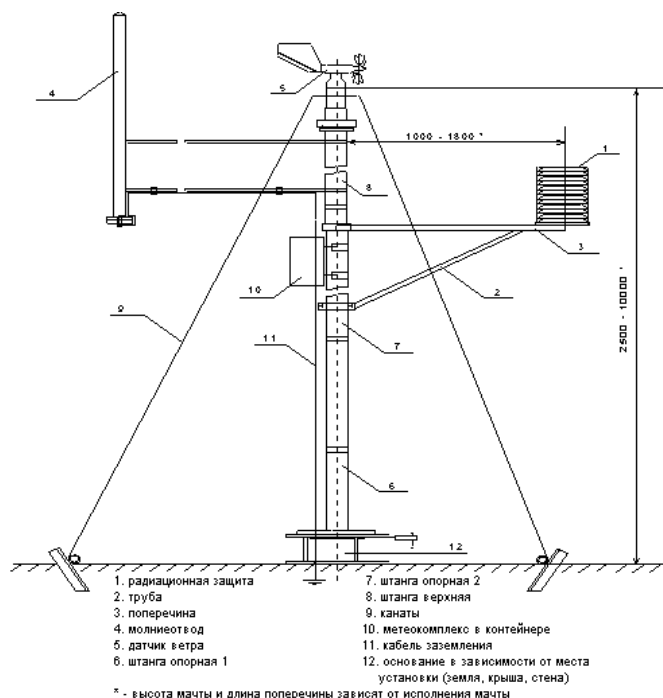


Рисунок 12

2.5.2 В соответствии с наставлениями метеорологические датчики температуры, влажности воздуха, параметров ветра размещены на мачте над поверхностью земли, чтобы исключить влияние расположенных поблизости сооружений. Датчики температуры и влажности воздуха размещены в радиационной защите. Блок измерительный БИ в защитном боксе закрепляется на мачте. Кабель питания и связи для подключения к БИ изготавливает пользователь.

2.5.3 Кабель связи, соединяющий БИ с ББП и компьютером пользователя, 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 предварительная маркировка его жил для исключения неправильного электрического соединения (пример маркировки для RS-485 на рисунке 13). Длина кабеля связи при интерфейсе RS-232 - до 30 м, при RS-485 – 1200 м..



Рисунок 13

2.5.4 На рисунке 14 показан промер крепления защитного бокса к мачте с помощью универсального крепежа из комплекта поставки.

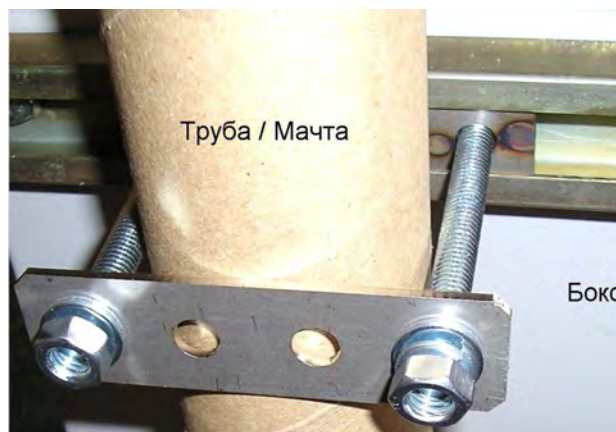


Рисунок 14

2.5.5 На рисунке 15 показана схема подключения кабелей. Если на крышке измерительного блока установлено 2 разъема с одинаковым количеством контактов, то значит контакты продублированы и можно использовать любой.

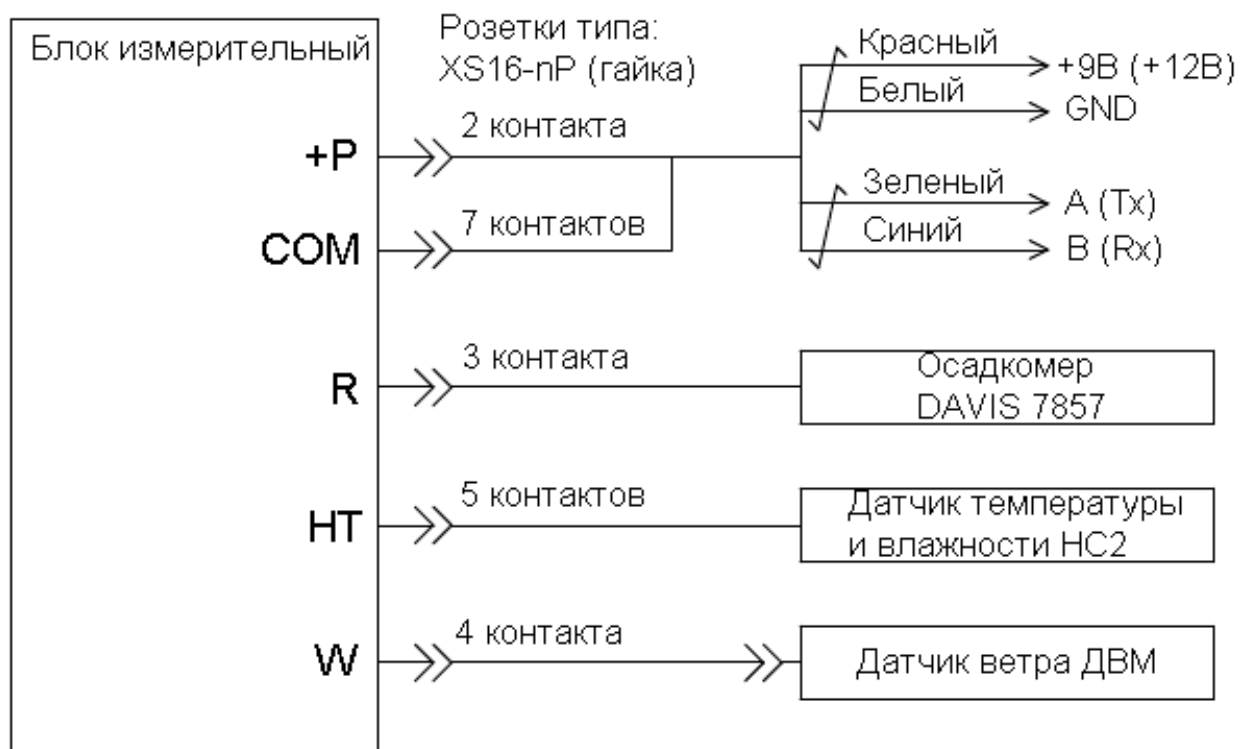


Рисунок 15

3 Техническое обслуживание

3.1 Для МК–26–2 предусмотрены следующие виды технического обслуживания:

- внешний осмотр;
- контроль работоспособности;

3.2 Внешний осмотр и контроль работоспособности проводятся согласно 2.4. Техническое обслуживание метеорологических датчиков проводится в соответствии с их эксплуатационной документацией.

