

УДК 621.396

© **Н.Н. Залогин**<sup>1</sup>, к.т.н., ведущий научный сотрудник,  
**А.В. Скнар**<sup>2</sup>, к.т.н., главный специалист,

<sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова, г. Москва (Российская Федерация)

<sup>2</sup>ОАО «Научно-исследовательский институт приборостроения им. В.В. Тихомирова»,  
г. Жуковский (Российская Федерация)

## **К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ И РЕАЛИЗАЦИИ ГИДРОЛОКАТОРОВ СО СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫМИ ЗОНДИРУЮЩИМИ СИГНАЛАМИ**

В настоящее время все более очевидной становится необходимость внедрения в гидролокацию широкополосных технологий. Однако на этом пути необходимо решить ряд проблем. В статье рассмотрены некоторые результаты практической реализации широкополосной технологии в гидролокации на примере работ, проводимых совместно ОАО «НИИП» и ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН по созданию нового поколения гидролокаторов в РФ.

**ШИРОКОПОЛОСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, ГИДРОЛОКАТОР, ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ, СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЙ ЗОНДИРУЮЩИЙ СИГНАЛ, ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ**

Окончание XX века и начало нового века ознаменовалось ускорением темпов вовлечения водного пространства Земли в сферу деятельности человека, которое включает в себя как гражданскую, так и военную составляющие. Примером этого являются проведение различных научных исследований, освоение природных ресурсов океанов и морей, включающих в первую очередь прибрежные зоны, прокладка трубопроводов, обеспечение охраны береговой линии и территориальных вод и т.д. При этом отмечается постоянное усложнение решаемых задач, что требует совершенствования ныне существующих технических средств.

Хорошо известно, что в настоящее время самыми эффективными техническими средствами для решения очень широкого круга задач в водном пространстве Земли являются различные типы активных гидролокаторов, использующих для этого акустические колебания. Примером таких гидролокаторов являются гидролокаторы бокового обзора (ГБО), интерферометрические гидролокаторы бокового обзора (ИГБО), многолучевые эхолоты (МЛЭ), профилографы и т.д., разработками которых в мире на сегодняшний день занимается большое количество фирм.

Однако следует отметить, что совершенствование ныне существующих гидролокаторов с целью достижения требуемых в настоящий момент их технических характеристик ограничивается использованием в них в качестве зондирующих сигналов узкополосных импульсов.

Так, использование гидролокаторов, предназначенных для поиска и обнаружения объектов в толще воды, особенно на мелководье, осложняется рядом факторов, к которым в первую очередь следует отнести многолучевость и повышенный уровень помех. И достойного решения этой задачи в рамках существующей технологии и идеологии построения гидролокаторов на сегодня не найдено.

Другой извечной проблемой, возникающей при обзоре поверхности дна с помощью ГБО, является одновременное достижение высокой разрешающей способности по дальности и большой дальности действия. На сегодня эта проблема решается за счет использования двух рабочих частот по каждому борту, примером чего являются двухчастотные ГБО (ДГБО). Подобные гидролокаторы в настоящее время выпускают многие известные фирмы, такие, например, как Edgetech – модель 2200-S [1]. В настоящее время ДГБО также выпускаются и в России – ОАО «НИИП» [2]. При этом, высокое разрешение по дальности достигается на высокой частоте, но из-за увеличения затухания, получается небольшая полоса обзора [3], а на низкой частоте за счет существенно меньшего затухания обеспечивается большая полоса обзора, однако, ухудшается разрешающая способность по дальности, которая, как известно, определяется шириной спектра зондирующего сигнала [4].

Такое решение основано на том, что в рамках существующей идеологии расширить спектр зондирующего сигнала возможно только при работе на более высоких частотах. Однако при этом увеличение полосы сигнала сопровождается существенным уменьшением дальности действия гидролокатора, обусловленным увеличением затухания [3].

Все это в итоге приводит, в том числе, и к увеличению времени обзора заданной площади поверхности дна.

Использование для решения этой проблемы сложных узкополосных зондирующих сигналов типа ЛЧМ решает эту проблему, но не в полной мере [2].

Отдельно следует остановиться на гидролокаторах, предназначенных для реализации акустического канала связи. Важность этого вопроса определяется в настоящее время целым рядом причин. Отметим только некоторые из них. Во-первых, очень актуальной на сегодня становится задача обеспечения охраны водных рубежей, а одним из эффективных способов ее реализации на больших площадях является использование сетцентрической системы, которая подразумевает обмен данными в реальном времени между различными ее абонентами. Во-вторых, наметилась тенденция к широкому использованию при решении очень широкого круга задач, в том числе и задачи охраны, автономных необитаемых аппаратов (АНПА), где также востребована передача получаемых данных в реальном времени. Все это требует существенного улучшения таких технических характеристик канала акустической связи, как скорость передачи данных, помехоустойчивость и дальность действия.

Таким образом, можно констатировать, что налицо необходимость внедрения в гидролокацию широкополосных технологий, которые в настоящее время успешно используются в таких отраслях, например, как телекоммуникационные системы и радиосвязь, где их использование позволило решить практически все существующие на сегодня задачи, такие как обеспечение требуемых скоростей передачи информации, высокой помехоустойчивости информационного канала, а также возможность работы систем в частотных диапазонах, перегруженных радиосредствами.

