

# ПЕРЕНОСНОЙ АКУСТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ИСТ-1

Н.А.Греков, П.В.Гайский,  
В.Ж.Мишуров, А.С.Бондаренко

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

Приводится структурная схема прибора, функции преобразования измерительных каналов скорости течения, скорости звука и глубины, алгоритмы работы микроконтроллера погружного и бортового блоков.

В настоящее время создано довольно много различных измерителей течений морского или речного применения. В зависимости от используемого первичного преобразователя они подразделяются на тахометрические, электромагнитные, меточные, термогидрометрические, электрохимические, акустические, обтекания и т.д. [1]. В данной статье не обсуждаются преимущества и недостатки тех или иных преобразователей и приборов, созданных на их основе. Основные цели, которые преследовались при создании прибора – это реализация долговременных стабильных датчиков; отсутствие врачающихся деталей (например, роторов, крыльчаток, лопастных винтов); возможность автоматизации процесса измерения; способность прибора выдерживать значительные внешние механические и температурные нагрузки; взаимозаменяемость узлов и близость по методике использования к стандартной гидрометеорологической вертушке для замены которой он предназначен.

Естественно конкуренция на рынке измерителей течений воды огромна, что накладывает ограничения на стоимость прибора и с этой задачей нам удалось справиться. Мы использовали самую современную технологию обработки материалов и современную электронную базу, что позволило значительно снизить затраты при производстве.

В результате анализа известных решений мы остановились на акустическом способе измерения скорости. Дополнительно в прибор мы включили каналы измерения глубины и температуры, а также вспомогательный канал скорости звука. Разработан-

ная структурная схема прибора с акустическим каналом скорости течения представлена на рис. 1.

Особое внимание уделялось механическим узлам измерителя. Герметичный контейнер на давление воды до 500 КПа должен был вести себя устойчиво в потоке на скорости до 5 м/с. Поэтому был выбран контейнер формой в виде капли со сквозным внутренним каналом вдоль капли. На противоположных стенках канала по диаметру под некоторым углом  $\alpha$  расположены пьезопреобразователи. Сверху к контейнеру можно крепить кабель-трос или штангу, а снизу дополнительный груз весом до 100 кг.

Рассмотрим работу отдельных измерительных каналов, схема способа измерения скорости течения представлена на рис. 2.

Сформированный электрический сигнал в МПИУ-1 в виде пачки импульсов частотой 1 МГц, одновременно подается на пьезопреобразователи ПП-1 и ПП-2, где преобразуется в акустический сигнал, который проходит через жидкость и принимается этими пьезопреобразователями.

Учитывая, что пьезопреобразователи располагаются в канале диаметром  $D$  под некоторым углом  $\alpha$ , время распространения ультразвуковых импульсов по направлению движения жидкости  $\tau_1$  и против него  $\tau_2$  запишется как

$$\begin{aligned}\tau_1 &= \frac{D/\sin\alpha}{C + V \cos\alpha} \\ \tau_2 &= \frac{D/\sin\alpha}{C - V \cos\alpha}\end{aligned}, \quad (1)$$

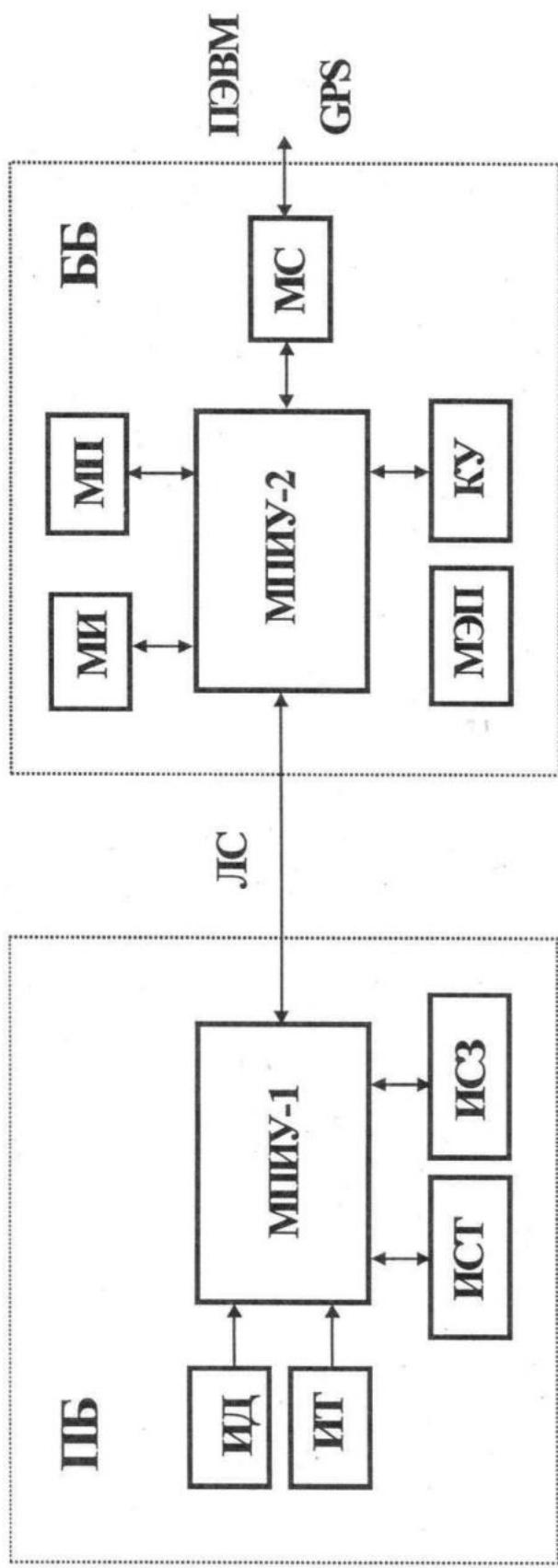
где  $V$  – скорость течения;  $C$  – скорость звука в воде.

