

А.Ф. Садовский

НИЦ РЭВ и ФИР ВМФ НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Россия

## МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НОСИТЕЛЯ С ПОГРУЖЕННЫМ АВТОНОМНЫМ НЕОБИТАЕМЫМ ПОДВОДНЫМ АППАРАТОМ ПО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ

**Объект и цель научной работы.** Объект научной работы – гидроакустический канал связи, соединяющий корабль-носитель и погруженный автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА). Предметом научной работы является изучение влияния тактико-технических характеристик системы гидроакустической связи на эффективность действий АНПА с целью ее повышения.

**Материалы и методы.** В ходе выполнения научной работы применялся метод системного анализа и оценки эффективности. Была построена обобщенная модель взаимодействия, отображающая существенные взаимосвязи реального процесса деятельности сил флота.

**Основные результаты.** Модель взаимодействия носителя с АНПА по гидроакустическому каналу сочетает в себе оптимальные технические решения по передаче больших объемов информации и способы боевого применения средств гидроакустической связи. Применение в первичной оценке изображений, полученных от средств обнаружения в усеченном виде с малым объемом, позволит сэкономить энергоресурс аккумуляторных батарей и сократить потребность в использовании большого трафика канала. Вместе с тем для более детального анализа можно получить от аппарата только необходимый и достаточный объем информации в виде полноразмерных изображений.

**Заключение.** Теоретическая значимость работы заключается в разработке методических положений организации обмена информацией с АНПА, позволяющих выявить закономерности использования гидроакустического канала связи, влияющие на эффективность применения АНПА, улучшение которых должно привести к повышению боевой эффективности их носителей. Практическая значимость работы определяется применением новой модели передачи информации в условиях многолучевого гидроакустического канала с переменными во времени параметрами в документах по техническому проектированию перспективных средств гидроакустической связи.

**Ключевые слова:** модель взаимодействия, гидроакустический канал, модем, автономный необитаемый подводный аппарат, технические характеристики, освещение подводной обстановки, противоминные действия, передача информации.

Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Для цитирования: Садовский А.Ф. Модель взаимодействия носителя с погруженным автономным необитаемым подводным аппаратом по гидроакустическому каналу. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; 1(383): 113–118.

УДК 629.57:534-14

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-383-113-118

A. Sadovsky

N.G. Kuznetsov Naval Academy, St. Petersburg, Russia

## MODEL OF MOTHER SHIP INTERACTION WITH SUBMERGED UUV VIA SONAR LINK

**Object and purpose of research.** This paper studies sonar link for communications between mother ship and submerged unmanned underwater vehicle (UUV). The purpose of the work is to investigate how sonar link could help in making UUVs more efficient.

**Materials and methods.** This study was performed as per system analysis method and efficiency assessment method. A generalized interaction model developed under this study shows important interrelations in real activities of naval forces.

**Main results.** The model of mother ship interaction with UUV via sonar link combines optimal technical solutions on transmitting large volumes of information and methods of applying sonar-based communications in real warfare conditions. The images coming from sensors for primary assessment are low-quality, which saves battery resource and data traffic.



Along with it, if required, UUV will be able to transmit high-quality images in the scope necessary and sufficient for a more detailed analysis.

**Conclusion.** Theoretical value of this study is development of methodology for data exchange with UUV. This methodology points out how sonar data link could be used to improve operational efficiency of UUVs and, consequently, of their mother ships. Practical value of this work is application of a new data transfer model to a multi-beam sonar link with time-variable parameters, which will be helpful in development of detailed design documents for advanced sonar communications systems.

**Key words:** interaction model, sonar link, model, UUV, performance parameters, underwater situational awareness, mine countermeasures, data transfer.

Author declares lack of the possible conflicts of interests.

For citations: Sadovsky A. Model of mother ship interaction with submerged UUV via sonar link. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; 1(383): 113–118 (in Russian).

УДК 629.57:534-14

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-1-383-113-118

В условиях ведения высокотехнологичных боевых действий на море остро встает необходимость организации информационного обмена между кораблями-носителями и морскими робототехническими комплексами, например, такими как автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА). Информацию под водой можно передавать при помощи различных каналов связи (оптического, радио, проводного), но основным беспроводным каналом является гидроакустический, причем при выполнении задач АНПА подо льдом гидроакустический канал становится единственно возможным для взаимодействия с обеспечивающим кораблем. При изучении способов передачи информации от погруженных АНПА различного назначения [1–6] можно выделить два основных направления. Первое, когда аппарат после окончания миссии поднимают на борт корабля-носителя и либо подключают к нему кабель, либо по Wi-Fi-радиоканалу скачивают информацию от средств обнаружения для последующего анализа. Второй, когда аппарат в подводном положении присоединяется к подводному доковому устройству и с помощью механического подключения к линии передачи (как правило, волоконно-оптической) передает информацию на пункт управления. По гидроакустическому каналу связи происходит только обмен данными телеметрии.

