

## МАРКИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ В ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ

*Бочаров М.С., Скипа М.И.,*

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

*Рассматриваются вопросы реализации электронно-цифровых маркеров с использованием гидроакустического канала передачи данных и информации об объекте, который маркируется (человек, груз, лодка и др.), работа которых базируется на режимах прием-ответ и аварийной сигнализации.*

*Ключевые слова: сигнал, гидроакустический канал связи, гидроакустические маркеры.*

**Введение.** Морские катастрофы уносили и уносят человеческие жизни. Средства спасения потерпевших кораблекрушение известны столько времени, сколько существует само мореплавание. Сегодня на страже безопасности людей, вышедших в море, стоит целый ряд специальных устройств и приспособлений – от разделения судна на отсеки переборками до его оборудования спасательными шлюпками и аварийным радио-передатчиком, подающим сигнал бедствия. Однако средства спасения часто оказывались бесполезными или не достаточными.

С появлением радиосвязи многие проблемы при бедствии в море были решены и ситуация начала меняться кардинально с развитием космических технологий. Создание системы автоматических маяков, срабатывающих в случае аварии, позволило спасательным службам сделать гигантский шаг вперед – сигнал бедствия передавался без участия человека. Однако то, что спасатели должны были находиться в зоне уверенного приема сигнала, снижало эффективность поиска. Кроме того, маяк не давал возможности идентифицировать источник сигнала. Эти вопросы были учтены при разработке следующего поколения аварийных маяков. Так была разработана система КОСПАС-SARSAT [1], которая вошла в состав Глобальной морской системы связи безопасности (ГМССБ).

**Актуальность исследований.** Система КОСПАС-SARSAT не лишена недостатков. Обусловлено это тем, что при выполнении работ по поиску и спасению учитывается определение местоположения надводных объектов терпящих бедствие или положение всплывшего сигнального буйа, а в случае частичного или полного затопления объекта и/или сигнального буйа эффективность системы значительно снижается. При этом на точность определения местоположения влияет множество факторов, таких как вероятность поступления сигнала бедствия службам спасения, течения или ветер, сносящие как тонущие объекты, так и буй на поверхности, и другие факторы. Также не маловажную роль имеет определение правильной стратегии спасательных работ и расстановка приоритетов спасения

множества затонувших объектов (люди, опасные грузы, судно) в зоне бедствия. Наряду с недостатками существующих систем поиска и спасение существуют задачи, которые требуют решения.

**Постановка задачи.** Для решения задач локального поиска и множественной идентификации затонувших объектов позволяющих устранить некоторые недостатки существующих систем и значительно расширить их возможности может позволить реализация электронно-цифровых маркеров с применением гидроакустического канала передачи данных о маркируемом объекте (тип объекта, GPS координаты, массогабаритные показатели и пр.) работающие в режиме аварийной сигнализации и приём-ответ.

Поддержку принятия решения по приоритету спасения (подъёма) множества объектов либо обеспечению необходимого оснащения для подъёма по массогабаритным показателям затонувших объектов целесообразно применить кодовое разделение маркирующих устройств и включение в информационный пакет дополнительной информации об объекте которому принадлежит маркер. Для функционирования системы в целом в её состав должны включаться блок селективного вызова (поисковый прибор) и множество блоков ответа на запрос (приёмоответчиков) – гидроакустические маркеры.

**Результаты исследований.** Функционирование системы сводится к алгоритму, при котором во время бедствия, гидроакустический маркер которым снабжен объект, при попадании в воду включается при помощи гидростатического выключателя. После чего включается режим подачи тонального сигнала бедствия с некоторой периодичностью. Далее спасательные службы оповещенные системой КОСПАС-SARSAT либо другим способом, направляются в зону бедствия и при вхождении в зону дальности распространения аварийного тонального сигнала определяет направление к объекту и осуществляет попытку установления сеанса связи с гидроакустическим маркером, двигаясь при этом в сторону излучаемого сигнала. При удачном сеансе маркер отвечает на запрос и посылает ответный сигнал, при помощи которого в свою очередь поисковый прибор определяет дальность до маркера, а также в этот момент, определяет свои точные координаты по данным GPS. Затем сеанс повторяется и при этом производится накопление данных о положении поискового прибора и о дальностях до маркера. По полученным данным поисковым прибором осуществляется расчёт точного положения маркера. Затем спасательная служба направляется в место установленных координат объекта и производит сеанс связи с маркером для получения дополнительной информации об объекте спасения.

