

# МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ВЕКТОРНО- ОСРЕДНЯЮЩИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТЕЧЕНИЯ ВОСТОК-М

Г.П. Дудников, О.И. Ефремов,  
В.В. Мязин, В.Е. Ячменев

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

Рассматриваются особенности процедуры векторного осреднения горизонтальных компонент скорости течения, применяемой в измерителях ВОСТОК. Обосновывается необходимость и содержание модернизации, подробно излагается структура модернизированного варианта аппаратуры ВОСТОК - М.

**1. Область применения.** Мелкомасштабная океанская турбулентность существует и развивается на фоне более крупномасштабных процессов, характеристики которых также должны измеряться при проведении мелкомасштабных экспериментов [1]. Поскольку турбулентные образования собственной скорости распространения не имеют и переносятся средним потоком, в случае позиционных измерений их частоты располагаются в диапазоне примерно 0,1-10 Гц. Такие флуктуации можно выделить высокочастотным аппаратурным фильтром и уменьшить тем самым динамический диапазон прибора, предназначенному для измерения характеристик океанской турбулентности.

Для фоновых измерений ситуация существенно иная. Например, такое явление, как мелкомасштабные внутренние волны, характеризуется намного большими периодами, которые зависят от локального значения частоты Вийсияя-Бренгга N. В верхних слоях океана N может достигать величины порядка 10 цикл/час, и исследуемые периоды занимают диапазон от минут до нескольких часов. Столь низкочастотные флуктуации невозможно отфильтровать до дискретизации, поэтому аппаратура должна иметь большой динамический диапазон.

Таким образом, возникает потребность в приборе, который измеряет осредненные по отношению к мелкомасштабной турбулентности значения скорости течения и скалярных параметров среды с разрешающей способностью, близкой к характеристикам измерителей пульсаций. Такая аппаратура занимает промежуточное положение между измерителями долговременными, предназначенными для исследования явлений синоптических и еще

более крупномасштабных, и приборами, измеряющими турбулентные флуктуации.

Методика применения этой разновидности приборов должна предусматривать возможность их установки на автономных буях с поверхностью несущей плавучестью.

На первый план в этом случае выходят требования к 'качеству осреднения горизонтальных компонент вектора скорости течения за интервал дискретности. Осреднение отдельно модуля горизонтальной скорости и направления дает значительные погрешности, если изменчивость угла велика на протяжении интервала между отсчетами [2]. Осреднение компонент вектора, измеряемых в координатах прибора, не избавляет от погрешностей, вызванных его собственными неконтролируемыми вращениями. Наиболее правильные результаты дает осреднение горизонтальных компонент в неподвижной географической системе координат, для чего в приборе должно осуществляться непрерывное преобразование компонент скорости течения, измеряемых в координатах прибора, в проекции вектора на меридиан и параллель.

Другая специфика заключается в способе измерения вертикальной скорости. В мелкомасштабных внутренних волнах амплитуды вертикальной и горизонтальной компонент скорости жидкости сравнимы лишь в области частот, непосредственно примыкающей к N, где они составляют примерно 1 см/с по порядку величины. Для низких частот амплитуды вертикальной скорости W в волнах, как правило, намного меньше и характеризуются величинами порядка 1 мм/с. Столь малые скорости могут быть измерены лишь косвенным методом, как вертикальная скорость смещения изолиний некоторого скалярного параметра стратификации, например, температуры T, рассчитываемая по формуле

$$W = - \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right) \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right)^{-1}.$$

Чувствительность косвенного метода определяется величиной вертикального градиента  $\frac{\partial T}{\partial z}$ . Оценки показывают [1], что при градиенте температуры 0,03 °C/m и интервале дискретности 60 с квант по W 1 мм/с обеспечивается при величине кванта по температуре  $\sim 2 \cdot 10^{-3}$  °C. В Черном море ниже холодного промежуточного слоя температура и соленость одновременно растут с глубиной, и более выгодным параметром для косвенного ме-

тода измерения вертикальных скоростей является удельная электропроводность.

