

# ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБМЕНА В ПРИДОННОЙ ОБЛАСТИ МОРЯ

**В.З. Дыкман, О.И. Ефремов**  
Морской Гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
*E-mail: oaoi@alfa.mhi.iuf.net*  
**В.Т. Пака, С.А.Ханаев**  
Атлантическое отделение Института  
океанологии РАН  
г. Калининград, проспект Мира, 1  
*E-mail: paka@ioran.gazinter.net*

**1. Обоснование технических требований.** Процессы адвективно-турбулентного переноса играют особенно важную роль в прибрежных районах моря, в приповерхностном и придонном слоях, а также в зонах локальных апвеллингов. Решение ряда прикладных задач, таких как транспорт донных наносов в прибойной зоне и разрушение гидротехнических сооружений, исследование переноса различных примесей, в том числе изучение процессов загрязнения морей различного рода захоронениями и ряда других - невозможно без определения характеристик турбулентного режима в придонных слоях морей, различных водоёмов и рек.

Адекватное моделирование процессов турбулентного переноса вещества в стратифицированной морской среде требует правильной оценки параметров турбулентного обмена. Описание турбулентности ввиду необычайной сложности ее механизма представляет собой трудную и далеко нерешенную проблему механики жидкости и газа. Для некоторых практических задач, однако, существует ряд полуэмпирических моделей турбулентности, позволяющих оценить основные осредненные и пульсационные характеристики турбулентных течений.

Многообразие полуэмпирических моделей турбулентности определяется различиями в способах замыкания уравнений осредненного турбулентного движения Рейнольдса и уравнений переноса скалярной величины  $\Phi$  (температуры, соли, пассивной примеси):

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + U_j \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} = - \frac{\partial \bar{u}_k \phi}{\partial x_k} + S_\Phi \quad (1)$$

В (1) величины  $U_i$  и  $u_i$  означают соответственно средние и пульсационные составляющие скорости потока,  $\Phi$  и  $\phi$  - средние и пульсационные значения скалярной величины,  $x_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) - декартовы координаты,  $S_\Phi$  - объемная плотность источников.

Построение модели турбулентности - это по существу выбор модели для турбулентных напряжений  $u_i$  и  $U_j$  и турбулентных потоков скалярной величины  $u_i \phi$ .

Прямые инструментальные определения напряжений Рейнольдса и потоков примеси позволяют уточнить применимость той или иной модели, а также оперативно оценить коэффициенты турбулентной диффузии, что, несомненно, свидетельствует о важности измерений пульсационных величин.

При создании измерительного комплекса для исследования придонных процессов обмена, во всей совокупности проблем одной из важнейших является измерение пульсаций трёх компонент вектора скорости течения в мелкомасштабном спектральном диапазоне. Исследования мелкомасштабного пульсационного движения обладает рядом специфических черт, связанных с его характеристиками.

Мелкомасштабные процессы в морях и океанах имеют периоды от долей секунды до десятков минут [1] и занимают крайний правый участок частотного и пространственного спектров энергии океанических движений, а их энергия

достаточно быстро спадает с увеличением частоты и волнового числа. Следовательно, приборы для исследования мелкомасштабных явлений должны иметь, помимо быстродействия и большой пространственной разрешающей способности, также и высокую чувствительность измерительных каналов, в силу малой интенсивности пульсаций исследуемых полей

Ветровые волны занимают несколько особое положение в ряду мелкомасштабных явлений. По океанским меркам их частоты очень велики (периоды меняются от 20 с для длинных штормовых волн до 0,1 с для волн ряби), и вместе с тем амплитуды скорости частиц в волнах никак нельзя считать малыми, поскольку они составляют соответственно несколько м/с в длинных волнах и примерно десять см/с в волнах ряби. Амплитуды волновых движений экспоненциально затухают с глубиной, поэтому для измерений на значительных расстояниях от поверхности также требуется высокая чувствительность измерительных приборов.

Труднее всего измерять мелкомасштабную океансскую турбулентность. Она занимает практически тот же диапазон частот, что и ветровые волны, но характеризуется гораздо меньшими значениями интенсивности флюктуаций, а также, что особенно важно, размеры исследуемых неоднородностей обычно составляют от метра и менее. Поэтому здесь наиболее критичными параметрами измерителей являются чувствительность и размеры датчиков.

Такое свойство мелкомасштабных процессов, как их непосредственная зависимость от явлений более крупных масштабов, требует определения характеристик последних в течение эксперимента, т.е. исследования фоновых условий. К ним можно отнести: среднюю скорость течения, осредненные температуру, солёность и плотность, а также их градиенты.