Достаточно малое затухание звука в воде позволяет обеспечить большие дальности функционирования устройства. Так для диапазона частот от 10 кГц до 50 кГц наблюдается обратная зависимость дальности распространения звука от частоты и составляет примерно от 50 км до 8 км.

Для решения задач передачи информации в существующих в мире гидроакустических системах (акустических модемах и пр.) составляет диапазон частот от 12 до 47 кГц [2, 3, 4]. Наиболее часто применяется пара частот, средняя частота которых порядка 26 кГц с девиацией 8 кГц. Применение такого диапазона частот позволяет обеспечить дальность связи равную или превышающую среднюю глубину мирового океана ( $\approx 3711$  м) при вертикальном распространении звука, что в свою очередь позволит решать поисково-спасательные практически в любой зоне бедствия и при различных возможных глубинах затопления объектов. Однако для подачи аварийного сигнала бедствия целесообразно применить сигнал с частотой несколько ниже частот применяемых для информационного обмена, это позволит расширить зону обнаружения объектов терпящих бедствие.

Использование распространения звука в обе стороны, от блока вызова до приёмоответчиков и от приёмоответчиков до блока вызова – в обратном направлении (режим «запрос-ответ») позволяет измерять время распространения сигнала до запрашиваемого блока, расстояние до него и, в итоге, определение его местоположения. Параметры точности и дальности распространения акустических сигналов, в значительной степени определяются гидрологическими условиями в районе работ: вертикальным профилем скорости звука  $C(z)$ , определяющим особенности рефракции звуковых лучей, формирования зон акустической освещённости и тени, эффекты канального распространения и пр. В благоприятных условиях возможно получение точности измерения дистанции порядка  $10^{-4}$  от дальности. При неблагоприятных условиях определение расстояния может быть затруднено и для решения задачи потребуется изменения факторов влияющих на результат (выход из зоны тени, погрузить поисковый прибор на другую глубину). В среднем реальные погрешности определения дистанции составляют около  $10^{-3}$  от дальности [4].

Расстояние до объекта при работе гидроакустического маркера в режиме приемоответчика определяется как

$$D = \frac{c(t + t_{обр})}{2}, \quad (1)$$

где  $D$  – измеряемое расстояние, м;  $c$  – скорость распространения звука в воде, м/с;  $t$  – время прохождения сигнала от аппаратуры поиска до приемоответчика и обратно;  $t_{обр}$  – время потраченное на обработку сигнала приемоответчиком.

В данном выражении время обработки зависит от производительности и скорости работы приемоответчика. При использовании современной элементной базы значение  $t_{обр}$  ничтожно мало и им можно пренебречь.

Дальномерная информация является исходной для определения координат объекта, а также накопленная избыточная информация о точном положении поискового прибора (данные GPS). Расчёты координат производятся методами триангуляции [4]. Основная проблема заключается в

способе накопления и последующей обработки избыточной информации, что накладывает на систему применение некоторой методики в проведении поисковых задач (произвести перемещения по зоне бедствия, либо применение сети поисковых приборов на нескольких (2-3) спасательных судах разнесённых на некоторое расстояние между собой).

Для осуществления информационного для придачи данных следует применять широкополосные сигналы [5, 6, 7]. Передаваемая информация модулируется по закону частотной манипуляции – сигналы, частота которых меняется в соответствии с законом кодирующего сигнала, где в качестве базисных сигналов в соответствии логической единице и логического нуля ставятся в соответствие псевдослучайные последовательности ортогональные между собой. Следующее выражение описывает закон частотной манипуляции:

$$S(t) = \begin{cases} S_L = b_L(t) \cdot \cos(\omega_L - \omega_H) \cdot t & S_H = b_H(t) \cdot \cos(\omega_L + \omega_H) \cdot t, p_L = p_H = 0.5, \\ p_L & p_H & 0 \leq t \leq T, \end{cases} \quad (2)$$

$$b_0(t) = b_L(t) + b_H(t),$$

где  $T$  – длительность каждого сигнала,  $b_0(t)$  – бинарная последовательность.

