

УТВЕРЖДЕН
ЛАНИ.416531.001 РЭ-ЛУ

ЗАКАЗАТЬ

КОНТРОЛЛЕР ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ

Руководство по эксплуатации

ЛАНИ.416531.001 РЭ

Количество листов - 31

Содержание

1 Описание и работа изделия	4
1.1 Назначение изделия	4
1.2 Технические характеристики	4
1.3 Устройство и работа.....	5
2 Использование по назначению	10
2.1 Эксплуатационные ограничения	10
2.2 Требования безопасности	10
2.3 Подготовка изделия к использованию	10
2.4 Указания по включению и опробованию.....	10
2.5 Размещение и монтаж изделия.....	11
3 Техническое обслуживание	12
4 Хранение и транспортирование	12
5 Комплект поставки.....	12
6 Основные сведения об изделии	12
7 Ресурсы, сроки службы и хранения, гарантии изготовителя.....	13
8 Свидетельство о приёмке	13
9 Учёт работы изделия	14
10 Учёт технического обслуживания.....	14
11 Работы при эксплуатации	15
11.1 Учет выполнения работ	15
11.2 Поверка средств измерения.....	16
12 Хранение	17
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Протокол связи МК–26–2 с компьютером.....	18
А.1 Общие сведения.....	18
А.2 Описание регистров КИ.....	19
А.3 Оперативное управление	21
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) Восстановление поверхностных волн.....	23
Б.1 Обозначения	23
Б.2 Линейная теория волн	23
ЛАНИ.416531.001 РЭ	2

Б.3 Фазовый сдвиг	24
Б.4 Дисперсионное уравнение	24
Б.5 Линейная теория	24
Б.6 Предположения	25
Б.7 Давление на глубине и поверхностное волнение	26
Б.8 Высокочастотный барьер	26
Б.9 Первичная обработка давления	26
Б.10 Спектральные оценки	28
Б.11 Восстановление поверхностных волн.....	29
Б.12 Средняя высота волны и период.....	30

Контроллер измерительный (КИ) предназначен для измерения частоты следования импульсов, ширины импульсов, тока 4-20ма, напряжения, в зависимости от типа используемых датчиков. КИ предназначен для преобразования измеренных значений в физическую величину, обработки данных по встроенным алгоритмам и передачи данных пользователю.

Настоящее руководство по эксплуатации (РЭ) предназначено для ознакомления с принципом работы и устройством КИ и устанавливает правила его использования и обслуживания. РЭ содержит указания о возможных неисправностях и способах их устранения.

1 Описание и работа изделия

1.1 Назначение изделия

1.1.1 КИ предназначен для измерения частоты следования импульсов, периода импульсов, ширины импульсов, тока 4-20 ма, напряжения и т.д. КИ предназначен для получения данных от цифровых датчиков по RS485, I2C. Встроенное программное обеспечение (ПО) КИ позволяет проводить преобразования измеренных значений в физические величины и обработку по специальным алгоритмам.

1.2 Технические характеристики

1.2.1 Контроллер измерительный содержит:

- 32-битные таймеры для измерения частоты – 2 канала;
- универсальный асинхронный коммуникационный порт – 2шт.;
- универсальный асинхронный коммуникационный порт программный – 1шт.;
- последовательная шина I2C – 2 шт.;
- аналого-цифровой преобразователь 10 бит – 4 дифференциальных канала;
- универсальные дискретные входы/выходы – 4 шт.;
- температурно-стабилизированный генератор импульсов 10/16 мГц;
- супервизор питающего напряжения и сторожевой таймер;
- преобразователь напряжения;
- часы реального времени с батареей.
- встроенную энергонезависимую память;
- энергонезависимую FRAM-память 128 Кбайт;
- преобразователи интерфейса RS-485 – 3 шт.;
- электронный ключ для включения питания КИ;
- электронный ключ для включения питания датчика уровня;
- электронный ключ для включения питания датчика влажности и температуры;
- часы реального времени с литиевой батареей (LPC-2103);

- микросхемы защиты питания 12 в, 5 в и 3.3 в;
- внешний сторожевой таймер.

1.2.2 Для связи КИ использует интерфейс RS485, к которому подключается компьютер потребителя с протоколом MODBUS-RTU. Кроме того для связи используется второй порт 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 КИ 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 Средний срок службы - не менее 8 лет.