3.3 Текущий ремонт осуществляется предприятием-изготовителем по договору. В течение гарантийного срока ремонт МК-26-2 осуществляется бесплатно.

4 Хранение и транспортирование

4.1 МК–26–2 должен 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.

4.2 В помещении для хранения МК–26–2 не должно быть агрессивных примесей (паров кислот, щелочей), вызывающих коррозию.

4.3 МК–26–2 можно транспортировать любым видом транспортных средств, на любое расстояние в условиях, установленных для группы 5 ГОСТ 15150-69.

4.4 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.

4.5 После транспортирования при отрицательных температурах МК–26–2 должен быть выдержан при нормальных условиях не менее 12 ч.

5 Комплект поставки

Таблица 2

№	Наименование	Условное обозначение	МК-26-2
1	2	3	4
	Комплекс метеорологический малый МК-26-2, в том числе:		
1	Блок измерительный БИ	БИ2	1
2	Преобразователь температуры	ДТ	
3	Преобразователь относительной влажности и температуры		
4	Преобразователь абсолютного давления атмосферный (размещен в корпусе блока БИ)	АтК	
5	Датчик ветра малогабаритный		
6	Блок радиационной защиты	РЗ	
7	Диск программной поддержки	-	1
8	Разъем питания (ответная часть)	-	
9	Руководство по эксплуатации	РЭ	1
10	Методика поверки № МП 2551-0040-2008	МП	1

Комплект дополнительного оборудования представлен в таблице 3.

Таблица 3

№	Наименование	Условное обозначение	МК-26-2 (в соответствии с заказом)
1	2	3	4
1	Метеомачта	—	
2	Блок питания AC/DC		
3	Бокс защитный	MES (300x200x150)	
4	Обогрев защитного бокса	—	
5	GPRS - модем		
6	Антенна		
7	Радиомодем RS485-ZigBee		
8	Конвертор USB-RS485		
9	Конвертор Ethernet-RS485		
10	Точка доступа WI FI		
11	FRAM-память для хранения архива		
12	Нетбук		
13	Кабель		
14	Источник бесперебойного питания		
15	Центр сбора метеоданных	МЕТЕО	
16	Жидкокристаллический индикатор		
17	Уровнемер МК-26-4 (с поверкой)	—	
18	Доп. программные модули		

6 Основные сведения об изделии

6.1 Комплекс метеорологический малый МК-26-2 ЛАНИ.416311.001-02 № _____

уточнение типа уточнение обозначения комплекса заводской номер

изготовлен " ____ " _____ 201 ____ г. ООО «НТЦ Гидромет», г. Обнинск Калужской обл.

наименование изготовителя

Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.28.001.A№33759 действителен до 04

марта 2019 выдан федеральным агенством по техническому регулированию и метрологии

срок действия и орган его выдавший

6.2 Коммуникационные средства МК-26-2 формируются при заказе и включают в себя 2 универсальных асинхронных приемо/передатчика с преобразователями интерфейсов в RS-232 / RS-485 / Радио 2.4гГц. В таблице 4 описана поставляемая конфигурация.

Таблица 4

Наименование		Протокол			Адрес
1		2			3
Коммуникационный порт COM0 (19200, 8, 1, без контроля четности):		Modbus RTU Master	Modbus RTU Slave	АТ- команды	
RS-232					
RS-485					
Радио 2.4 гГц					
Ethernet					
Коммуникационный порт COM1 (, 8, 1, без контроля четности):		Modbus RTU Master	Modbus RTU Slave	АТ- команды	
RS-232					
RS-485					
Радио 2.4 гГц					

7 Ресурсы, сроки службы и хранения, гарантии изготовителя

7.1 Средний срок службы МК–26–2 - 8 лет

7.2 Ресурсы и сроки службы датчиков определяются в соответствии с индивидуальными паспортами на них.

7.3 Изготовитель гарантирует соответствие МК–26–2 заданным характеристикам при соблюдении условий транспортирования, хранения, монтажа и эксплуатации.

7.4 Гарантийный срок эксплуатации 12 месяцев со дня ввода МК–26–2 в эксплуатацию, но не более 18 месяцев со дня поставки. Гарантийный срок хранения 12 месяцев с момента изготовления.

8 Свидетельство о приёме

Комплекс метеорологический малый МК- 26-2 ЛАНИ.416311.001-02 № _____

уточнение типа уточнение обозначения комплекса заводской номер

изготовлен и принят в соответствии с обязательными требованиями государственных стандартов, действующей технической документацией и признан годным для эксплуатации.

8.1.1.1 Начальник ОТК

МП

личная подпись

расшифровка подписи

год, месяц, число

.....
линия отреза при поставке на экспорт

Руководитель
предприятия

ЛАНИ.416311.001 ТУ

обозначение документа,
по которому производится поставка

МП

личная подпись

расшифровка подписи

год, месяц, число

Заказчик
(при наличии)

МП

личная подпись

расшифровка подписи

год, месяц, число

9 Учёт работы изделия

Дата	Цель работы	Время		Продолжительность работы	Наработка, ч		Кто проводит работу	Должность, фамилия и подпись ведущего формуляр
		начала работы	окончания работы		после последнего ремонта	с начала эксплуатации		

10 Учёт технического обслуживания

Дата	Вид технического обслуживания	Наработка, ч		Основание (наименование, номер и дата документа)	Должность, фамилия и подпись		Примечание
		после последнего ремонта	с начала эксплуатации		выполнившего работу	проведшего работу	

11 Работы при эксплуатации

11.1 Учет выполнения работ

[illegible]

11.2 Поверка средств измерения

[illegible]

12 Хранение

[illegible]

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Методика градуировки

А.1 Общие сведения

Настоящий раздел устанавливает методы градуировок измерительных каналов.

А.2 Средства градуировки

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

- термометр (набор термометров) для измерений температуры, диапазон от -40°C до 50°C , погрешность не более $0,1^{\circ}\text{C}$;
- манометр абсолютного давления БРС-1;
- помпа ручная пневматическая П-0,25М;
- источник постоянного тока напряжением $(12 \pm 2) \text{ В}$;
- магазин эталонных сопротивлений $80 - 120 \text{ Ом}$;
- генератора влажного газа "Родник-2";
- манометр избыточного давления грузопоршневой МП-2,5, класс точности 0,05;
- персональный компьютер.

А.3 Порядок определения градуировочных характеристик

А.3.1 Для проведения градуировки требуется обеспечить связь МК–26–2 с персональным компьютером и установить специальное программное обеспечение. Для обеспечения связи надо соединить выход «RS-232» БИ модемным кабелем с портом RS-232 компьютера. Переписать в компьютер программное обеспечение из компакт-диска комплекта поставки, директории service (расчёт градуировочных коэффициентов и связь с МК–26–2). Программное обеспечение – это консольные программы под Windows. После запуска программы !ack из директории service\ack на экране появится таблица со списком измеряемых параметров и результатами измерений. В правой колонке выводятся первичные измерительные данные, которые используются для градуировки каналов. Окно программы приведено на рисунке 16.