Кроме создания аппаратуры, обладающей необходимыми чувствительностью, пространственной разрешающей способностью, частотным и динамическим диапазонами, возникает проблема, связанная с носителем такой аппаратуры. Носитель должен обеспечивать стабильное положение или равномерное перемещение датчиков в пространстве для исключения искажений регистрируемых пульсаций скорости течения и пульсаций скаляра.

Наиболее репрезентативны измерения с неподвижных оснований. В этом смысле радикальным решением проблемы является использование в качестве носителя аппаратуры донной платформы, оснащенной измерителем пульсаций скорости с круговой диаграммой направленности, способным правильно выделять компоненты вектора скорости течения при обтекании датчика с любого направления.

В результате вырисовывается методически привлекательный вариант построения передвижного позиционного аппаратурного комплекса - Донной станции (ДС). Её основой служит устойчивая донная платформа небольших габаритов, в верхней части которой, в области невозмущённого потока, монтируется трехкомпонентный измеритель пульсаций скорости течения с круговой диаграммой направленности. В такой конструкции, по сравнению с турбулиметрами, устанавливаемыми на притопленной буйковой станции [2], из каналов измерения положения прибора можно оставить лишь канал азимута. Крен и дифферент, возникающие за счет неровностей дна, могут быть устранены путем размещения измерителя пульсаций скорости в кардановом подвесе. Без существенного увеличения весогабаритных характеристик ДС на ней могут быть установлены измеритель параметров среднего течения и CTD - модуль для получения осредненных значений температуры, солености и плотности. В состав донной станции необходимо

димо включить измеритель пульсаций той пассивной примеси, поток которой необходимо оценить. Если по каким либо причинам это сделать сложно, то можно на основании измерений пульсаций другого скаляра, например температуры или электропроводности, рассчитать коэффициент турбулентной диффузии, а затем вычислить поток исследуемой примеси, используя величину её среднего градиента, измеренного непосредственно на ДС или полученного каким-либо другим способом.

Нагружать донную платформу аппаратурой для измерения пространственных производных осреднённых полей нецелесообразно, так как это приведёт к её существенному усложнению и, следовательно, к потере мобильности, в связи со значительным увеличением весогабаритных характеристик. Вертикальные производные осреднённых скорости течения, температуры, солёности и плотности можно получить с помощью устанавливаемой в непосредственной близости автономной притопленной буйковой станции, оснащённой измерителями типа ВОСТОК [2]. Если по условиям задачи важны горизонтальные градиенты средних характеристик, их можно получить с помощью сетки зондирований в районе постановки донной станции.

В целом на основании вышесказанного можно представить структуру измерительного комплекса - Донной станции (ДС) для исследований обменных процессов в придонной области моря и сформулировать основные требования к его составным частям:

- носитель аппаратуры должен обеспечивать расположение датчиков измерительного комплекса непосредственно в придонной области при различном характере дна исследуемого бассейна и по возможности защищать элементы комплекса от механических повреждений в процессе постановки на дно и во время автономной работы;

- конструкция носителя должна обеспечивать расположение датчиков измерительного комплекса в определённом положении относительно дна и плоскости горизонта, а также исключать их колебания под воздействием движений воды;

- в составе комплекса должен быть вспомогательный измерительный канал для определения положения датчиков относительно стран света;

- основные измерительные каналы должны обеспечивать измерение: короткопериодных ( $T \geq 10 \div 0.05$  с) пульсаций трёх компонент вектора скорости течения и пульсаций электропроводности (или температуры), двух горизонтальных компонент среднего вектора скорости течения (зональной и меридиональной) и набора СТД - параметров;

- комплекс должен иметь центральный процессор и энергонезависимую память необходимой ёмкости для обеспечения процессов управления измерительными каналами и накопления получаемой информации;

- комплекс должен иметь источник электропитания, обеспечивающий автономную работу аппаратуры в течение необходимого времени.

Ниже приводится описание варианта донной станции, созданной в АО ИО РАН.

2. Носитель донной станции. Носитель донной станции (платформа) представляет собой жёсткую разборную раму (см. фото рис.1) из стальных трубчатых элементов, на которой имеются специальные ложементы для размещения модулей различного назначения. Для одного из модулей - Измерителя пульсаций вектора скорости течения (ИПВСТ) - в верхней части носителя имеется карданов подвес, обеспечивающий вертикальное положение датчиков модуля при наклонах станции вследствие наличия неровностей дна. На фотографии видно, что ИПВСТ принимает вертикальное положение, не-