1.2.7 КИ 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 Выходные сигналы датчиков поступают в микроконтроллер КИ. Микроконтроллер осуществляет 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-модуль 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.

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



Рисунок 1

На экране отображаются следующие параметры волнения:

- H_a - среднее расстояние от датчика до поверхности воды (средний уровень) , м;
- H - текущее расстояние от датчика до поверхности воды (текущий уровень) , м;
- W_z - средняя высота значимых (1/3 самых высоких) волн, м;
- T_z - средний период значимых (1/3 самых высоких) волн, м;
- W_a - средняя высота волн, м;
- T_a - средний период волн, м;
- W_x - максимальная высота волны, м;
- t - температура воды в градусах Цельсия.

Разъемы и номера контактов в разъемах распределены следующим образом:



- тумблер для включения контроллера. Возможна установка дополнительного тумблера для включения/выключения индикатора (дисплея).



- 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 (опрос МК-26-4). При передаче включается, при приеме выключается.



- разъем питания и связи. Для подключения внешнего датчика по RS-485 может дублироваться.

- Контакт 1 — Data+ RS-485 (Com1) для внешнего датчика МК-26-4;
- Контакт 2 — Data- RS-485 (Com1) для внешнего датчика МК-26-4;
- Контакт 3 — \perp ;
- Контакт 4 — входное питание 12 вольт;
- Контакт 5 — Data- RS-485 (Com0);
- Контакт 6 — Data+ RS-485 (Com0);
- Контакт 7 — питание 12 вольт для внешнего датчика МК-26-4.

1.3.2 Электропитание комплекса обеспечивается от блока бесперебойного питания (ББП) 12В, располагаемого в помещении. ББП в состав КИ не входит. Является дополнительным оборудованием в случае отсутствия питания 12В.

1.3.3 Схема КИ приведена на рисунке 2.

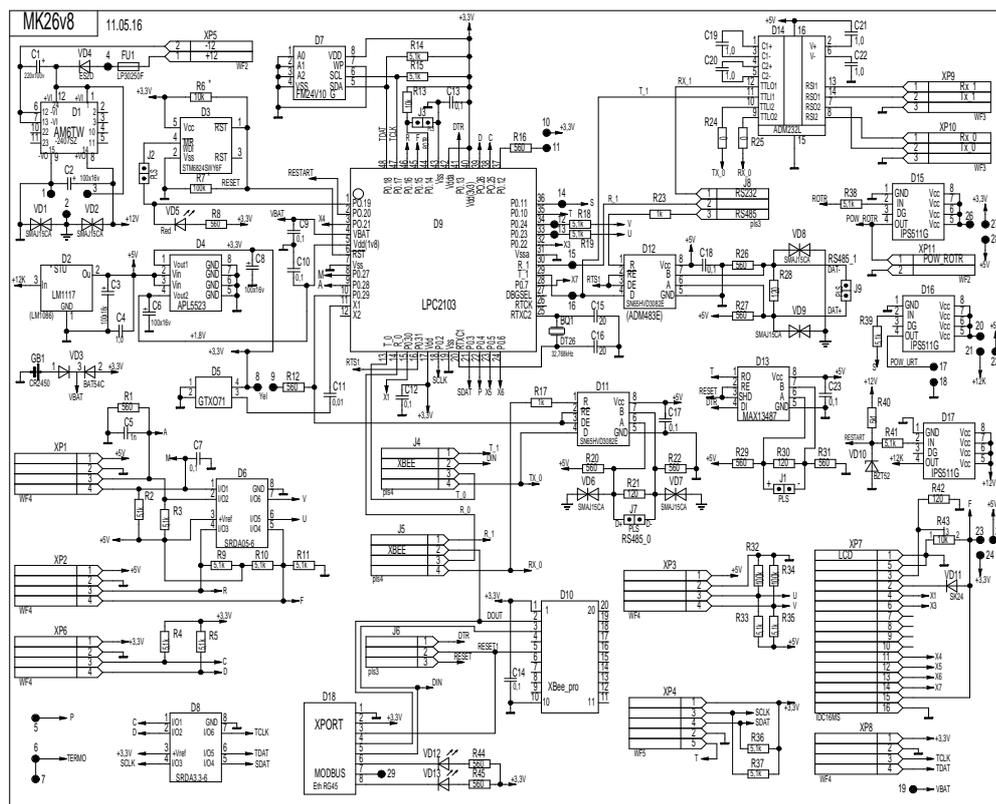


Рисунок 1.