Обслуживание МК-26-2						
08/09/2011						
10:16:06						
Параметры	> <	Среднее	Текущее	Минимум	Максимум	Код
Температура, °		23.594549	23.594549	22.59455	24.59455	0.000000
Давление, мм.рт.ст	3.0	739.59454	739.59454			0.000000
Влажность, %		59.189098	59.189098			59.18910
Скорость, м/с	0.5	5.7972751	5.7972751		7.594550	5.797275
Направление, °		117.97275	117.97275		117.9727	117.9727
Уровень, м		3.9189100	3.9189100			0.000000
Темпер. воды, °		10.594550	10.594550			0.000000
Высота волны, м		7.5945501			0.797275	0.000000
Период, сек		7.5945501				
Темпер. ПДТК, °			25.918909			
Точка росы, °			12.594550			
COM1: "Все нормально" Порт_1 АКП_01 10:16 08/09/2011						
F1 Помощь F2 Запись F3 Чтение F4 Архив F8 Старт F9 Стоп TAB Номер ESC Выход						

Рисунок 16

А.3.2 Порядок определения градуировочных характеристик абсолютного давления

Для проведения градуировки требуется климатическая камера, источник питания 12В, блок измерительный с датчиком абсолютного давления, компьютер с портом RS-232, помпа пневматическая, эталонный барометр абсолютного давления, соединительные трубки, специальное программное обеспечение. Разместить в рабочей зоне климатической камеры БИ с датчиком абсолютного давления, датчик соединить газовой линией с эталонным барометром и помпой. Персональный компьютер, эталонный барометр и помпу расположить вне климатической камеры. Запустить программное обеспечение согласно А.3.1. Окно с двумя датчиками давления и показаниями эталонного барометра БРС-1 на рисунке 17.

Обслуживание МК-26-2						
Авто						
05/05/2010						
"ПРИЕМ"						
10:47:04						
10:47:06						
Параметры	> <	Среднее	Текущее	Минимум	Максимум	Коды
Температура, °		7.6359377	7.3149462	6.483630	43.84750	102.63831
Давление, мм.рт.ст	3.0	744.03998	752.56659			82.863091
Темпер. ПДТК, °			13.151895			
Температура, °		8.4796820	10.507855	4.425419	53.75143	103.89292
Давление, мм.рт.ст	3.0	739.37573	747.96912			833.66467
Темпер. ПДТК, °			15.539034			
Давление, мм.рт.ст	3.0		754.34003			
COM3 "Все нормально" Порт_3 АКП_02 10:47 05/05/2010						
COM2						
F1 Помощь F2 Запись F3 Чтение TAB Номер ESC Выход						

Рисунок 17

В климатической камере установить температуру $(-40\pm3)^{\circ}\text{C}$. С помощью помпы последовательно устанавливать в газовой линии давление (600 ± 2) , (700 ± 2) , (750 ± 2) , (800 ± 2) , (850 ± 2) мм.рт.ст и записывать показания эталонного барометра и соответствующую этому давлению частоту кварца в таблицу. Повторить процедуру при температуре в камере сначала при $(-25\pm3)^{\circ}\text{C}$, затем при $(-10\pm3)^{\circ}\text{C}$, при $(0\pm3)^{\circ}\text{C}$, при $(+10\pm3)^{\circ}\text{C}$, при $(+20\pm3)^{\circ}\text{C}$, при $(+30\pm3)^{\circ}\text{C}$ и при $(+40\pm3)^{\circ}\text{C}$.

В результате получатся 8 таблиц по пять строк в каждой. По каждой таблице, т.е. для каждой температуры надо построить аппроксимирующий полином 2-ой степени зависимости давления от частоты. Для этого можно использовать программу аппроксимации методом наименьших квадратов !swt.exe из комплекта поставки (директория service\pressure в компакт-диске).

$$p_0(f) = c_{00} + c_{01} \times f + c_{02} \times f^2 \quad (9)$$

Входной файл создается в любом текстовом редакторе (блокноте). В файл записываются 8 строк, каждая из которых состоит из температуры и коэффициентов полинома. Если для градуировки использовалось меньше 8 значений температуры, то строки заполняются нулями.

;ДАВЛЕНИЕ

```
-39.8062 1111.0806 0.37574123 1.6093539e-06
-24.1353 1111.0628 0.37666095 2.3480431e-06
-11.1967 1110.425 0.37598342 2.3100786e-06
4.2058 1110.0607 0.3750173 2.0449116e-06
16.1631 1110.106 0.37496291 2.2505391e-06
29.1982 1110.3807 0.3749356 2.4903032e-06
49.2506 1109.8632 0.37287285 1.8637248e-06
0 0 0 0
```

А.3.3 Порядок определения градуировочных характеристик температуры

БИ соединить с портом RS-232 компьютера через конвертор I-7520. Вместо датчика температуры подключить магазин эталонных сопротивлений в диапазоне 80 – 120ом. Запустить программное обеспечение согласно А.10.1. Последовательно устанавливать на магазине сопротивление (85.6307, 93.1019, 100, 107.13, 110, 114.008, 123.011) ом и записывать значение сопротивления и соответствующий ему код АЦП в таблицу. По таблице надо построить аппроксимирующий полином 1-ой степени зависимости сопротивления от значения кода АЦП (формула 5 из 1.3.11). Для вычисления коэффициентов полинома можно использовать программу !lsm.exe (директория service\temperature в компакт-диске) или любую другую, использующую метод наименьших квадратов.

Командная строка: !lsm 1 < input.t > output.t , где 1 – степень полинома

Входной файл *input.t* создается в любом текстовом редакторе (блокноте). Первая колонка – коды АЦП, вторая – устанавливаемые на магазине сопротивления. Завершается файл пустой строкой.

10139.3	85.6307
20536.1	93.1019
30109.2	100 .
40030.1	107.13
49583.9	114.008
62099.9	123.011

Выходной файл *output.t* создается программой *!lsm.exe*. Первая строка это коэффициенты аппроксимирующего полинома первой степени. Две первые колонки повторяют входной файл, третья – значения сопротивления вычисленные с помощью полинома, четвертая – абсолютная ошибка аппроксимации. Последняя строка – это сумма квадратов отклонений, которую программа минимизировала и среднеквадратическое отклонение.

Коэффициенты: $c[0] = 78.333215274756$; $c[1] = 0.0007194540589767174$;

X[i]	Y[i]	Y	Y - Y[i]
10139.3	85.6307	85.628	-0.00272419
20536.1	93.1019	93.108	0.00609578
30109.2	100	99.9954	-0.00459857
40030.1	107.13	107.133	0.0025332
49583.9	114.008	114.007	-0.00164661
62099.9	123.011	123.011	0.000340392

Суммарное: $7.49708312745421e-05$ Среднее: 0.003534846325621103

Градуировочные коэффициенты R_0 , A , B , C берутся из паспорта на термосопротивление или для вычисления коэффициентов A , B , C можно использовать программу *!temp.exe* (директория *service\temperature* в компакт-диске)

Командная строка: *!temp R₀ R₁₀₀ t₁₀₀ R₋₄₀ t₋₄₀ > output.t*,

где R_0 – сопротивление в 0°C, R_{100} – сопротивление примерно в 100°C, t_{100} – температура, в которой измерено сопротивление R_{100} , R_{-40} – сопротивление примерно в -40°C, t_{-40} – температура, в которой измерено сопротивление R_{-40} (если есть в паспорте).