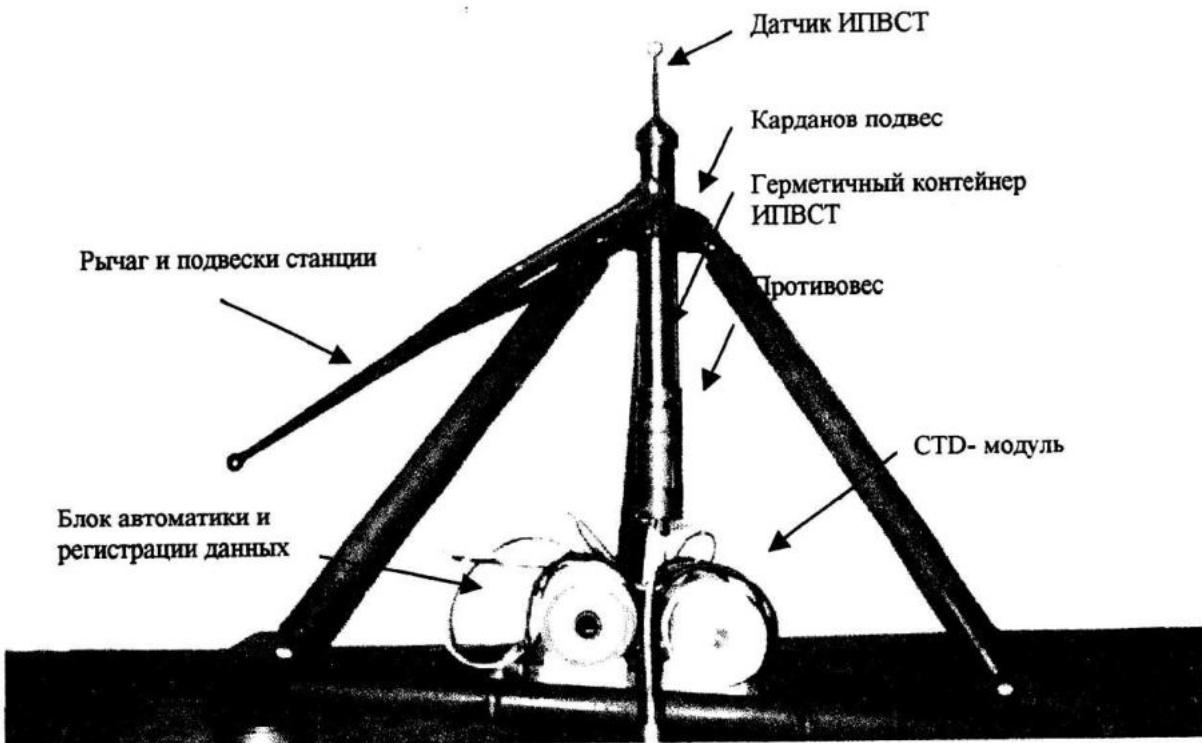


Рис. 1 Общий вид донной станции

смотря на наклон носителя вследствие установки подставки под один край носителя. Некоторые конструктивные элементы, как, например рычаг, используются при постановке ДС на дно. Рычаг в данном случае служит для отвода троса, на котором станция опускается с катамарана или судна, от датчиков ИПВСТ, в момент прослабления троса после касания ДС дна.

### 3. Состав аппаратуры Донной станции.

СТД- модуль (зонд HYDRONUVT) для измерения температуры, электрической проводимости и гидростатического давления.

Измеритель горизонтальных компонент вектора скорости течения (на фотографии он не присутствует). Используется модернизированный блок датчиков измерителя течений АЦИТ.

Измеритель пульсаций вектора скорости течения - ИПВСТ (см рис.1,3), который установлен в самой верхней части ДС в кардановом подвесе для сохранения строго вертикального положения оси датчика при наклонах носителя,

той же цели служит свинцовый противовес, размещённый в нижней части герметичного контейнера ИПВСТ;

Блок управления и регистрации данных, созданный на базе ПЭВМ специального исполнения с энергонезависимым накопителем данных (FLASH-память) ёмкостью 24 Мбайт;

Автономный источник электропитания, содержащий герметичные кислотные аккумуляторные батареи.

Ниже приводится подробное описание измерителя пульсаций скорости течения - ИПВСТ, специально разработанного для использования в составе неподвижных и не ориентируемых по потоку позиционных измерительных комплексов.

