

М.С.Бочаров, М.И.Скипа

*Отделение гидроакустики Морского гидрофизического института
НАН Украины, г.Одесса*

ПРИНЦИПЫ ПРИЁМА, ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ПРИТОПЛЕННЫХ СИСТЕМ

Рассматриваются вопросы особенностей проектирования и построения притопленных систем для задач автоматизированного сбора и контроля гидрофизических параметров и реагирования на превышение или отклонение от предустановленных значений заданных величин, с возможностью оперативного оповещения по различным каналам связи.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *притопленные системы, автоматизированная система сбор данных, канал связи.*

Всесторонние исследования и наблюдения морской среды Черного моря показывают, что жизнеспособность и экологическая безопасность стремительно ухудшается. Связано это в свою очередь с тем, что экосистема Черного моря включает как само море, так и разнообразные взаимодействующие с ним граничащие с сушей водные объекты. Изменение их состояния и качества воды влияет на процессы, происходящие в прибрежной зоне моря, устье рек, лиманов, бухт, заливов. Своевременное реагирование на изменение состояния и качества вод позволяет принимать меры по снижению и предотвращению влияния техногенных и иных факторов, влияющих на экологическую безопасность бассейна Черного моря и других водных ресурсов. В свою очередь, для решения таких задач требуется построение систем, которые могли бы автоматизировано производить сбор и обработку необходимых данных о морской среде и имели возможность передачи информации потребителю (исследовательское судно, гидрометеоцентр, МЧС и пр.) как планово либо по запросу, так и оперативно при выходе какого-либо параметра за предел предустановленного нормального значения. Вопросам реализации узлов и модулей притопленных систем, а также их функционирования посвящена эта работа.

Функциональная и конструктивная реализация. Исследование процессов, протекающих в океанах и морских бассейнах, может быть эффективным в полной мере только при условии привлечения принципиально новых методов и средств измерения. Современная элементная и техническая база позволяет значительно расширить возможности и гибкость реализации систем наблюдения и контроля состояния водной среды. Существующие современные сигнальные процессоры и контроллеры обладают рядом преимуществ перед ранее используемыми средствами обработки данных, построенных в основном на жесткой логике. Они оснащены быстродействующим ядром с малыми затратами тактов процессора на выполнение операций, богатой периферией (АЦП, ЦАП, DMA и т.д.), большим количеством всевозможных шин передачи данных и при этом обладают ультранизким током потребления и низким напряжением питания. Большой вычислитель-

ный потенциал, высокая интеграция даёт возможность разрабатывать универсальные системы сбора, обработки данных, а также для реализации доставки необходимых данных потребителю по различным каналам связи и различными способами. Низкое энергопотребление и возможность работы процессоров в “спящем” режиме позволяет проектировать системы долгосрочной работы. Кроме указанных выше достоинств, современные сигнальные процессоры и контроллеры обладают малой массой и габаритами, что может дать возможность увеличить удельную емкость элементов питания либо увеличить оснащённость измерительного комплекса и, соответственно, количества измерительных каналов и, соответственно, контролируемых параметров гидрологии водной среды, либо получить значительно меньшие размеры и массу системы в целом. Характеристики некоторых процессоров различных фирм представлены в табл.1.

Системы хранения данных, используемые в устаревших системах сбора данных, которые выполнялись с использованием магнитной ленты и лентопротяжных механизмов, затрудняло доступ к данным, а также несло высокую нагрузку на элементы питания и имели малые объём для хранения информации, требовали дополнительных электронных модулей для преобразования сигналов. Многократное преобразование информационных сигналов могло приводить как к частичной потере данных, так и к искажению прочитанной с ленты информации. Современная твердотельная память типа *NAND Flash* значительно превосходит по параметрам потребления, объема и массогабаритными характеристиками и принципам представления и хране-

Т а б л и ц а 1 . Сравнительная характеристика сигнальных процессоров.