1.3.4 По включению питания микросхема LM1117 (K7805 до 24 В) вырабатывает стабилизированное напряжение 5 вольт, которое микросхемой LP2966 преобразуется в 3.3 вольта и 1.8 вольта для питания микроконтроллера LPC2103/LPC2106 и измерительных устройств: преобразователя абсолютного давления атмосферного АтК, преобразователя относительной влажности и температуры воздуха SHT/RHT, датчика ветра магнитоэлектрического ДВМ6410. 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 GTX071, от которого работает и сам микроконтроллер LPC2103/LPC2106. Температура кварцевого стекла измеряется с помощью термометра DS1631/STS21, подключаемого к контроллеру по I2C. Измеренное значение частоты и полученное значение температуры кварца пересчитывается по градуировочным коэффициентам из флэш-памяти в абсолютное давление, ЛАНИ.416531.001 РЭ

которое записывается в регистры оперативной памяти, которые могут быть прочитаны с помощью протокола MODBUS-RTU по RS-485.

SHT/RHT подключен к 2-м цифровым входам/выходам микроконтроллера, через которые программно реализован последовательный протокол обмена I2C. Коды встроенного в датчик АЦП пересчитываются в значения влажности и температуры по формулам, приведенным в документации на датчик SHT/RHT и записывается в регистры оперативной памяти, которые могут быть прочитаны с помощью протокола MODBUS-RTU по 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 последовательностей электрических импульсов. Частота первой последовательности импульсов пропорциональна скорости ветра, ширина (длительность) импульсов второй последовательности пропорциональна направлению ветра. Программно рассчитывается частота следования импульсов и ширина импульса.

Период последовательности импульсов преобразуется в скорость ветра по формуле:

$$v = a/\tau + b, \quad (1)$$

где:

- v – скорость ветра;
- τ - период последовательности импульсов ($\tau = 1/f$ – величина обратная частоте);
- a, b - коэффициенты преобразования, получаемые при калибровке.

Для формирования последовательности импульсов в зависимости от направления флюгера используется магнитный энкодер. Вращение оси флюгера с магнитом над магнитным энкодером вызывает изменение ширины (длительности) импульсов, которая пропорциональна направлению флюгера, т.е. используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ) последовательности импульсов.

Длительность импульса преобразуется в направление ветра по формуле:

$$\alpha = 360 - (360 \cdot \varphi / \tau + c), \quad (2)$$

где:

- α – направление флюгера;
- φ – ширина ШИМ импульса;
- τ – период последовательности импульсов направления;

с – угол смещения флюгера, получаемый при калибровке. Полученные значения записываются в регистры оперативной памяти, которые могут быть прочитаны с помощью протокола MODBUS-RTU по RS-485.

Градуировка измерительных каналов является частью настройки контроллера и проводится с целью определения градуировочной характеристики каждого измерительного канала для последующего вычисления коэффициентов аппроксимирующего полинома.

2 Использование по назначению

2.1 Эксплуатационные ограничения

2.1.1 Эксплуатационные ограничения комплекса КИ касаются подключения уровнемера МК-26-4. Для его правильной работы должна быть обеспечена связь кабеля датчика с атмосферой.

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 КИ 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 КИ и прошедшие инструктаж по технике безопасности.

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

- соединить составные части КИ (ББП, конвертер и персональный компьютер);
- запустить программу «Обслуживание МК-26», которая находится в директории service\ack компакт-диска (файл ack.exe);

Более подробно работа с программой описана в «Руководстве пользователя». Главное окно программы приведено на рисунке 3.

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			

Рисунок 3

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

2.5 Размещение и монтаж изделия

2.5.1 Кабель связи, соединяющий КИ 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 4). Длина кабеля связи при RS485 – 1200 м..



Рисунок 4

3 Техническое обслуживание

3.1 Для КИ 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 КИ осуществляется бесплатно.

4 Хранение и транспортирование

4.1 КИ 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 КИ не должно быть агрессивных примесей (паров кислот, щелочей), вызывающих коррозию.

4.3 КИ 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 КИ должен быть выдержан при нормальных условиях не менее 12 ч.