Частотная манипуляция с расширением спектра обеспечивает высокую устойчивость приёма сигналов в условиях шумов, интерференции, флуктуаций и замираний. Также для повышения качества передачи информации в условиях многолучевого распространения сигналов и влияния помех гидроакустического канала связи возможно применение адаптивных алгоритмов [8].

Скорость распространения акустического сигнала в воде, его многолучевое распространение, память канала, и прочие факторы накладывают ряд ограничений на пропускную способность передачи информации и это следует учитывать при информационном наполнении пакетов данных, а также требует применения алгоритмов компрессии данных. Так для информационного наполнения возможно запись данных в устройство несущих информацию о типе объекта, масса габаритные показатели, принадлежность тому или иному судну, данные о последнем положении объекта и прочие. Также возможно применение пакетов данных используемых в системе КОСПАС-SARSAT, а также часть данных применяемая в ISO 3166-88 «Коды для представлений названий стран» [9]. Для гибкости системы доступ к областям данных должен осуществляться различными адресными командами устройству.

Для реализации логического взаимодействия множества однотипных гидроакустических маркеров следует реализовать протокол множественного доступа и кодового разделения каналов связи с каждым маркером в отдельности. Одним из вариантов такой реализации может быть адресное

обращение к конкретным маркерам по специально составленным кодам принадлежности. Адресный код принадлежности может в конкретной реализации состоять из следующих последовательностей бит данных: идентификатор типа объекта (судно, груз, человек, и пр.) 2-3 бита; код судна в международной кодировке по типу реализации ISO 3166-88 5-15 бит; номер маркера в группе принадлежности конкретному судну 8-12бит. Для идентификации количества и типа затопленных объектов на этапе поиска осуществляется перебор адресов маркеров побитно по специализированной запросной команде для каждой группы маркеров в отдельности. Алгоритм сводится к следующему: например, поисковый прибор предаёт широкополосную команду на отклик всем приборам группы «груз» с принадлежностью конкретному судну (либо с пропуском этих данных для экономии эфирного времени) и младшего и установленного бита номера в группе. Далее осуществляет запрос о принадлежности к следующему биту и так далее, пока на запросный сигнал не поступит ни одного ответа либо не будет достигнута граница адресного поля. И так для всех групп объектов. Далее производится адресация конкретных устройств исходя из информационной ёмкости группы и установление их координат, а также получение дополнительной информации об объекте. Таким образом, добиваются накопления информации о количестве объектов в искомой группе за минимальное количество шагов при учёте, что нумерация устройств – сквозная для конкретной группы, даже без учёта возможности декодировать принятую информацию от большой группы объектов в результате интерференции множества сигналов. Такой алгоритм хоть и накладывает на систему большие затраты времени на идентификацию, но при этом обеспечивает гибкость всей системы в целом.

Реализация гидроакустического маркера также может включать ряд конструктивных особенностей, которые повышают эксплуатационные характеристики и функциональность. Так в состав приёмопередатчика включен преобразователь напряжения, повышающий напряжение и накопитель энергии (накопительная ёмкость), позволяющие получить большую энергию и большую мощность ответного сигнала при малогабаритном и маломощном источнике питания.

Для расширения функциональности и совместимости с существующими аварийно-спасательными системами возможно включение в их состав либо конструктивное исполнение в отдельном функциональном блоке (для обеспечения периодической подачи сигнала бедствия наземным спасательным службам), либо блок приёма данных GPS;

Конструктивно маркер может крепиться к объекту (спасательный жилет, на палубе судна, к перевозимому грузу) и при вводе в эксплуатацию производится его первичная инициализация далее система переводится в дежурный режим.

