

УТВЕРЖДЕН
ЛАНИ.416311.003–04 РЭ-ЛУ

КОМПЛЕКС МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ

МАЛЫЙ МК–26–4

Руководство по эксплуатации

ЛАНИ.416311.003–04 РЭ

Количество листов - 32



ГБ05

Содержание

1 Описание и работа изделия	4
1.1 Назначение изделия	4
1.2 Технические характеристики	4
1.3 Устройство и работа.....	4
2 Использование по назначению.....	8
2.1 Эксплуатационные ограничения	8
2.2 Требования безопасности	8
2.3 Подготовка изделия к использованию	9
2.4 Указания по включению и опробованию.....	9
2.5 Размещение и монтаж изделия.....	9
3 Техническое обслуживание	11
4 Хранение и транспортирование	11
5 Комплект поставки.....	12
6 Основные сведения об изделии	12
7 Ресурсы, сроки службы и хранения, гарантии изготовителя.....	12
8 Свидетельство о приёмке	12
9 Учёт работы изделия	13
10 Работы при эксплуатации	13
10.1 Учет выполнения работ	13
10.2 Поверка.....	14
11 Хранение	14
12 Ремонт.....	15
13 Особые отметки	15
ПРИЛОЖЕНИЕ А (Обязательное) Методика градуировки	16
А.1 Общие сведения.....	16
А.2 Средства градуировки.....	16
А.3 Порядок определения градуировочных характеристик.....	16
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (Обязательное) Протокол связи МК–26–4 с компьютером.....	19
Б.1 Содержимое регистров Modbus-RTU с расчетом ветрового волнения	19
Б.2 Протокол NMEA-0183	21
ПРИЛОЖЕНИЕ В (Обязательное) Восстановление поверхностных волн	23

метеорологических и гидрологических параметров и передачи данных потребителю.

Комплексы МК-26 выпускаются в пяти модификациях:

— МК-26 - для измерения гидрометеорологических параметров (параметры приземного слоя атмосферы и гидрологические параметры) (технические и метрологические характеристики как у МК-26-2 в комплекте с МК-26-4);

— МК-26-1 - для измерения метеорологических параметров приземного слоя атмосферы (полевой вариант);

— МК-26-2 - для измерения метеорологических параметров приземного слоя атмосферы (базовый вариант, возможна индикация параметров);

— МК-26-3 - для измерения метеорологических параметров приземного слоя атмосферы для расширенного температурного диапазона (возможна индикация и обогрев защитного бокса);

— МК-26-4 - для измерения гидростатического давления и температуры воды.

Для измерения метеорологических параметров по отдельности предусмотрена возможность выпуска 3-х исполнений комплекса МК-26-3:

1. МК-26-3-Т - для измерения относительной влажности и температуры воздуха;
2. МК-26-3-Д - для измерения атмосферного давления;
3. МК-26-3-О - для измерения количества атмосферных осадков.

Настоящее руководство по эксплуатации (РЭ) предназначено для ознакомления с принципом работы и устройством комплекса метеорологического малого МК-26-4 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-26-4.

Для измерения гидростатического давления, температуры, атмосферного давления и восстановления волнения в состав комплекса МК-26-4 включаются:

- корпус из нержавеющей стали, титана или полиацетата ПОМ-С IP68;
- контроллер измерительный (КИ) ADuC7061;
- цифровой сенсор температуры STS21;
- сенсор гидростатического давления пьезорезистивный РС10;
- процессор MAX32660 для проведения расчетов по восстановлению волнения;
- датчик атмосферного давления LPCS2HH для восстановления волнения;
- кабель специальный с воздушным каналом для связи с атмосферой.

1 Описание и работа изделия

1.1 Назначение изделия

1.1.1 МК–26–4 предназначен для измерения температуры и гидростатического давления воды, обработки результатов измерений и передачи информации потребителю.

1.2 Технические характеристики

1.2.1 МК–26–4 обеспечивает автоматическое измерение параметров в рабочих условиях применения в диапазонах и с погрешностями, приведенными в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Канал измерений температуры воды	
Диапазон измерений, °С	минус 4 до 50
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений, °С	± 0,2
Канал измерения гидростатического давления (высоты водяного столба)	
Верхний предел измерений (ВПИ)*, гПа	От 100 до 20000
Нижний предел измерений, гПа	10
Пределы допускаемой погрешности измерения*, % от ВПИ	± (0,2-1,0)
* - значения указываются в таблице 2 раздела 5	

1.2.2 Выходной сигнал МК–26–4 интерфейс RS-485, к которому подключается компьютер потребителя с протоколом MODBUS-RTU (по умолчанию: адрес **1**, скорость **19200**, посылка **8** бит, **1** стоповый, без контроля четности). В случае отсутствия запросов Modbus-RTU может быть использован текстовый протокол передачи данных NMEA-0183, который описан в приложении Б.

1.2.3 Энергопитание МК–26–4 осуществляется от источника постоянного тока напряжением от 9 В до 24 В. Потребляемая мощность - не более 0,1 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 4°С до 50°С.

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

1.2.7 Средний срок службы - не менее 8 лет.

1.2.8 МК–26–4 в упаковке при транспортировании выдерживает:

— воздействие температуры окружающей среды до минус 50 °С до 50 °С;

— транспортную тряску с ускорением 30 м/с² при частоте ударов от 80 до 120 в минуту в течение 1 ч.

1.3 Устройство и работа

1.3.1 МК–26–4 разработан в соответствии с требованиями, предъявляемыми к проведению гидрологических измерений. Все чувствительные элементы установлены внутри корпуса.

Принцип действия МК–26–4 основан на измерении гидрологических параметров (температуры и гидростатического давления воды) посредством контактных датчиков. Выходные сигналы датчиков поступают в измерительный микроконтроллер ADuC7061. Микроконтроллер обеспечивает осуществление передачи измеренных цифровых кодов в процессор MAX32660 для преобразования в физические величины, усреднение полученных значений, математическую обработку по восстановлению волнения и вывод информации в линию связи (по запросу из центра сбора данных потребителя или по своей инициативе).