4. Измеритель пульсаций вектора скорости течения ИПВСТ представляет собой функционально законченное устройство, позволяющее исследовать пространственно-временные характеристики поля скорости течений. Основой измерителя является сферический (диаметр 3 см) трехосевой восьмиэлектродный электромагнитный датчик пуль-

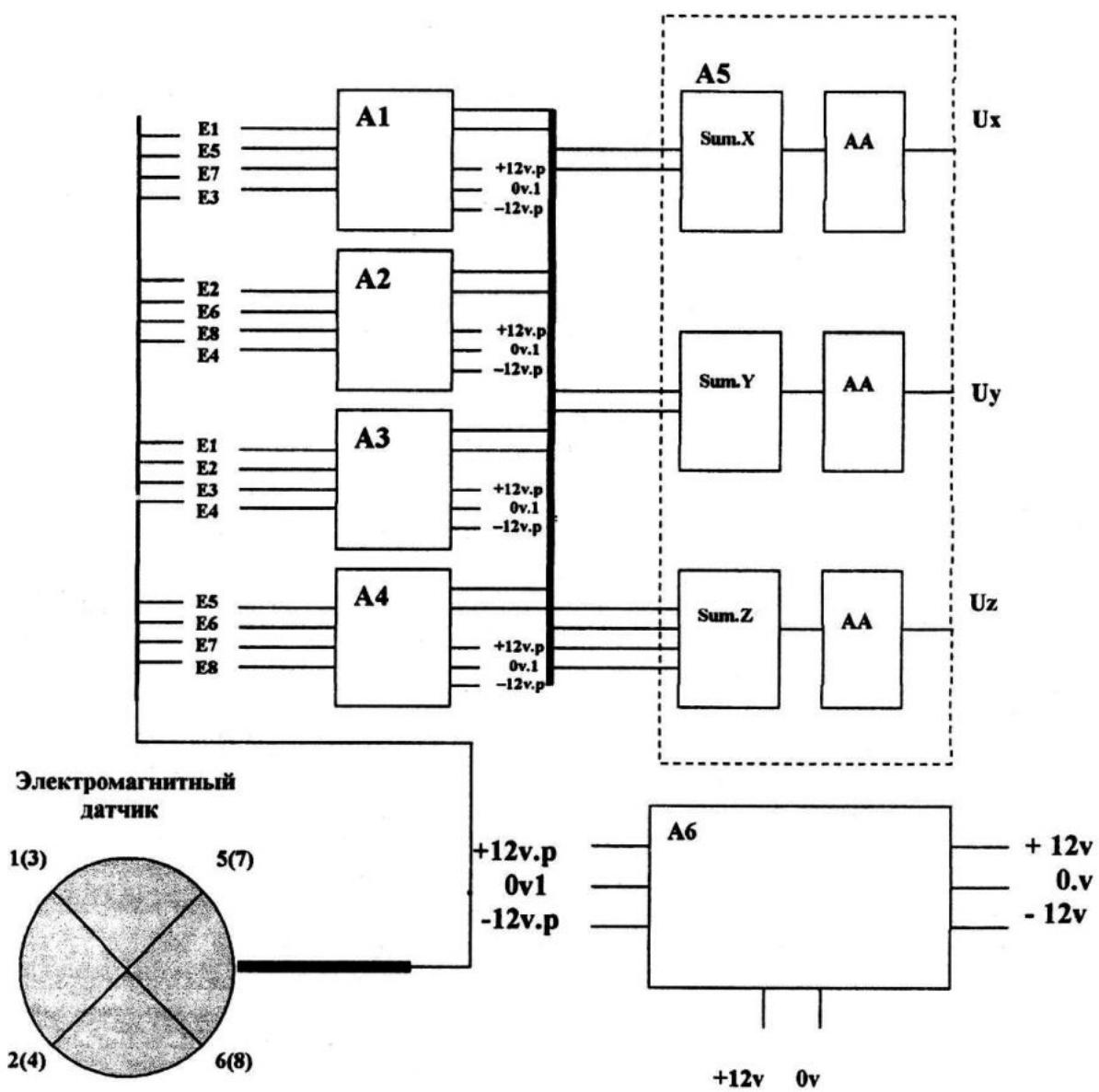


Рис.2 Структурная схема ИПВСТ

саций скорости, способный работать в потоках, обтекающих его с любого направления [3].

На рис.2 приведена структурная схема электронной части измерителя. Электродные потенциалы от каждого из восьми электродов попарно и в соответствии с определённым алгоритмом поступают на входы восьми дифференциальных усилителей A1, A2, A3, A4, которые усиливают напряжения порядка 1÷100 мкв, возникающие вследствие движений проводящей жидкости (воды) в искусственном магнитном поле, окружающем электроды. Эти слабые полезные сигналы сопровождаются значи-

тельными помехами различной природы - электрохимические потенциалы, электрические помехи сети переменного тока и т.д., которые представляют собой синфазные напряжения порядка десятков и сотен милливольт. Для хорошего отделения сигналов от синфазных помех необходимо обеспечить ослабление последних на 100÷120дб. Кроме того, усилители должны обладать чрезвычайно большим входным сопротивлением ( $10^{12} \div 10^{13}$  Ом) и низким уровнем шумов ( $U_{ш} < 1$  мкв), что обусловлено спецификой работы электродной системы электромагнитного датчика пульсаций скорости течения. Малая величина уси-

ливаемых разностей потенциалов требует большого коэффициента усиления дифференциальных усилителей ( $1000 \div 10000$ ). Этим условиям удовлетворяют инструментальные усилители с входами на полевых транзисторах. Фирма BURR BROWN выпускает хорошо себя зарекомендовавшие и обладающие необходимыми характеристиками инструментальные усилители INA 110 и INA 111, которые и применены в ИПВСТ. Усиленные разности электродных потенциалов поступают далее на блок аналоговой обработки сигналов А5, в котором производится выделение сигналов, пропорциональных компонентам вектора скорости течения.

