

УДК 551.46.07

ЗАЯКОРЕННАЯ ПРОФИЛИРУЮЩАЯ ОКЕАНСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

А.Г. Островский, А.Г. Зацепин,
В.Н. Иванов, С.С. Низов,
В.А. Соловьев, Г.К. Тимашкевич,
А.Л. Цибульский, Д.А. Швоев

К.Г. Кебкал

Институт океанологии
им. П.П. Ширшова РАН¹

EvoLogics GmbH F&E Labor Bionik,
Ackerstraße 76, D-13355²

Представлена разработка океанологической автоматической заякоренной профилирующей обсерватории, оснащенной измерителями температуры и электропроводности воды, содержания растворенного в воде кислорода, а также скорости морских течений. Обсерватория должна выполнять долговременные (от 1 до 6 месяцев) автоматические измерения вертикальных профилей гидрофизических и биофизических параметров на глубинах до 600 м и обеспечивать передачу данных измерений в режиме реального времени на береговой приемный пункт. Обсерваторию целесообразно использовать также для научных исследований и мониторинга внутренних водоемов. В ближайшей перспективе комплекс технических средств обсерватории будет в основном развиваться в направлении создания дублирующего гидроакустического канала связи.

ВВЕДЕНИЕ

В 2006-2008 годах в Институте океанологии им. П.П.Ширшова (ИО РАН) была осуществлена разработка измерительной аппаратуры «Аквазонд», предназначенной для вертикального профилирования водной толщи на заякоренной буйковой станции [1]. Был создан прототип морского грузового «лифта» для океанологических измерительных датчиков: носитель был укомплектован акустическим доплеровским измерителем течений Aduadopp 3D и зондом электропроводности, температуры и давления SBE 19Plus с датчиком растворенного кислорода, флуориметром и турбидиметром. Носитель с измерительной аппаратурой по

заданной программе мог передвигаться по тросу, натянутому вертикально между подповерхностной плавучестью и донным якорем. Таким образом, в отличие от традиционных буйковых постановок с размещением приборов на фиксированных горизонтах созданная нами аппаратура позволяла проводить непрерывные измерения вертикальных профилей характеристик морской среды.

Наработки по автоматическому профилированию морской среды на заякоренной буйковой станции легли в основу НИОКР по созданию новой измерительной обсерватории для оперативного мониторинга морской среды в водах шельфово-склоновой зоны. В рамках этой НИОКР аппаратура профилографа «Аквазонд» инте-

грирована с новейшими техническими средствами передачи сигналов в водной толще с помощью индуктивных модемов на подповерхностный буй. В новом аппаратном комплексе подповерхностная плавучесть связана кабелем с поверхностным буюм, откуда данные измерений передаются по радиоканалу в береговой приемный пункт, что позволяет решить важную научно-практическую задачу оперативного управления мониторингом морской среды. Этой новой разработке и посвящена настоящая статья.

■ НАЗНАЧЕНИЕ ОБСЕРВАТОРИИ

Используя новую авторскую технологию автономного профилирования водной толщи на заякоренной океанологической станции [1] и современные технические средства бесконтактной передачи сигналов в морской воде и в воздухе по радиоканалу, разработан и изготовлен прототип обсерватории для автоматического телеуправляемого мониторинга вод шельфово-склоновой зоны моря в режиме реального времени. Общий вид обсерватории показан на рис.1. Обсерватория должна в течение длительного времени (до одного года) производить вертикальные зондирования морской среды с измерением гидрофизических и биофизических параметров до 600 м глубины и обеспечивать оперативную передачу данных на расстояние до 12 км в береговой приемный пункт. Потребности в обсерватории в первую очередь определяются необходимостью мониторинга распространения загрязнений и прогноза опасных природных

¹ 117997, г. Москва, Нахимовский просп., д. 36,
тел: (499) 1247392, факс: (499) 1245983,
e-mail: osasha@ocean.ru

² Berlin, Germany,
e-mail: konstantin.kebkal@gmail.com

явлений. В частности, обсерватория имеет большой потенциал для использования в целях обеспечения экологической безопасности добычи и транспортировки углеводородов в море [2, 3].

В контексте проведения фундаментальных океанологических исследований обсерватория, по нашему мнению, является оптимальным средством изучения изменчивости распределений абиотических и биотических параметров морской среды в диапазоне масштабов от нескольких часов до нескольких суток. По имеющимся представлениям, амплитуды этой изменчивости, обусловленной, например штормовыми воздействиями, весьма велики. Оценить короткопериодную изменчивость и ее вклад в генерацию перемешивания возможно только на основе регулярных частых зондирований в течение длительного времени порядка одного месяца. Следует отметить, что успех высоко разрешающих численных моделей циркуляции окраинных морей во многом зависит от параметризации «подсеточной» мелкомасштабной турбулентности. Поэтому в последнее время резко возрос интерес к натурным исследованиям процессов перемешивания и их вертикальной изменчивости. Для оценивания параметров длинных баротропных и бароклинных волн, вихрей и вихре-волновых структур и их роли в переносе и обмене необходимо измерение пространственных неоднородностей гидрофизических полей. Для этого требуется проведение синхронных зондирований в нескольких точках акватории. Наконец, актуальной является задача выявления климатических сигналов в распределениях параметров среды и биоты на основе анализа временных рядов многолетних измерений