Выходной файл *output.t* содержит строку коэффициентов R_0 , A , B , C .

А.3.4 Порядок определения градуировочных характеристик влажности

Градуировка датчика влажности не требуется. Для восстановления градуировочных характеристик после попадания датчика в экстремальные условия надо сушить датчик при температуре 80-90°C и влажности менее 5% в течение 24 часов, а затем увлажнять датчик при температуре 20-30°C и влажности более 74% в течение 48 часов.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Протокол связи МК–26–2 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. Протокол поддерживает до 247 ИСПОЛНИТЕЛЕЙ. 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 широковещательные - без ответа (адресуются все ИСПОЛНИТЕЛИ). Транзакция содержит один кадр запроса и один кадр ответа, либо один кадр широковещательного 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 ширококестельным (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. Ширококестельные 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 настроен на скорость 19200, длина 8 бит, 1 бит стоповый, 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 5

$T+T+T+T/2$	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 6

Код	Название	Действие
03	READ HOLDING REGISTERS	Получение текущего значения одного или нескольких регистров хранения.
04	READ INPUT REGISTERS	Получение текущего значения одного или нескольких входных регистров.
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 представлены в таблице 7.

Таблица 7

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 или 04 (Чтение регистров)

Применяется для чтения двоичного содержания регистров ИСПОЛНИТЕЛЯ. Функция 4 только для чтения результатов.

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 8

Номер байта	Номер байта в числе	Условное обозначение	Пример	
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 вперёд. Количество регистров передаваемых за одно обращение определяется возможностями ИСПОЛНИТЕЛЯ.

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

Таблица 9

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 или 05 (Запись одного регистра)

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 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

ОТВЕТ:

Нормальный ответ повторяет запрос.

Ответ на запрос записи регистра 00 ИСПОЛНИТЕЛЯ с адресом 1.

Таблица 11

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 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	-	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	EB01	EB
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 13

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 ИСПОЛНИТЕЛЯ придёт ответ: 01 03 06 01 19 04 05 02 04 2С F4.

Б.4 Описание регистров МК–26–2

Структура данных

Ниже приведена структура данных, используемая для настройки метекомплекса МК–26–2. Все параметры структуры доступны для записи и чтения с помощью функций протокола Modbus.

```
typedef struct {
    _U8      object;           // адрес ИСПОЛНИТЕЛЯ
    _U8      algoritm;        // настройка метекомплекса
                                // 0 - тестовый режим
                                // +1 – рабочий режим
                                // +2 – обрабатывать волнение
                                // +4 – волнение за 4.2 и 8.5 минут (0x00, 0x04)
                                // +8 – волнение за 10 и 15 минут (0x08, 0x0c)
                                // +16 - использовать SHT вместо HC2-S3C03
                                // +32 – давление в гПа
                                // +64 - автосброс максимумов и осадков
                                // +128 – средний уровень
    _U8      otherSec;        // время измерения текущего ветра, в секундах
    _U8      pSec;           // время измерения текущего давления, в секундах
    _U8      askMin;         // период осреднения, в секундах
                                // +100 – в минутах
                                // +200 – в часах
    _U8      termHour;       // период отправки телеграмм, в секундах
                                // +100 – в минутах
                                // +200 – в часах
    _U16     id;             //идентификатор метекомплекса
    _F32     height;         // высота установки датчика давления
    _F32     ac;             // смещение направления ветра
};
```

```

    _F32      mc[2];          // линейное преобразование скорости ветра
//*****
    _F32      hc[2];          // линейная поправка датчика влажности
    _F32      tp[4];
//*****
    _F32      rt[2];          // линейная поправка датчика температуры
    _F32      tt[4];
// полиномы для вычисления давления в разных температурах
    _F32      t0; c0[3];      // полином 2 степени для вычисления P0[t0]
    _F32      t1; c1[3];      // полином 2 степени для вычисления P1[t1]
    _F32      t2; c2[3];      // полином 2 степени для вычисления P2[t2]
    _F32      t3; c3[3];      // полином 2 степени для вычисления P3[t3]
    _F32      t4; c4[3];      // полином 2 степени для вычисления P4[t4]
    _F32      t5; c5[3];      // полином 2 степени для вычисления P5[t5]
    _F32      t6; c6[3];      // полином 2 степени для вычисления P6[t6]
    _F32      t7; c7[3];      // полином 2 степени для вычисления P7[t7]
//*****
    _F32      pc[4];
                                // pc[0] - глубина моря в месте установки датчика, м
                                // pc[1] - соленость моря, %
                                // pc[2] - широта места установки датчика, градус
                                // pc[3] – АТТ
//*****
    _F32      fVal[28];
}
eepromData;

```

Последние 112 байт структуры данных, 28 чисел с плавающей запятой fVal[28], доступны только для чтения. Каждая пара байт структуры данных соответствует регистру протокола Modbus со смещением 512 регистров (1024 байт), т.е. если считывать данные с помощью функции 3 к номерам регистров в таблице 14 надо прибавить 512. Если использовать для чтения функцию 4, то результаты измерений можно читать начиная с нулевого регистра. Подробнее соответствие содержимого структуры данных и регистров протокола Modbus будет описано ниже.

Прежде чем использовать полученные числа надо проверить их пригодность для обработки. В МК-26 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).

Гидрологические данные, уровень и температура воды, не могут быть измерены метеокомплексом. Они могут быть получены в результате опроса уровнемера МК-26-4 (УрТ), подключенного к МК-26-2 через RS-485. Протокол связи Modbus-RTU.

Габаритные размеры : Ø22×115 мм. Фотография датчика в натуральную величину представлена на рисунке 18.



Рисунок 18

Если уровнемер установлен в море и частота опроса больше 1 гц, то МК-26-2 рассчитывает параметры волнения: средний период, высоту волны и максимальную высоту волны, которые также доступны для чтения. Для преобразования гидростатического давления в уровень моря в МК-26-2 должны быть загружены дополнительные данные о солености воды и широте места установки датчика. Атмосферное давление МК-26-2 измеряет сам, а температуру воды считывает из уровнемера. Для проведения расчетов требуется еще временной интервал измерений давления и глубина моря в месте установки уровнемера. Методика восстановления поверхностного волнения по данным измерения гидростатического давления подводным уровнемером приведена в приложении Г. По данной методике обрабатываются результаты измерений уровнемерами фирмы Sea-Bird Electronics, Inc. (SBE). Похожую методику используют для обработки данных в фирме Falmouth Scientific, Inc.(FSI).

