

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ, МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ

УДК 534.222.629.584

ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АКУСТИКО-ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© 2013 г. В. В. Безответных, В. А. Каргавенко, Ю. Н. Моргунов

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

Россия, 690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43

E-mail: vlad_bez@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 29.03.2012 г.

Описан аппаратно-программный комплекс, позволяющий проводить синхронные измерения гидроакустических шумов и сигналов, температуры и давления в заданной точке, передавать их по радиоканалу и регистрировать в береговом центре анализа. В морскую часть комплекса встроены приемник GPS для контроля местоположения при работе в дрейфе. Приведены результаты экспериментальной апробации комплекса при выполнении акустической термометрии акватории в бухте Витязь залива Посьета Японского моря.

DOI: 10.7868/S0032816213010163

ВВЕДЕНИЕ

Развитие перспективных морских технологий требует проведения все более сложных экспериментальных исследований закономерностей формирования и взаимодействия гидроакустических и гидрофизических полей в различных районах Мирового океана. Для этого разрабатываются и непрерывно совершенствуются методики и технические средства измерения и мониторинга океанологических параметров морской среды. В ТОИ ДВО РАН с 80-х годов успешно применяются в морском эксперименте измерительные системы на основе авиационных радиогидроакустических буев, которые при некоторой модификации позволяют передавать информацию с различных датчиков по радиоканалу на расстояния в несколько километров. Достоинством таких систем является мобильность – постановку и выборку радиобуев в море можно осуществлять в кратчайшие сроки. Помимо этого, удаление приемной системы от борта судна позволяет снизить уровень акустических помех. К недостаткам можно отнести малую мощность передатчика (1 Вт) и небольшой срок службы, поскольку используемые радиогидроакустические буи предназначены для разового применения. В связи с этим была поставлена задача разработать многофункциональный телеметрический измерительный комплекс длительного применения на базе у.к.в.-радиостанции мощностью до 5 Вт, описанию которого посвящена данная работа.

ОПИСАНИЕ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Телеметрический измерительный комплекс содержит акустический и гидрофизический измерительные каналы, а также тракт определения координат местоположения подвижной части на основе системы GPS. Структурно комплекс состоит из двух пространственно разделенных частей: морского и берегового блоков.

При проведении экспериментов может быть использована стационарная или дрейфующая схема постановки морского блока (далее радиобуя). Аппаратура радиобуя позволяет регистрировать акустические сигналы, температуру и глубину в месте постановки гидрофона, определять собственные координаты и по радиоканалу передавать информацию на береговой блок. Береговой блок предназначен для приема радиосигнала от радиобуя, разделения аналоговой акустической и цифровой гидрофизической и GPS информации с последующей регистрацией персональным компьютером с помощью специализированного программного обеспечения.

МОРСКОЙ БЛОК

Радиобуй состоит из надводной и погружаемой частей, соединенных кабельной линией. Внешний вид и структурная схема радиобуя приведены на рис. 1 и 2.

Погружаемая часть представляет собой ферму в виде пирамиды, изготовленную из нержавеющей стали, с гидрофоном в центре, зафиксированным с помощью резиновых растяжек. Предварительный усилитель гидрофона и электронная плата гидрофизического модуля расположены в

герметичном контейнере с разъемом для кабелей питания и связи. Для крепления датчиков температуры и давления предусмотрены специализированные технологические отверстия.

В контейнере надводной части радиобуя расположены у.к.в.-радиопередатчик с несущими частотами 136–174 МГц и полосой до 100 кГц, радиопередающая полуволновая штыревая антенна, GPS-приемник ET-332 (GPS-модуль и выносная GPS-антенна) фирмы Global Sat, усилитель акустических сигналов, источник питания на основе гелевых аккумуляторов.

Передаваемая по радиоканалу информация предварительно подвергается следующей обработке: координаты и гидрофизические данные через коммутатор пакетов поступают на FSK-модулятор, где кодируются синусоидальным сигналом на частотах 50 кГц и 55 кГц, что соответствует логическим 0 и 1. После кодирования цифровые данные суммируются с аналоговым акустическим сигналом, принятым гидрофоном. Таким образом реализуется частотное уплотнение гидроакустической (от 40 Гц до 40 кГц) и цифровой информации (от 45 до 60 кГц). Данный подход прост и экономичен в реализации и требует меньшую полосу частот, чем при передаче всей сигнальной информации в оцифрованном виде.

У.к.в.-радиопередатчик IC-F16 фирмы Icom с функцией регулировки мощности выходного сигнала в диапазоне от 1 до 5 Вт обеспечивает дальность устойчивого радиосигнала до 15–20 км.