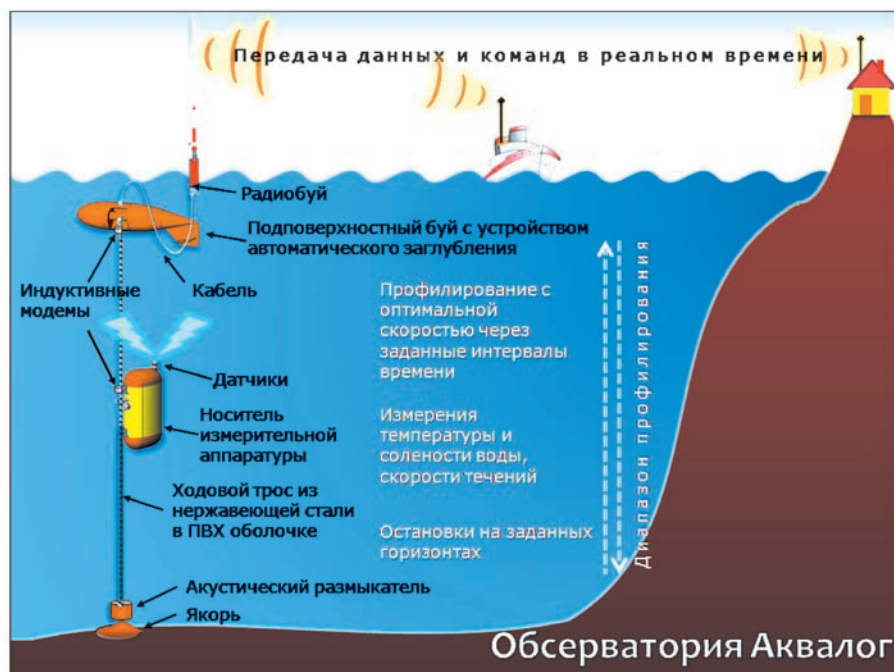


Рис. 1. Общий вид обсерватории

в фиксированных точках в морских бассейнах и в крупных внутренних водоемах. Для решения всех трех задач важно получение регулярных и однородных выборок данных измерений.

■ НОВИЗНА РАЗРАБОТКИ

На современном этапе важно решить задачу оперативного управления системой морского мониторинга. Проведение измерений с помощью автономного заякоренного носителя нужно дополнить обменом данными и командами с береговым приемным пунктом. Такая разработка должна осуществляться на стыке двух направлений океанологического приборостроения: технологии гидрометеорологических измерений и морских информационных технологий.

В данной работе комплексирование технологии автоматического профилирования с методами передачи океанологической информации позволяет

создать технические средства оперативного мониторинга водной толщи окраинных морей и открывает новые возможности в деле создания наблюдательной океанологической сети. При этом особенно актуальна задача системной интеграции оборудования автономного зондирования на заякоренной буйковой станции и современных средств подводной связи.

Для оперативного мониторинга и управления процессом измерений использованы технические средства связи, обеспечивающие обмен данными между профилирующим носителем и береговым или судовым приемным пунктом. Связной тракт состоит из двух основных участков:

1) бесконтактной связи в морской воде между профилирующим зондом и поверхностным буюм с помощью индуктивных модемов,

2) радиосвязи между поверхностным буюм и береговым пунктом сбора и обработки данных и управления мониторингом.

Следует отметить, что такой комплекс обладает рядом эксплуатационных преимуществ по сравнению со свободно дрейфующими профилирующими зондами. Заякоренная буйковая обсерватория обладает меньшим риском потери, чем свободно дрейфующая станция, позволяет своевременно производить техническое обслуживание источников питания и очистку измерительных датчиков от биообрастателей. Радиосвязь в прибрежной зоне представляет собой экономичную альтернативу мобильной и спутниковой связи, поскольку передача информации по радиоканалу не имеет ограничений в частотном диапазоне 430-470 МГц.

■ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ОБСЕРВАТОРИИ

В состав буйковой части обсерватории входит следующее оборудование:

- подповерхностный буй, заякоренный с помощью стального буйрепа, который служит ходовым тросом для профилирующего носителя,
- носитель с комплектом измерительных датчиков (далее - носитель), передвигающийся по ходовому тросу,
- система цифровой связи посредством бесконтактной индуктивной врезки в ходовой трос,
- поверхностная буй-веха с модемами передачи данных и телеметрической информации по радиоканалу,
- гидроакустический размыкатель якорного балласта.

В носителе модуль центрального микроконтроллера по заданной программе управляет электроприводом, обеспечивающим движение (профилирование), используя датчик давления DRUCK PMP 4010, а также контролируя состоя-

ние электронной аппаратуры по показаниям датчиков тока и напряжения. На плате микроконтроллера chip45 SAVVY128 размещены микроконтроллер Atmel AVR Mega 128, слот для установки флэш-памяти типа MMC или SD, микросхема часов реального времени, два порта RS-232. На периферийной плате расположены микросхема АЦП Analog Device AD7718, микросхемы аналоговых мультиплексоров для совместного использования одного порта RS-232 разными датчиками, контроллер двигателя IR3220S и конвертеры напряжения питания. Аналоговые каналы оцифровываются с помощью одной 16-разрядной АЦП AD7718. С компьютера пользователя вносится программа работы носителя и выполняются просмотр и обработка полученных ранее данных.