Для решения противоречия при передаче большого объема информации под водой в условиях ограничения распространения гидроакустического сигнала и предложена разработанная модель. В данном случае под моделью взаимодействия между кораблем-носителем и погруженным АНПА понимается описание правил и процедур передачи данных в различных сетевых средах при организации сеанса связи.

При функционировании гидроакустических средств передачи информации необходимо учиты-

вать их технические возможности, а при изменении гидроакустических условий и тактической обстановки требуется их адаптация. Например, наиболее достижимый путь обеспечения требуемой достоверности обмена данными – это учет искажений передаваемой информации в ходе сеансов связи и, в случае необходимости, ее повторная передача. Эффективным способом достижения максимальной скорости передачи является увеличение полосы пропускания линии передачи. Для физической реализации модели информационного взаимодействия погруженного АНПА с носителем потребуется гидроакустический модем, применяющийся в системах гидроакустической связи для сопряжения информационного сигнала со средой его распространения. Он должен обеспечивать гидроакустическую связь с заданными характеристиками по скорости передачи, дальности взаимодействия, рабочему диапазону частот. Аппаратура гидроакустической связи корабля-носителя и АНПА должна обеспечивать непрерывный обмен информацией на заданных дальностях с целью передачи между корреспондентами следующих основных данных:

- формуляры обнаруженных объектов;
- данные о режимах работы АНПА и результаты контроля работоспособности;
- команды телеуправления и доклады телеметрии, в том числе о текущих координатах АНПА (географические и относительные) и параметрах его движения (курс, скорость, глубина погружения, крен, дифферент, параметры рыскания по курсу);
- текущие значения скорости звука;
- помехо-сигнальная обстановка в ответственных каналах рабочего диапазона частот средств освещения подводной обстановки;
- телевизионные и фотокадры.

Все эта информация необходима оператору для контроля состояния АНПА, учета меняющейся тактической обстановки и компенсации неблагоприятного воздействия среды распространения акустической энергии. Учет этих значений позволит оптимально выполнить поисковую задачу с заданным качеством. Представленная модель информационного взаимодействия как аналог процесса обмена данными, функционирующего в целях поддержки принятия решения об обнаружении подводного объекта, предназначена для оптимизации работы канала связи. Решение об обнаружении должно приниматься на основании полученной достоверной информации от средств освещения подводной обстановки АНПА, причем в современных условиях требуется обеспечение такой информацией в масштабе времени, близком к реальному.

На процесс взаимодействия оператора и погруженного АНПА при использовании гидроакустического канала воздействуют неблагоприятные условия распространения сигналов и несовершенство приемо-передающей аппаратуры. Все это приводит к тому, что оператор вынужден принимать решение, основываясь на информации, полученной после подъема АНПА на борт корабля-носителя. Чаще всего процесс поиска завершается с помощью телеуправляемого необитаемого подводного аппарата, выходящего на визуальный контакт с подводным объектом, координаты которого предварительно зафиксировал АНПА. Отсутствие адаптации к гидроакустическим условиям, а также отсутствие реакции оператора на текущую обстановку за счет оптимального использования технического ресурса приемо-передающих подсистем затрудняет или вообще нарушает процесс получения информации о подводной обстановке. Кроме того, дополнительное обследование подводного объекта при помощи видео- и фотокамер приводит к увеличению времени выполнения задачи обнаружения подводных объектов, что негативно сказывается на оперативности решения поисковых задач в целом. На рис. 1 (см. вклейку) приведен пример структурно-логической схемы типичной модели взаимодействия погруженного АНПА с кораблем-носителем.