Б.5 Оперативное управление

Для сброса минимумов и максимумов и обнуления суммы собранных осадков надо записать любое число в нулевой регистр с помощью функции 5. Сброс максимумов и обнуление осадков может происходить автоматически после каждого запроса. Для этого в параметре <algorithm> структуры данных должен быть установлен бит 1, т.е. к значению параметра algorithm надо прибавить число 2.

Таблица 14

Номер регистра	Номер байта	Структура	Параметр
0	00	fVal[0]	Средние период волнения
1	01		
2	02		
3	03	fVal[1]	Средняя высота волны
4	04		
5	05		
6	06	fVal[2]	Максимальная высота волны
7	07		
8	08		
9	09	fVal[3]	Идентификатор МК-26
10	10		
11	11		
12	12	fVal[4]	Температура воды средняя
13	13		
14	14		
15	15	fVal[5]	Уровень воды средний
16	16		
17	17		
18	18	fVal[6]	Уровень воды текущий
19	19		
20	20		
21	21	fVal[7]	Осадки
22	22		
23	23		
24	24	fVal[8]	Температура средняя (ПТС)
25	25		
26	26		
27	27	fVal[9]	Температура текущая (ПТС)
28	28		
29	29		
30	30	fVal[10]	Минимальная температура воздуха
31	31		
32	32		
33	33	fVal[11]	Максимальная температура воздуха
34	34		
35	35		
36	36	fVal[12]	Давление среднее
37	37		
38	38		
39	39	fVal[13]	Давление текущее
40	40		
41	41		
42	42	fVal[14]	Влажность средняя
43	43		
44	44		
45	45	fVal[15]	Влажность текущая
46	46		
47	47		
48	48	fVal[16]	Скорость ветра средняя
49	49		
50	50		
51	51	fVal[17]	Скорость ветра текущая
52	52		
53	53		
54	54	fVal[18]	Максимум скорости ветра
55	55		
56	56		
57	57	fVal[19]	Направление ветра среднее
58	58		
59	59		
60	60	fVal[20]	Направление ветра текущее
61	61		
62	62		
63	63	fVal[21]	Направление максимального ветра
64	64		
65	65		
66	66	fVal[22]	Температура датчика влажности
67	67		
68	68		
69	69	fVal[23]	Температура кварца
70	70		
71	71		
72	72	fVal[24]	Код температуры
73	73		
74	74		
75	75	fVal[25]	Частота кварца
76	76		
77	77		
78	78	fVal[26]	Код АЦП уровня воды
79	79		
80	80		
81	81	fVal[27]	Код АЦП температуры воды
82	82		
83	83		
84	84		
85	85		
86	86		
87	87		
88	88		
89	89		
90	90		
91	91		
92	92		
93	93		
94	94		
95	95		
96	96		
97	97		
98	98		
99	99		
100	100		
101	101		
102	102		
103	103		
104	104		
105	105		
106	106		
107	107		
108	108		
109	109		
110	110		
111	111		

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Протокол связи МК–26–2 с GPRS-модемом

В.1 Telit GT864

Для управления модемом используется набор АТ-команд. Для передачи данных в FTP-сервер потребителя используется специфический для каждого производителя модемов набор команд.

В СИМ-карте должен быть отключен ввод PIN-кода и сотовый оператор должен разрешить использование GPRS.

Перед использованием модема его надо настроить, подключив к персональному компьютеру с терминальной программой, например, HyperTerminal (скорость 115200).

Далее надо вести следующие АТ команды:

```
ATE0
AT+IFC=0,0
ATV0
ATS12=20
AT+IPR=19200
AT&W
```

После этого надо настроить терминальную программу программу на скорость 19200 и сохранить настройки:

```
AT&W
```

Далее надо ввести настройки оператора сотовой связи (при смене оператора сотовой связи менять надо только их):

1. для «МТС»

```
AT+CGDCONT=1,"IP","internet.mts.ru"
AT+USERID="mts"
AT+PASSW="mts"
```

2. для «Билайн»

```
AT+CGDCONT=1,"IP","internet.beeline.ru"
AT+USERID=" beeline"
AT+PASSW=" beeline"
```

3. для «Мегафон»

```
AT+CGDCONT=1,"IP","internet"
AT+USERID=""
AT+PASSW=""
```

И сохранить их командой:

```
AT#STKSAV
```

Адрес FTP-сервера, имя пользователя и пароль вводятся во FLASH-память МК–26–2 при настройке из специально подготовленного файла.