Модуль центрального микроконтроллера также выполняет сбор и обработку данных со следующих научных измерительных приборов: зонда температуры, электропроводности и давления (FSI Exell 2" Micro CTD), акустического доплеровского измерителя течений (Aquadopp 3D) и датчика растворенного в воде кислорода (AANDERAA Oxygen Optode 4330F). Модуль центрального микроконтроллера передает данные с помощью индуктивного модема на подповерхностную плавучесть.

Все электрическое оборудование носителя, включая измерительную аппаратуру, питается от параллельно соединенных секций последовательно соединенных литиевых или щелочных батарей типа D.

Индуктивные модемы типа SBE-44 установлены на носителе и на подповерхностном бую и служат для передачи данных измерений и телеметрической информации. Индуктивный

модем представляет собой катушку индуктивности с изолированными электрическими выводами, помещенную в корпус из диэлектрика, залитого компаундом, и электронной платы управления. В сборке индуктор и ферритовое кольцо устанавливаются на буйреп так, чтобы стальной несущий трос в ПВХ оболочке свободно проходил через центр катушки. Буйреп представляет собой многожильный нержавеющий несущий трос в диэлектрической оболочке, изолирующей от воды. По индуктивному каналу выполняется передача данных от носителя к подповерхностному бую. Таким образом, система подводной связи обеспечивает бесконтактный двухсторонний обмен информацией между движущимся носителем и подповерхностным бую с целью последующей передачи данных измерений на буй-веху радиосвязи и далее на береговой пост по радиоканалу, по запросу оператора или по заданной программе.

Буй-веха радиосвязи представляет собой веху Фруда с расположенной в верхней точке надводной части радиоантенной ANLI A-100MU. Встроенный в буй-веху радиомодем типа INTEGRA TR питается от комплекта свинцово-гелевых аккумуляторов, которые являются одновременно основным балластом буй-вехи.

Береговой модуль состоит из модуля мультиплексирования и синхронизации данных, а также персонального компьютера. Версия берегового модуля в максимальной конфигурации позволяет подключать в мультиплексном режиме до 4 радиомодемов к одному компьютеру. К настоящему времени реализована базовая конфигурация берегового модуля, позволяющая подключать один радиомодем с возможностью адресации

до 255 радиобуев. Это означает, что в квазиреальном времени данные могут быть получены с нескольких буйковых систем. На персональном компьютере выполняются предварительная обработка и архивация данных, полученных с буйковой измерительной части комплекса «Аквалог» по радиоканалу. Программное обеспечение на персональном компьютере позволяет отображать в реальном масштабе времени информацию, получаемую с буйковой части комплекса. Оператор может выбрать масштаб и режим отображения (с наложением или без наложения), приостанавливать вывод, а также производить измерение абсолютных и относительных значений принимаемых данных.

■ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБСЕРВАТОРИИ

При изготовлении буйковой части комплекса использованы современные материалы и комплектующие:

- полиацеталь для изготовления аппаратурных контейнеров и роликов,
- ультравысокомолекулярный полиэтилен для изготовления деталей и рамы носителя морской измерительной аппаратуры;
- стеклянные сферы в качестве плавучести носителя,
- оригинальный электропривод с магнитной муфтой и двигателем с высоким КПД.

Все модули носителя (рис. 2) конструктивно объединены на раме, служащей также для установки легкого обтекаемого кожуха, блоков плавучести и измерительной аппаратуры. Все элементы рамы изготовлены из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (молекулярная масса около 1000000 ед.), сочетающего высокую прочность

с малой плотностью (1 г/см^3), который обеспечивает плавучесть, близкую к нейтральной, в морской воде. Немаловажно, что такая рама имеет отличную химическую стойкость. Шпангоуты вырезаны из листов полиэтилена толщиной 15-30 мм с помощью фрезерного станка с ЧПУ. Данный материал экологически безвреден (Заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 77.01.03.249.П.067512.09.07 от 03.09.2007 г.).

Аппаратурный контейнер носителя имеет цилиндрическую форму диаметром 200 мм. Он изготовлен из полиацетали. По антифрикционным и механическим характеристикам полиацеталь близка к капролону (полиамиду 6-блочному), но выгодно отличается от него

повышенной ударопрочностью (особенно при отрицательных температурах), лучшими упругими свойствами, стойкостью к образованию трещин, очень низким влагопоглощением, очень хорошей обрабатываемостью с возможностью изготовления точных деталей. Полиацеталь имеет исключительную усталостную стойкость (в 1,5 раза выше, чем у полиамида 6) и является оптимальным материалом для изделий, подверженных повторяющимся механическим воздействиям, ударным нагрузкам и вибрации.