Разность этих величин

$$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{2D \cdot V \cos\alpha / \sin\alpha}{C^2 - (V \cos\alpha)^2}, \quad (2)$$

Учитывая, что  $C \gg V$  с некоторым приближением, получим окончательно

$$\Delta\tau = \frac{2VD \operatorname{ctg}\alpha}{C^2}, \quad (3)$$



ПБ - погружной блок:

- ИД – измеритель гидростатического давления
- ИТ – измеритель температуры
- ИСТ – измеритель скорости течения
- ИСЗ – измеритель скорости звука
- МИУ-1 – модуль преобразования информации и управления

ББ - бортовой блок:

- |     |   |
|-----|---|
| МИ  | - измеритель гидростатического давления         |
| МП  | - измеритель температуры                        |
| КУ  | - измеритель скорости течения                   |
| МЭП | - измеритель скорости звука                     |
| МС  | - модуль преобразования информации и управления |
| GPS | - модуль преобразования информации и управления |

Рис. 1 – Структурная схема прибора с акустическим каналом скорости

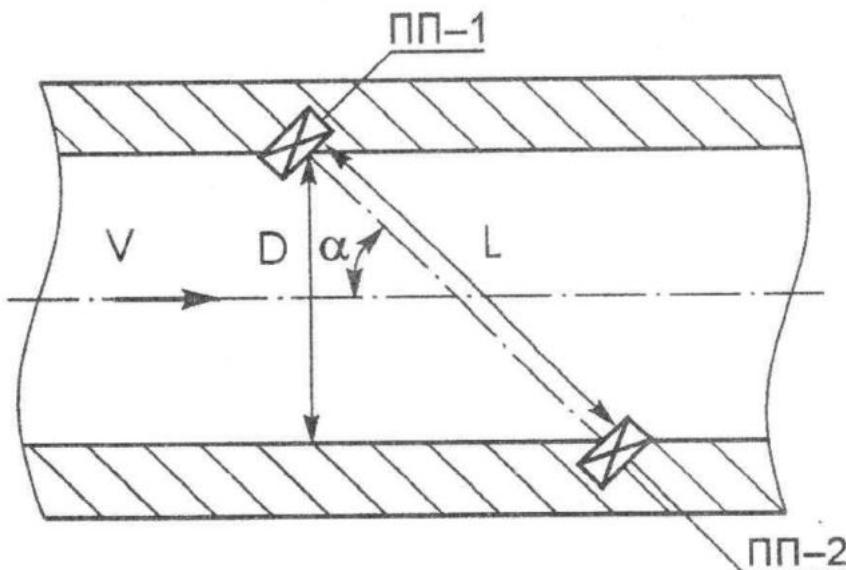


Рис. 2 – Схема способа измерения скорости течения

Как видно из выражения (3) для определения скорости течения необходимо измерять и скорость распространения звука в воде. Используя эти же пьезопреобразователи, можно измерить скорость распространения звука в воде. Для этого в МПИУ-1 формируется электрический импульс, который поступает на пьезопреобразователь ПП-1, где преобразуется в акустический импульс.

Излученный ПП-1 акустический импульс, пройдя базу  $L$ , отражается от поверхности ПП-2 и вновь, пройдя базу  $L$ , принимается ПП-1, где преобразуется в электрический импульс. Время задержки  $\tau$  определяется в МПИУ-1. Величина скоро-

сти звука  $C$  на базе  $L$  вычисляется по формуле

$$C = \frac{2L}{\tau}, \quad (4)$$

где  $\tau$  – время.