Например для сайта kubanmeteo.ru :

```
021 015050/  
smrs50 мосу 200600  
AAXX 20061  
022 115050/  
sirs50 мосу 200900  
AAXX 20091  
AT#FTPTO=1000  
AT#FTPOPEN="kubanmeteo.ru","*****","*****",1  
AT#FTPCWD= "Izmer"  
AT#FTPTYPE=0  
AT#FTPPUT="m02_"
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

Восстановление поверхностных волн

Г.1 Обозначения

- a = амплитуда волны, [m];
- D = плотность воды, [Kg/m³];
- $W_w = D_w g$, вес воды удельный, [Kg/(m²sec²)] = [Pa/m];
- $E = W_w H^2 / 8$, энергия волны на единицу площади, [J/m²];
- $f = 1 / T$, частота волны, [Hz], [cycles/sec];
- $g = 9.80665$, ускорение свободного падения, [m/sec²];
- h = глубина, [m];
- $H = 2a$, высота волны, [m];
- $k = 2 \pi / L$, волновое число (пространственная частота), [rad/m];
- L = длина волны (пространственный период), [m];
- ϕ = фаза, [rad];
- $\omega = 2 \pi / T$, угловая скорость, [rad/sec];
- t = время, [sec];
- T = период, [sec];
- T_b = общее время серии, [sec];
- x = расстояние, [m];
- z = глубина датчика, [m];
- δ_t = интервал между точками измерения давления [sec].

Коэффициенты перевода давления из одних единиц измерения в другие приведены в таблице 15.

Таблица 15.

kPa	bar	mbar	PSI	atm	mmHg	mmH ₂ O	kg/cm ²
100	1	1000	14.50377	1	750	10207	1
700	7	7000	100	7	5250	71451	7
1700	17	17000	250	17	12754	173524	17

Г.2 Линейная теория волн

Морское волнение обычно представляется как линейная гармоническая волна, движущаяся в горизонтальном направлении:

$$A(x,t) = a \cos(kx - \omega t + \phi) \quad [1]$$

На рисунке 19 представлена .простая гармоническая волна на поверхности моря.

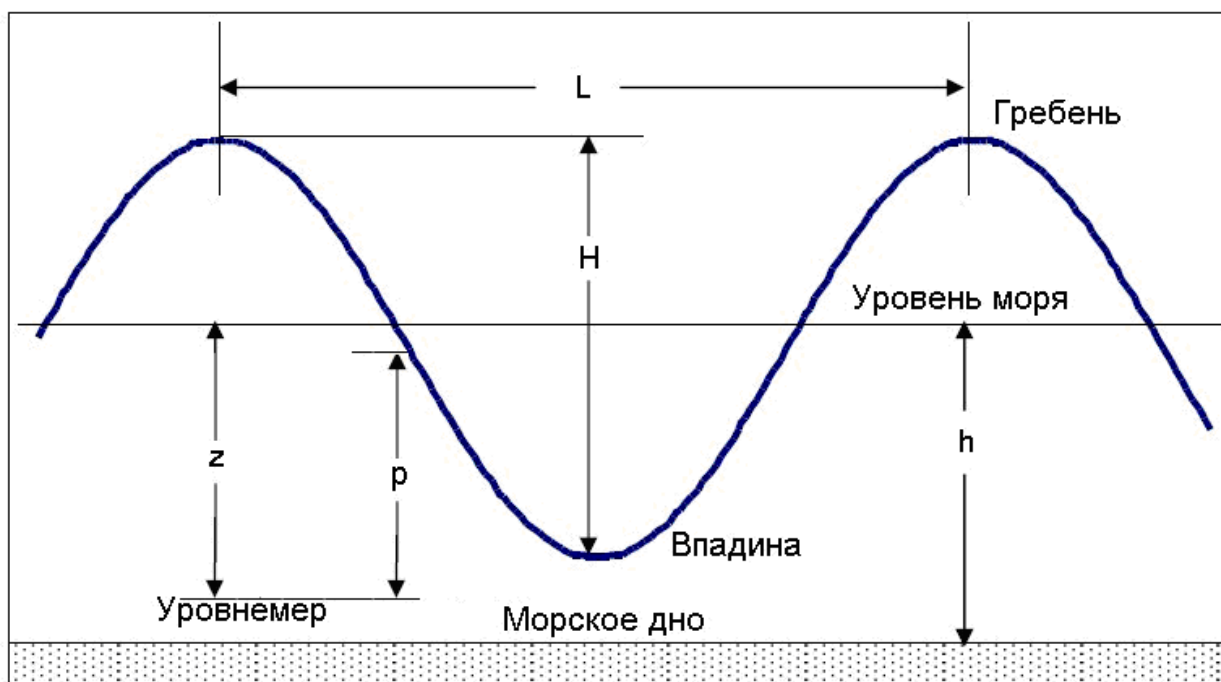


Рисунок 19

Г.3 Фазовый сдвиг

Фазовый сдвиг ϕ представляет смещение волны относительно некоторого момента времени. Удобен для описания отношений между группами волн различной частоты. Когда временные серии преобразуются в спектральные оценки - вычисляются амплитуда $a(f)$ и фаза $\phi(f)$ как функции частоты. Один и тот же фазовый сдвиг может быть разным временным сдвигом в зависимости от периода волны. Например, фаза в π радиан соответствует времени в 5 секунд для волны с периодом 10 секунд и 2.5 секунды для волны с периодом 5 секунд.

Г.4 Дисперсионное уравнение

Для поверхностных волн существует специальное соотношение между периодом волны и длиной волны. Это отношение, которое зависит от глубины называется дисперсионным соотношением $(L/T)^2 = g \tanh(kh)/k$ или учитывая что $\omega / k = L / T$:

$$\omega^2 = gk \tanh(kh) \quad [2]$$

На глубине это соотношение превращается в $\omega^2 = gk$, а на мелководье в $\omega^2 = ghk^2$.

Г.5 Линейная теория

Уравнение [1] представляет единственный компонент описывающий поверхность моря, тогда как реальное волнение моря является суперпозицией волн различной высоты, длины и направления распространения. Одно из главных предположений линейной теории волн

заключается в том, что мы можем взять эту смешанную комбинацию волн и разложить ее на отдельные частоты используя [1].

Г.6 Предположения

Чтобы можно было использовать линейную теорию, главное требование заключается в том, что высота волны H мала по сравнению с длиной волны L и глубиной h . Эти условия обычно описываются как:

$$H / L \ll 1 \text{ (крутизна волны)}$$

$$H L^2 / h^3 \ll 1 \text{ (параметр Эрселла)}$$

Длина волны и период связаны между собой следующим соотношением:

$$L / T = \omega / k$$

Другое измерение эффекта крутизны волны для подтверждения пригодности теории малых амплитуд основывается на лабораторных измерениях показанных ниже. Для применения теории надо находиться ниже кривой на рисунке 20. Например, если период волны равен $T=10$ секунд и глубина $h=10$ метров, то параметр $h/gT^2 = 0.01$. Это означает, что для применения теории должно быть $H/gT^2 < 0.0003$, т.е. максимум высоты волны должен быть $H=0.3$ метра.

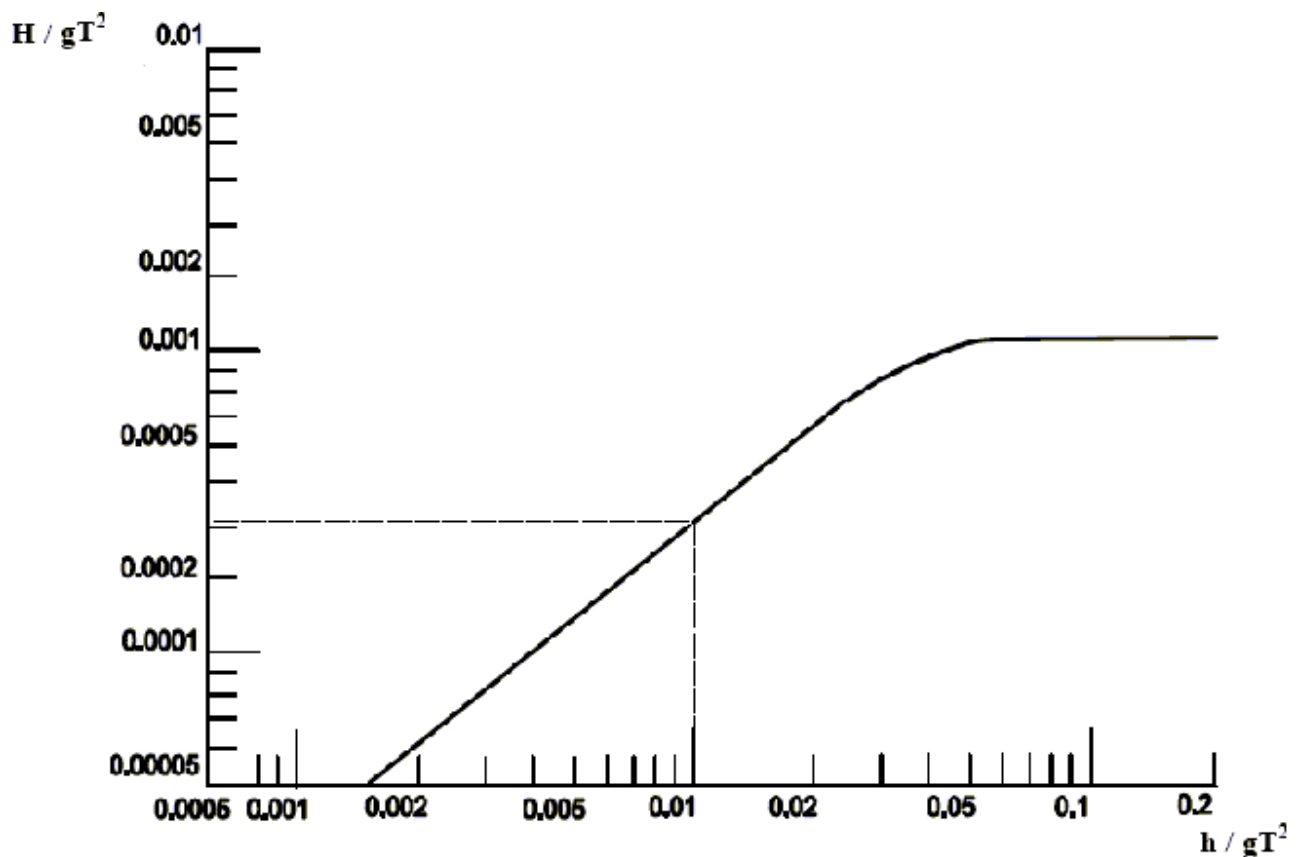


Рисунок 20

Заключительное эмпирическое правило гласит, что высоты волн должны обеспечивать оценку:

$$z / L < 0.4 \pm 0.1,$$

где z – глубина погружения уровнемера, L – длина волны.

Г.7 Давление на глубине и поверхностное волнение