5 Комплект поставки

Таблица 1

№	Наименование	Условное обозначение	КИ
1	2	3	4
1	Диск программной поддержки	-	1
2	Руководство по эксплуатации	РЭ	1

6 Основные сведения об изделии

6.1 Контроллер измерительный ЛАНИ.416531.001 №_____

уточнение типа уточнение обозначения комплекса заводской номер
изготовлен "___" _____ 201__ г. ООО «НТЦ Гидромет», г. Обнинск Калужской обл.
наименование изготовителя

ЛАНИ.416531.001 РЭ

6.2 Коммуникационные средства КИ формируются при заказе и включают в себя 2 универсальных асинхронных приемо/передатчика с преобразователями интерфейсов в RS-485. В таблице 2 описана поставляемая конфигурация.

Таблица 2

Наименование	Протокол			Адрес
1	2			3
Коммуникационный порт COM0 (19200, 8, 1, без контроля четности): RS-485	Modbus RTU Master	Modbus RTU Slave	АТ- команды	
Коммуникационный порт COM1 (, 8, 1, без контроля четности): RS-485	Modbus RTU Master	Modbus RTU Slave	АТ- команды	
Коммуникационный порт COM2 (9600, 8, 1, без контроля четности): RS-485	Modbus RTU Master	Modbus RTU Slave	NMEA	

7 Ресурсы, сроки службы и хранения, гарантии изготовителя

7.1 Средний срок службы КИ - 8 лет

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

7.3 Изготовитель гарантирует соответствие КИ заданным характеристикам при соблюдении условий транспортирования, хранения, монтажа и эксплуатации.

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

8 Свидетельство о приёмке

Контроллер измерительный ЛАНИ.416531.001 № _____

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.

ОТК

МП _____
личная подпись

_____ Б.Е.Белов _____
расшифровка подписи

_____ год, месяц, число

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Протокол связи МК–26–2 с компьютером

А.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 ширококвещательным (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.

А.2 Описание регистров КИ

Структура данных

Ниже приведена структура данных, используемая для настройки КИ. 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 12 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 КИ через RS-485. Протокол связи Modbus-RTU.

Габаритные размеры : Ø22×115 мм. Фотография датчика в натуральную величину представлена на рисунке 5.



Рисунок 5

Если уровнемер установлен в море и частота опроса больше 1 гц, то КИ рассчитывает параметры волнения: средний период, высоту волны и максимальную высоту волны, которые также доступны для чтения. Для преобразования гидростатического давления в уровень моря в КИ должны быть загружены дополнительные данные о солености воды и широте места установки датчика. Атмосферное давление КИ 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).

А.3 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 12

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]	Среднее 3% высоких волн
73	73		
74	74		
75	75	fVal[25]	Частота кварца
76	76		
77	77		
78	78	fVal[26]	Среднее 1/3 высоких волн (значимых)
79	79		
80	80		
81	81	fVal[27]	Период 1/3 высоких волн (значимых)
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 Б

(обязательное)

Восстановление поверхностных волн

Б.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 13.

Таблица 13

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

Б.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 6 представлена простая гармоническая волна на поверхности моря.