Этот блок содержит три сумматора ( $\Sigma_x$ ,  $\Sigma_y$ ,  $\Sigma_z$ ), которые, суммируя в соответствии с принятым алгоритмом разности электродных потенциалов, образуют на своих выходах напряжения, пропорциональные компонентам вектора скорости течения. Сумматоры для выделения горизонтальных компонент  $V_x$  и  $V_y$  имеют по два входа, так как для этого используются по две разности потенциалов двух пар электродов. Сумматор для выделения вертикальной компоненты  $V_z$  имеет четыре входа, поскольку в этом случае используются четыре разности потенциалов четырёх пар электродов. Использование избыточного количества хорошо коррелированных полезных сигналов уменьшает уровень случайных помех и улучшает диаграмму направленности датчика. Так как при изготовлении датчика технологически сложно, и практически невозможно строго обеспечить равенство магнитной индукции в приэлектродных областях, предусмотрено выравнивание коэффициентов усиления сигналов каждой пары электродов путём регулирования коэффициента передачи сумматоров по каждому из его входов. Для этой цели на выходах сумматоров имеются регулировочные резисторы, позволяющие менять коэффициент передачи сумматоров на  $\pm 30\%$ .

Частотная характеристика всего измерителя в целом формируется следующими частотно-зависимыми звеньями: со стороны низких частот – разделительными RC-цепями с постоянной времени 1.6 с на входах инструментальных усилителей, на входах сумматоров и согласующих усилителей, а со стороны высоких частот – корректирующими RC-цепями с постоянной времени  $3.2 \cdot 10^{-3}$  с сумматоров и согласующих усилителей. Таким способом формируется фильтр верхних частот 3-го порядка, а фильтр низких частот – второго. Необходимость такой частотной характеристики с крутым спадом в области низких частот определяется областью применения прибора, а именно – возможностью проведения измерений в поле ветровых волн, где амплитуды пульсаций составляющих вектора скорости быстро растут с увеличением периода волн и могут достигать верхней границы динамического диапазона  $U > 1\text{м/с}$ . Спад частотной характеристики со стороны верхних частот необходим для уменьшения вредного влияния "элиазинга" при последующей дискретизации аналогового сигнала.

В результате всей цепочки преобразований разностей электродных потенциалов на выходе ИПВСТ образуются три аналоговых сигнала с напряжениями  $0 \div \pm 5\text{В}$ , пропорциональными амплитудам трёх компонент вектора скорости течения –  $U_x, U_y, U_z$ .

Питание измерителя осуществляется постоянным током с напряжением  $8 \div 14\text{В}$ . Преобразователь питающих напряжений – ППН, построенный на базе импульсного преобразователя,рабатывает стабилизованные напряжения  $\pm 12\text{В}$  двух видов – гальванически связанные от входного питающего напряжения и не связанные. Это позволяет при наличии больших синфазных помех электрохимического и электрического происхождения подключить к выходам сумматоров изолирующие усилители и, таким образом, полностью галь-

ванически развязать весь измерительный тракт, что существенно ослабляет синфазные помехи.

Конструктивно ИПВСТ выполнен в виде автономного модуля (Рис.1,3), содержащего сферический датчик (1), блок инструментальных усилителей в электромагнитном экране (3), блок сумматоров и фильтров (4), преобразователь питающих напряжений (5). На рис.3 ИПВСТ показан без герметичного контейнера. Головка датчика (2) является верхней крышкой контейнера и имеет пару резиновых колец, обеспечивающих надежную герметизацию. На нижнем конце контейнера имеется сальник для уплотнения кабеля, соединяющего ИПВСТ с источниками электропитания и блоками управления и регистрации данных.