Визуализация данных, полученных от комплексов МК–26–4, осуществляется в центре сбора данных потребителя (персональный компьютер с программным обеспечением, прибор индикации, смартфон или метеокomплекс МК-26).

1.3.2 Центральным устройством комплекса является измерительный контроллер. В корпусе из нержавеющей стали, титана или полиацетала POM-C расположена плата измерительного контроллера, цифровой сенсор температуры и сенсор гидростатического давления и датчик атмосферного давления. Для выполнения расчетов по восстановлению волнения на плату установлен дополнительный процессор MAX32660.

Контроллер размещен в корпусе IP68.

Габаритные размеры : $\varnothing 22 \times 115$ мм или $\varnothing 25 \times 131$ мм. Фотография датчика представлена на рисунке 1.



Рисунок 1

1.3.3 Конструкция МК–26–4 разработана в соответствии с требованиями, предъявляемыми к гидрологическим приборам.

1.3.4 Цифровой термометр STS21 подключается к контроллеру ADuC7061 по I2C.

Габаритные размеры : 2,3×2,1 мм, масса 0,01 кг.

1.3.5 Пьезорезистивный датчик гидростатического давления РС10 или МРМ281 обеспечивает непрерывное пропорциональное преобразование избыточного давления в электрический сигнал – напряжение, которое подается на АЦП контроллера ADuC7061.

Габаритные размеры Ø19×15 мм, масса 0,05 кг.

1.3.6 Электропитание комплекса обеспечивается от внешнего блока питания. Блок питания в состав МК-26-4 не входит. Является дополнительным оборудованием.

1.3.7 Электрическая схема МК-26-4 приведена на рисунке 2.

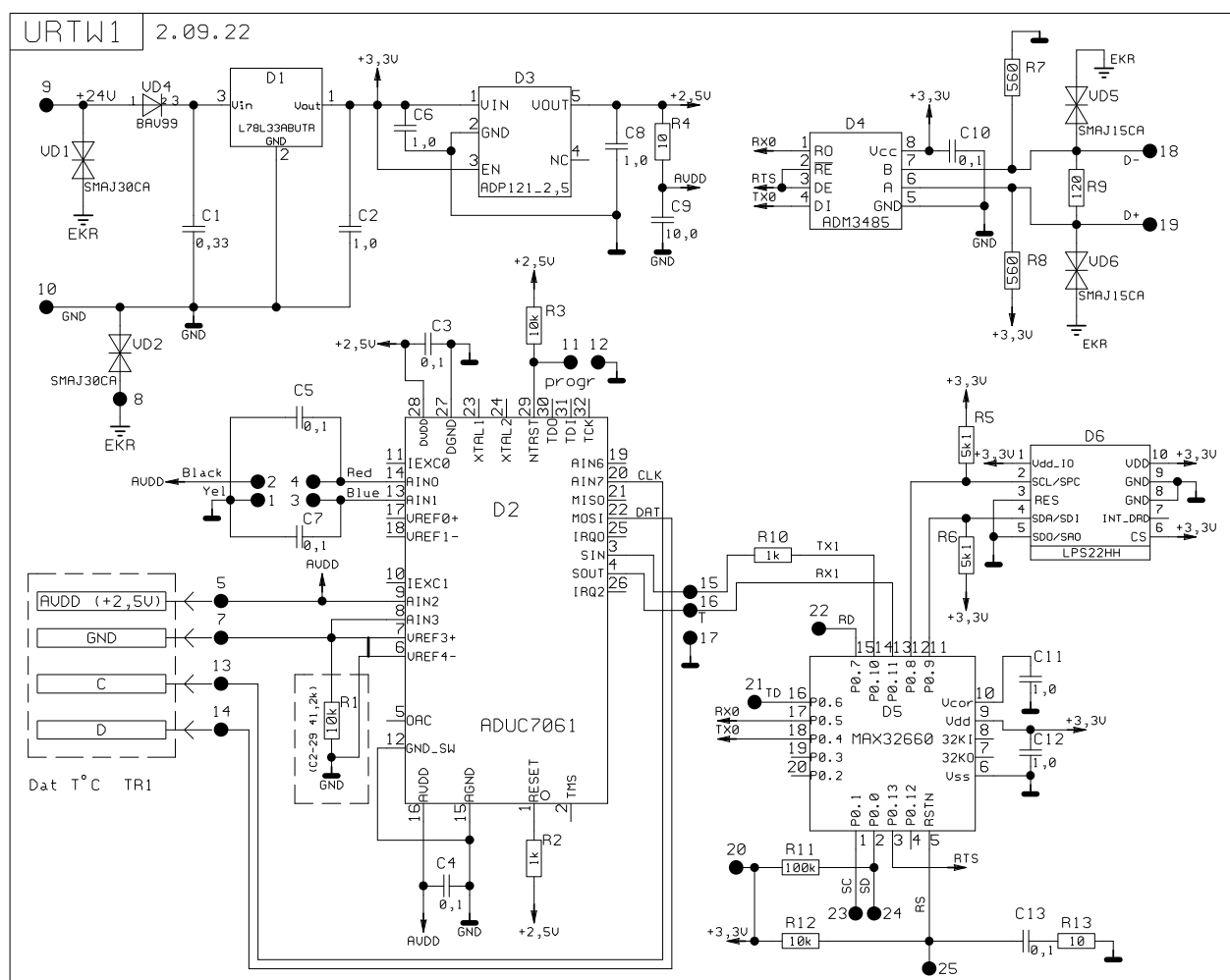


Рисунок 2

1.3.8 По включению питания микросхема L78L33ABUTR вырабатывает стабилизированное напряжение 3.3 вольта, которое преобразуется микросхемой ADP121-2,5 в напряжение 2.5 вольта для питания микропроцессора ADuC7061 и сенсора шидростатического давления. Процессор MAX32660, датчик атмосферного давления и датчик температуры питаются напряжением 3.3 вольта. Через 140 миллисекунд после подачи питания в микроконтроллере ADuC7061 запускается программное обеспечение, под управлением ЛАНИ.416311.003–04 РЭ

которого производятся измерения гидростатического давления и температура жидкости. Выходной сигнал сенсора, пропорциональный величине столба жидкости, расположенного над ним поступает на вход АЦП ADuC7061. Измеренные значения считываются процессором MAX32660 из коммуникационного порта ADuC7061 по протоколу Modbus-RTU, пересчитывается по калибровочным коэффициентам из флэш-памяти в код, который записывается в регистры оперативной памяти, которые могут быть прочитаны с помощью протокола MODBUS-RTU по RS-485 (скорость 19200, 8 бит, 1 стоп, без четности).