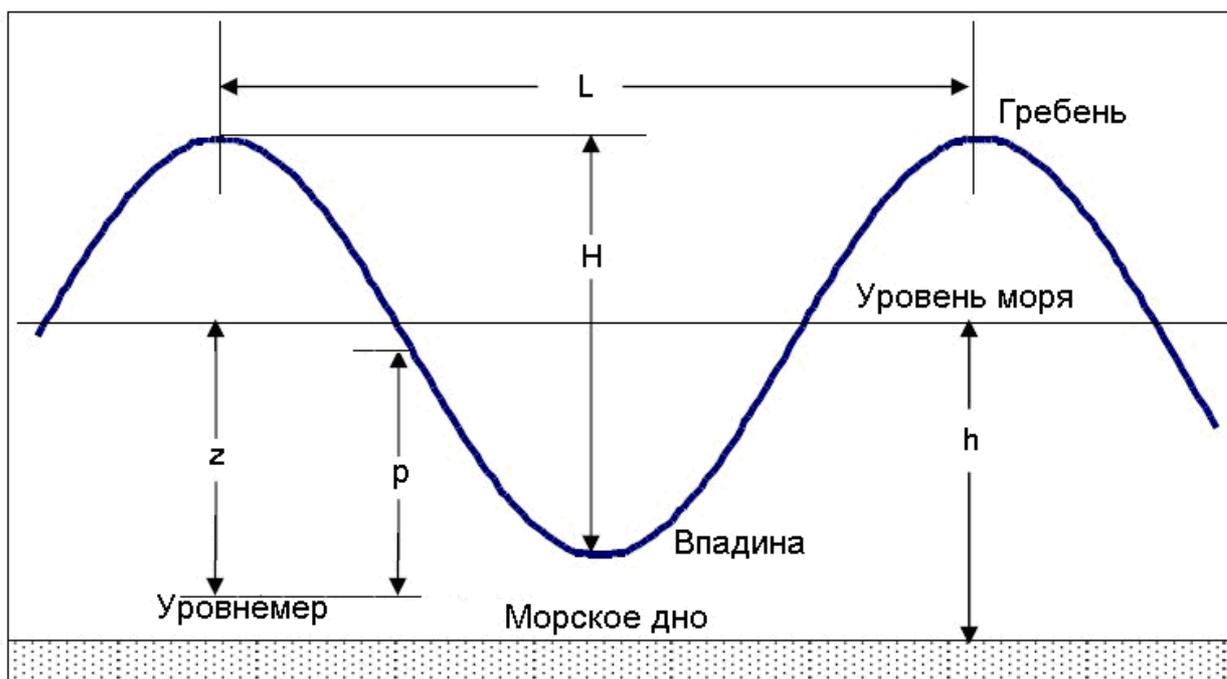


Рисунок 6

Б.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.

Б.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 $\omega^2 = ghk^2$.

Б.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].

Б.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 7. 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.