**5 Натурные испытания донной станции.** Для проверки функционирования аппаратуры донной станции и, в частности, ИПВСТ, был выполнен натурный эксперимент, заключающийся в следующем. Донная станция была подвешена на П-образной раме катамарана и отбуксирована в залив недалеко от калининградского порта. Затем ДС была установлена на глубине около двух метров. При этом датчик находился примерно в 50-ти сантиметрах под поверхностью моря. При легком ветре волна имела амплитуду около 30-ти сантиметров, скорость поверхностного течения составляла  $\sim 25+30$  см/с. Для оперативного контроля работы аппаратуры станции информация передавалась по кабель - тросу на борт рядом стоящего катера. После проверки функционирова-

ния аппаратуры в течение 40 минут была произведена регистрация результатов измерений в цифровой форме, с частотой дискретизации 500 Гц.

Частотная характеристика измерительного тракта ИПВСТ такова, что со стороны высоких частот исследуемый спектральный диапазон ограничивается размером датчика, поэтому спектры за пределами частоты 10 Гц интересны в основном с точки зрения анализа аппаратурных и гидродинамических шумов. В области низких частот действует собственный фильтр электроники ИПВСТ, ограничивающий амплитуду очень интенсивных волновых компонент пульсаций скорости. Несколько реализаций были подвергнуты статистической обработке, с различным осреднением исходных данных.

Спектры рассчитывались по методу Блэкмана-Тьюки, длина ряда обычно выбиралась равной 1000 точек, величина максимального сдвига корреляционной функции составляла  $M = 50$ , применялась низкочастотная фильтрация ряда косинусным фильтром с полушириной  $P = 50$ . При таких параметрах обработки нормированная среднеквадратическая ошибка расчета автоспектров  $S_u, S_v, S_w$  ( $u, v, w$  - флуктуации компонент вектора скорости течения) равна  $\approx 0.2$ , или 20% [4].

На рис. 4 приведены автоспектры  $S_u, S_v, S_w$ , полученные при обработке данных с осреднением  $t = 0.06$  с. По оси абсцисс отложены номера точек спектра  $n$ , частота спектральных составляющих  $f(n) = n / 2Mt$ , граничная частота (частота Найквиста  $f = 1/2t$ ) равна 8,25 Гц.

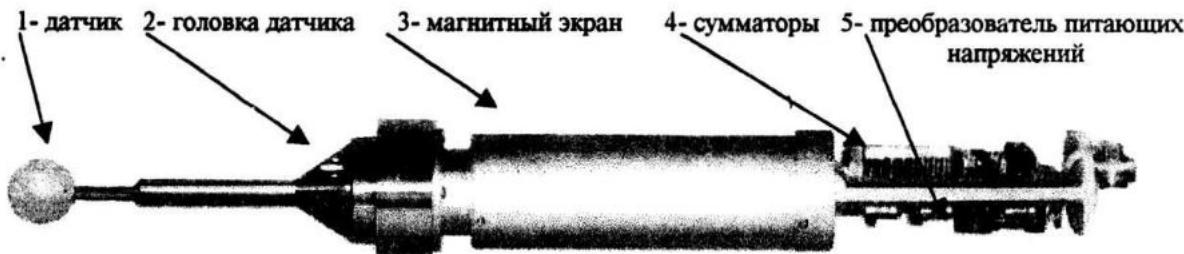


Рис.3 Общий вид ИПВСТ

Максимум в спектре расположен на третьей точке,  $f(3) = 0,5$  Гц. Первая точка ослаблена действием цифрового фильтра в 4 раза, вторая точка фильтрацией не искажается. Наблюдаемый наклон характеризуется зависимостью  $S \sim f^{-5}$ ,

$S_u$ ,  $S_v$ ,  $S_w$ ...