	<i>Analog Device</i> <i>ADuC7060</i>	<i>TI</i> <i>AM1705-456</i>	<i>TI</i> <i>LM3S5P36</i>
ядро	<i>ARM7TDMI</i>	<i>ARM926EJ-S</i>	<i>Cortex-M3</i>
<i>F</i> , МГц	от 0 до 10,24	от 0 до 456	от 0 до 80
память: <i>Flash</i> , кБ	32	32	64
память: <i>RAM</i> , кБ	4	168	24
таймеры: 32-бит, шт	1	2	3
аналоговые входы: разрядов АЦП, бит	24	—	10
аналоговые входы: каналов АЦП, шт.	5	—	8
аналоговые выходы: разрядов ЦАП, бит	16	—	2
<i>VCC</i> , В	от 2,375 до 2,625	от 1,71 до 3,45	от 3 до 3,6
<i>ICC</i> , мА	2,6	0,07	2
<i>TA</i> , °С	от – 40 до 125	от – 40 до 105	от – 40 до 85
<i>LQFP-48 LFCSP-4</i>	<i>LQFP-48 LFCSP-4</i>	<i>TQFP-176</i>	<i>LQFP-64</i>
дополнительные опции	<i>UART, SPI, I2C</i>	<i>UART, SPI, I2C, USB, Ethernet, DMA, ШИМ</i>	<i>UART, SPI, I2C, USB, CAN DMA, ШИМ</i>

ния данных. Твердотельная память *NAND Flash* полностью лишена движущихся частей и способна работать без дополнительных контроллеров с сигнальными процессорами и контролерами. Это в свою очередь также положительно сказывается на энергопотреблении всей системы и её массогабаритных параметрах. Так, *NAND Flash* память фирмы *Hynix* и *Samsung* объёмом от 256 Мб до 1 Гб при питании от 1,8 до 3,3 В потребляют ток в активном режиме (запись/чтение) 10 – 20 мА, в режиме ожидания 1 мА. А при схемной реализации управления питанием можно и вовсе отключить в те промежутки времени, когда работа с памятью не требуется (в промежутках между долгосрочными измерениями).

Для осуществления задач связи, удалённого управления, телеметрии и передачи данных целесообразно использовать несколько каналов связи. Одним из каналов целесообразно применять гидроакустический канал связи. Это позволит при необходимости удалённо без подъёма всей системы и системы якорей и стабилизаторов вводить в работу системы новые директивы, запрашивать и получать необходимые данные как раннее накопленные, так и оперативно полученные с датчиков. Либо при окончании работ по изучению гидрологии данной притопленной системой дать команду на всплытие, при которой система разомкнёт крепление якоря и поднимется на поверхность. В качестве второго канала связи целесообразно применить систему наземной спутниковой связи (*INMARSAT*, *IRIDIUM*, Глобалстар, *Thuraya*). Использование такой системы позволит при плановом либо экстримом всплытии притопленной системы практически моментально предоставить необходимую информацию, либо весь накопленный массив данных потребителю, находящемуся практически в любой точке на земле. И, кроме того, по такому каналу связи существует возможность с высокой точностью определение координат *GPS*, что значительно облегчит поиск системы даже при сносе течением либо воздушными массами. Можно использовать спутниковый одноплатный терминал *DMR-800*, работающий с использованием сети *Inmarsat IsatM2M*, который включает в себя интегрированные спутниковый трансивер, спутниковую *GPS* антенну и дискретные входные/выходные каналы. Встроенный процессор и контроллер позволяет использовать терминал в качестве коммуникационного модема или интегрированного контроллера с набором датчиков и приводов, что при определённых задачах может снизить нагрузку на вычислительные ресурсы основного процессора притопленной системы. *Hibernate* и другие режимы мощности позволяют работать с терминалом в ультранизких режимах мощности, что позволяет значительно увеличить продолжительность жизни источника питания в приложениях удаленного мониторинга. Можно применить и другие встраиваемые системы спутниковой связи и навигации, которые в конкретной поставленной задаче будут удовлетворять по стоимости и производительности. В таких системах управления обмен данными осуществляется по стандартизированным шинам (*RS232*, *RS485*, *USB*, *SPI*, *CAN*), которые также входят в состав сигнальных процессоров и контроллеров, что, в свою очередь, обеспечивает гибкость при выборе аппаратуры спутниковой связи и при конструировании и разработке систем сбора и контроля данных.