Поверхностные волны ослабевают в толще воды. Затухание колебаний давления в зависимости от глубины описывается формулой:

$$p = W_w A(t) K(f, z) \quad [\text{Паскаль}] \quad [3]$$

где передаточная функция давления:

$$K(f, z) = \cosh[k(h - z)] / \cosh(kh) \quad [\text{безразмерная}] \quad [4]$$

где

$A(t)$ = колебания поверхности воды от $-a$ до $+a$ в метрах (определяется в [1]);

W_w = вес воды удельный около поверхности;

h = глубина;

k = номер гармоники [радиан/м], вычисляется через период и глубину через дисперсионное соотношение [2];

z = вертикальное расстояние [м] от поверхности (невозмущенной) до уровнемера.

Уравнение [3] требуется, чтобы связать давление воды на глубине с высотой поверхностных волн. Для того, чтобы получить амплитуду волны на поверхности в зависимости от измеренного на глубине давления перепишем формулу:

$$a(f) = P(f) / W_w K(f, z) \quad [\text{м}] \quad [5]$$

Для глубоководных волн ($kh \gg 1$ и $h/L > 0.5$) уравнение [3] имеет форму:

$$p \approx W_w A e^{-kz} \quad [\text{Паскаль}] \quad [6]$$

которое ясно представляет экспоненциальное затухание с глубиной.

Для мелководных волн ($hk \ll 1$ и $h > L/2$) уравнение [3] имеет форму:

$$p \approx W_w A \quad [\text{Паскаль}] \quad [7]$$

простое гидростатическое уравнение.

Г.8 Высокочастотный барьер

Затухание давления по глубине зависит от периода волны, чем меньше период, тем волны быстрее затухают с глубиной. Это означает, что для уровнемера, установленного на фиксированной глубине z существует высокочастотная граница $f_{\max}$, выше которой ($f > f_{\max}$) волны измерить нельзя (они затухли и их надо исключить). А измеренные уровнемером колебания – есть шумы, которые с помощью передаточной функции могли бы быть преобразованы в нереальные волны. По умолчанию исключаются волны, для которых затухание больше чем $0.0025 / \delta_t$

Г.9 Первичная обработка давления

Сначала готовится массив с данными о давлении. Вычисляется среднее P_{avg} , которое вычитается из данных. Так же вычитаются медленно меняющиеся составляющие, типа прилива, иначе будут ошибки в спектральных оценках.

Плотность D_w вычисляется по формулам с учетом температуры воды и солености.

Глубина установки уровнемера z и глубина h вычисляются по формулам:

$$z = 6894.757 P_{avg} / D_w g \quad [м] \quad [8]$$

$$h = z + \text{смещение уровнемера от дна} \quad [м] \quad [9]$$

где коэффициент 6894.757 используется, чтобы конвертировать давление из PSI в Паскали. Количество измеренных значений давления должно быть степенью числа 2, т.е. нужно увеличить количество отсчетов N . При этом следует различать два возможных случая:

— длина серии увеличивается за счет дополнения нулями. В этом случае мы получаем тот же спектр, интерполированный к более частой сетке частот. Поскольку новых данных не добавляется, характерные параметры спектра, такие как ширина спектральных пиков, не меняются. Слова «улучшение разрешения» означают при этом только расчет спектра для большего количества частот;

— длина серии увеличивается за счет добавления новых данных, то есть мы действительно анализируем более длинный фрагмент. В этом случае получится новый спектр, а слова «улучшение разрешения» обретают реальный смысл — спектральные пики, соответствующие содержащимся в сигнале гармоническим составляющим, станут более узкими.

Затем к данным применяется окно Ханна для того, чтобы убрать спектральное растекание, которое бывает при дискретном преобразовании Фурье (ДПФ). Растекание спектра проявляется в том, что при вычислении ДПФ синусоиды с частотой, не совпадающей ни с одной из дискретных частот ДПФ, мы вместо узкого пика получаем сложный спектр, в котором в общем случае могут содержаться *все* возможные частоты. Причина растекания спектра состоит в том, что ДПФ неявно подразумевает периодическое продолжение анализируемого фрагмента сигнала. Если на рассматриваемом промежутке укладывается целое число периодов синусоиды (это эквивалентно условию совпадения ее частоты с одной из частот анализа), периодически продолженный сигнал также будет непрерывной синусоидой, в спектре которой содержится единственная частота. Если же число периодов на интервале анализа не является целым, при периодическом продолжении сигнала непрерывность синусоиды окажется нарушенной и спектр «растечется» как на рисунке 21. Для борьбы с растеканием спектра используются весовые, или оконные, функции. При этом измеренные значения перед вычислением ДПФ умножаются на некоторую функцию, спадающую от середины к краям. Это позволяет ослабить влияние разрывов, возникающих на стыках фрагментов сигнала при его периодическом продолжении.