Электропривод носителя (рис.3) разработан с учетом необходимости минимизировать энергопотребление. На стоянках электропривод обеспечивает фиксацию положения носителя относительно ходового троса. В состав электропривода

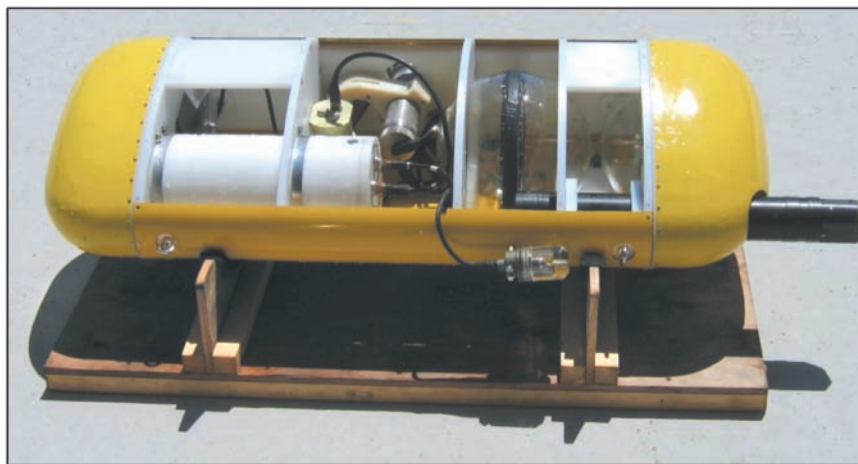


Рис. 2. Носитель измерительной аппаратуры на пирсе Южного отделения ИО РАН (г. Геленджик, Черное море). На фото носитель показан без боковой панели обтекателя

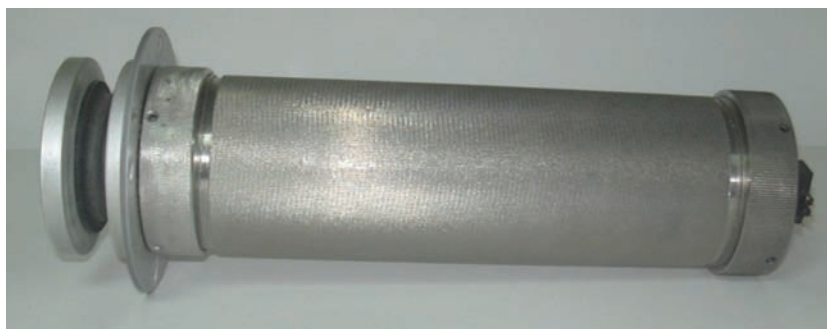


Рис. 3. Электропривод носителя

действующего макета носителя вошли следующие основные элементы:

- двигатель компании Махон мощностью 9 Вт при номинальном напряжении 12 В;
- редуктор, обеспечивающий момент 1-6 Нм;
- магнитная цилиндрическая муфта с редкоземельными магнитами, состоящая из ведущей и ведомой полумуфт, разделительного стакана, общей для полумуфт оси и подшипников качения;
- приводной ролик со скобой, предотвращающей смещение троса с ролика;
- устройство поджима тягового ролика к тросу.

Мотор с редуктором и предохранительными механизмами работает в воздушной среде внутри прочного герметичного корпуса из титана или нержавеющей стали. При включении мотора-редуктора момент с помощью магнитной муфты передается на приводной ролик. За счет взаимодействия приводного ролика с поверхностью буйрепа носитель начинает катиться по буйрепу. Носитель перемещается вверх или вниз

в зависимости от заданного направления вращения приводного ролика.

Испытания электропривода по подъему грузов в лабораторных условиях показали, что для данного приводного ролика магнитная муфта обеспечивает подъем груза весом до 4,7 кг, при большем весе груза магнитная муфта проскальзывает.

Ролики, направляющие буйреп, крепятся сверху и внизу на вертикальной плите передней части рамы носителя. Они удерживают носитель на ходовом тросе. Направляющий ролик изготовлен из полиацетали и имеет защитный кожух. Для облегчения операций зацепа и съема носителя с буйрепа, а также для ограничения смещений ходового троса в конструкции роликов предусмотрен специальный крепеж. На рис.4 показан носитель в водной толще Черного моря. Носитель сфотографирован в верхнем положении под ограничителем движения на глубине около 10 м перед началом очередного погружения. Вертикально натянутый трос проходит через направляющий ролик на носителе. Слева в верхней части носителя виден доплеровский измеритель течения Nortek Aquadopp 3D.

При разработке геометрической формы обтекателя носителя проводилось численное гидродинамическое моделирование отрывных течений. Расчеты проводились с помощью CAD/CAE-программ SolidWorks в пакете FloWorks с целью определения гидродинамических коэффициентов сопротивления и анализа характерных особенностей обтекания с образованием отрывных зон. Вычислительная сетка - около 500 тыс. конечных объемов. Расчетная область 4×4×4 м. Условия на границе - стационарное рав-

номерное течение. Горизонтальная скорость течения на границе задана равной 0 или 0,5 м/с, а скорость вертикального перемещения носителя задавалась в пределах 0,1–0,25 м/с. Угол наклона носителя 0-5°. Масштаб шероховатости поверхности носителя был принят равным 3 мкм. Эксперименты позволили подобрать оптимальную форму носителя, обеспечивающую сравнительно невысокие значения коэффициентов гидродинамического сопротивления. В заданных условиях при номинальной емкости источника питания 168 А/ч общая протяженность хода носителя должна составить 200-750 км в зависимости от скорости морских течений.

Стандартная измерительная аппаратура является высокоточной, стабильной и малоинерционной. При движении носителя со скоростью 0,2 м/с вертикальные профили измеряются с дискретностью не хуже 0,2 м для давления, солёности и температуры воды (FSI Exell 2" Micro CTD), 1,2 м - для скорости течения (Nortek Aquadopp 3D) и 1,6 м - для растворенного в воде кислорода (AANDERAA Oxygen Optode 4330F).