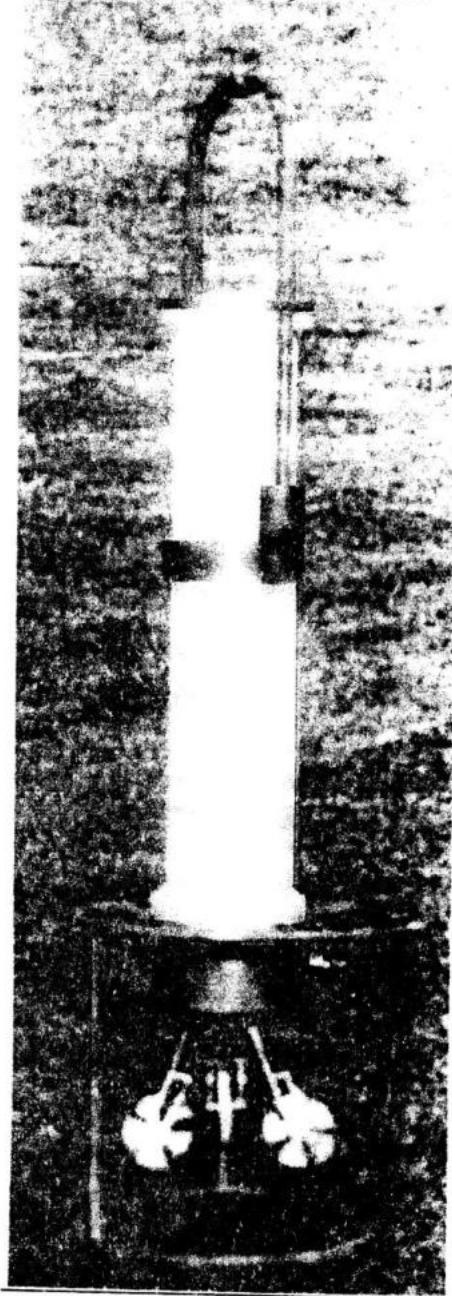


Рис. 1. Общий вид измерителя ВОСТОК.

**2. Измерители ВОСТОК. Необходимость и содержание модернизации.** Комплекс измерителей ВОСТОК (МГИ 1306) был разработан и изготовлен более 10 лет назад. В состав комплекса входят 9 автономных измерителей (внешний вид показан на рис 1), блок магнитной записи и воспроизведения (БМЗВ), блок микропроцессорный (БМП). Аппаратура обеспечивала выполнение сложного алгоритма предварительной обработки и накопления большого массива данных внутри автономных измерителей. Микропроцессорный блок предоставлял богатые возможности проверки функционирования приборов и обработки

данных измерений. Наиболее алгоритмически сложным элементом структуры прибора является векторное осреднение меридиональной и зональной компонент вектора скорости течения. В координатах прибора три горизонтальные компоненты  $u$ ,  $v$ ,  $w$  измеряются соответственно тремя импеллерными преобразователями с косинусными диаграммами направленности (видны на рис.1). Оси импеллеров лежат в горизонтальной плоскости и развернуты на  $120^\circ$  одна от другой, так что

$$\begin{aligned} u &= M \cos \varphi \\ v &= M \cos (\varphi + 120^\circ) \\ w &= M \cos (\varphi + 240^\circ). \end{aligned}$$

Здесь  $M$  – модуль горизонтального вектора скорости течения,  $\varphi$  – угол этого вектора относительно горизонтальной приборной оси.

Положение приборной оси в географической системе координат определяется углом  $\alpha$ , для измерения которого используется магнитный компас с восьмиразрядным кодовым диском. Съем – оптический, при помощи светодиодов.

Для реализации процедуры векторного осреднения в приборе используется дополнительная внутренняя временная дискретизация. Базовый интервал дискретности, который может составлять 15, 30, 60с, делится на 30 подинтервалов, в каждом из которых измеренные компоненты  $u_i$ ,  $v_i$ ,  $w_i$  преобразуются в меридиональные  $U_{Ni}$  и зональные  $U_{Ei}$  географические компоненты, с последовательным суммированием:

$$U_N = \sum_{i=1}^{30} u_i \cos \alpha_i + v_i \cos (\alpha_i + 120^\circ) + w_i \cos (\alpha_i + 240^\circ)$$

Преобразование трех приборных компо-

$$U_E = \sum_{i=1}^{30} u_i \sin \alpha_i + v_i \sin (\alpha_i + 120^\circ) + w_i \sin (\alpha_i + 240^\circ)$$

нент в две географические увеличивает модуль вектора в полтора раза, в соответствии с выражениями

$$\begin{aligned} U_N &= 3/2 M \cos (\alpha - \varphi), \\ U_E &= 3/2 M \sin (\alpha - \varphi). \end{aligned}$$

Собственные вращения прибора относительно измеряемого вектора скорости течения не влияют на получаемый результат, поскольку в этом случае разность углов  $\alpha$  и  $\varphi$  остается постоянной.

