

С. Р. Стефанов, В. П. Масляный

ФГУП ВНИИФТРИ, 141570, Московская обл., Солнечногорский район, п/о Менделеево,
e-mail: maslvitalij@yandex.ru

Измерение скорости течения в некоторых районах Балтийского моря

Получена 29.06.2005, опубликована 13.09.2005

В статье приведены описание акустического прибора для измерения скорости течения и результаты измерения этой характеристики среды на различных глубинах. Измерения проводились до глубин 30 м в районе г. Приморска и до глубин 80 м в районе острова Гогланд. Работы проводились в августе - сентябре 2003–2004 гг. Из полученных результатов следует, что поле скорости течения, наряду со средними составляющими 15–30 см/с, имеет низкочастотный спектр пульсаций с нижней частотой 2 Гц.

ВВЕДЕНИЕ

Измерение скорости течения всегда представляет интерес как для гидрофизики, так и других направлений морских измерений, например, акустики.

В морской среде постоянно существует движение водной среды как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях. Эти движения обуславливают структуру полей скалярных параметров. Поэтому для выявления связи этих типов полей представляет интерес одновременное измерение как скорости течения, так и какого-либо скалярного поля, например, скорости звука.

Во ФГУП ВНИИФТРИ создан измеритель скорости течения, основанный на акустическом принципе. Измерительная схема построена по дифференциальному методу определения разности времён для импульсов, распространяющихся в противоположных направлениях по и против течения. При этом кроме измерения течения, появляется возможность измерения величины скорости звука в зоне распространения волн путём вычисления суммарного времени движения акустических импульсов.

Принцип действия таких акустических схем широко применяется в виде различных модификаций. Наиболее близкая схема построения акустической части измерителя является схема [1] с аналогичным расположением акустических антенн.

Данная схема построения прибора позволяет работать в режиме зондирования с меньшими искажениями естественной структуры гидрофизического поля и использует более современную компьютерную обработку получаемой информации.

1. ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

Акустическая часть измерительной схемы приведена на рисунке 1.

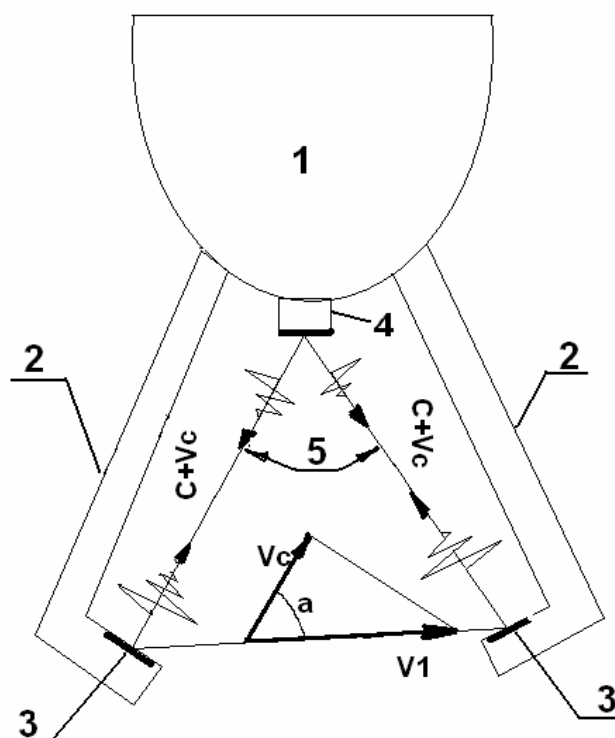


Рис. 1. Принцип построения измерительной схемы

1 — корпус прибора; 2 — выносные консоли; 3 — обратимые пьезопреобразователи (антенны); 4 — отражатель ультразвуковых импульсов; 5 — угол между падающими и отраженными лучами; V_c — регистрируемая прибором составляющая скорости течения; V_1 — измеряемая (горизонтальная) составляющая скорости течения; C — скорость звука в среде.

В плоскости чертежа показана одна пара приёмно-излучающих антенн (3) и пути движения акустических импульсов. В конструкции прибора таких пар две и они расположены ортогонально друг другу. Такая акустическая схема позволяет измерять горизонтальную составляющую вектора скорости течения. Вертикальная составляющая скорости не влияет на показания прибора, так как её влияние компенсируется при движении импульсов от излучателя к отражателю и затем к приёмнику. Такая схема также устойчива к небольшим отклонениям прибора от вертикального положения, что часто бывает при натурных измерениях.