Элементы конструкции надводной части радиобуя приведены на рис. 3. Радиобуй состоит из корпуса и двух торцевых крышек с уплотнениями на стандартных резиновых кольцах круглого сечения. Фиксация крышек на корпусе осуществляется посредством рамы и двух центральных шпилек из нержавеющей стали. В качестве корпуса использована труба диаметром 180 мм из полиэтилена высокой плотности. Такая конструкция технологична и обладает коррозионной стойкостью. Кабельная линия гидрофона и гидрофизического модуля подключается к аппаратуре посредством герметичного соединителя, расположенного на торцевой крышке.

ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ МОРСКОГО БЛОКА

Гидрофизический модуль радиобуя предназначен для определения температуры воды и глубины в точке постановки гидрофона.

Расчет глубины производится на основании измеренных значений гидростатического давления.

В качестве преобразователей гидростатического давления используются датчики избыточного давления серии ПД100-ДИ фирмы «ОВЕН» (погрешность $\pm 0.5\%$). Номенклатура приборов этой



Рис. 1. Внешний вид радиобуя.

серии перекрывает широкий диапазон давлений, что позволяет применять их вплоть до глубин порядка нескольких километров. Так как данные датчики преобразуют избыточное давление в сигнал постоянного тока 4–20 мА, то адаптация гидрофизического модуля под условия эксперимента с целью увеличения предела измеряемой величины или повышения точности не требует внесения схемотехнических изменений.

Для измерения температуры применяется цифровой термометр DS18B20 фирмы Dallas Semiconductor с программируемым разрешением от 9 до 12 бит (разрешающая способность $\pm 0.0625^\circ\text{C}$ в 12-битном режиме) и интерфейсом 1-Wire.

Частота измерений задается программно в диапазоне до 1 Гц, что является достаточным для фиксации изменчивости водной среды.

По окончании процесса первичного преобразования выполняются расчет глубины, декодирование данных температуры, формирование и отправка по интерфейсу RS-485 данных в основной модуль радиобуя.