Для восстановления волнения измерения напряжения происходят с частотой 4 Гц. Структура энергонезависимой памяти (параметры настройки датчика) описаны в приложении Б. Код АЦП пересчитывается по градуировочным коэффициентам из энергонезависимой памяти в давление воды (высоту водяного столба). Данные усредняются в течение периода, заданного при настройке. Рассчитывается уровень воды по заданным значениям солености воды и смещения датчика относительно дна водоема. В приложении В описан алгоритм восстановления волнения. Результаты расчетов записываются в регистры оперативной памяти, которые могут быть прочитаны с помощью протокола MODBUS-RTU по RS-485.

1.3.9 Градуировка измерительных каналов является частью настройки МК–26–4 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–26–4 градуировка требуется для канала измерения давления и для канала температуры.

1.3.10 Давление вычисляется по формуле:

$$P = C_0(f) + C_1(f) \times t + C_2(f) \times t^2 \quad (1)$$

где t – температура датчика, C_0 , C_1 , C_2 – коэффициенты зависящие от кода АЦП, каждый из которых определяется, как коэффициенты параболы, построенной по 3-м значениям давления P_{i-1} , P_i , P_{i+1} , вычисленным для 3-х значений температур и кода АЦП f .

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

Таким образом для вычисления давления в МК–26–4 всегда используются 3 из 10-ти 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 1. Измеренное значение кода подставляется поочередно в эти 3 полинома 2-ой степени (формула 2) и вычисляются значения коэффициенты P_{i-1} , P_i , P_{i+1} . По 3-м точкам ЛАНИ.416311.003–04 РЭ

вычисляются коэффициенты C_0 , C_1 , C_2 . Затем из полученных коэффициентов формируется полином 2-ей степени, в который подставляется измеренное значение температуры датчика. Такая аппроксимация называется кусочно-параболической. Если для градуировки используются только 2 температурных точки, аппроксимация будет кусочно-линейной.

1.3.11 Термометр STS21 подключен к последовательному порту I2C. Полученный значение подставляется в полином 3-ей степени, коэффициенты которого берутся из энергонезависимой памяти контроллера.

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

1.3.13 Конструкция уровнемера разработана в соответствии с требованиями, предъявляемыми к гидрологическим приборам.

2 Использование по назначению

2.1 Эксплуатационные ограничения

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

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

2.2 Требования безопасности

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

2.2.2 МК–26–4 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-26-4 и прошедшие инструктаж по технике безопасности.

2.3.2 Внимание! Для обеспечения устойчивой работы МК-26-4 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-26-4 на отсутствие внешних повреждений. Для опробования перед монтажом на месте эксплуатации выполнить следующие операции:

- соединить составные части МК-26-4 и персональный компьютер;
- запустить консольную программу ask.exe. На экране появится таблица со списком измеряемых параметров и результатами измерений. В правой колонке выводятся первичные измерительные данные, которые используются для градуировки каналов.

Главное окно программы приведено на рисунке 3.

Параметры	Среднее	Текущее	Минимум	Максимум	Код
Уровень воды, м	0.049	0.049	-0.001	0.049	50.71043
Давление воды, кг/см2		0.00490			50.71043
Температура воды, °	22.67	22.71			26320.00
Высота волны, м	0.057			0.063	
Высота знач. волны, м	0.060				
Высота 3%-знач., м	0.063				
Период волны, с	6.070				
Период знач. волны, с	8.008				
Давление, мм.рт.ст					

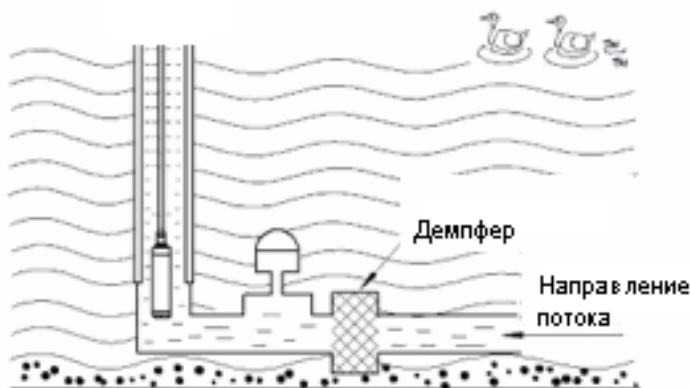
Рисунок 3

Значения должны соответствовать температуре воздуха и уровню 0 с учетом погрешности измерения.

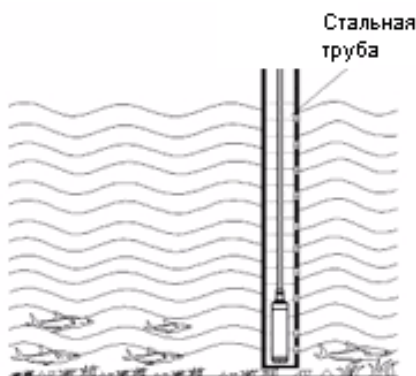
2.5 Размещение и монтаж изделия

2.5.1 При установке в резервуаре МК-26-4 закрепляется на штанге на высоте 10-15 см от дна резервуара или подвешивается на нержавеющей тросе, проволоке. Кабель в нескольких точках закрепляется к подвесу с целью исключения его провисания или обрыва. Излишки кабеля сматываются в бухту и крепятся к стенке колодца резервуара. Соединение кабеля ЛАНИ.416311.003-04 РЭ

уровнемера с сигнальным кабелем связи до места установки блока индикации (переносной/стационарный прибор или компьютер/контроллер) рекомендуется делать с помощью клеммной колодки.