Внешний вид прибора представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Двухкомпонентный измеритель скорости течения

Конструктивно прибор состоит из цилиндрической части, внутри которой расположена электроника, и внешних консолей на которых размещены пьезоэлектрические антенны, последовательно выполняющие роль излучателей и приёмников акустических импульсов.

К верхней части цилиндрической части герметично крепится кабельный ввод. В качестве электромеханической линии используется кабель-трос типа ГПЭ 4×0.12-1 длиной 400 м. В нижней части корпуса в центральной его части находится отражатель акустических волн. Такая схема взаимного расположения источников, приёмников и отражателя отличается от классического варианта и имеет то преимущество, что позволяет проводить зондирование при минимальном возмущении среды вносимых элементами конструкции прибора в зоне измерения. В верхней части корпуса крепятся пластины стабилизатора, препятствующие вращению прибора при его погружении. Кроме того, к корпусу крепится парашют, замедляющий скорость погружения прибора при его свободном падении в воде.

Расстояние между парой антенн, изображённых на рисунке 1, является базой измерения и в данной конструкции равно 100 мм.

Угол между направлением движения акустических импульсов и базой измерения (α) составляет 60° . В процессе работы прибора измеряются времена T_1 и T_2 , равные временам распространения импульсов по пути: антенна излучающая, отражатель, антенна приёмная (T_1) и обратно (T_2). По этим значениям и геометрическим величинам (угол α , база измерения) получены расчётные формулы для каждой составляющей горизонтальной скорости течения (V_1 , V_2) и скорости звука (C):

$$V_1 = 200 \frac{\Delta T_1}{T_1 T_2}, \text{ мм/с},$$

$$V_2 = 200 \frac{\Delta T_2}{T_3 T_4}, \text{ мм/с},$$

$$C = 200 \frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2}, \text{ мм/с},$$

где $\Delta T_1 = T_1 - T_2$; $\Delta T_2 = T_3 - T_4$.

Интервалы T_3 , T_4 относятся ко второй ортогональной базе измерения.

В виду того, что для малых скоростей ($V \approx 1$ см/с) величина ΔT имеет значение около 10^{-9} с. Эта величина с трудом поддаётся измерению в условиях реально работающего прибора. Для повышения чувствительности (увеличения значения ΔT) применён метод накопления интервала времени (метод синхрокольца). Величина ΔT измеряется за 2048 циклов прохождения импульса от излучателя к приёмнику. Тогда для $V \approx 1$ см/с это значение составляет около 2 мкс. Эта величина уже легко поддаётся преобразованию, кодировке и измерению в подводной части прибора. Однако такое повышение чувствительности приводит к ограничению быстродействия прибора.

Так для измерения одной составляющей скорости требуется 0,5 с. Полный цикл занимает по времени 1,0 с. Разрешающая способность прибора зависит от частоты тактового генератора. При частоте в 40 МГц разрешающая способность определяется величиной 0,25 мм/с. Таким образом, быстродействие прибора и его разрешающая способность могут варьироваться в широких пределах. Например, при нижнем пороге измерения 1,0 см/с постоянная времени составляет 0,25 с.

Результаты измерения интервалов T_1 , T_2 , T_3 , T_4 выводятся на борт судна и вводятся в ПЭВМ. После их обработки по специальной программе результаты расчётов скорости течения по каждой составляющей и скорости звука записываются в файл и одновременно выводятся на экран монитора. Проводится также расчет модуля горизонтальной скорости течения. На рисунке 3 приведён типичный вид получаемой информации на экране монитора.



Рис. 3. Расположение информации на экране монитора

С левой стороны в нижней части строится временной график измеряемых величин, а в правой верхней части экрана выводятся числовые значения измеряемых величин. На экран выводятся также и другие вспомогательные и служебные параметры, связанные с работой прибора.

2. ПРИМЕРЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

На Балтийском море в 2003–2004 гг. работы проводились в августе–сентябре месяце. Прибор работал в двух режимах:

1. Зондирования,
2. Длительной записи на разных горизонтах.

Проводились измерения скорости течения в районе г. Приморска при глубинах 29 м и районе острова Б. Тютерс при глубинах ~ 85 м. Ниже на рисунках представлены некоторые результаты.