Включение маркера можно реализовать как ручное кнопкой или при попадании в воду, при помощи гидростатических датчиков, при этом

происходит запуск устройства в работу. Далее по полученным, с датчиков, данным устройство определяет своё состояние (на поверхности, в воде, на глубине) и согласно этому включает те или иные блоки которые актуальны в этом состоянии. Если блок на поверхности или в приповерхностном слое воды включаются блоки определения координат, радиоканал, и гидроакустический канал в режиме ожидания. При этом производится попытка определения координат устройства посредством GPS приёмника и последующая периодическая передача в эфир наземным службам спасения по радиоканалу сигнала бедствия с пакетом координат. Гидроакустический блок ожидает вызывного сигнала.

При погружении под воду в работу включается только гидроакустический блок в активном режиме (производится периодическая подача тонального импульса бедствия и постоянная готовность к приёму сигналов). Состояния устройства постоянно контролируется, и режим переключается в зависимости от условий.

**Выводы.** Реализация гидроакустического канала связи в данной реализации устройства гидроакустического маркирования имеет преимущество перед существующими аналогами, которые могут осуществлять поиск только надводных объектов и не различают принадлежность устройства тому или иному объекту.

Исследования в области и применение системы позволит ускорить и значительно упростить поиск затонувших объектов в районе бедствия, а также принимать правильные решения по очередности подъема тех или иных объектов тем самым затратить меньшее количество времени на спасательные работы, где каждая минута может стоить жизни людей. Также применение такой системы позволит уменьшить статистику по количеству людей пропавших без вести, а также экологические показатели.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Електронний ресурс – Режим доступу: <http://www.cospas-sarsat.org>.
2. Електронний ресурс – Режим доступу: <http://www.link-quest.com>.
3. Електронний ресурс – Режим доступу: <http://evologics.de>.
4. Гончар А. И., АНПА. Гидроакустические системы / А. И. Гончар, Л. И. Шлычек – Запорожье : НТЦ ПАС НАН Украины, 2008. – 223 с.
5. Мазурков М. И. Системы широкополосной радиосвязи : учеб. пособие для студ. ВУЗов / М. И. Мазурков. – Одесса : Наука и техника, 2010. – 340 с.
6. Николаев Б. И. Последовательная передача дискретных сообщений по непрерывным каналам с памятью / Б. И. Николаев. – М. : Радио и связь, 1988. – 263 с.
7. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр – М. : Вильямс, 2003. – 1104 с.
8. 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. : Збірник праць. НАН України, Інститут гідромеханіки. – Київ, 2009. – С. 109-114.

9. ISO 3166-88 «Коды для представлений названий стран».

10. Нелепо Б. А. Интегрированные системы для гидрофизических исследований / Б. А. Нелепо, Г. В. Смирнов, А. Б. Шадрин. – Л. : Гидрометеоиздат, 1990. – 236 с.

11. Агеев М. Д., Касаткин Б. А., Киселёв Л. В. и др. Автоматические подводные аппараты. – Л. : Судостроение, 1981. – 248с.

**Бочаров М.С., Скіпа М.І.** МАРКУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ ЗАДАЧАХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОАКУСТИЧНОГО КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ

*Розглядаються питання реалізації електронно-цифрових маркерів із використанням гідроакустичного каналу передачі даних та інформації про об'єкт, який маркується (людина, вантаж, човен та ін.), робота яких базується на режимах прийом-відповідь та аварійної сигналізації.*

*Ключові слова: сигнал, гідроакустичний канал зв'язку, гідроакустичні маркери.*

**Bocharov M.S., Skipa M.I.** MARKING OBJECTS IN SEARCH AND RESCUE OPERATIONS WITH HYDROACOUSTICAL CHANNEL OF COMMUNICATION

*There being considered the problems of designing and construction electrical digital marking devices with hydroacoustic communication channel for marking objects (peoples, cargo, ships etc.), based on data receive - transmission regime and alarm system.*

*Keywords: signal, hydroacoustic communication channel, hydroacoustic marks.*