2.5.2 При установке в скважине МК–26–4 крепится к трубопроводу непосредственно под фланцем над насосным агрегатом для исключения его повреждения при монтаже или демонтаже скважины. Кабель без провисаний с шагом примерно 3 м крепится к трубопроводу. Если требуется производить пересчет уровня от поверхности, то необходимо измерить высоту секций трубопровода и внести соответствующую запись в паспорт скважины. Отсчет уровня в этом случае будет определяться как разность между глубиной постановки МК–26–4 и показаниями компьютера.



Кабель связи, соединяющий МК–26–4 и центр сбора данных, прокладывается воздушной линией или закапывается в землю на глубину до 20 см (или прокладывается в трубе диаметром не менее 0,5 дюйма). При прокладке кабеля необходима маркировка его жил для исключения неправильного электрического подключения МК–26–4 (пример маркировки для RS-485 показан на рисунке 4). Зеленый – Data+ RS485 (A), синий – Data- RS485 (B), красный – питание +12в, белый – общий. Возможно подключение экрана кабеля к физической земле.

Целесообразно соединение кабеля осуществлять через клеммную колодку. Длина кабеля связи при интерфейсе RS-485 - до 1200 м. На рисунке 4 конвертер RS485-USB NM485.

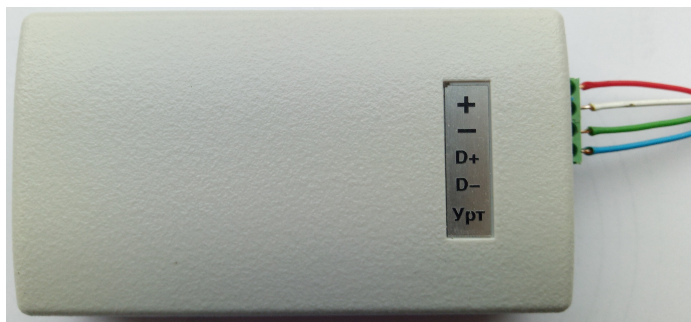


Рисунок 4

Для передачи данных в локальную сеть применяется конвертер CS-3102 RS485-Ethernet с конвертацией протокола RTU в TCP/IP, который подключается к роутеру. Для передачи данных в глобальную сеть интернет применяется модем iRZ ATM21.A/ATM41.A с конвертацией протокола RTU в TCP/IP.

3 Техническое обслуживание

Для МК-26-4 предусмотрены следующие виды технического обслуживания: внешний осмотр, контроль работоспособности.

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

Текущий ремонт осуществляется предприятием-изготовителем по договору. В течение гарантийного срока ремонт МК-26-4 осуществляется бесплатно.

4 Хранение и транспортирование

МК-26-4 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.

В помещении для хранения МК-26-4 не должно быть агрессивных примесей (паров кислот, щелочей), вызывающих коррозию.

МК-26-4 можно транспортировать любым видом транспортных средств, на любое расстояние в условиях, установленных для группы 5 ГОСТ 15150-69.

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.

После транспортирования при отрицательных температурах МК-26-4 должен быть выдержан

при нормальных условиях не менее 12 ч.

5 Комплект поставки

Т а б л и ц а 2

№	Наименование	Условное обозначение	Кол-во
1	2	3	4
	Комплекс метеорологический малый МК-26-4, в том числе:		1
1	Контроллер измерительный	КИ	1
2	Цифровой датчик температуры	STS21	
3	Преобразователь гидростатического давления и температуры воды: - ВПИ, гПа _____; - погрешность, % от ВПИ _____.	ДГС	
4	Кабель	КПЛИМП 4х0,20	
5	Руководство по эксплуатации	РЭ	1
6	Методика поверки РТ-МП-5786-130-2019	МП	1

6 Основные сведения об изделии

Комплекс метеорологический малый МК-26-4 ЛАНИ.416311.003-04 Зав.номер _____
изготовлен " ____ " _____ 202__ г. ООО «НТЦ Гидромет», г.Обнинск Калужской обл., реестр
СИ № 39490-19, свидетельство об утверждении типа СИ № 74627.

7 Ресурсы, сроки службы и хранения, гарантии изготовителя

Средний срок службы МК-26-4 - 8 лет. Изготовитель гарантирует соответствие МК-26-4 заданным характеристикам при соблюдении условий транспортирования, хранения, монтажа и эксплуатации. Гарантийный срок эксплуатации 12 месяцев со дня ввода МК-26-4 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-26-4 ЛАНИ.416311.003-04 Зав.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

9 Учёт работы изделия

Т а б л и ц а 3

Дата установки	Где установлено	Дата сня- тия	Наработка		Причина снятия	Подпись лица, про- водившего уста- новку (снятие)
			с начала экс- плуатации	после послед- него ремонта		

10 Работы при эксплуатации

10.1 Учет выполнения работ

Т а б л и ц а 4

Дата	Наименование работы и причина её выполнения	Должность, фамилия и подпись		Примечание
		выполнившего работу	проверившего работу	

10.2 Поверка

Т а б л и ц а 5

Наименование и обозначение средства измерения	Заводской номер	Дата изготовления	Периодичность поверки	Дата поверки	Дата очередной поверки	Номер свидетельства
МК-26-4						

11 Хранение

Т а б л и ц а 6

Дата		Условия хранения	Вид хранения	Примечание
приёмки на хранение	снятия с хранения			

12 Ремонт

Ремонт датчика проводится изготовителем. Краткие сведения о произведенном ремонте следует указывать в таблице 7.