Предложенные выше принципы построения притопленной системы сбо-

ра и контроля гидрофизических параметров позволят значительно расширить возможности системы с обеспечением следующих функций:

- формирование стандартизированных форматов измерительных каналов, вычисление измеряемых физических величин путём решения градуированных уравнений, вычисление различного рода поправок, коррекция данных;

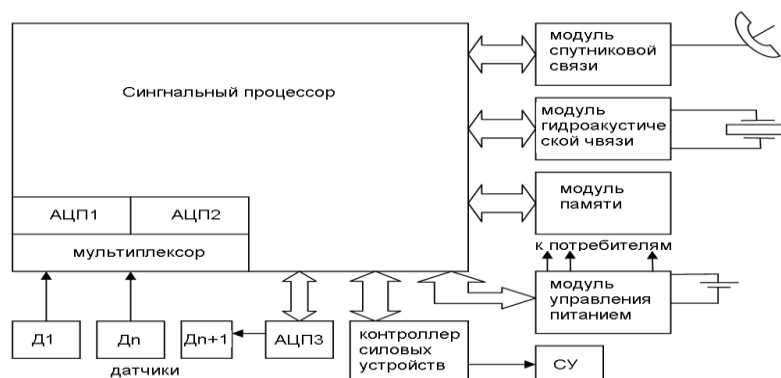
- выполнение относительно сложных вычислений, связанных с расчётом различных величин (скорости звука, плотности, солёности, потенциальной температуры, удельной электропроводности и гидростатического давления); формирование таблиц; запись всей совокупности вычисленных элементов в твердотельную память; взаимная увязка и коррекция различных элементов (например, интерполяция на стандартную сетку глубин, осреднение с заданным шагом и т.п.);

- введения обратной связи от вычислительных процессов к процессам управления измерениями. Цель управления заключается в достижении заданных критериев качества наблюдений путём согласования режима измерений со статической структурой измеряемых элементов. Контроль и прогнозирование состояния определённых заданных величин гидрологии с последующим оповещением наземных служб при совокупном значении параметров, указывающих на возможность экологической или иной опасности. При управлении может изменяться частота опросов и разрядность измерительных каналов, скорость относительного движения первичный преобразователь – среда, длительность записи, расположение первичных преобразователей в пространстве и т.п.

- выполнение операций по обеспечению гидроакустической связи связанных с корреляционной обработкой принятых сигналов, их декодированием и исправлением ошибок связи, вызванных сложностями и особенностями передачи информации по гидроакустическим каналам связи; обеспечение защиты передаваемых данных от перехвата и подмены методами шифрования.

Функциональную схему системы сбора и контроля данных можно представить следующим образом, как на рис. 1.

Предварительная обработка физических величин. При изучении гидрологического (гидрометеорологического) состояния в морском бассейне наиболее часто проводится измерение величин, таких как температура, гидростатическое давление, электропроводимость, скорость и направление



Р и с . 1 . Функциональная схема притопленной системы.

течения. В зависимости от поставленных задач ряд параметров может быть расширен и дополнен. Основной набор данных в основном получаю посредством CTD-систем, где в прямом виде с датчиков получают посредством АЦП цифровой двоичный код для значений температуры N_t , гидростатического давления N_p и удельную электропроводимость N_N . Затем производится расчёт истинных значений этих величин – t , $p_{in situ}$, $N_{s,t,p}$ по формулам

$$t = C_{ot} + C_{1t}N_t, \quad (1)$$

$$N_{s,t,p} = C_{0N} + C_{1N}N_N, \quad (2)$$

$$p = C_{op} + C_{1p}N_p + C_{2p}N_p^2. \quad (3)$$

где C_{ot} в °C; C_{1t} в °C/дв.разр; C_{0N} в мСм/см; C_{1N} в мСм/(см·дв.разр); C_{op} в дбар, C_{1p} в дбар/дв.разр, C_{2p} в дбар/(дв.разр)² – градировочные коэффициенты.