При одновременном действии в районе нескольких АНПА, обладающих гидроакустическими средствами связи со сходными параметрами сигналов, неизбежно возникает необходимость обеспечения их беспрепятственной работы в условиях встречного обмена. Вместе с тем в процессе выполнения задачи АНПА накапливают большое количество информации от средств освещения подводной

обстановки, которые необходимо довести до оператора. Как правило, эта информация состоит из кадров, снятых техническими средствами наблюдения (впередсмотрящим гидролокатором, гидролокатором бокового обзора, фото- и видеокамерами), и имеет объем, исчисляемый десятками мегабайт. Организовать прохождение такого массива информации одними техническими способами экономически крайне нецелесообразно, а зачастую и конструктивно невозможно. Поэтому задачу нужно решать в двух плоскостях: технической и организационной. С технической точки зрения реализация сводится к применению нескольких основных вариантов. Необходимо использовать разные частотные диапазоны для каждого режима работы, обеспечивающие «информационную» составляющую в обмене данными (ОД) и составляющую «командную» с применением специфических типов сигналов. Кроме того, передавать весь объем зафиксированной информации не требуется, достаточно определенных «маркеров» для привлечения внимания оператора. С позиций организации обмена информации, целесообразно применить разработанную модель (рис. 2, см. вклейку), которая учитывает состояния каждого АНПА и позволяет гибко использовать технический ресурс приемо-передающих подсистем корреспондентов в зависимости от гидроакустических условий и тактической ситуации. Модель взаимодействия корабля-носителя с погруженными АНПА предполагает в своей основе применение методики оптимизации параметров гидроакустических приемо-передающих трактов взаимодействующих корреспондентов.

Опишем предложенную модель на примере типовой поисковой задачи в рамках противоминных действий. Корабль-носитель с роботизированным комплексом с двумя одинаковыми АНПА занимает назначенный район и выставляет гидроакустические маяки-ответчики. По запросу от АНПА маяки излучают сигнал «ответа» с параметрами кодирования, присущими конкретному маяку. В условиях, когда нет возможности выставить маяки-ответчики, навигационная задача для АНПА решается за счет системы ультракороткой базы, совмещенной с антенной обеспечения гидроакустического канала связи. После спуска на воду двух АНПА они расходятся в назначенные районы. В последующем эти районы сдвигаются вперед, формируя в пространстве полосу заданной ширины. В соответствии с программой разведывательного поиска по назначенной схеме маневрирования корабль-носитель отходит на безопасное расстояние и ложится

Пример формуляра обнаруженного миноподобного объекта  
Example of a log for detected mine-like object

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
21.05.17	19.42.55	23.33	5	65.52	1	125	800	-10	2	0,8

в дрейф (одерживает свое место). При подготовке к выполнению задачи оператор заводит в каждый АНПА схему обследования соответствующего района методом «Параллельных галсов» в виде последовательности параллельных взаимобратных галсов. Рабочие галсы заданы с учетом «перекрыша» поисковых полос. Аппараты погружаются и выполняют заданную программу в своих районах с назначенными координатами. Заложен однотипный алгоритм действий каждого аппарата, который рассмотрим на примере АНПА № 1.

С занятием оптимального горизонта выполнения задания с учетом гидролого-акустических условий АНПА № 1 докладывает на корабль-носитель в режиме телеметрии по двадцатиминутному циклу передачи. Для передачи используются сигналы типа СКС (связь короткими сигналами) – тип сигналов с фазовой модуляцией, основанный на алгоритмах формирования сигналов режима автоматической телетайпной гидроакустической связи, но без передачи служебной информации для поиска и синхронизации, и предназначенный для передачи коротких команд или информации состояния. В докладе указываются значения курса, скорости, глубины погружения, географические координаты, измеренные бортовыми навигационными средствами, техническое состояние критически важных бортовых узлов и систем. Для разноса передачи по времени и в целях устранения «перекрестной» работы доклад от АНПА № 1 производится в соответствии с назначенным сеансом связи на каждую нечетную десятку минут часа (10, 30, 50 минут). Доклад от АНПА № 2 производится в соответствии с назначенным сеансом связи на каждую четную десятку минут часа (0, 20, 40 минут). АНПА обследует техническими средствами освещения подводной обстановки толщу воды и дно в целях обнаружения и классификации миноподобных объектов. Обнаружение объектов вперёдсмотрящим гидролокатором с высокой разрешающей способностью и гидролокатором бокового обзора производится в автоматическом режиме. Полоса обзора формируется зоной обзора гидролокатора бокового обзора и вперёдсмотрящего гидролокатора, который работает в его мертвой зоне (рис. 3,

см. вклейку). Цель обследования состоит в том, чтобы добиться осмотра всего района методом последовательного перемещения по заданному маршруту. Путем «склейки» изображений, полученных от всех средств освещения подводной обстановки, формируется схема обнаруженных объектов, привязанных к географическим координатам на карте.