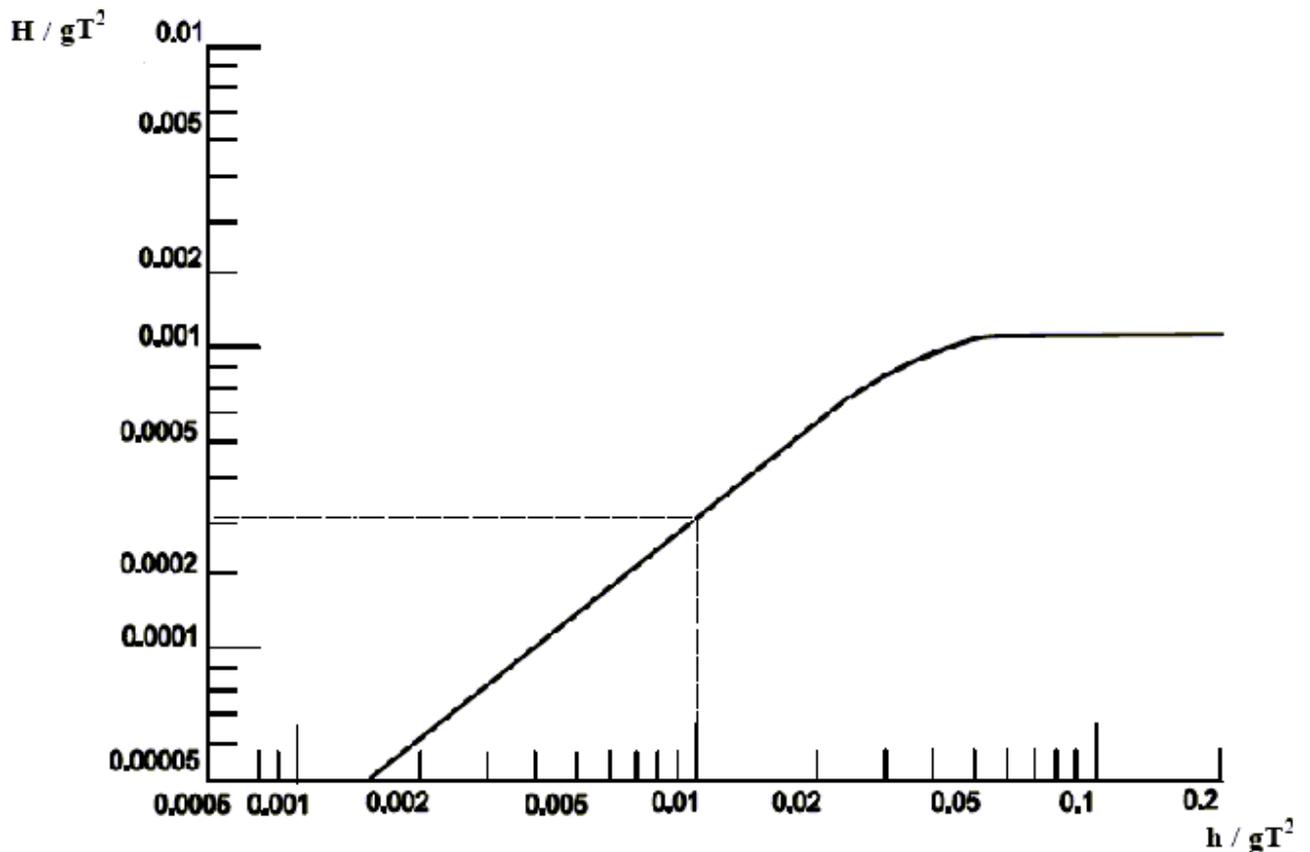


Рисунок 7

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.

Б.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.

Б.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 $0.0025 / \delta_t$

Б.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 8. 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.

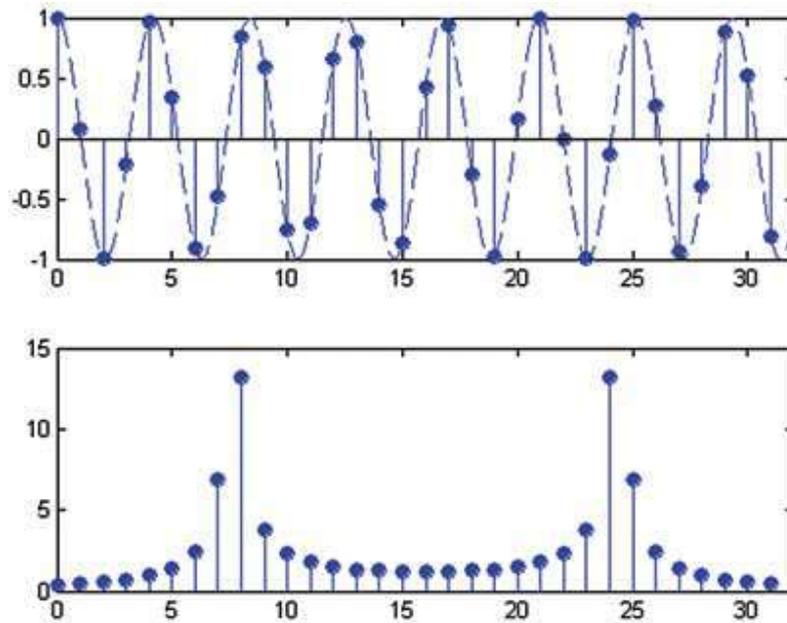


Рисунок 8

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:

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

Б.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.

Б.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.

На рисунке 9 показаны 3 графика:

— синим цветом показана зависимость измеренного уровня воды, которая была получена от датчика МК-26-4;

— зеленым цветом показан результат восстановления морского волнения по описанному выше алгоритму в контроллере МК-26-2;

— красным прерывистым выделен график, полученный в результате обработки тех же данных уровня воды в программе SBEDataProcessing фирмы Sea-Bird Electronics, Inc., которая используется для восстановления волнения по записям уровня погружными датчиками уровня типа SBE 16plus.