Последующая обработка заключается в вычислении скорректированных значений температуры, удельной электропроводимости и гидростатического давления с учётом частотных характеристик первичных преобразований и различия времени измерения перечисленных элементов. Более детально о методах коррекции рассказано в [1]. Затем по скорректированным значениям t , p , N вычисляются глубина $h(p)$ и солёность $s(t, p, N)$. Глубина вычисляется по формуле

$$h = 0,9919p - 0,2121p^2 \cdot 10^{-5}. \quad (4)$$

Следующий этап обработки данных предусматривает расчёт плотности и скорости распространения звука в морской среде c , вертикальная гидростатическая устойчивость вод N_v^2 . В последнюю очередь осуществляется расчёт градиентов перечисленных элементов с последующим приведением информации к стандартным формам для регистрации на долговременном носителе либо для передачи по каналам связи в наиболее компактном виде.

Последующим этапом в совершенствовании и развитии измерительной вычислительной системы гидрофизического эксперимента направлено на уменьшение избыточности измерительной информации, что может положительно сказаться на временных и энергетических характеристиках при передаче сообщений, а также компактного представления данных при хранении на твердотельном носителе. Ниже представлена сводная таблица (табл.2) различных измерительных каналов физических величин, обладающих максимальной разрешающей способностью и точностью измерения, существующих зондирующих измерительных комплексов, представленных в [2, 3], с расчетными значениями количества разрядов на одно измерение.

Приведённые в табл. 1 и 2 значения количества разрядов представления данных и разрядности АЦП указывает на то, что можно производить преобразование измерений при помощи АЦП, встроенных в сигнальные процессоры, разрядность которых составляет порядка 24 бита, а превышение разрядной сетки АЦП и физических величин позволяет уменьшить погрешности ошибок в младших разрядах. Причём, можно использовать как мультиплексированные каналы, так и при необходимости независимые, причём скорости преобразования, составляющие от 100 до 1000 кГц, могут удовлетворять практически любым требованиям частоты измерений. При необходимости можно применять и внешние преобразователи, связанные с процессором

Т а б л и ц а 2. Разрядность данных.

№ п/п	физическая величина	диапа- зон из- мерений	цена еди- ницы младшего разряда	максим. кол-во гра- даций физ. вел.	кол-во раз- рядов представ. данных
1.	температура, °С	2 – 35	0,001	37000	16
2.	гидростатическое дав- ление, МПа	0 – 62	0,001	62000	16
3.	удельная электропро- водимость, См/м	1,5 – 6,5	0,00025	20000	15
4.	направление течения °	0 – 360	1	360	9
5.	скорость течения, м/с	0 – 1,5	0,0025	600	10
6.	скорость распростра- нения звука в воде, м/с	1425 – 1575	0,013	11539	14

посредством стандартных шин и линий связи. Разное значение разрядности физических величин, а также их зависимость между собой [1], как прямая, так и обратная, позволяют в целях уплотнения помещать в одно слово фиксированной разрядности разные типы данных, что положительно скажется в эффективности хранения структурированных данных, таблиц значений с учётом особенностей файловой системы либо при формировании пакетов передачи данных фиксированной длины для различных каналов связи [3].

Критерии информационного обмена. Разработка и эффективная эксплуатация информационных гидроакустических систем предусматривает знание особенностей теории и практики излучения и приема физических сигналов с учетом всего комплекса определяющих факторов с перспективой выработки единого подхода к их статистическому синтезу без ограничений узконаправленными требованиями конкретных задач. Для гидроакустического канала связи свойственно ряд факторов, которые влияют на качество и возможности связи: маскирующие влияние помех, воздействующие на приёмную антенну, многолучевое распространение акустических сигналов с разной степенью запаздывания, относительно медленное распространение акустических сигналов.