Буй-веха радиосвязи показана на рис.5. Для балансировки в вертикальном положении по длине буй-вехи располагаются дополнительные грузы и плавучести. Основные технические характеристики буй-вехи радиосвязи приведены в табл. 1.

Основные технические характеристики носителя измерительной аппаратуры приведены в табл. 2.

На береговом посту размещаются радиомодем и антенна такие же, как и на буй-вехе радиосвязи. Береговой пост имеет возможность быстрого развертывания. При необхо-

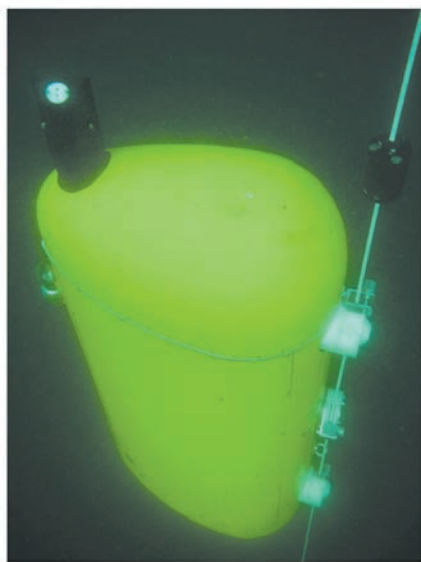


Рис. 4. Носитель в водной толще Черного моря

димости радиостанция может быть установлена на судне обеспечения.

■ ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ОБСЕРВАТОРИИ

В ближайшем будущем планируется дополнить обсерваторию «Аквалог» дублирующим каналом акустической связи. В качестве альтернативы имеющейся системе передачи данных рассматривается комбинированная система транспортировки данных под водой в составе индуктивного и гидроакустического модемов.

Индуктивные модемы активно используются в составе

буйковых океанологических станций. Они характеризуются сравнительно высокой скоростью передачи данных и весьма небольшим потреблением энергии. Однако существует ряд особенностей, ограничивающих их более широкое использование. В частности, для соединения подводной электроники и аппаратуры на борту поверхностного буя требуется соединительный кабель специального исполнения, предназначенный для безотказного функционирования в условиях агрессивных воздействий в течение продолжительного времени. Существующие кабели имеют сложную конструкцию, высокую стоимость. Их составляющие

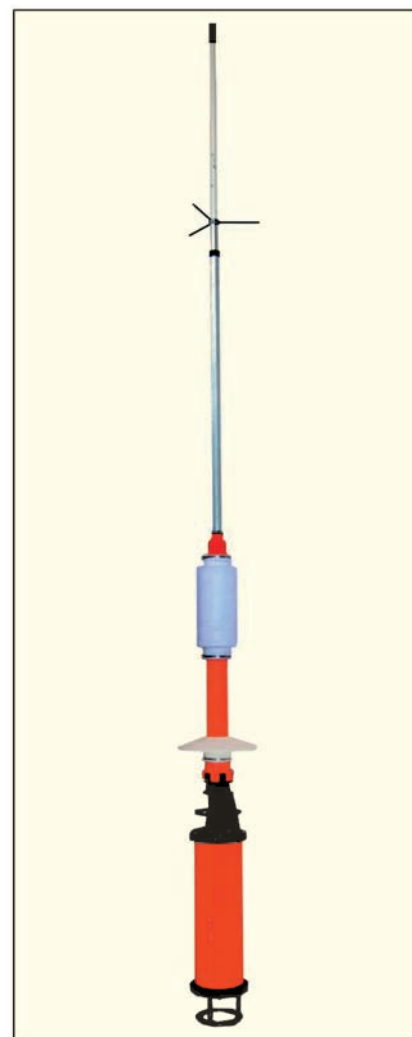


Рис. 5. Буй-вежа радиосвязи

Таблица 1. Технические характеристики буй-вежи радиосвязи

Техническая характеристика	Значение
Частотный диапазон	430-470 МГц
Скорость передачи данных	19,2 Кбит
Время непрерывной работы в режиме приема	Не менее 1000 часов
Время непрерывной передачи данных при максимальной мощности передатчика (5.0 Вт)	Не менее 40 часов
Габариты	4,5×1,3×0,35 м
Возвышение антенны над поверхностью воды	1,5-2,0 м
Вес в воздухе без учета веса информационного подводного кабеля	35 кг

Таблица 2. Технические характеристики носителя измерительной аппаратуры

Техническая характеристика	Значение
Скорость перемещения	0,1-0,3 м/с
Рабочий диапазон глубин	5-600 м
Допустимая скорость течения	1 м/с
Общая протяженность хода при горизонтальном течении 0,5 м/с	200 км при емкости источника питания 168 А/ч
Максимальная общая протяженность хода при отсутствии течений	800 км при емкости источника питания 168 А/ч
Ходовой буйреп	∅ 6 мм нержавеющая сталь в ПВХ оболочке
Габариты	1,2×0,35×0,55 м
Вес в воздухе без измерителей	59 кг
Плавуемость рекомендуемая	±0,1 кгс, но не более 0,5 кгс
Емкость источника электропитания	литиевые или щелочные батареи типа D, 168 А/ч (36 шт.) или 80 А/ч (40 шт.), соответственно
Напряжение электропитания	9 – 12 В
Выбор режима включения	По таймеру или гермокнопом
Индикация режимов работы	Светодиодная на корпусе
Стандартные измеряемые параметры	Давление, соленость и температура воды, компоненты вектора скорости течения, содержание растворенного кислорода в воде, азимут и наклонение носителя.
Опциональные измерительные датчики	Турбидиметр, флуориметр