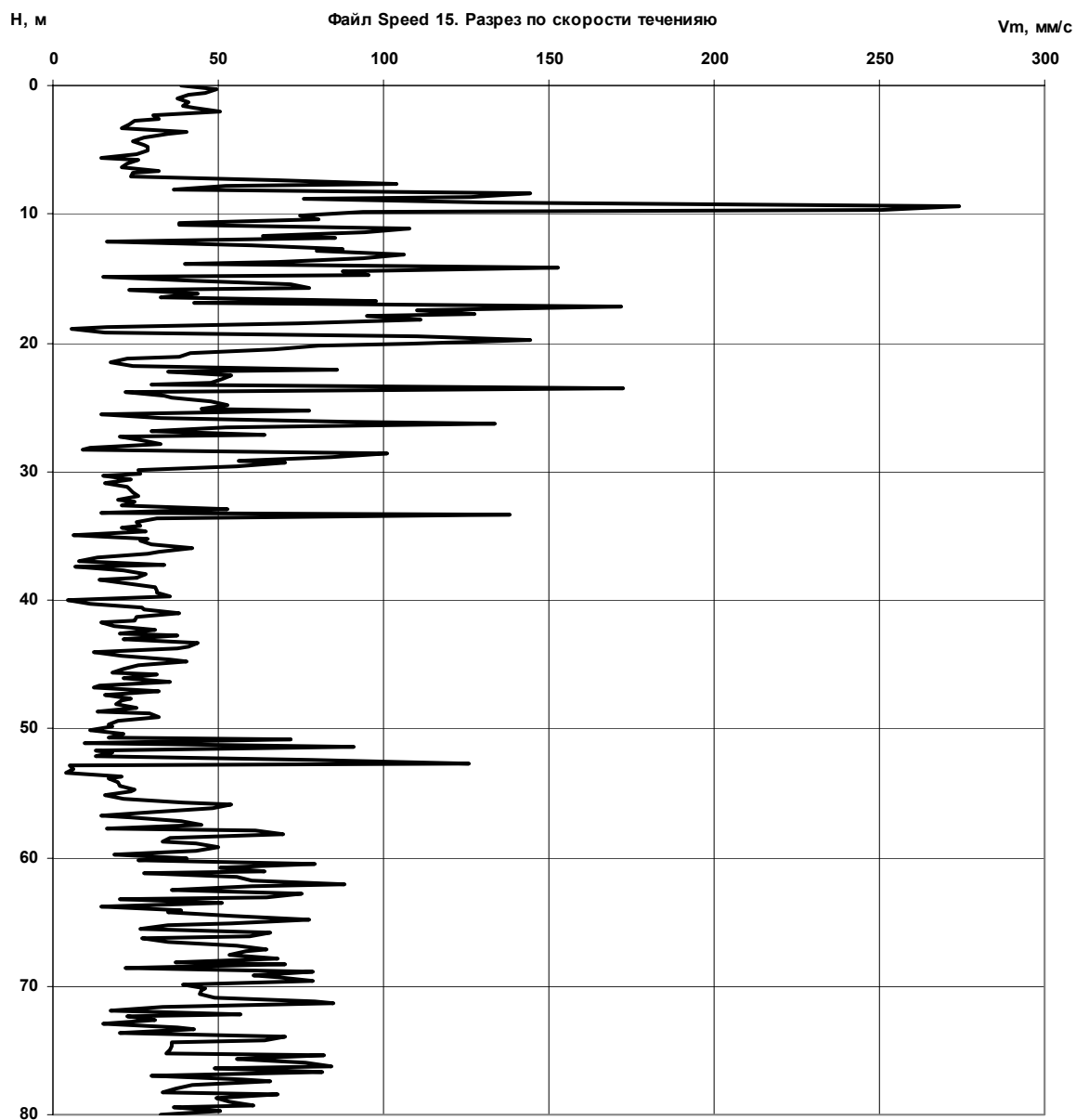


Рис. 4. Вертикальный разрез модуля скорости течения у о. Тютерс

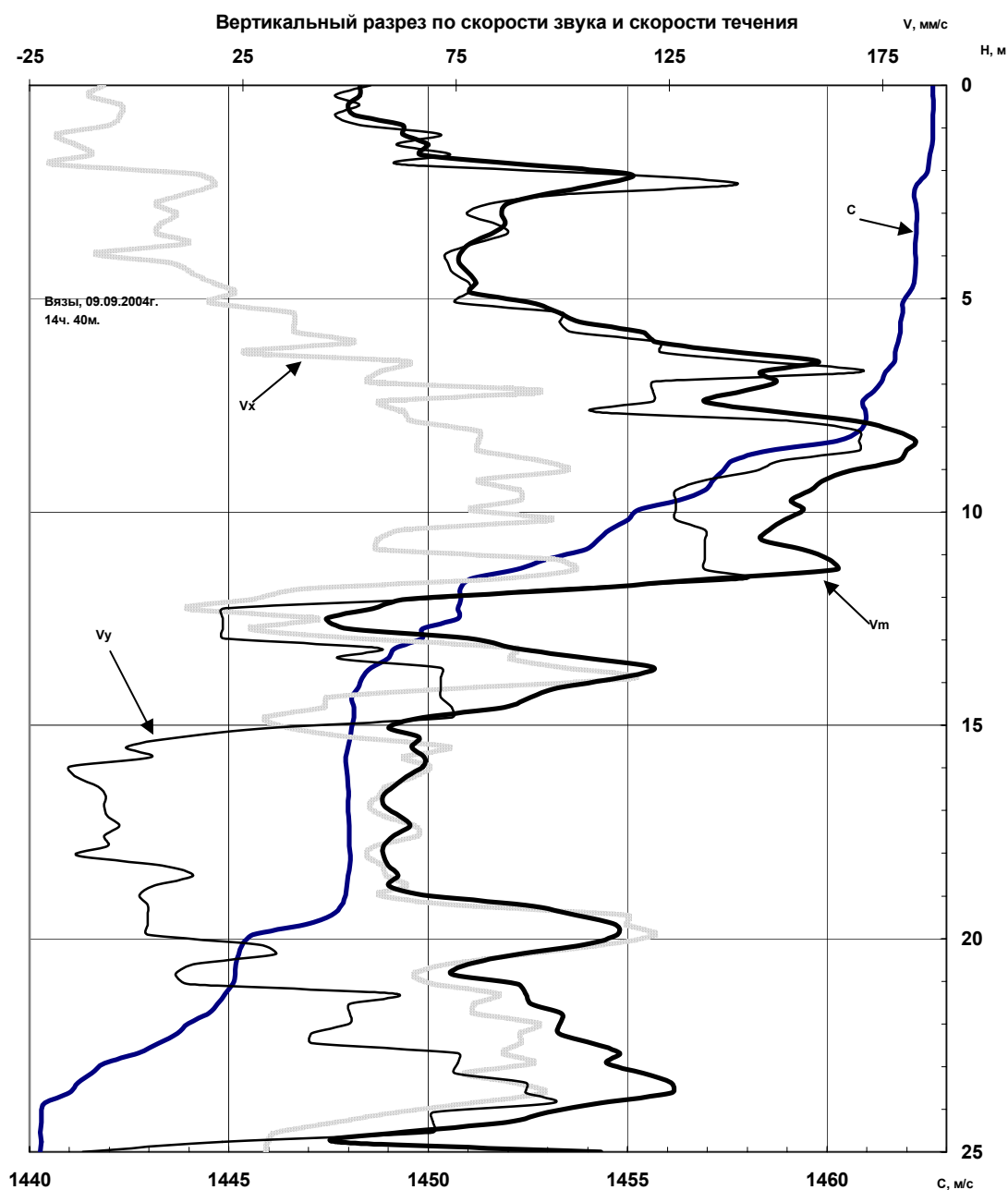


Рис. 5. Вертикальный разрез модуля скорости течения и профиля скорости звука в районе г. Приморска

Из представленных данных видно, что структура водной среды неоднородна.

Виден хорошо выраженный слой скачка разрезов по скорости звука на глубинах 12–20 м. Профили течения носят слоистый характер. В области скачка плотности величина средней скорости достигает максимальных значений и составляет в среднем величину 20 см/с. Толщины прослоек лежит в диапазоне 0.5–3.0 м.

На рисунке 6 приведен пример графика, показывающего изменение скорости течения и скорости звука во времени.