При построении гидроакустической системы в качестве сигнала запроса используются кодированные сигналы – широкополосные сигналы с высокой степенью сложности, а в качестве режима модулирования сигнала - частотную манипуляцию, которая обеспечивает максимальную устойчивость приёма сигналов в условиях интерференции, флуктуаций и замираний.

В ответчик, при указанной выше реализации, для приёма кодированных сигналов запроса используются устройства корреляционного приёма или согласованной фильтрации, а также с применением адаптивных фильтров [4, 7]. Для связи можно предусмотреть как однополосный режим работы (запрос и ответ на одной частоте), обеспечивающий максимальную дальность, так и двухчастотный режим (запрос на одной частоте, а ответ на другой), обеспечивающий меньшее время опроса приёмников (на меньших дальностях).

Для борьбы с межсимвольной интерференцией, а также для исправления ошибок передачи необходимо применять алгоритмы эффективного кодирования. Применение свёрточных кодов и декодирование по алгоритму Витерби [5] позволяет решать такие задачи с высокой эффективностью. Такое решение хоть и привносит избыточность, но является оправданным в связи с высокой достоверностью и возможностью исправления ошибок при их возникновении.

Алгоритмы эффективного приёма входят в конструкцию аппаратуры спутниковой связи, поэтому нет необходимости в их реализации в этих каналах. Однако, стоит уделять внимание организации информационно-командных пакетов данных, причём, как для передачи одним каналом связи, так и другим.

При использовании спутниковой мобильной связи в качестве канала передачи данных существует возможность подключения типа клиент-сервер, при которой процессор системы производит управление и обмен данными со спутниковым оборудованием посредством АТ команд, а при установлении соединения, производит обмен данными по *FTP* либо *Telnet* протоколу, по заранее заложенным в систему алгоритмам. При таком методе взаимодействия однозначная идентификация той или иной системы производится по номеру телефона абонента сети.

Что касается использования гидроакустического канала связи в качестве канала передачи данных, то он требует реализации специализированного протокола представления команд и данных. Можно реализовать следующую модель, где разделим пакеты на следующие виды: командный, информационный и подтверждение.

Командный пакет служит для осуществления управления притопленной системой с борта судна или системы сбора данных (надводный буй или др.). Команда по своей структуре имеет следующий вид: в первой части записывается адрес необходимой для обмена системы (3 – 5 бит, в зависимости от масштабов сети), далее команда (около 5 бит), обеспечивающая всевозможные варианты взаимодействия систем, и завершает пакет информационное наполнение (8 – 22 бит) для реализации неоднозначных команд, требующих дополнительной инструкции. Причём при однозначной команде информационное наполнение опускается и не передаётся, что в свою очередь положительно сказывается на скорости взаимодействия, а также на энергетических свойствах систем.

Информационный пакет предназначен для передачи информации от притопленной системы к потребителю. Он также состоит из нескольких частей. Первая несёт адрес устройства (3 – 5 бит). Вторая – информационное наполнение. Причём, если с борта судна или другой управляющей системы передаётся какая-либо однозначная команда, не требующая передачи информации в ответ, то притопленная система посылает только свой адрес, в подтверждение того, что команда принята и распознана.

Информация, передаваемая либо принимаемая притопленной системой, может иметь стратегическое значение, её умышленное искажение или подмена могут повлечь финансовые потери, принятие неверных решений и т.п., поэтому при реализации механизмов и алгоритмов функционирования сле-

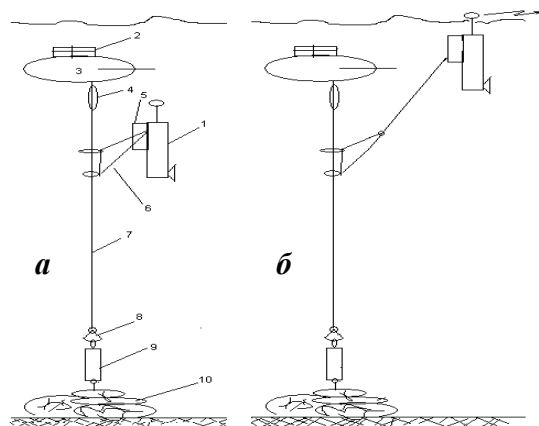
дует уделить внимание методам шифрования данных [6]. Так, например, при организации гидроакустического канала связи можно применить алгоритм сложения информационных пакетов с ключом по модулю два, а ключ циклически менять по методу скольжения. Такой метод не привносит избыточность в информационный пакет и не труден в реализации. Для передачи сообщений спутниковым каналом связи можно применить более сложные алгоритмы шифрования, к примеру, *DES* или *3DES*.