Т а б л и ц а 7

Предприятие, дата поступления	Наработка		Причина поступления в ремонт	Сведения о произведенном ремонте
	с начала эксплуатации	после последнего ремонта		

Исполнитель ремонта гарантирует соответствие изделия требованиям действующей технической документацией.

В случае выявления неисправности в период гарантийного срока необходимо составить технически обоснованный акт рекламации и сделать выписки из разделов «Свидетельство о приёмке», «Учет работы». Акт рекламации с приложениями следует направить руководителю предприятия-изготовителя.

13 Особые отметки

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Методика градуировки

А.1 Общие сведения

Настоящий раздел устанавливает методы градуировок измерительных каналов.

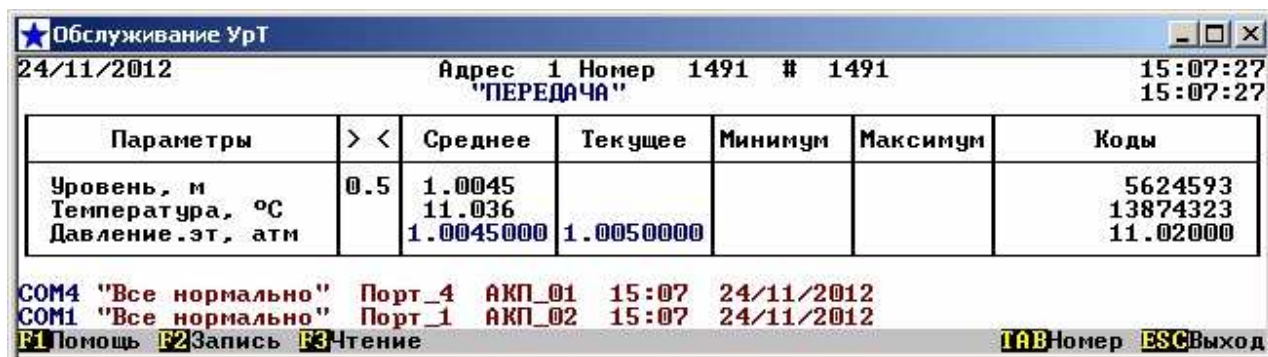
А.2 Средства градуировки

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

- термометр (набор термометров) для измерений температуры, диапазон от -4°C до 50°C, погрешность не более 0,1°C;
- помпа ручная пневматическая П-0,25М;
- источник постоянного тока напряжением (12 ± 2) В;
- 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-26-4 с персональным компьютером и установить специальное программное обеспечение. Для обеспечения связи надо соединить выход RS485 датчика через конвертор USB-RS485 с портом USB компьютера. Переписать в компьютер программное обеспечение из компакт-диска комплекта поставки, директории service (расчёт градуировочных коэффициентов и связь с МК-26-4). 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 5.



Параметры	> <	Среднее	Текущее	Минимум	Максимум	Коды
Уровень, м	0.5	1.0045				5624593
Температура, °C		11.036				13874323
Давление.эт, атм		1.0045000	1.0050000			11.02000

24/11/2012 Адрес 1 Номер 1491 # 1491 15:07:27
"ПЕРЕДАЧА" 15:07:27

COM4 "Все нормально" Порт_4 АКП_01 15:07 24/11/2012
COM1 "Все нормально" Порт_1 АКП_02 15:07 24/11/2012

F1Помощь F2Запись F3Чтение TABНомер ESCВыход

Рисунок 5

А.3.2 Порядок определения градуировочных характеристик давления

Для проведения градуировки требуется климатическая камера, источник питания 12В, датчик МК-26-4, компьютер с портом USB, помпа пневматическая, эталонный манометр избыточного давления, соединительные трубки, специальное программное обеспечение. Разместить в рабочей зоне климатической камеры датчик, датчик соединить газовой линией с эталонным манометром и помпой. Персональный компьютер, эталонный манометр и помпу расположить вне климатической камеры. Запустить программное обеспечение согласно А.10.1.

В климатической камере установить температуру $(0 \pm 3)^\circ\text{C}$. С помощью помпы последовательно устанавливать в газовой линии давление (0 ± 0.02) , (0.4 ± 0.02) , (0.8 ± 0.02) , (1.0 ± 0.02) , (1.6 ± 0.02) атм. и записывать показания эталонного манометра и соответствующую этому давлению код АЦП в таблицу. Повторить процедуру при температуре в камере сначала при $(0 \pm 3)^\circ\text{C}$, затем при $(5 \pm 3)^\circ\text{C}$, при $(10 \pm 3)^\circ\text{C}$, при $(15 \pm 3)^\circ\text{C}$, при $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$, при $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$ и при $(30 \pm 3)^\circ\text{C}$. Выбор количества точек и конкретных значений температуры зависит от условий будущей эксплуатации датчика (не более 10).

В результате получатся 7 таблиц по пять строк в каждой. По каждой таблице, т.е. для каждой температуры надо построить аппроксимирующий полином 2-ой степени зависимости давления от кода АЦП. Для этого можно использовать программу аппроксимации методом наименьших квадратов `p.exe` из комплекта поставки (директория `service\calibr` в компакт-диске).

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

Входной файл создается в любом текстовом редакторе (блокноте). В файл записываются 10 строк, каждая из которых состоит из температуры и коэффициентов полинома. Если для градуировки использовалось меньше 10 значений температуры, то строки заполняются нулями.