предназначены лишь для однократного развертывания. Тем не менее, несмотря на специальную конструкцию и многоступенчатую защиту в условиях сильных штормов существует сравнительно высокая вероятность повреждения таких кабелей. Кроме того, целостность кабеля может быть нарушена в результате вандализма. В частности, преднамеренное или непреднамеренное траление поверхностного буйа буксируемой сетью или частями трального оснащения может приводить к частичному или полному разрушению кабельного соединения. При этом следует отметить, что срочная замена кабеля требует подготовки и проведения затратной морской экспедиции.

Для усовершенствования системы передачи данных может быть предложен специальный подход, который состоит в комбинировании индуктивного и гидроакустического модемов. В такой комбинации использование гидроакустического канала между верхней частью индуктивного модема и оборудованием поверхностного буйа способно обеспечить экономию расходов на закупку одноразовых специализированных соединительных кабелей, а также на проведение дополнительных экстренных морских экспедиций. В случае повреждения поверхностного буйа проходящими судами или от вандализма такая комбинация позволит минимизировать вероятность потери управления обсерваторией.

Кроме того, открываются дополнительные возможности

в наращивании функциональности обсерватории. На данный момент существенным недостатком использования индуктивных модемов является невозможность подключения к ним некоторых сенсоров. Например, сенсоры сейсмической активности не допускают механических соединений с оборудованием, генерирующим низкочастотный шум. Поскольку трос буйковой станции является источником такого шума, размещение сейсмодатчиков должно выполняться на некотором удалении от него. Очевидно, что без гидроакустической связи нет возможности оперативной транспортировки данных от одиночно установленных сейсмодатчиков. При комбинировании индуктивного и гидроакустического модемов автоматически решается вопрос бескабельного включения в состав буйковой станции таких сенсоров. В частности, для передачи данных от датчиков сейсмической активности может использоваться гидроакустический канал, например, в направлении гидроакустического модема, размещенного в нижней части троса буйковой станции. После поступления данных на гидроакустический модем их дальнейшая транспортировка может осуществляться с помощью индуктивного модема в направлении поверхностного буйа.

Для включения в состав обсерватории «Аквалог» в качестве одной из составляющих системы передачи данных рассматриваются гидроакустические модемы технологии

S2C производства компании EvoLogics, Германия (рис. 6).

Гидроакустический модем S2C-технологии является многофункциональным устройством и может выступать в качестве:

1) устройства скоростной передачи данных (6,5-56 кбод) - канал данных;

2) устройства многопоточной передачи данных (8,16... асинхронных/параллельных потоков /логических каналов с управляемыми приоритетами);

3) устройства робастной передачи управляющих команд (с пониженной скоростью) - канал управления.

Каждый модем может использоваться для реализации отдельного устройства (из списка указанных) или использоваться в качестве комбинированного устройства, исполняющего функции множества устройств на базе одного единственного модема.

В случае одновременного использования одного и того же модема для организации канала данных и канала управления обеспечивается режим доставки команд управления в качестве срочных/внеочередных сообщений.

Ниже представлены пояснения к каждому из перечисленных устройств.

Гидроакустический модем S2C-технологии в качестве устройства скоростной передачи данных (канал данных), базовая версия

Характерная особенность гидроакустических модемов S2C-технологии состоит в том, что для формирования передаваемого символа данных выполняется фазовая, частотная или амплитудная манипуляция частотно-модулированной несущей, в частности, несущей, которая испытывает монотонное изменение частоты во времени. Для подводных акустических



Рис. 6
Гидроакустический модем EvoLogics S2C R 40/80

каналов, обычно характеризующихся импульсным откликом с множеством дискретных многолучевых компонентов, эта технология позволяет достигать значимого эффекта, состоящего в способности приемника разделять и подавлять многолучевые компоненты принимаемого сигнала в частотно-временных координатах (т.е. не только в координатах времени, а дополнительно в координатах частоты). Другой, сопровождающий, эффект состоит в возможности полной компенсации доплеровских смещений принимаемого сигнала за счет компенсации индивидуальных доплеровских сдвигов каждого индивидуального луча (а не усредненного значения доплеровского сдвига по множеству лучей).

В силу использования широкополосных несущих с монотонным расширением спектра модемы способны функционировать в условиях сильных шумов, высоких уровней реверберации и динамики свойств канала связи. Модемы способны передавать данные с высокой скоростью, при этом надежно удерживать акустическое соединение с удаленным абонентом. Максимальные значения номинальных скоростей передачи данных составляют от 6,5 до 56 кбод (в зависимости от модели модема и диапазона рабочих дальностей связи). Эффективные скорости передачи данных в каналах практического интереса обычно составляют 20-70 % от соответствующих номинальных значений скорости (в зависимости от избыточности данных, необходимых для коррекции ошибок, а также потерь времени на повторные пересылки невозможных пакетов данных).