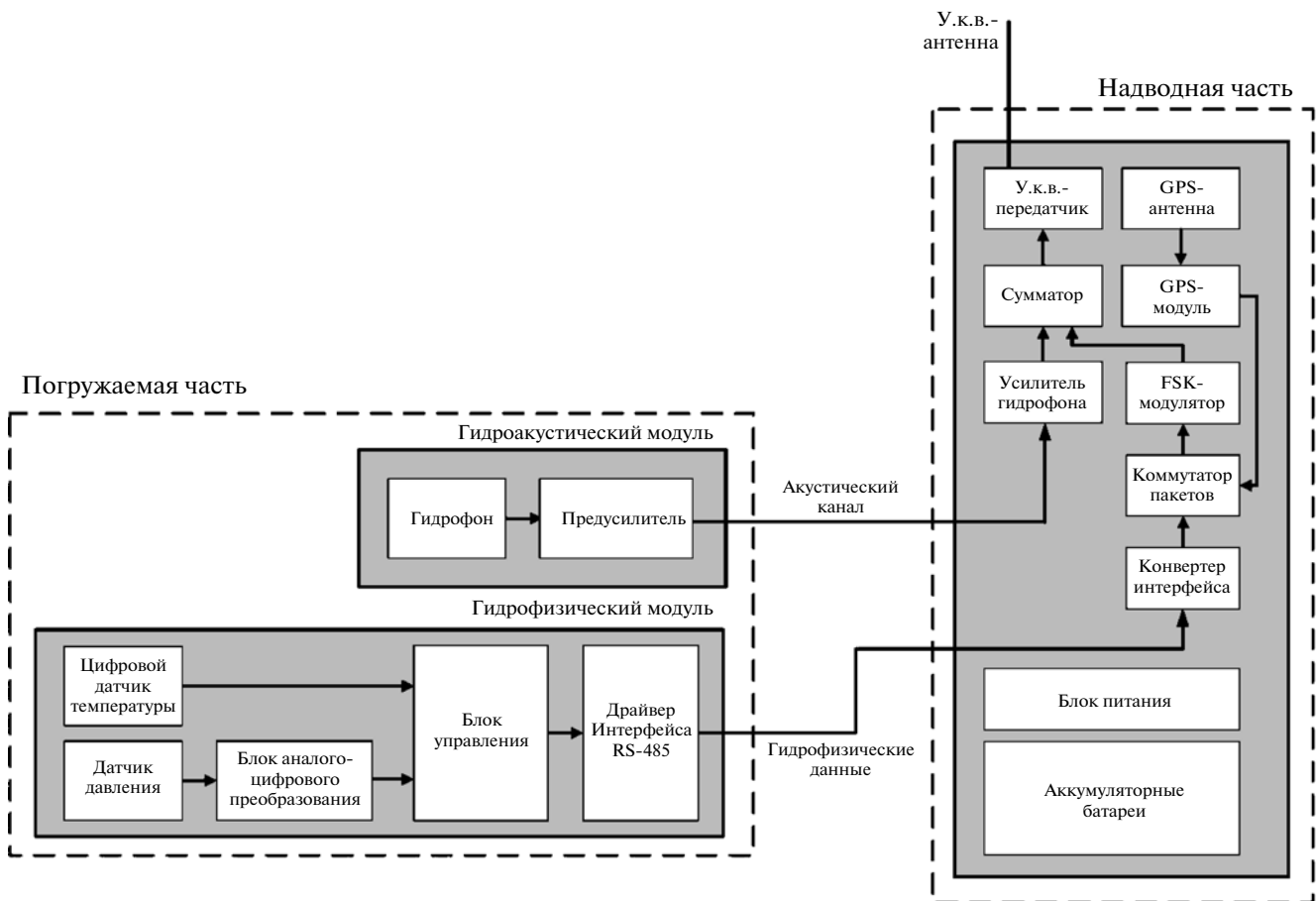


Рис. 2. Структурная схема радиобуя.

БЕРЕГОВОЙ БЛОК

Структурная схема берегового блока приведена на рис. 4.

Прием радиосигнала осуществляет широкополосный приемник IC-R10 фирмы Icom. Принятый сигнал поступает на блок фильтров. После фильтра высоких частот данные поступают на FSK-демодулятор, выполненный на основе петли фазовой автоподстройки частоты. Регистрирующий персональный компьютер подключается через драйвер последовательного порта. Численные значения координат и гидрофизических данных сохраняются в текстовом файле. После фильтра низких частот выделенный аналоговый акустический сигнал сопрягается через линейный выход с обрабатывающим устройством.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АПРОБАЦИИ КОМПЛЕКСА

Экспериментальная апробация разработанного телеметрического измерительного комплекса проводилась в бухте Витязь залива Посьета Японского моря. На рис. 5 приведен фрагмент полуосу-

точной работы комплекса при использовании его в режиме акустической термометрии мелководной акватории. Методика измерений заключается в получении импульсного отклика диагностируемого волновода путем зондирования морской среды псевдослучайными сигналами [1]. По результатам анализа времен распространения импульсов, прошедших по различным лучевым траекториям, рассчитываются скорости звука (температуры) в соответствующих слоях волновода. При сложных гидрологических условиях (приливы, внутренние волны и т.п.) возникают трудности идентификации путей распространения импульсов. В этих случаях необходимы синхронные измерения температуры в какой-либо точке волновода для понимания физики процессов формирования поля температур. Предпочтительным является размещение датчика температуры в придонном, наиболее динамично изменяющемся слое воды. Помимо этого, важно осуществлять контроль над изменением глубины волновода ввиду наличия приливных и нагонных явлений, для чего в данном комплексе предусмотрено размещение у дна датчика давления.