При отсутствии обнаруженных объектов доклады на корабль-носитель не производятся; аппарат действует по назначенной программе и делает плановые доклады в соответствии с расписанием. Объекты, классифицированные как миноподобные, подлежат идентификации. В практике ведения противоминных действий в качестве средства, позволяющего идентифицировать миноподобные объекты, как правило, используются телевизионные средства. Идентификацию можно считать выполненной, когда установлен тип мины и конкретный образец. При обнаружении объекта, классифицированного как миноподобный, аппарат производит немедленный доклад на корабль-носитель в режиме телеметрии с использованием сигналов типа СКС. Формуляр цели, передаваемый АНПА, содержит краткую закодированную информацию, для того чтобы оператор принял первичное решение об обнаружении. В формализованном виде информация представлена в таблице. Столбец с соответствующим номером несет информацию о:

1. дате обнаружения миноподобного объекта;
2. времени обнаружения миноподобного объекта;
3. широте точки, где произошло обнаружение;
4. номере обнаруженной цели, присвоенном при комплексной обработке информации;
5. долготе точки, где произошло обнаружение;
6. канале обнаружения: 1 – вперёдсмотрящий гидролокатор, 2 – гидролокатор бокового обзора;
7. пеленге на объект (при наличии);
8. дистанции до объекта (при наличии);
9. угле наклона характеристики направленности антенны (при наличии);
10. классе объекта: 1 – якорная мина, 2 – донная, 3 – придонная;
11. достоверности принятого решения (вероятности автоматической классификации).

При нахождении на оптимальной дальности обмена вместе с этими данными передается кадр, полученный от средства обнаружения в режиме обмена данными с использованием сигналов типа СЧС (частотно-шумоподобные сигналы) или сигнала на базе технологии (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing), по результатам которого аппаратом принято автоматическое решение об обнаружении. При OFDM-модуляции осуществляется частотное ортогональное разделение каналов с мультиплексированием, предполагающее передачу данных параллельно на множестве несущих частот. Основная идея OFDM заключается в использовании набора ортогональных несущих частот. Ортогональность функций означает, что их произведение, усредненное на некотором интервале времени, должно быть равно нулю. Несмотря на то, что сами частотные подканалы могут перекрывать друг друга, ортогональность несущих сигналов гарантирует независимость каналов друг от друга, а следовательно, отсутствие межканальной интерференции, что позволяет значительно экономить частотный ресурс. Для преодоления недостатка сигналов типа OFDM, связанного со слабой помехозащищенностью при работе в условиях многолучевого канала, может использоваться метод формирования сигналов, обеспечивающий повышение скорости передачи информации путем частотного уплотнения сигналов и отличающийся наличием ортогональной синхронизирующей компоненты, формируемой в общей полосе частот (сигналы типа СЧС). Такие сигналы состоят из двух компонентов, созданных на основе псевдослучайных последовательностей – синхронизирующей и информационной. Синхронизирующая компонента занимает весь спектр сигнала, информационная состоит из восьми элементарных частотных сигналов, равномерно распределенных по полосе. Информация закладывается в фазовый сдвиг информационной компоненты. Данный тип сигнала имеет максимальную помехоустойчивость и низкую удельную информационную плотность.

С получением данного доклада оператор на корабле-носителе переводит гидроакустический канал из дежурного приема в режим обмена данными, по которому начинает работать алгоритм оптимизации параметров сигналов. Произведя взаимное ориентирование по дальности, углу наклона и пеленгу на АНПА № 1, оператор передает на аппарат команду на подготовку к приему команд телеуправления. Отличие предлагаемой модели заключается в частотном разнесении сигналов телеуправления

и взаимного ориентирования с сигналами телеметрии и обмена данными. АНПА готов принимать сигналы телеуправления всегда. С получением от аппарата квитанции о готовности к приему в соответствующем режиме СЧС (OFDM) с заданными параметрами сигналов (частотный диапазон, полоса передачи, защитный интервал, мощность излучения), в зависимости от способа модуляции и гидроакустических условий, оператор в режиме телеуправления на базе сигналов СЧС назначает аппарату координаты и параметры движения для выхода на визуальный контакт с миноподобным объектом. Одновременно с этим, после окончания приема нового задания, аппарат в режиме обмена данными с использованием сигналов СЧС или OFDM начинает передачу данных на корабль-носитель. Для сокращения времени передачи передаются только «иконки», представляющие собой исходные графические кадры гидроакустических средств, уменьшенные до размера в 5 килобайт (рис. 4, 5, см. вклейку).

Такую группу кадров можно передавать во всем диапазоне дальностей обмена с использованием сигналов типа СЧС. После первичного анализа полученных «иконок» гидролокационного изображения оператор выбирает интересующий его кадр и дает команду АНПА на передачу этого кадра в высоком разрешении:

- для впередсмотрящего гидролокатора – эхолотное изображение, по результатам анализа которого сработал автоматический обнаружитель;
- для гидролокатора бокового обзора – группа последовательных изображений, в которых объект находится в центре, с линейными размерами 5×5 м.