Устройства цифровой гидроакустической связи R-серии разработаны специально для использования в составе малогабаритных носителей. Кро-

ме малых габаритов (цифровая часть: 90 x 34 мм) модемы R-серии характеризуются малым потреблением энергии (от 5 до 500 мВт в режиме ожидания акустического соединения, 2,4 Вт в режиме обработки принимаемых сигналов, 2,5-40 Вт в режиме излучения). Мощность в режиме излучения является программно-контролируемым параметром.

Важным свойством канала данных, основанного на использовании гидроакустического модема S2C-технологии, является возможность дуплексной передачи встречных потоков данных.

Другим важным свойством высокоскоростного модема является уплотнение трафика в физическом канале за счет заполнения продолжительных пауз ожидания, в частности, пауз, предназначенных на доставку квитанций от удаленного модема об успешной/неуспешной передаче данных. В текущей версии модема для приема квитанций отводится временное «окно» известной длительности. При этом смещение «окна» по оси времени зависит от дальности связи, и благодаря способности модема измерять дальность связи с высокой точностью это смещение в каждый момент времени является также известной величиной. Таким образом, длительность и расположение «окна» на временной оси являются детерминированными величинами, и любой другой интервал времени, находящийся за пределами «окна», может использоваться для передачи дополнительных данных.

Под уплотнением трафика понимается возможность передачи дополнительных данных за счет усложнения логики обмена, позволяющей повысить эффективность использования предоставляемого ресурса

(физического канала связи), в частности, путем заполнения пауз ожидания.

Гидроакустический модем S2C-технологии в качестве устройства многопоточковой передачи данных (асинхронных/параллельных потоков /логических каналов с управляемыми приоритетами)

В текущей версии модемов R-серии предусмотрена возможность организации до восьми потоков данных для их виртуально параллельной передачи посредством одного модема. На уровне источника данных (пользователя, хоста, сенсора и т.п.) передача данных в логический канал связи осуществляется асинхронно (параллельно) с другими источниками, в то время как на уровне модема передача данных в физический канал связи осуществляется по очереди с временным разделением потоков (логических каналов). При этом время доступа каждого из потоков к физическому каналу связи зависит от приоритета его доставки.

Каждый логический канал может быть ассоциирован с одним из двух интерфейсов RS232 и заранее сконфигурированных TCP/IP соединений (до восьми) через Ethernet интерфейс. При необходимости максимальное число потоков (логических каналов) может быть изменено в большую или меньшую сторону (как на стадии изготовления, так и позднее, в ходе эксплуатации модема).

Возможность передачи множества параллельных потоков с управляемыми приоритетами может быть использована, в частности, при осуществлении цифровой связи между подводным аппаратом и судном для передачи, например, навигационных данных с более высоким приоритетом, а других

данных – с пониженными приоритетами.

Установка приоритетов и числа используемых каналов осуществляется пользователем посредством предоставляемых пользователю конфигурационных утилит.

Гидроакустический модем S2C-технологии в качестве устройства робастной передачи управляющих команд (канал управления)

В случае организации одновременно двух каналов (канала данных и канала управления) на базе одного модема вероятны ситуации, в которых во время продолжительной занятости канала (передачи большого объема телеметрических данных, например, сейсмограмм) появляется необходимость срочной отправки управляющей ко-

манды во встречном направлении. В такой ситуации модемы R-серии выполняют доставку управляющей команды не дожидаясь окончания передачи и без прерывания (или обрыва) потока полезных данных. Отправка управляющей команды осуществляется посредством механизма доставки срочных/внеочередных сообщений поверх потока данных совместно со служебным пакетом, пересылаемым по каналу в каждом кластере (кластер - последовательность пакетов данных). Механизм доставки срочных/внеочередных сообщений гарантирует доступ к физическому каналу связи за гарантированный интервал времени. Этот интервал определяется длиной кластера данных и максимальной дальностью связи. Поскольку длина кластера мо-

жет изменяться пользователем посредством предоставляемых утилит, длительность гарантированного времени доступа к каналу является подконтрольной (настраиваемой) величиной.

Спецификация рекомендованного гидроакустического модема для использования в составе обсерватории в комбинации с индуктивным модемом приведена в табл. 3.

Расход энергии

Практический опыт эксплуатации гидроакустических модемов S2C-технологии позволяет оценить необходимый запас батарей для обеспечения долговременной автономной работы буйковой станции. Ожидаемый расход энергии на передачу 1 бита информации в заданных условиях связи (наклонный подповерхностный или придонный канал небольшой протяженности) составляет 0,1...0,5 мДж. В этом случае, например, батарейный отсек емкостью 100 А-час с напряжением питания 12 В способен обеспечить передачу данных в объеме от 0,9 до 4,5 Гбайт. На основании этой оценки, а также ожидаемого объема данных, предназначенного для передачи в береговой центр, могут рассчитываться необходимая емкость и весо-габариты батареи.