Алгоритм работы притопленной системы. При проведении исследования состояния гидрологии притопленными системами возможны различные вариации проведения эксперимента, в зависимости от поставленных задач. Рассмотрим некоторые из них с описанием алгоритмов их работы и взаимодействия с другими системами.

Стационарный режим, при котором система сбора данных устанавливается в требуемом географическом месте на определённой глубине при помощи системы якорей притопленного держащего буя, непосредственно на тросе между ними. При этом чаще всего производится долговременный контроль и накопление параметров измеренных величин. Также в конструкции целесообразно использовать гидроакустический размыкатель вблизи якоря, который при истечении времени эксперимента по сигналу с судна либо при истощении источников питания притопленной системы по её команде, разомкнёт якорный трос, что позволит системе всплыть на поверхность для её дальнейшего свёртывания. А в критических случаях при всплытии обеспечить подачу сигнала бедствия и своего местоположения, величин измерения, которые вышли за допустимые пределы посредством системы спутниковой связи.

Режим динамических измерений, часто направлен на измерения профилей зависимости физических величин от глубины погружения. Такой режим измерения также направлен на долгосрочное пребывание системы в режиме измерения. Для реализации такого режима необходимо оборудовать притопленную систему блоком плавучести [2], а также обеспечить свободное скольжение по тросу между якорем и притопленным буюм. При таком режиме энергетические затраты системы немного выше чем в предыдущих вариантах систем, поэтому необходимо учитывать ёмкость источников питания и при необходимости увеличить её. Для сворачивания системы и возможности оповещения в критических ситуациях также следует предусмотреть гидроакустический размыкатель вблизи якоря.

Для расширения возможностей притопленной системы, её можно обеспечить блоком подмотки с бухтой прочного троса либо капроновой лески, которое позволит проводить всплытие измерительной системы на поверхность для передачи экстренных сообщений посредством канала спутниковой связи и дальнейшее её погружение для продолжения проведения измерений и контроля состояния морской среды. Такой метод реализации системы является наиболее оптимальным, так как снижает затраты на периодическое снятие и постановку системы при её экстренном всплытии, а также даёт возможность получать массив накопленных данных измерений по графику либо по надобности, а не по окончанию проведения эксперимента. Схема постановки притопленной системы представлена на рис.2



Р и с . 2. Схема станции с притопленным буйем и притопленной системой сбора и обработки информации в режиме измерения (а) и связи по спутниковому каналу (б): притопленная система с датчиками системы гидроакустической и спутниковой связи (1), угловой отражатель (2), притопленный буй (3), вертлюги (4), блок подмотки троса (5), скользящая система со стабилизацией устойчивости (6), буйреп (7), вертлюг (8), размыкатель троса (9), якоря (10).

Выводы. Для обеспечения продолжительных наблюдений в стационарном режиме и обеспечения непрерывного контроля и анализа состояния окружающей среды необходимо при разработке оборудования уделять особое внимание конструктивным особенностям и алгоритмам функционирования. Критерии и принципы построения современной системы сбора и контроля данных гидрологии морских бассейнов можно представить в следующем виде:

1. В качестве элементной базы применять современную микропроцессорную технику высокой интеграции и обладающую ультранизким потреблением – в частности сигнальные процессоры.

2. Предусматривать в конструкции несколько типов каналов связи и передачи данных, что в свою очередь может расширить возможности эксперимента и обеспечить гибкость, высокую скорость и надёжность получения данных.