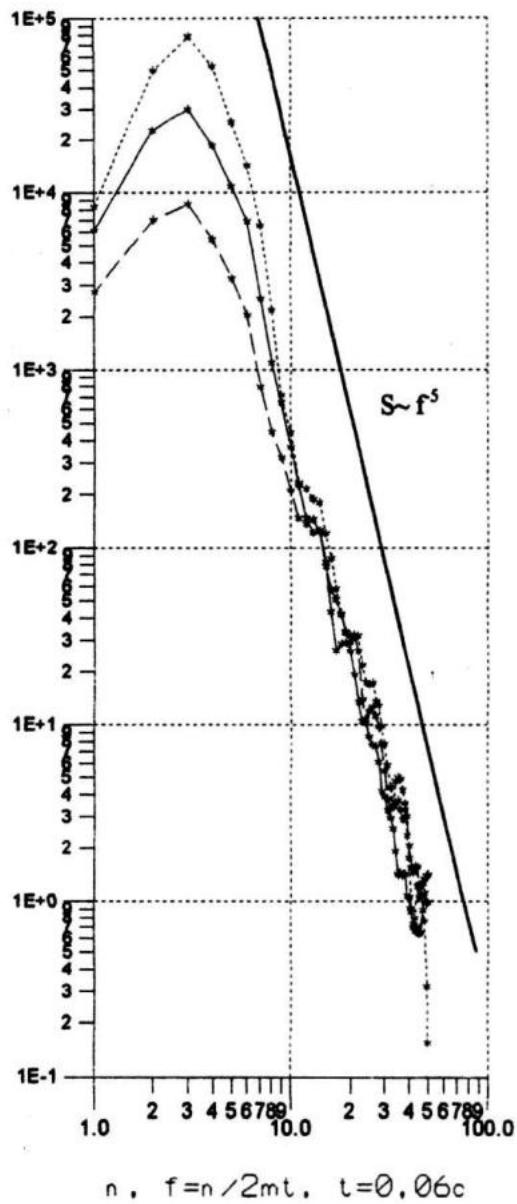


Рис.4 Спектры пульсаций компонент вектора скорости течения

и в целом спектр очень похож на спектр возвышений ветровых волн, которые и

наблюдались визуально при легком вете во время эксперимента. Это, прежде всего, свидетельствует о том, что высокочастотные флуктуации скорости в спектре ветровых волн практически не затухают с глубиной. Волна с частотой максимума 0,5 Гц имеет длину около семи метров и на глубине измерения 0,5 м по энергии ослабляется примерно в 2 раза. На частоте 1,8 Гц (11-я точка спектра) уровень флуктуаций скорости по амплитуде примерно в 100 раз выше, чем можно было бы ожидать на этой глубине для обычной волны длиной 0,5 м, имеющей соответствующую амплитуду на поверхности. В данном случае мы, по-видимому, наблюдаем генерируемые за счёт сильных нелинейных эффектов "турбулентные моды", не подчиняющиеся обычному дисперсионному соотношению и слабо затухающие с глубиной

Обработка в более узкой спектральной полосе (см. рис.5), с осреднением данных  $t = 0,5$  с позволяет выделить еще один максимум на низкой частоте. Границная частота в спектре теперь равна 1,0 Гц. Ветровой максимум располагается на 22-ой точке,  $f(22) = 0,44$  Гц. Низкочастотный максимум располагается на 5-ой точке,  $f(5) = 0,1$  Гц. Цифровая фильтрация в этом случае не применялась, но, возможно, на форме спектра в этом диапазоне сказалось действие аппаратурного фильтра. Вместе с тем, пониженный уровень вертикальной составляющей на частоте 0,1 Гц позволяет интерпретировать этот максимум как зыбь на мелкой воде.

Поскольку по техническим причинам точно увязать коэффициенты передачи по всем трем каналам перед проведением эксперимента не удалось, можно провести сравнительный анализ отношений амплитуд вертикальной и модуля горизонтальной составляющей флуктуации вектора скорости для ветровых волн и зыби.

Для волны с частотой  $f = 0,44$  Гц глубина  $h = 2$  м соответствует ситуации "почти глубокой воды". Фазовая скорость при этом на 5 % меньше, соответственно волновое число  $k$  несколько увеличивается и длина волны  $\lambda = 2\pi/k$  составляет 7,6 м. Отношение амплитуд вертикальной скорости в волне  $w$  и горизонтальной  $(u^2 + v^2)^{1/2}$  дается выражением [5]:

$$w / (u^2 + v^2)^{1/2} = \tanh [k(z + h)] \quad (2)$$

Для ветрового максимума при  $k = 0,83$  1/m,  $z = -0,5$  м и  $h = 2$  м это отношение равно 0,85.

Волна с частотой 0,1 Гц распространяется чисто на мелкой воде, ее длина составляет 44 метра, и расчетное отношение  $w / (u^2 + v^2)^{1/2} = 0,21$ . Для 5-ой точки в спектре (рис.5) после нормировки по ветровой волне это отношение получается равным 0,245. Такое отклонение измеренной величины от расчетной находится в пределах погрешности оценки спектров. Кроме того, если предположить, что средняя глубина в месте постановки станции не 2 м, а 2,3 м, расчетная величина точно совпадает с измеренной.

Анализ спектров рис.4,5 наталкивает на некоторые предположения о структуре поля скорости в ветровых волнах. Обычно в экспериментальных спектрах вертикальной скорости  $w$ , получаемых на глубине  $z$ , выделяют составляющие волнового и мелкомасштабного (называемого также турбулентным) движений:

$$P_w(\omega, z) = \omega^2 P_\zeta(\omega) e^{2kz} + P_T(\omega, z) \quad (3)$$

Здесь  $\omega = 2\pi f$ ,  $P_\zeta(\omega)$  - спектр возвышений,  $k = \omega^2/g$ . Такая аппроксимация предлагалась Ефимовым и Христофоровым [6]. Эта модель дает зависимость спектра скорости  $P_w(\omega)$ , близкую к  $\omega^{-5}$  в определенной полосе частот. Шонтинг [7] предлагал конструировать спектр скорости из соображений размерности на тех же основаниях, что и спектр возвышений, поскольку уста-

новить между ними связь на основе линейной теории было невозможно. Спектры рис. 4, имеющие указанный наклон в широкой полосе частот, в том числе в области, где первое слагаемое в выражении (3) становится пренебрежимо

$S_u$ —,  $S_v$ —,  $S_w$ ...