В модификации МГИ 1305 использовалась более простая конструкция с двумя взаимно ортогональными импеллерами. В этом вариан-

те, когда приборных компонент также две, сильнее проявляются отклонения диаграммы направленности каждого импеллера от косинусной. Такие отклонения наиболее существенны при углах  $\varphi = 0^\circ$  и  $\varphi = 90^\circ$ , и в суммарной диаграмме направленности прибора образуется несколько "плохих" направлений. В косоугольной системе приборных координат с тремя импеллерами, если один работает при "плохом" угле  $\varphi$ , для двух других это направление является "хорошим", и суммарная диаграмма существенно улучшается.

Скалярные параметры – температура, электропроводность, давление – также осредняются, причем их включение осуществляется шесть раз в течение базового интервала дискретности. Измерительные преобразователи для этих каналов двенадцатиразрядные, поэтому последовательное суммирование шести отсчетов полезно также и для расширения динамического диапазона.

Запись данных осуществлялась на магнитную кассету МК-60 в стартстопном режиме. Использовался специальный способ записи, обеспечивающий плотность до 200 информационных бит на 1 мм, или до 2 мегабайт на кассету.

В процессе испытаний и эксплуатации у комплекса приборов ВОСТОК выявился ряд недостатков, связанных, в основном, с наличием магнитного накопителя. Большой пусковой ток (до 120 mA) предъявлял повышенные требования к качеству батарей питания, нередкими были самопроизвольные остановы приборов до истечения планируемого срока постановки. Имелись претензии к верности воспроизведения данных, к сложности обслуживания.

Поскольку сами измерительные каналы и общая идеология построения измерений нареканий не вызывали, было принято решение в процессе модернизации оставить эту часть аппаратуры без изменений и произвести необходимые доработки в накопительно-обрабатывающей части комплекса.

Микропроцессор 8080 был заменен на более современный типа 80C751, устройство магнитной записи – на FLASH память. В результате удалось снизить энергопотребление, исключить из состава комплекса пульт программирования, устройство ввода БМЗВ, микропроцессорный блок обработки данных БМП.

3. Структура измерителей ВОСТОК – М изображена на рис.2. Прибор состоит из логически заключенных узлов: таймер, процессор-накопитель, преобразователь скорости потока, преобразователь направления, преобразователь температуры – давления (или, в зависимости от модификации, температуры – электропроводности), устройство управления и

индикации. Все узлы связаны между собой двунаправленной восьмиразрядной шиной данных, односторонней шиной адреса (6 разрядов) и двумя нитками управления (запись, чтение).

Таймер служит для формирования временных интервалов  $T_2$  (внутренний интервал дискретности для каналов скорости) и для обмена информацией с устройством управления и индикации.

Процессор-накопитель осуществляет управление всеми устройствами, ведет сбор информации, ее обработку и накопление.

При включении прибора в режим измерения происходит поиск свободной зоны накопителя, запись заголовка, программирование таймера (в зависимости от положения переключателя базовой дискретности – 15, 30, 60с), после чего контроллер уходит в режим минимальной мощности. В этом режиме работают формирователь питания +5v дежурные, таймер, преобразователь скорости потока.