В заключение следует отметить, что гидроакустические модемы могут использоваться и как основной канал связи для обеспечения глубоководных буйковых постановок. Дело в том, что при постановках на глубинах свыше 500 м осложняющим фактором становится стальной буйреп. Протяженный и тяжелый буйреп провисает и может заколышеваться при вытравливании за борт перед спуском грузового якоря. Кроме того, вес буйрепа становится слишком большим и это надо учитывать при проектиро-

Таблица 3. Технические характеристики гидроакустического модема EvoLogics S2C R 40/80

Техническая характеристика	Значение
Рабочая дальность	2000 м
Максимальная дальность	2500 м
Максимальная глубина	6000 м
Скорость передачи данных	До 33 Кбит/с
Интерфейс	2 × RS 232, Ethernet (возможны другие опции)
Внутренний буфер данных, конфигурируемый пользователем	1 Мбайт
Интенсивность битовой ошибки при включенном алгоритме помехозащищенного кодирования	Менее чем 10 ⁻⁹
Напряжение питания	12-24 В
Потребление	
– в режиме ожидания	3 мВт
– в режиме приема и обработки (настраиваемая скважность прослушивания канала)	5..500 мВт
– в режиме передачи (в зависимости от дальности связи)	2,5 – 40 мВт
Рабочий диапазон частот	40-80 кГц
Угол открытия диаграммы направленности приемопередатчика	60°
Габариты	Ø100 мм, длина 170 мм
Возвышение антенны над поверхностью воды	1,5-2,0 м
Вес в титановом корпусе	
– в воздухе	6,5 кг
– в воде	4,5 кг
Вес в пластиковом (делриновом) корпусе	
– в воздухе	1,39 кг
– в воде	0,66 кг

вании верхней притопленной плавучести, которая становится громоздкой. Установка габаритной и тяжелой буйковой системы невозможна с маломерных плавсредств, имеющих лебедки и кран-балки грузоподъемностью, ограниченной 200-300 кг. Поэтому на глубоководных постановках в качестве буйрепа целесообразно использовать кевларовый трос, на котором, однако, не будет работать индуктивный модем. Подходящей заменой последнему служит гидроакустический модем. Гидроакустический канал связи также незаменим при эксплуатации обсерватории под ледовым покровом.

Включение гидроакустического модема в состав обсерватории позволит расширить область применения и улучшить функциональные характеристики системы в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобковский Л.И., Зацепин А.Г., Ковачев С.А., Копелевич О.В., Островский А.Г., Розман Б.Я., Флинт М.В. Использование морских буровых платформ в качестве технологических носителей в системе комплексного многоуровневого мониторинга морской среды // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2006. № 8.
2. Лобковский Л.И., Зацепин А.Г., Ковачев С.А., Копелевич О.В., Островский А.Г., Флинт М.В., Моныхов С. Технология многоуровневого экологического мониторинга в целях информационного обеспечения безопасности морской добычи нефти и газа // Технологии ТЭК. 2007. № 2.
3. Островский А.Г., Зацепин А.Г., Деревнин В.А., Низов С.С., Поярков С.Г., Цибульский А.Л., Швоев Д.А. Заякоренная автоматическая измерительная система «Аквазонд» для вертикального профилирования морской среды // Океанология. 2008. Т. 48, № 2.

УДК 551.46.08

ДИНАМИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ STD-ДАННЫХ

А.Ю. Лазарюк

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН¹

Обсуждается влияние инерционных характеристик датчиков STD-зонда и параметров стратификации морской среды на погрешности определения её температуры, электропроводности и солёности. Описание этих погрешностей дано в рамках линейной модели измерительного процесса. Рассмотрены критерии и методы динамической коррекции STD-данных.

Анализируются результаты натурального эксперимента, выполненного STD-зондом Mark-IIIС. Показано, что инерционность термодатчиков зонда соответствует схеме «экспоненциальный фильтр + смещение». Метод коррекции STD-данных, основанный на этой схеме, позволяет существенно уменьшить уровень динамической погрешности при расчёте солёности. Однако неблагоприятные условия натурального эксперимента (качка и дрейф судна) понижают эффективность предложенного метода.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении натуральных наблюдений в океане широко используются зондирующие STD-комплексы, регистрирующие несколько гидрологических характеристик, в частности, электропроводность (*Conductivity*), температуру (*Temperature*) и давление (или глубину, *Depth*). Однако эксплуатация этих приборов с борта дрейфующего судна не обеспечивает заявленной точности измеряемых величин. На качество STD-данных оказывают влияние методические погрешности измерения, определяемые сложными условиями проведения натурального эксперимента [1], и инструментальные, обусловленные характеристиками зонда и стратификацией морской среды [2-6].

Из инструментальных погрешностей – систематических, случайных и динамических – именно последние подверже-

ны наибольшим изменениям в процессе STD-зондирования. Их уровень зависит от стратификации слоя морской воды, инерционности первичных преобразователей (датчиков) зонда и скорости его движения.

В 60-80-е годы различными группами исследователей подробно изучалось влияние скорости перемещения (*V*) прибора в водной среде на инерционные характеристики датчиков электропроводности $R_c(V)$ и температуры $R_t(V)$. Эксперименты с первыми серийными STD-зондами показали значительные расхождения (до нескольких секунд) между величинами постоянных времени (*Response time*) их датчиков. У современных STD-комплексов благодаря совершенствованию технологии изготовления чувствительных элементов первичных преобразователей пределы

¹ 690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43, тел: (4232) 311400, e-mail: lazaryuk@poi.dvo.ru