Для надежности работы прибора цикл измерения повторяется, но излучение и прием осуществляется ПП-2.

Для измерения глубины нахождения прибора ИСТ-1 используется канал гидростатического давления, блок-схема которого представлена на рис. 3.

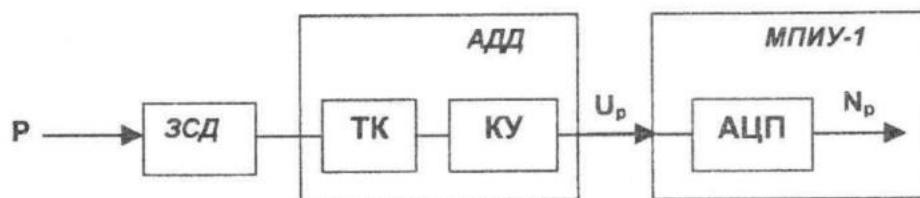


Рис. 3 – Блок-схема канала измерения гидростатического давления

Связь давления  $P$  с глубиной выражается зависимостью

$$P = P_a + \rho g H , \quad (5)$$

где  $P_a$  – абсолютное давление на глубине  $H$ ;

$\rho$  – плотность жидкости;  
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Давление воды  $P$  воздействует через защитный согласователь давления (ЗСД) на абсолютный датчик давления (АДД), который имеет встроенный температурный компенсатор (ТК) и калибровочный усилитель (КУ). Напряжение  $U_p$  с АДД поступает на вход двенадцатиразрядного АЦП, находящегося в МПИУ-1, где преобразуется в последовательный код  $N_p$ .

На рис. 4 представлена блок-схема канала измерения температуры.

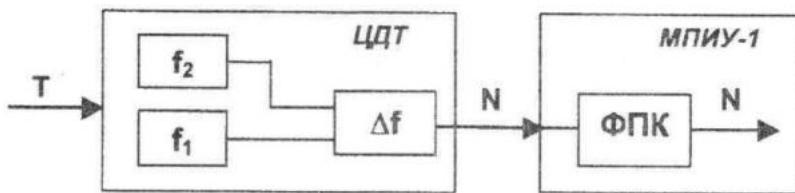


Рис. 4 – Блок-схема канала измерения температуры

Для обеспечения температурной коррекции акустической базы измерителя ИСТ-1, а также для измерения температуры окружающей среды измеритель жидкости используется канал температуры.

Температура  $T$  окружающей среды воздействует на цифровой датчик температуры, в котором используются два генератора частоты  $f_1$  и  $f_2$  с разными температурными коэффициентами, настроенными на одну температурную точку. Количество биений  $\Delta f$  между  $f_1$  и  $f_2$  за единицу времени являются исходным значением для определения значения цифрового кода  $N_t$  и измеренной температуры  $T$ . Цифровой код  $N_t$  поступает в МПИУ-1 на формирователь последовательного кода ФПК. Для работы ЦДТ в МПИУ-1 формируется протокол вызова.

Как следует из структурной схемы прибора (рис. 1) информация с измерительных каналов: скорости звука, скорости течения, температуры и давления поступает в модуль преобразователя информации и управления МПИУ-1, в котором информация от каналов преобразуется в последовательный код и далее через линию связи (ЛС) поступает в бортовой блок (ББ).

Алгоритм работы МПИУ-1 представлен на рис. 5. Микроконтроллер погружного блока обеспечивает генерацию когерентного акустического излучения, управляет работой отдельных электронных схем, осуществляет преобразование измеряемых параметров в цифровую форму, формирует код и передает в бортовой блок управления и информации.

В бортовом блоке модуль преобразования информации и управления МПИУ-2 осуществляет дешифрацию последовательного кода и записывает полученную информацию в энергонезависимом модуле памяти. Одновременно по желанию оператора после первичной обработки в реальных физических величинах значение скорости, глубины (давления) и температуры отображается модулем индикации (МИ). Время осреднения, параметры измерения, текущее время и номер измерения вводятся оператором с помощью клавиатуры. Предусмотрен универсальный порт ввода-вывода информации типа RS232 и гнездо зарядки бортового аккумулятора. Величина заряда индуцируется на ЖКИ.



Рис. 5 – Алгоритм работы МПИУ-1

Алгоритм работы бортового блока прибора представлен на рисунке 6.