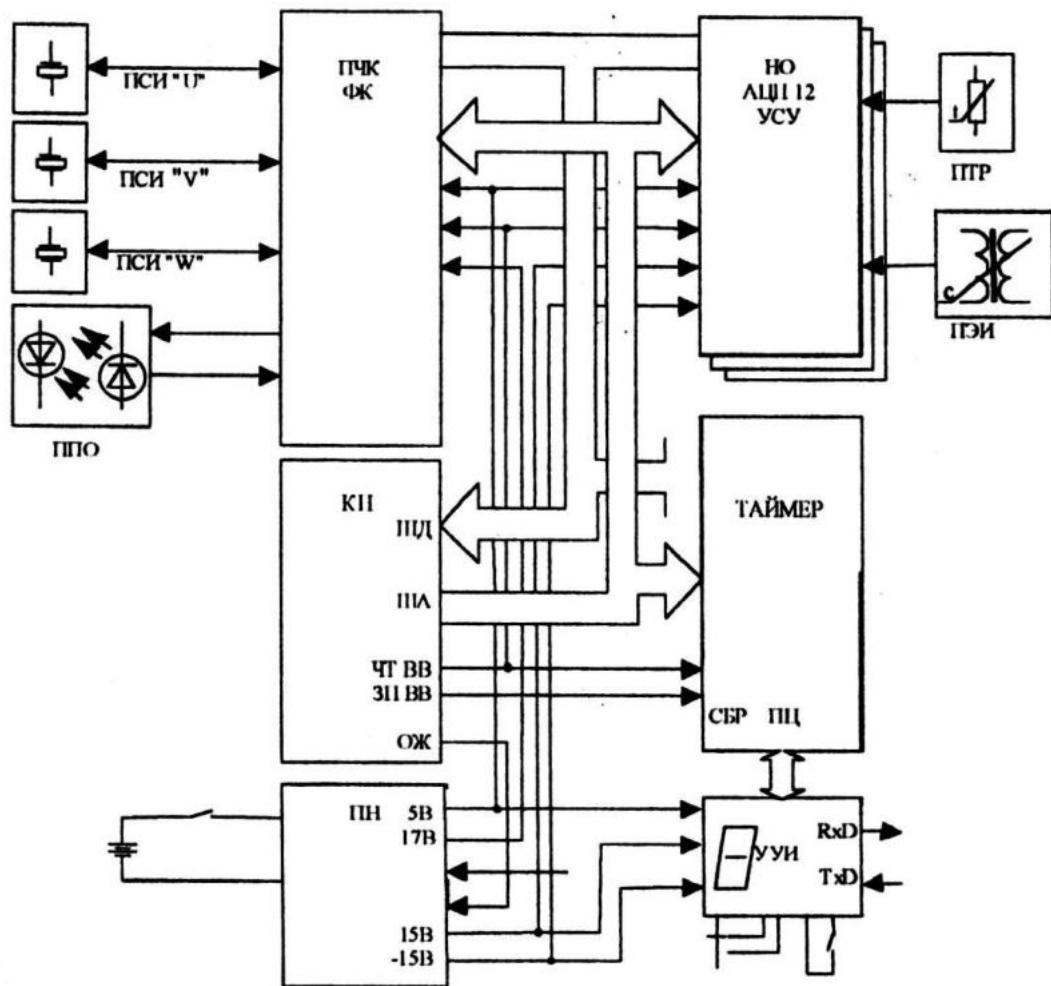
Через время  $T_2$  контроллер опрашивает каналы скорости  $u$ ,  $v$ ,  $w$ , обнуляя их после опроса, считывает показание компаса, вычисляет и суммирует меридиональную и зональную компоненты скорости. Через пять интервалов  $T_2$  наступает время  $T_1$  и происходит считывание информации каналов температура-электропроводность (температура-давление). Так как эти каналы двенадцатиразрядные, опрос каждого канала осуществляется за два цикла шины. После опроса контроллер отключается и происходит новое измерение, по завершении которого питание с каналов снимается (по схеме «и»).

По истечении тридцати интервалов  $T_2$  (и шести  $T_1$ ) наступает время  $T$  (базовая дискретность). В этот момент накопленная информация всех каналов записывается во FLASH-память. Далее цикл повторяется. В режиме контроля к прибору подключается ПЭВМ, и помимо записи в память прибора кадр транслируется в машину в формате RS232. В этом же формате данные выводятся из прибора после завершения цикла измерений со скоростью 9600 бод

При емкости батарей питания ~ 7 Ач с дискретностью 15 с прибор может работать 9 суток, с дискретностью 30 с – 12 суток, с дискретностью 60 с – 15 суток.

Общий объем памяти позволяет записать ~ 130 000 кадров. По времени это больше 20 суток при дискретности 15 с. В приборе предусмотрена возможность записи нескольких постановок без стирания прежней информации.

4. Заключение. Проведенная модернизация комплекса приборов ВОСТОК дала следующие положительные результаты:



ПСИ - преобразователь скорости импеллерный

ППО - преобразователь положения оптический

ПЧК - преобразователь частота-код

ФК - формирователь кода

ПТР - преобразователь температуры резистивный

ПЭИ - преобразователь электропроводности индукционный

НО - нуль орган

АЦП 12 - аналого-цифровой преобразователь

УСУ - устройство связи и управления

КИ - контроллер-накопитель

ПН - преобразователь напряжения

УУИ - устройство управления и индикации

Рис. 2. Структура измерителей ВОСТОК – М

- полностью устраниены сбои по каналу запись-воспроизведение;
- значительно упростились обслуживание приборов, в частности, благодаря исключению блоков БМЗВ и БМП;
- снижены требования к автономному питанию и повышена надежность аппаратуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Пантелеев Н.А., Ефремов О.И. Проблемы построения информационно-

измерительной системы для исследования мелкомасштабных процессов в море // Системы контроля окружающей среды.- Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1999.- С. 24-33.

2. Дыкман В.З., Ефремов О.И., Наумчук В.В.. Векторно-осредняющий измеритель скорости течения// Экспериментальные методы исследования океана.- Севастополь: МГИ АН УССР, 1978. -с.112-116.