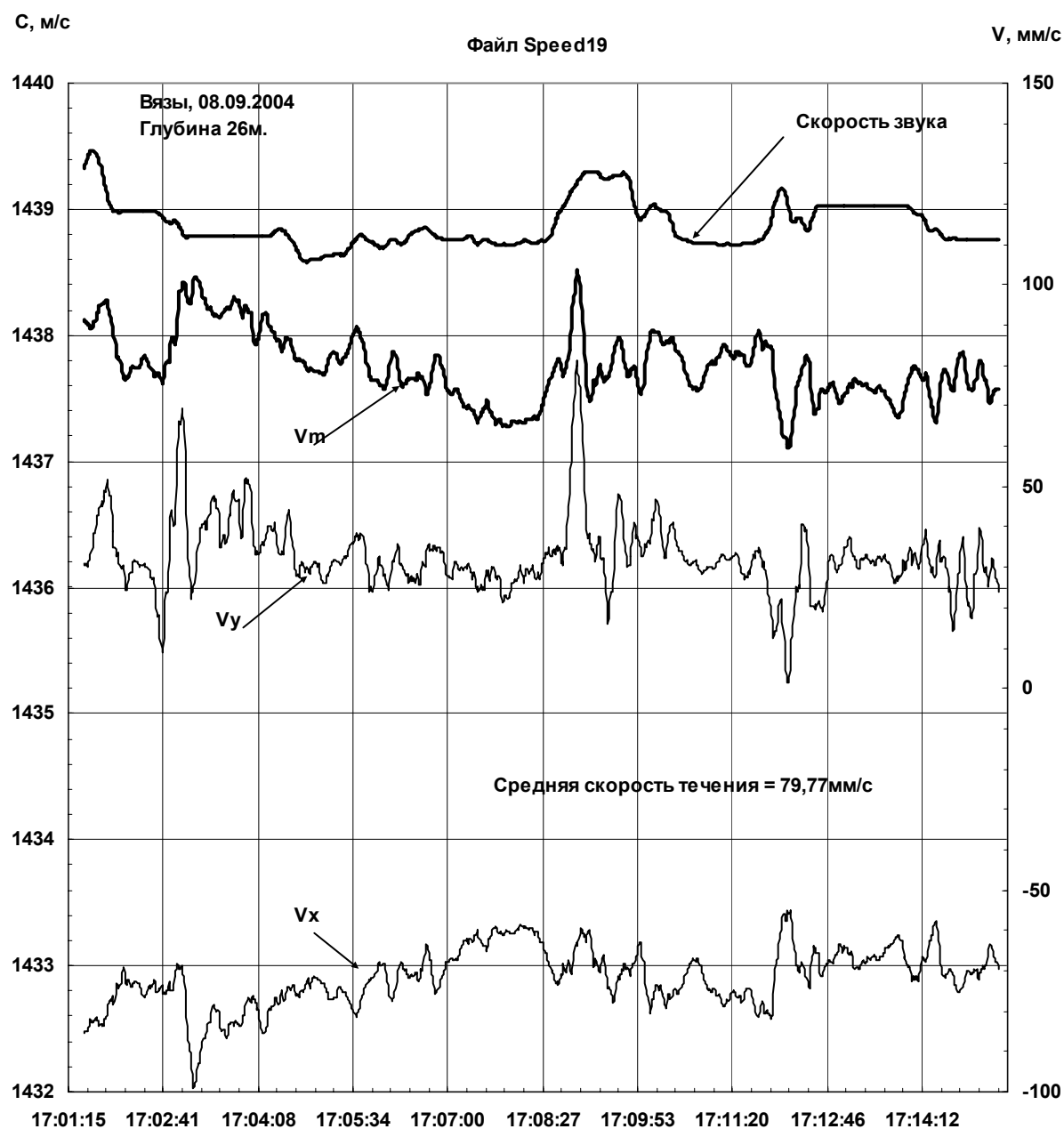


Рис. 6. Запись временных реализаций

Здесь приведены сигналы без фильтрации. Видно, что изменчивость наблюдается как в области высоких, так и низких частот. Эта запись сделана в 2004 г. на мелководном полигоне.

Общий объём выполненных измерений составил ~ 60 часов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяет составить представление о суточных изменениях полей скорости течения и скорости звука в осеннее-летний период.

В настоящее время прибор доработан и на нём установлены компас, датчики положения и вибраций. Дальнейшая работа с прибором позволит учесть влияние его элементов конструкции, положения в пространстве на точность получаемых результатов.

Работа созданного измерителя одновременно с измерителями других физических и акустических полей позволит оценить влияние поля скорости течения на работу этих измерителей. А данные по полю скорости звука, его изменчивости по глубине и во времени окажутся полезными для расчёта дальнего поля подводных источников шума по результатам измерения их ближнего поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Robbins R. J., Morrison G. K. Acoustic direct reading current meter. Proceedings of the IEEE, 1981, 506–511. (Conference «Oceans-81»).