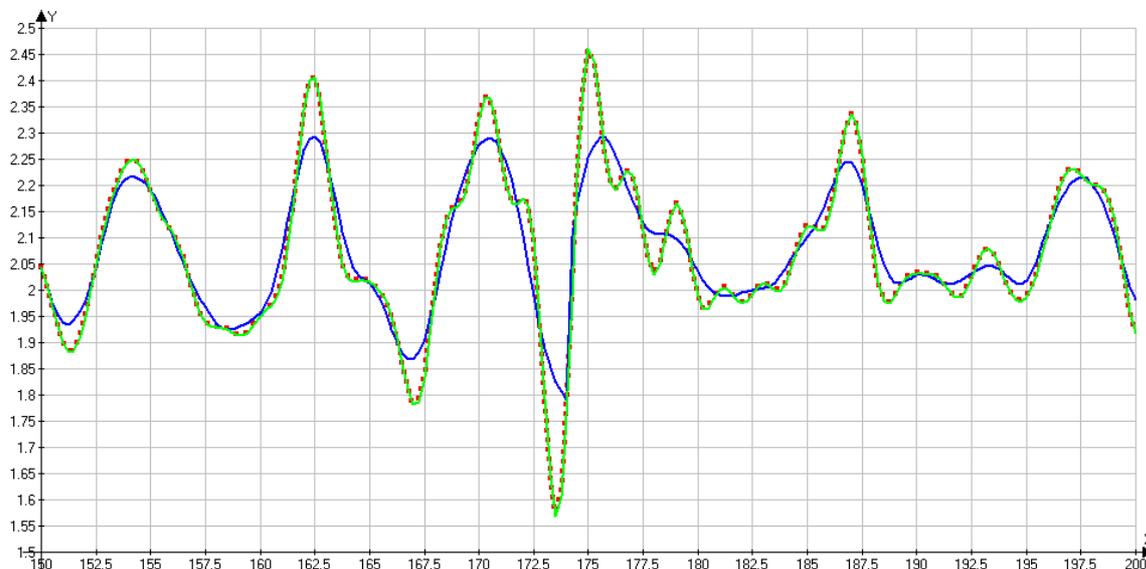


Рисунок 9

На рисунке видно, что результаты обработки совпадают.

Б.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).

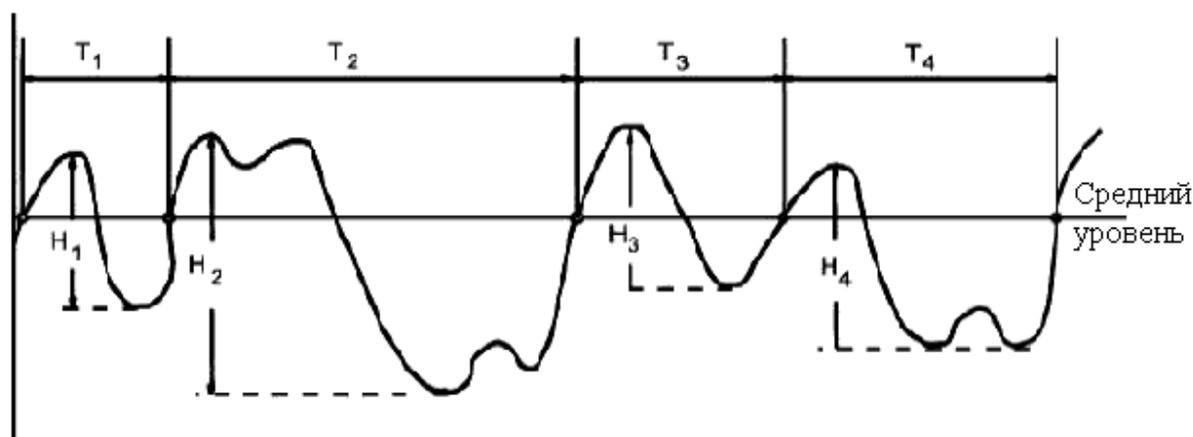


Рисунок 10

Запись волны разбивается на отрезки точками пересечения среднего уровня снизу вверх, как на рисунке 10. 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} .

Для вычисления параметров "высоких" волн используется шкала, привязанная к так называемой "значительной" высоте волн, которая имеет обеспеченность 1/3 (33,3%). Считается, что визуальная оценка высоты волнения ближе всего совпадает именно со "значительной" высотой волнения. Для вычисления средней высоты "высоких" волн Hh_{avg} из массива H_i берется треть самых больших значений высот волн. Вычисленную таким образом высоту волн называют "значительной" или "характерной". Период "значительной" волны Th_{avg} вычисляется как среднее значение периодов одной трети самых "высоких" волн в массиве.

В России принято считать волны 3% обеспеченности, т.е. наша шкала бальности привязана формально к высоте волн близкой к максимальной (для расчета берет 3 самых высоких волны из 100).

В результате обработки результатов восстановления волнения, приведенных на рисунке 9, получены следующие результаты:

- из массива измерений длиной 2048 точек (8,5 минут) после восстановления выделено 67 волн;
- средний период волны 6.076 секунды;
- средняя высота волны 0.716 метра;
- средний период 1/3 самых высоких волн 6.575 секунды;
- средняя высота 1/3 самых высоких волн 1.111 метра;
- максимальная высота волны 1.687 метра.