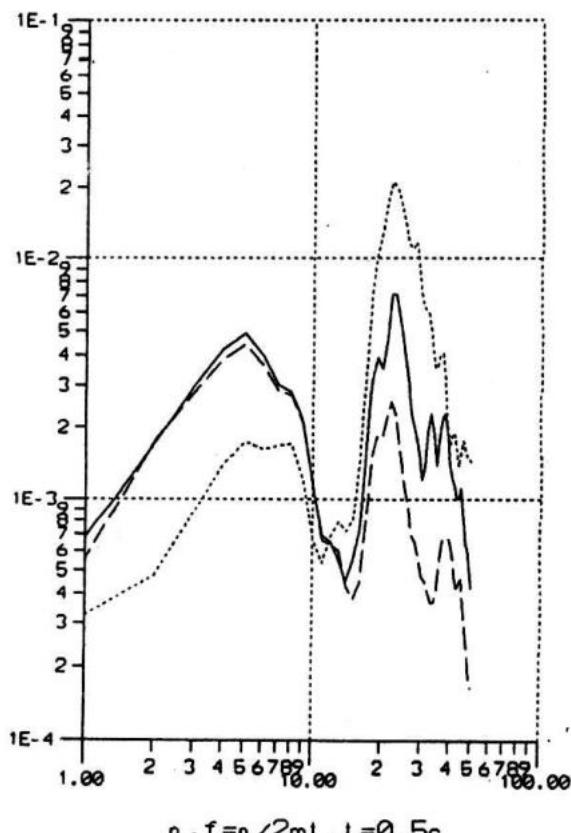


Рис.5 Спектры пульсаций компонент вектора скорости течения

мальным, позволяют предложить более простую аппроксимацию:

$$P_w(\omega, z) = \omega_0^2 P_\zeta(\omega_0) (\omega / \omega_0)^{-5} \exp(-2k_0 z) \quad (4)$$

Здесь  $k_0 = \omega_0^2/g$ ,  $\omega_0$  - частота максимума в спектре ветровых волн,  $\omega \geq \omega_0$ . Выражение (4) исходит из положения, что затухание флюктуаций скорости с глубиной на высоких частотах такое же, как и для волны с частотой  $\omega_0$ . Это означает, что перемешивание в верхнем слое производится высокочастотными флюктуациями, глубина проникновения которых определяется па-

раметрами основной волны в наблюдаемом спектре возвышений ветровых волн.

**6. Заключение.** На основе анализа полученных данных и результатов их обработки можно сделать следующие выводы:

- полученные во время проведения натурных испытаний записи пульсаций скорости течения по внешнему виду соответствуют условиям эксперимента, а результаты их статистической обработки согласуются с теорией, что даёт основание считать, что Донная станция в целом работоспособна;

- вид высокочастотной части спектров пульсаций скорости свидетельствует о небольшом уровне электрических и гидродинамических шумов ИПВСТ;

- как показала обработка данных натурного эксперимента, прибор может использоваться для исследования физики процессов, происходящих в ветровых волнах (при малых скоростях ветра и на значительном мелководье).

Первый натурный эксперимент, кроме испытаний как таковых, уже дал возможность получить интересные сведения о поле скорости течений в приповерхностном слое моря. Последующие эксперименты с Донной станцией позволят более полно выявить её достоинства и возможные недостатки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Монин А.С., Каменкович В.М., Корт В.Г. Изменчивость мирового океана. - Л.: Гидрометеоиздат, 1974.-264 с.
2. Пантелейев 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.
3. Дыкман В.З., Ефремов О.И. Электромагнитный датчик для измерения флуктуаций вектора скорости течения // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.- Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000.- С. 318-324.
4. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных.- М.: Мир, 1989.- 540 с.
5. Лайтхилл Д. Волны в жидкостях. - М.: Мир, 1981. - 600с.
6. Ефимов В.В. , Христофоров Г.Н. Волновые и турбулентные составляющие спектра скорости в верхнем слое океана // Изв. АН СССР. Сер. ФАО.- 1971.- 7. - №2.- С. 200-211.
7. Shonting D.H. Autospectra of observed particle motions in wind waves // J. Mar. Res. - 1968 - 26- N1- P. 43-65.