Использование весовой функции позволяет существенно ослабить побочные спектральные составляющие — правда, за счет расширения спектральных пиков.

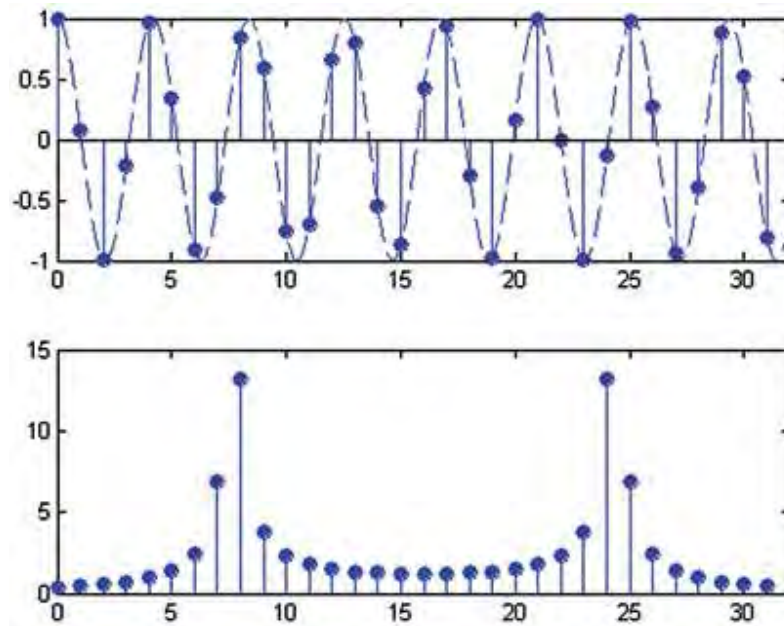


Рисунок 21

Окно Ханна имеет вид:

$$u(t) = 0.5 - 0.5 \cos(2\pi t / T_b) \quad 0 < t < T_b \quad [10]$$

Применение окна уменьшает общую энергию временной серии, поэтому чтобы получить правильные спектральные оценки, каждый элемент надо умножить на множитель SF, где:

$$SF = (8 / 3)^{1/2} \quad [11]$$

Г.10 Спектральные оценки

ДПФ позволяет превратить N отсчетов давления в столько же спектральных оценок. Связь между представлениями давления во временной и частотной областях выражается формулой [15].

Интервал между спектральными оценками (разрешение по полосе пропускания) вычисляется:

$$\delta f = 1 / T_b = 1 / (N\delta t) \quad [13]$$

где δt – временной интервал между измерениями давления во временной серии.

Когда N спектральных оценок вычислено, только $(N/2 + 1)$ из них уникальны. Для реальной временной серии последние $(N/2 - 1)$ значения идентичны первым $N/2$ значениям. Предельная частота – частота Найквиста:

$$Nyquist = 1 / (2\delta t) \quad [\text{Гц}] \quad [14]$$

Прямое преобразование Фурье к временной серии определяется как:

$$Z_j = 1/N \sum_{n=0}^{N-1} x_n \exp(-i 2 \pi n j / N) \quad [15]$$

где x_n – отсчеты давления;

Z_j (ряд спектральных оценок) комплексные числа;

$$i = (-1)^{1/2}$$

Ряд спектральных оценок напрямую связан с волной одной частоты, описанной в [1]:

$$a_j = 2 |Z_j|, \quad \varphi_j = \arg(Z_j) \quad [16]$$

После того, как преобразование Фурье получено, коэффициенты для частот больше $f_{\max}$ и меньше $f_{\min}$ обычно обнуляются, чтобы предотвратить появление нереальных высот волн.

Г.11 Восстановление поверхностных волн

Передачная функция $H(f_b)$ используется для преобразования давления на глубине в поверхностные волны и вычисляется по формулам [2] и [4].

$$H(f_b) = 1 / [W_w K(f, z)] \quad [\text{м} / \text{Паскаль}] \quad [17]$$

Для этого надо выполнить преобразование всех спектральных оценок последовательно для каждой частоты:

$$A(f_i) = H(f_i) P(f_i) \quad f_i \leq \text{Nyquist} \quad [18]$$

где $A(f_i)$ – ряд спектральных оценок амплитуд поверхностных волн;

$H(f_i)$ – передачная функция;

$P(f_i)$ – спектральные оценки давления на глубине.

Спектральные оценки для $f_i > \text{Nyquist}$ вычисляются по формуле $A(f_{n-i}) = A(f_i)$.

Для восстановления временной серии применяется обратное преобразование Фурье к ряду спектральных оценок:

$$x_n = \sum_{j=0}^{N-1} Z_j \exp(i 2 \pi n j / N) \quad [19]$$

Затем применяется окно Ханна и скалярный множитель, только теперь не умножаются значения, а делятся. Эта процедура нестабильна в конце серии, там где надо делить на числа близкие к нулю. Поэтому обнуляем временную серию вначале и в конце, там где значение окна достигает 1% от максимального значения.

Г.12 Средняя высота волны и период

Вычисление высоты волны и периода могут быть только приблизительными и статистическими из-за случайного характера поверхностных волн. Стандартный метод оценки изложен в рекомендациях ВМО (“Wave Analysis and Forecasting” WMO- No. 446, 1976, Geneva, Switzerland).

Запись волны разбивается на отрезки точками пересечения среднего уровня снизу вверх, как на рисунке 22. В каждом таком отрезке определяется высота волны H_i и период T_i , которые запоминаются в массиве. В результате осреднения значений массива получаются средний уровень H_{avg} и средний период T_{avg} . Кроме этого определяется максимальная высота волны H_{max} .

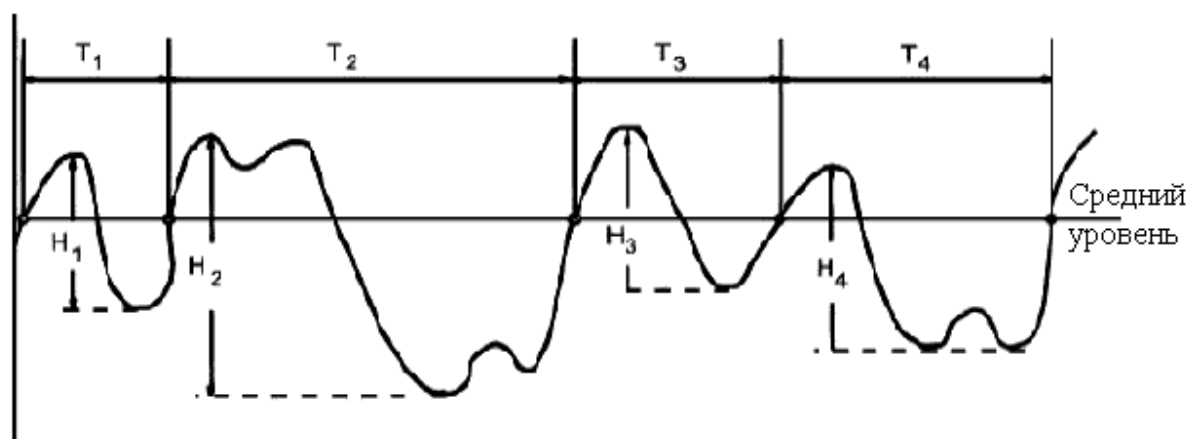


Рисунок 22