3. Производить анализ и обработку значений физических величин сразу после их получения посредством вычислительных ресурсов микропроцессорной системы, что позволит сократить объём памяти, занимаемой данными, исключить излишнее дублирование данных, а также позволит снизить нагрузку на канал передачи данных при трансляции.

4. Вводить в обработку обратную связь между частотой замеров и показаниями датчиков, что позволит сократить число ненужных измерений и исключит ложные выборки.

5. Применять к входным измеряемым величинам математические и алгоритмические методы уплотнения и комбинирования данных.

6. При реализации гидроакустического канала передачи данных в качестве сигналов запроса использовать широкополосные частотно манипулированный сигнал с высокой степенью сложности. Это обеспечит максимальную устойчивость приёма сигналов в условиях интерференции, флуктуаций и замираний.

7. Для приёма кодированных гидроакустических сигналов использовать устройства корреляционного приёма с распознаванием сигналов по максимуму правдоподобия.

8. Для исправления ошибок, возникающих при межсимвольной интерференции, применять алгоритмы эффективного кодирования при помощи свёрточных кодов и декодирования по алгоритму Витерби, что позволяет отслеживать и исправлять ошибки.

9. Использовать протокол обмена данных и управления с плавающей длиной кода, что позволяет уменьшить энергетические затраты при передаче информации с различным информационным наполнением.

10. Осуществлять связь с режимом подтверждения принятого пакета.

11. Обеспечивать в протоколе взаимодействия адресацию приёмопередающих устройств, что обеспечит возможность использовать сети систем сбора и контроля данных, однозначной идентификации каждой системы в отдельности.

12. Применять алгоритмы шифрования информации с плавающим кодом без избыточности.

13. Для обеспечения гибкости и универсальности проведения измерений, а также для обеспечения дополнительных возможностей притопленной системы в конструкции следует предусмотреть блок плавучести и блок течения и подмотки троса. Внедрение этих блоков может обеспечить высокую скорость получения данных без прекращения функционирования системы, а также вводит дополнительные возможности в процесс измерения.

14. В полностью развёрнутой системе применять дополнительно гидроакустический размыкатель троса, установленный вблизи якоря. Такое решение позволит осуществлять быстрое сворачивание системы либо в случае аварии на притопленной системе выполнить экстренное всплытие.

Предложенные выше принципы реализации и функционирования притопленных систем способствуют построению эффективно работающих систем, обладающих высокой помехозащищённостью, экономичностью и надёжностью, которые с высокой вероятностью исключают ложный приём. Разработанная по этим принципам аппаратура способна решать широкий круг поставленных задач при осуществлении контроля за состоянием окружающей среды, как при оперативных, так и при длительных наблюдениях, и производить доставку информации в короткие сроки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Парамонов А.Н., Кушнир В.М., Заикин В.М.* Автоматизация гидрофизического эксперимента. – Л.: Гидрометиздат, 1982. – 216 с.
2. *Нелепо Б.А., Смирнов Г.В., Шадрин А.Б.* Интегрированные системы для гидрофизических исследований. – Л.: Гидрометиздат, 1990. – 236 с.
3. *Ястребов В.С.* Системы и элементы глубоководной техники подводных исследований. – Л.: Судостроение, 1981. – 300 с.
4. *Бочаров М.С., Скипа М.И.* Возможности передачи информации в условиях априорной неопределённости параметров акустического канала связи с применением адаптивного моделирования // Консонанс-2009. Акустичний симпозиум. 29 вересня – 1 жовтня 2009 р. – Київ: Інститут гідромеханіки, 2009. – С.109-114.
5. *Николаев Б.И.* Последовательная передача дискретных сообщений по непрерывным каналам с памятью. – М.: Радио и связь, 1988. – 263 с.
6. *Маракова И.И., Рыбак А.И., Ямпольский Ю.С.* Защита информации. Криптографические методы. – Одесса, 2001. – 175 с.
7. *Скляр Б.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
8. *Бурдик В.С.* Анализ гидроакустических систем. – Л.: Судостроение. 1988. – 391 с.

Материал поступил в редакцию 12.11.2010 г.