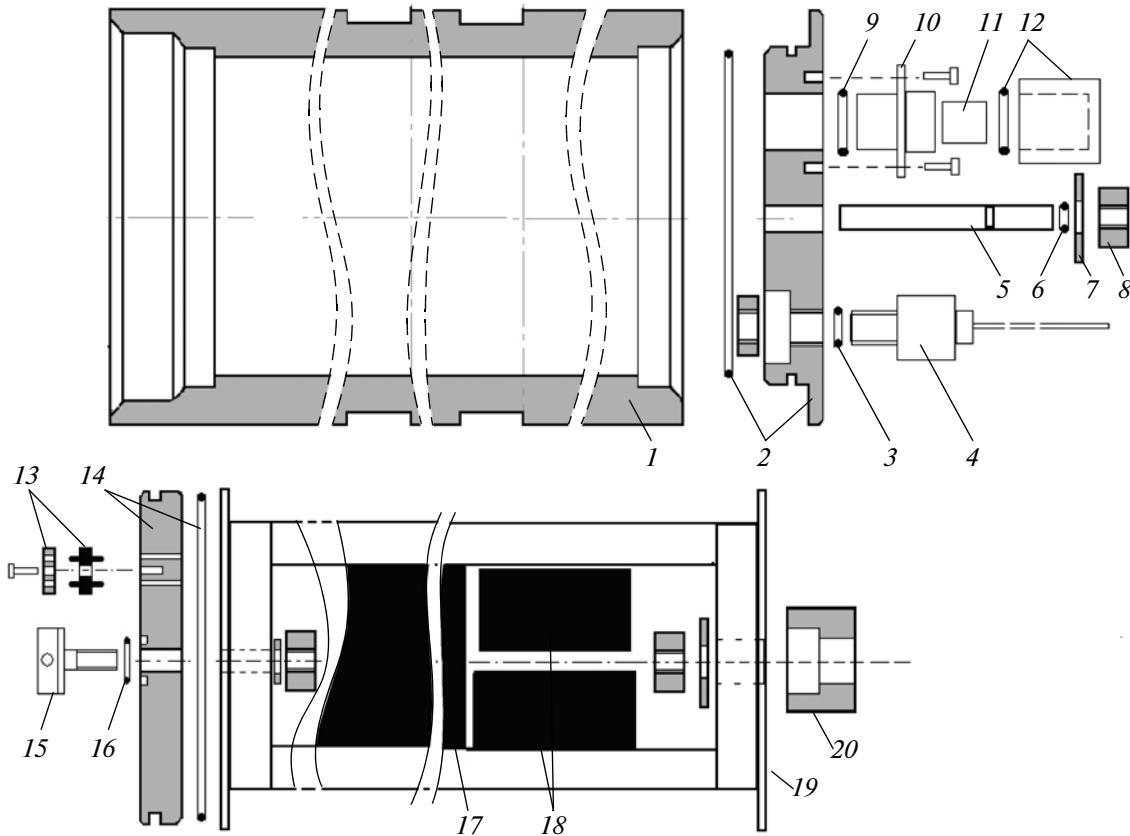


Рис. 3. Элементы конструкции надводной части радиобуя. 1 – корпус; 2, 14 – торцевые крышки с кольцевым уплотнением; 3, 6, 9, 16 – кольцевые уплотнения; 4 – радиоантенна; 5 – шпилька; 7 – шайба; 8 – гайка; 10 – разъем электрический герметичный; 11 – ключ; 12 – пробка с уплотнением; 13 – прижимная шайба с уплотнением; 15 – рым-болт; 17 – аккумуляторы; 18 – плата электроники и радиопередатчик; 19 – рама; 20 – вкладыш опорный.

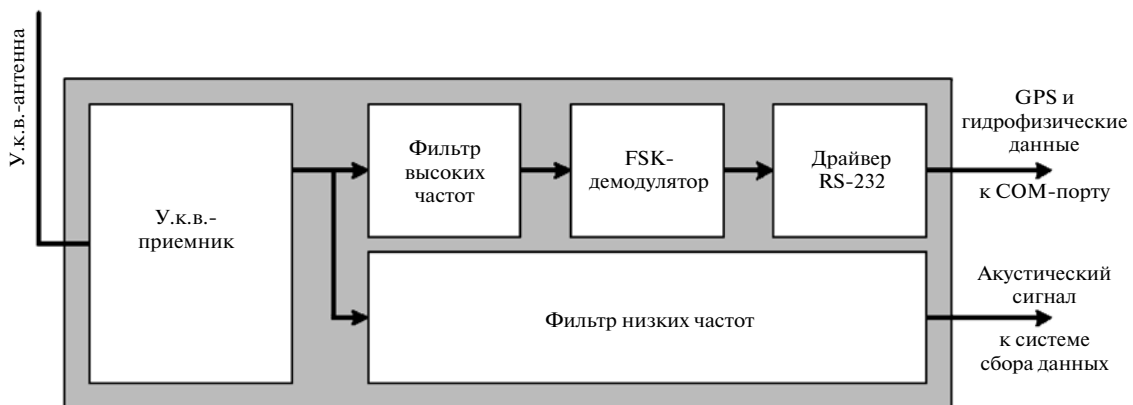


Рис. 4. Структурная схема берегового блока.