;ДАВЛЕНИЕ

;свой полином для каждой температуры

;Температура T[i] и C[i][0] C[i][1] C[i][2]-коэффициенты преобразования давления

```
1.8634  0.0110856 1.7206108e-07 1.4962985e-16
4.9986  0.010161692 1.7418504e-07 2.2306956e-17
7.9580  0.010251045 1.7523791e-07 4.2032627e-17
10.8111 0.010037493 1.7654002e-07 2.1720942e-17
14.0642 0.010031347 1.7791221e-07 2.3091732e-17
18.1391 0.010211835 1.7966131e-07 4.2098203e-17
20.6706 0.010652296 1.8021332e-07 1.7156296e-16
23.6877 0.010758652 1.8214063e-07 1.6422581e-17
27.8384 0.010910772 1.8395057e-07 1.2968216e-17
0 0 0 0
```

А.3.3 Порядок определения градуировочных характеристик температуры

Градуировка по температуре проводится одновременно с градуировкой по давлению. В таблицу записываются показания эталонного термометра и коды АЦП, к которому

подключено платиновое термосопротивление. Для вычисления коэффициентов полинома можно использовать программу t.exe (директория service\calibr в компакт-диске) или любую другую, использующую метод наименьших квадратов.

Командная строка: t input.t

Входной файл input.t создается в любом текстовом редакторе (блокноте). Первая колонка – коды АЦП, вторая – температура в камере, измеренная эталонным термометром. Завершается файл пустой строкой.

13412515	1.86
13571128	5.03
13715932	7.91
13859570	10.75
13997822	13.48
14234575	18.15
14363177	20.69
14514968	23.7
14723642	27.86

Выходной файл input.tr создается программой t.exe. Первая строка это коэффициенты аппроксимирующего полинома 3-ей степени. Две первые колонки повторяют входной файл, третья – значения температуры, вычисленные с помощью полинома, четвертая – абсолютная ошибка аппроксимации. Последняя строка – это сумма квадратов отклонений, которую программа минимизировала и среднеквадратическое отклонение.

Коэффициенты: $c[0] = -975.7199463231343$; $c[1] = 0.0001716162535987691$; $c[2] = -1.078414948743186e-11$; $c[3] = 2.55214540163731e-19$;

-975.71995 0.00017161625 -1.0784149e-11 2.5521454e-19

X[i]	Y[i]	Y	Y - Y[i]
13412515	1.86	1.85992	-8.43722e-05
13571128	5.03	5.03087	0.000867222
13715932	7.91	7.90831	-0.00169101
13859570	10.75	10.7509	0.000858643
13997822	13.48	13.48	3.87188e-05
14234575	18.15	18.15	-9.86777e-06
14363177	20.69	20.6907	0.000744928
14514968	23.7	23.699	-0.00104727
14723642	27.86	27.8603	0.000323014

Суммарное: 6.113613899392062e-06 Среднее: 0.0008241907748002186

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Протокол связи МК-26-4 с компьютером

Б.1 Содержимое регистров Modbus-RTU с расчетом ветрового волнения

В МК-26-4 результаты измерения можно использовать для восстановления морского волнения. Для алгоритма расчета волнения нужны результаты измерения гидростатического давления воды с частотой 4 герца, т.е. измеренные с интервалом 250 миллисекунд. Обрабатывается запись данных длиной 4.2, 8.5, 10 или 17 минут. Результаты вычислений доступны для чтения потребителем.

Прежде чем использовать полученные числа надо проверить их пригодность для обработки. В МК-26-4 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). Ниже приведена структура данных, используемая для настройки МК-26-4 (прошивка с алгоритмом восстановления ветрового волнения). Все параметры структуры доступны для записи (функция 16) и чтения (функция 3, 4) с помощью функций протокола Modbus.

```
typedef struct {
    _U8          object;          // адрес
    _U8          algorithm;
    // +1 - уровень средний за весь интервал, иначе за 1 минуту
    // [4:1] бит - выбор параметров обработки волнения
    // +2 - запись в 8.5 минут
    // +4 - волнение 17 минут
    // +8 - волнение 4.2 минуты и обработка 100 волн
    // +16 - волнение 10 минут
    _U8  tsec;          // интервал измерения температуры в секундах
    _U8  hsec;          // интервал измерения уровня в секундах
    _U8  ave;           // период осреднения
    _U8  msg;           // интервал выдачи сообщения NMEA-0183
    _U16 id;            // идентификатор (заводской номер)
    //*****
    _pCoef  p[2];        // атмосферное давление
    //*****
    _pCoef  l[8];        // гидростатическое давление
    //*****
    _F32    t[4];        // температура
    //*****
    _F32    pc[4];
                                // pc[0] - глубина в месте установки УрТ
}
```

```

// pc[1] - соленость моря
// pc[2] - широта места установки датчика
// pc[3] - АТТ
//*****
_F32      fVal[FSIZE];
} eepromData;

```

Последние 76 байт структуры данных - это 19 чисел с плавающей запятой fVal[19], доступны только для чтения (функция 3 или 4). Преобразование как описано в предыдущем разделе. Каждая пара байт структуры данных соответствует регистру протокола Modbus. Подробнее соответствие содержимого структуры данных и регистров протокола Modbus описано в таблице 8.

Т а б л и ц а 8

Номер регистра, 2 байта (функция 3)	Смещение в массиве fVal, 4 байта (функция 4)	Параметр
100	_ID [0]	Идентификатор, заводской номер
102	_TL [1]	Код АЦП сенсора температуры
104	_L [2]	Код АЦП сенсора давления
106	_La [3]	Средний уровень
108	_Lc [4]	Текущий уровень
110	_TLa [5]	Средняя температура
112	_TLc [6]	Текущая температура
114	_Pa [7]	Среднее атмосферное давление
116	_Pc [8]	Текущее атмосферное давление
118	_Tp[9]	Температура датчика атмосферного давления
120	_WPa [10]	Средний период волнения
122	_Wa [11]	Средняя высота волны
124	_Wx [12]	Максимальная высота волны
126	_WN3a [13]	Средняя высота 3% самых высоких волн
128	_WNa [14]	Средняя высота значимых волн (33% высоких)
130	_WPNa [15]	Средний период значимых волн (33% высоких)
132	_Lm [16]	Минимальный уровень
134	_Lx [17]	Максимальный уровень
136	_Lp [18]	Текущее гидростатическое давление в кг/см ²