По результатам анализа кадра оператор принимает решение о необходимости дополнительного обследования обнаруженного объекта. В точке с заданными координатами АНПА включает средства фото- и видеофиксации на определенный промежуток времени. Полученные фотоснимки и малокадровое видео, обработанные для передачи по гидроакустическому каналу, готовятся к передаче. АНПА сообщает на корабль-носитель о готовности к передаче большого объема информации от средств идентификации. Корабль-носитель в режиме телеуправления циркулярно передает на другой АНПА сигнал о запрете передачи в гидроакустическом канале, чтобы расчистить полосу приема, и дает квитанцию на первый АНПА о готовности к принятию информации. Начинается прием

«иконок», полученных с фото-видеоаппаратуры (рис. 6, см. вклейку).

Если с первого раза информации оказалось достаточно для принятия оператором решения об обнаружении мины, то на АНПА в режиме телеуправления дается команда о возвращении к выполнению базовой программы или начинается передача большого объема информации в режиме обмена данными для корректуры действующей программы. Вместе с этим запрашивается текущее состояние и ход выполнения миссии АНПА № 2. При переходе к базовой программе аппараты возвращаются к типовому двадцатиминутному циклу передачи информации. При дальнейшем обнаружении миноподобных объектов описанный алгоритм действий повторяется.

Представленная модель взаимодействия носителя с погруженным АНПА по гидроакустическому каналу является симбиозом оптимальных технических решений по передаче больших объемов информации и способов боевого применения средств гидроакустической связи. Использование в первичной оценке оператором полученных изображений от средств обнаружения в усеченном виде с малым объемом (до 5 килобайт) информации позволит сэкономить энергоресурс аккумуляторных батарей и сократить потребность в использовании большого трафика канала. Вместе с тем для более детального анализа можно получить от аппарата только необходимый и достаточный объем информации в виде полноразмерных изображений, который гидроакустический канал способен передать во всем диапазоне дальностей обмена.

Проведенные расчеты по анализу эффективности применения роботизированных комплексов на базе АНПА на примере противоминных действий позволяют сделать вывод о том, что задачу поиска и уничтожения мин с заданной эффективностью при равных условиях АНПА с гидроакустическим каналом обмена решают лучше, чем АНПА без такого канала. Данный прирост достигается опера-

тивным анализом информации в ходе выполнения миссии, а не после возврата АНПА на корабль и выгрузки массива данных с ее длительным последующим анализом.

## Библиографический список

### References

1. *Stewart M., Pavlos J.* Means to Networked Persistent Undersea Surveillance // *Submarine Technology Symposium*, Washington, 2006.
2. *Wood S.* Autonomous underwater glider / *Underwater vehicles*, 2009.
3. *Funnell C.* Safe and sound: UUV-based sonar gets closer to mines // *Jane's Navy International*, June 2009: 26–31.
4. *Илларионов Г.Ю.* Подводные роботы в минной войне. Калининград: Янтарный сказ, 2008. [*G. Illarionov.* Underwater robots in mine warfare. Kaliningrad: Yantarny skaz, 2008. (in Russian)].
5. *Wills J., Ye W., Heidemann J.* Low-power acoustic modem for dense underwater sensor networks // *isi.edu*. URL: <https://www.isi.edu/~johnh/PAPERS/Wills06a.pdf> (дата обращения: 25.01.2018).
6. *Underwater acoustic modems models* // *LinkQuest Incorporated*. URL: <http://www.link-quest.com/html/models1.html> (дата обращения: 25.01.2018).

---

### Сведения об авторе

*Садовский Александр Федорович*, начальник научно-исследовательского отдела НИЦ РЭВ и ФИР ВМФ НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». Адрес: 196604, Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ул. Красной Звезды, д. 31. Телефон: 8 921 339-57-42. E-mail: [sadovskij@mail.ru](mailto:sadovskij@mail.ru).

### About the author

*Sadovsky, Alexander F.*, Head of Research Department, N.G. Kuznetsov Naval Academy. Address: 31, Krasnoy Zvezdy st., Pushkin, St. Petersburg, Russia, post code 196604. Tel.: 8 921 339-57-42. E-mail: [sadovskij@mail.ru](mailto:sadovskij@mail.ru).

Поступила / Received: 02.02.18  
Принята в печать / Accepted: 01.03.18  
© Садовский А.Ф., 2018