Эксперимент проводился 5 октября 2011 года. Источник сложных сигналов и измерительный комплекс размещались на дне вблизи береговой черты противоположных берегов бухты на расстоянии порядка 1 км друг от друга. Ежеминутно излучались сигналы типа М-последовательностей с центральной частотой 2 кГц, длиной 255

символов, с количеством периодов на символ, равным 4. На рис. 5а приведена импульсная характеристика волновода, полученная при свертке принятых сигналов с репликой излученного, на рис. 5б показано изменение глубины моря до 40 см, а на рис. 5в – изменение температуры в точке постановки буя. Температурный датчик отчетливо

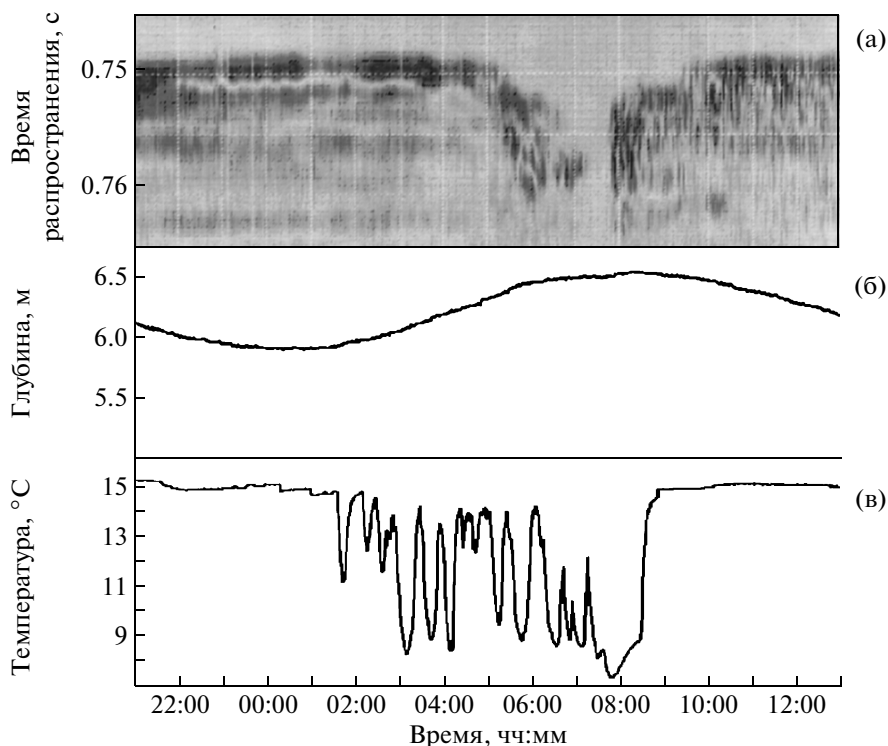


Рис. 5. Результаты измерений: **а** – импульсная характеристика акустического волновода; **б** – изменение глубины по показаниям датчика давления; **в** – показания датчика температуры.

зарегистрировал подход цуга трансформированных внутренних волн к береговой зоне в период прилива и уменьшение температуры в придонном слое с 15 до 7°C. В это время на импульсной характеристике наблюдается увеличение времени прихода первых групп акустического сигнала, что связано с заходом холодной воды в придонном слое и, как следствие, распространением звука в придонном акустическом канале с меньшей скоростью. Таким образом, полученная с датчиков температуры и давления информация позволяет существенно дополнить и уточнить данные акустической термометрии для адекватного описания сложных динамических процессов в мелководных акваториях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технические решения и основные характеристики разработанного телеметрического измерительного комплекса позволяют проводить исследовательские работы, направленные на решение актуальных задач практической океанологии, таких как акустическая томография структуры и динамики вод в шельфовых зонах, акустическая на-

вигация и звукоподводная связь [2, 3]. Основной особенностью комплекса является возможность передачи в реальном времени сигнальной информации с гидрофона, гидрофизической информации и данных о координатах надводной части комплекса по радиоканалу в береговой центр анализа. Отметим, что все эксперименты с использованием комплекса были выполнены с помощью маломерных плавсредств, что обеспечивает оперативность и сокращение затрат на организацию работ.

Работа выполнена при поддержке грантов ДВО 11-III-Д-07-038, 09-I-П17-05 и гранта Президента РФ для поддержки научных школ (НШ-3641.2010.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акуличев В.А., Моргунов Ю.Н., Стробыкин Д.С. // Акустический журн. 2010. Т. 56. № 2. С. 218.
2. Акуличев В.А., Каменев С.И., Моргунов Ю.Н. // ДАН. 2009. Т. 426. № 6. С. 821.
3. Безответных В.В., Буренин А.В., Войтенко Е.А. и др. // ПТЭ. 2011. № 6. С. 89. (Bezotvetnykh V.V., Burenin V.A., Voitenko E.A. et al. // IET. 2011. V. 54. № 6. P. 831.)