Б.2 Протокол NMEA-0183

МК-26-4 может быть настроен на передачу текстовой строки в формате XDR протокола NMEA-0183. Строка данных выглядит следующим образом:

\$WLXDR,C,x.x,C,A,.....W,x.x,M,3%*hh<CR><LF>

где,

- \$WLXDR – заголовок “Water Level Transducer Measurements”;
- C – температура воды;
- x.x – значение температуры воды;
- C – градус Цельсия;
- A – среднее значение;
- C – температура воды;
- x.x – значение температуры воды;
- C – градус Цельсия;
- C – текущее значение;
- C – температура воды;
- x.x – значение температуры воды;
- C – градус Цельсия;
- M – минимальное значение;
- C – температура воды;
- x.x – значение температуры воды;
- C – градус Цельсия;
- X – максимальное значение;
- L – уровень воды;
- x.x – значение уровня воды;
- M – метр;
- A – среднее значение;
- L – уровень воды;
- x.x – значение уровня воды;
- M – метр;
- C – текущее значение;
- T – средний период волны;
- x.x – значение периода;
- M – секунда;

- A – среднее значение;
- T – средний период значительных волн;
- x.x – значение периода;
- S – секунда;
- 33% – средний период 1/3 самых высоких волн;
- W – высота волны;
- x.x – значение высоты волны;
- M – метр;
- A – среднее значение;
- W – высота волны;
- x.x – значение высоты волны;
- M – метр;
- X – максимальное значение;
- W – высота волны;
- x.x – значение высоты волны;
- M – метр;
- 33% – среднее значение высоты значительных волн;
- W – высота волны;
- x.x – значение высоты волны;
- M – метр;
- 3% – среднее значение 3% самых высоких волн;
- *hh – контрольная сумма после звездочки;
- <CR><LF> - возврат каретки и перевод строки в конце.

Контрольная сумма – это «исключающее или» всех байтов сообщения между знаком '\$' и знаком '*'. Сами знаки в сумму не входят.

Для приема и отображения строки данных может быть использована любая терминальная программа типа HyperTerminal, с настройками коммуникационного порта 19200, 8, N, 1.

Передача данных начнется автоматически, если в течение 15 секунд по линии связи не будет запросов Modbus-RTU. Данные передаются с частотой 15 Гц (раз в 15 секунд после вычисления параметров волнения).

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Восстановление поверхностных волн

В.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.

Таблица

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

В.2 Введение

Наблюдение морского ветрового волнения в прибрежной зоне с помощью датчика гидростатического давления, установленного на глубине, превышающей амплитуду волн на ЛАНИ.416311.003–04 РЭ

поверхности моря, является наименее затратным и наиболее простым в практической реализации способом постановки таких наблюдений.

Спектральная технология обработки измерений датчика гидростатического давления основывается на теории ветрового волнения, созданной для условий открытого моря, в которой волнение на поверхности моря представляется в виде затухающего с глубиной гармонического колебания. Эта технология успешно используется ведущей океанографической фирмой «Sea-bird Electronics Inc.» и включает следующие действия:

- из обрабатываемой последовательности исключают постоянную составляющую (средний уровень по показаниям датчика);
- последовательность раскладывают на гармонические составляющие преобразованием Фурье;
- определяют максимальную и минимальную частоты, которые используются в расчетах;
- вносят поправки к коэффициентам преобразования Фурье в зависимости от глубины и частоты;
- производят обратное преобразование Фурье;
- рассчитывают параметры волнения по восстановленной волнограмме на поверхности моря.

В.3 Линейная теория волн

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

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

На рисунке 6 представлена простая гармоническая волна на поверхности моря.

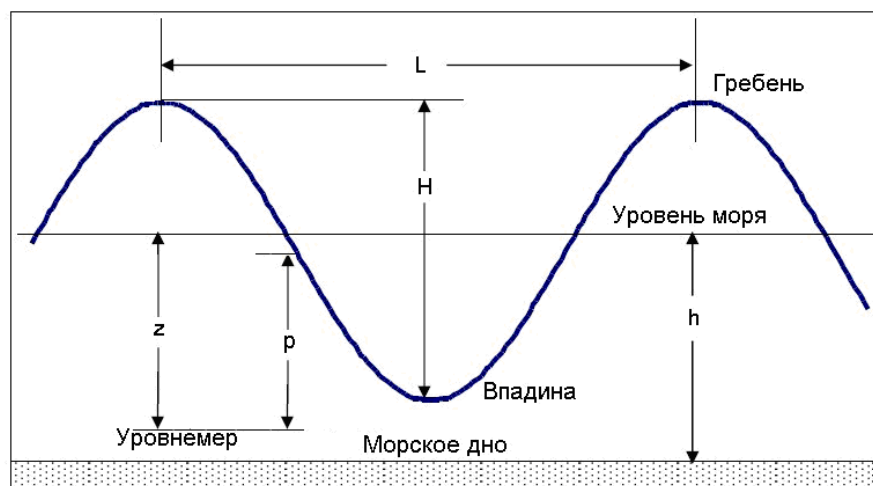


Рисунок 6

В.4 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.

В.5 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 $\omega^2 = ghk^2$.

В.6 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].

В.7 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.