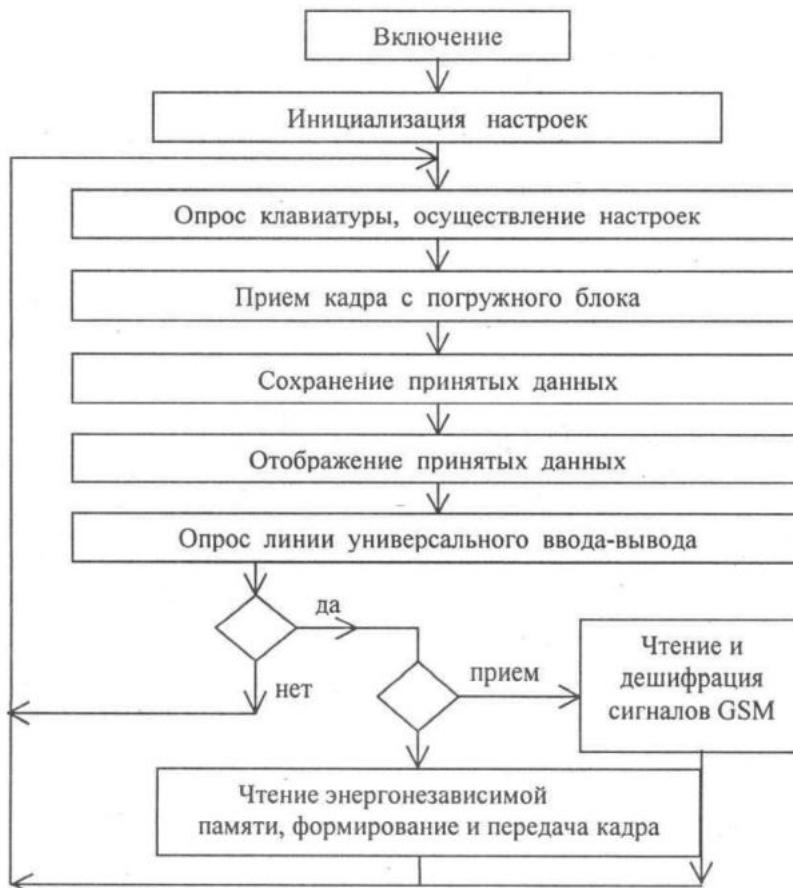


Рис. 6 – Алгоритм работы бортового блока прибора

Измерительный прибор ИСТ-1 прошел Государственные приемочные испытания.

Основные технические характеристики, ИСТ-1 представлены в таблице.

Таблица – Основные технические характеристики прибора ИСТ-1

Измеряемый параметр	Диапазон измерения	Случайная погрешность	Систематическая погрешность
Гидростатическое давление, кПа (глубина, м)	0 ÷ 50 (0 ÷ 5)		
	0 ÷ 100 (0 ÷ 10)	±0,3%	±1,6%
	0 ÷ 250 (0 ÷ 25)	(±0,4%)	(±2%)
Скорость течения, м/с	0,04 ÷ 5,00	±0,04	±5%
Температура воды, °C	-2 ÷ 35	±0,1	±0,6
Период опроса измерительных каналов устанавливается программно, начиная с 0,1 с			
Интервал осреднения устанавливается вручную от 1 до 100 с.			
Номинальный интервал осреднения 30 с.			
Дальность связи бортового и погружного блоков до 50 м.			
Диапазон рабочих температур: от -30 до +50 °C.			
Габариты: погружного блока – Ø150×150×400 мм; бортового блока – 45×85×165 мм			
Масса: погружного блока – 2 кг; бортового блока – 1 кг			

Внешний вид погружного и бортового блоков ИСТ-1 представлен на рис. 7.

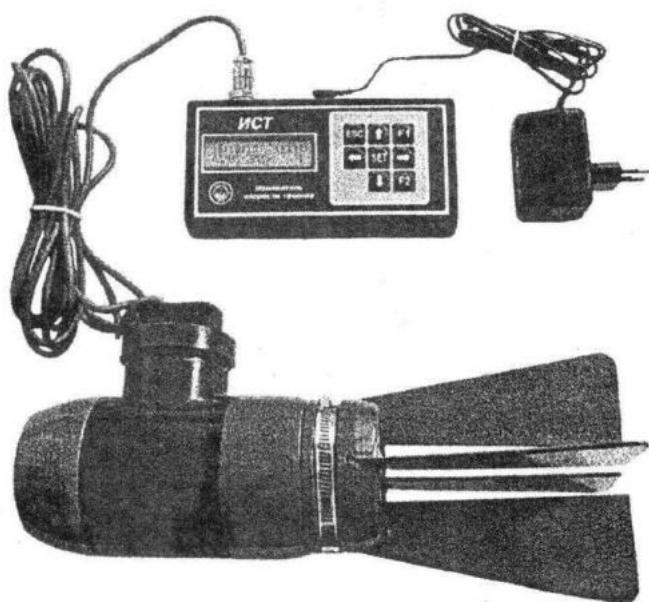


Рис. 7 – Внешний вид погружного и бортового блоков ИСТ-1

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И.А.Степанюк. Океанологические измерительные преобразователи: – Л.: Гидрометиздат. 1986. – 270 с.