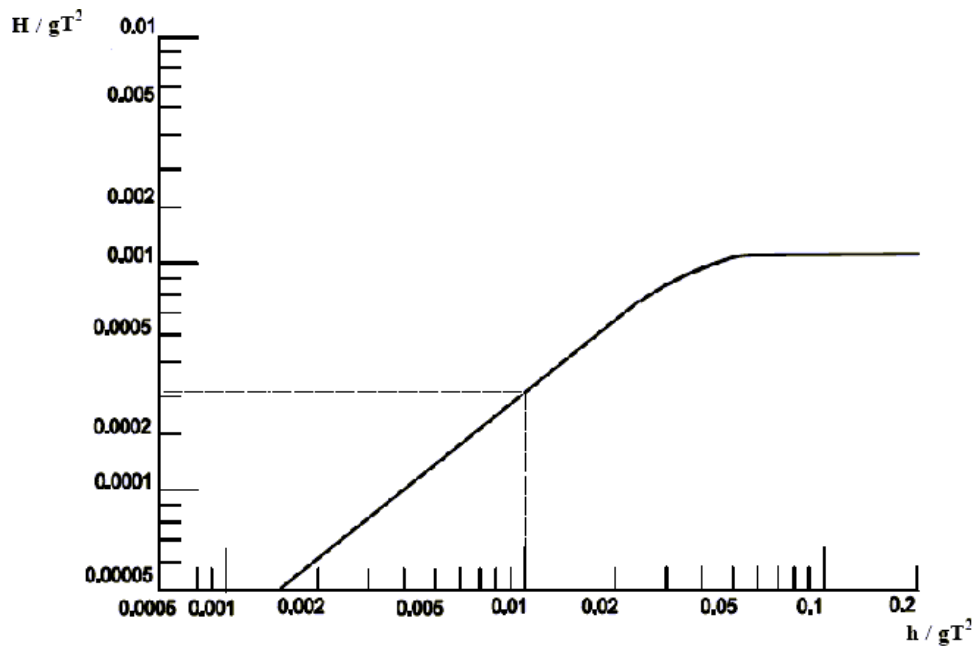


Рисунок 7

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.

В.8 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:

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

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.

В.9 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 $0.0025/\delta_t$

В.10 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 солёности.

Глубина установки уровнемера z и глубина h вычисляются по формулам:

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

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

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.

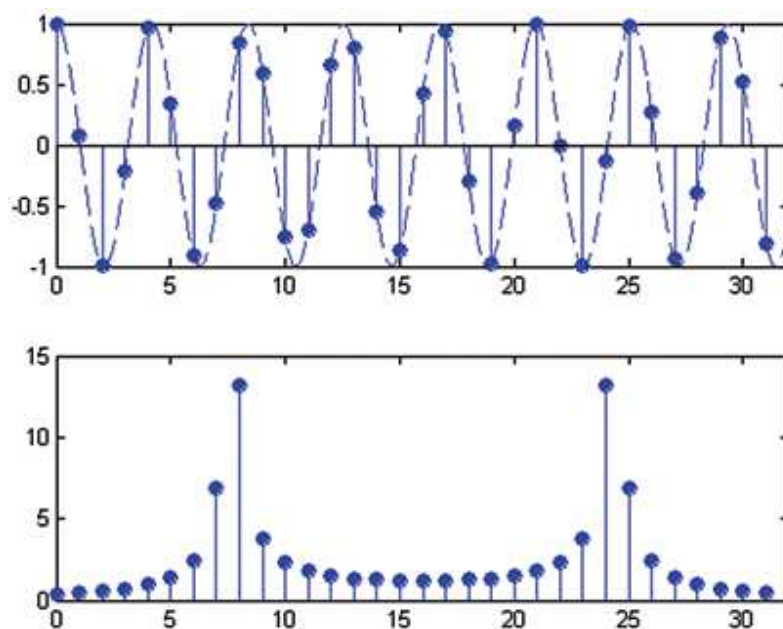


Рисунок 8

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:

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

V.11 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.

V.12 Восстановление поверхностных волн

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

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

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

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

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

$H(f_i)$ - передаточная 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 уровня воды в Геленджике. Широта 44.5° , глубина моря в месте установки датчика 10 м, соленость моря 18%, температура воды 18°C ;

— зеленым цветом показан результат восстановления морского волнения по описанному выше алгоритму в контроллере;

— 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 9 видно, что результаты обработки совпадают.
ЛАНИ.416311.003–04 РЭ

В.13 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).

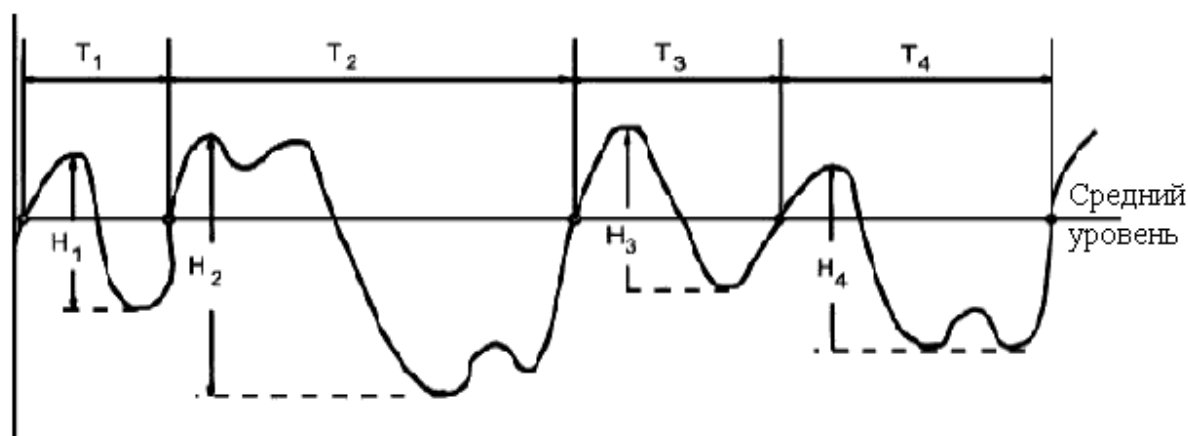


Рисунок 10

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 $H_{h_{avg}}$ из массива H_i берется треть самых больших значений высот волн. Вычисленную таким образом высоту волн называют "значительной" или "характерной". Период "значительной" волны $T_{h_{avg}}$ 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 73 волны;

— средний уровень моря 2.061 м (глубина установки датчика);

- средний период волны 5.6 секунды;
- средняя высота волны 0.333 метра;
- средний период 1/3 самых высоких волн 6.6 секунды;
- средняя высота 1/3 самых высоких волн 0.5 метра;
- максимальная высота волны 0.82 метра.