Следует отметить, что в последние десятилетия за рубежом наметилась устойчивая тенденция применения широкополосных технологий в области активной гидролокации. Так, если судить по открытым источникам, то первые работы в этой области, носившие чисто теоретический характер, появились еще в 90-е годы прошлого века [5].

Логическим продолжением этих работ явилось уже внедрение широкополосных технологий в активные гидроакустические системы (ГАС), которое активно продолжается и по сей день, примером чему может служить, например, последняя разработка фирмой

Kongsberg Mesotech сонара DDS-9000/1, который используется для обнаружения аквалангистов-террористов [6].

В последние годы в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН были проведены теоретические исследования по возможности применения в гидролокации сверхширокополосных сигналов (СШПС), которые включали в себя в том числе формирование и обработку такого типа сигналов. В ходе данных исследований было показано, что если сверхширокополосный сигнал сформировать в низкочастотной части рабочего диапазона частот, то за счет широкой полосы может быть достигнуто высокое разрешение по дальности, а за счет размещения спектра сигнала в низкочастотной части рабочего диапазона частот – большая дальность действия [7].

Таким образом, применение СШПС позволяет решить проблему одновременного получения высокого разрешения и большой дальности действия.

При применении такого сигнала для передачи данных по акустическому каналу за счет существенного расширения спектра также появляется возможность, с одной стороны, увеличить скорость передачи данных, а, с другой стороны, за счет его высокой энергетики – обеспечить увеличение дальности связи.

Также хотелось бы отметить и еще один аспект применения СШПС – это возможность получения дополнительной информации о материале цели, что вместе с обеспечением высокого разрешения позволит несколько иначе подойти к вопросам классификации целей. И на этом, конечно, не кончается перечень всех преимуществ применения СШП сигналов в активной гидролокации.

Для реализации результатов, полученных в ходе проведения научных исследований, в ОАО «НИИП» в течение последних двух лет при непосредственном участии сотрудников ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН были разработаны и созданы несколько макетов гидролокаторов, в которых в качестве зондирующих сигналов используются различные типы сверхширокополосных сигналов. Это практически все известные на сегодня сигналы, применяемые в гидролокации: сигналы с различной частотной модуляцией – линейной (ЛЧМ), квадратичной (КЧМ), гиперболической (ГЧМ), а также дискретно-кодированные по частоте сигналы (ДКЧС).

В последней версии гидролокатора в качестве приемо-передающей антенны использовалась антенна со следующими основными параметрами: раскрыв диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях составлял, соответственно, 1,5 градуса и 40 градусов, а полоса пропускания по уровню 3 дБ – 78 кГц.

Разработка приемо-передающей антенны именно с такими техническими характеристиками обосновывалась возможностью ее использования как для обзора поверхности дна, так и для обзора заданного сектора толщи воды.

В первом случае реализовывалась функция ГБО при решении свойственных ему задач и, в первую очередь, поиск малоразмерных объектов на поверхности дна, а во втором случае, в частности, обеспечение охраны объектов со стороны водной акватории в заданном секторе.

Для формирования зондирующего сигнала в гидролокаторе был использован универсальный формирователь, а приемный тракт гидролокатора являлся, по сути, широкополосным адаптивным приемным трактом, полоса которого может быть перестроена в процессе работы в широких пределах.

Испытания гидролокатора проводились в течение последних двух сезонов на полигоне ОАО «НИИП» на Москве-реке.

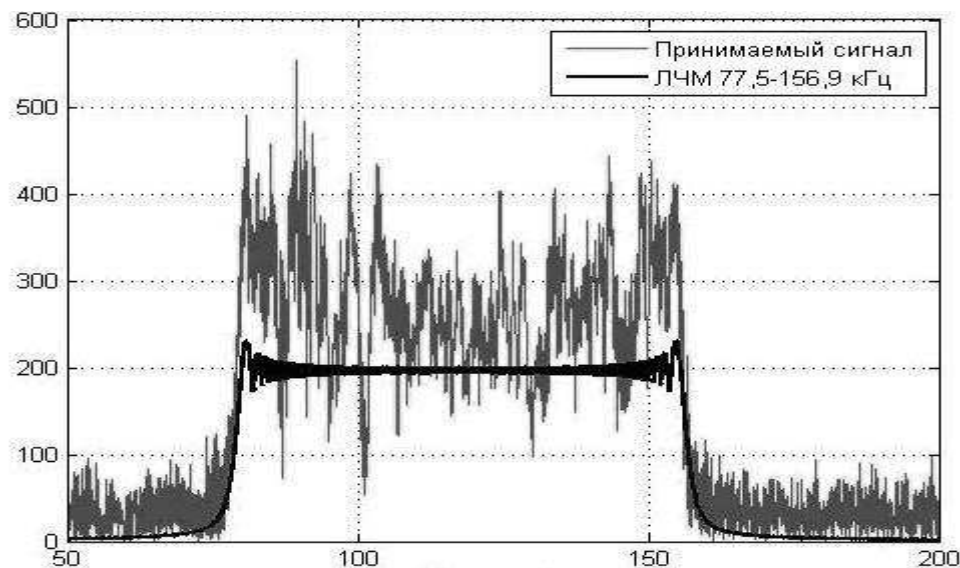
Нижче приведені деякі результати, включаючи в себе як огляд поверхні дна, так і огляд товщі води з використанням в якості зондуючих сигналів СШПС.

Перед початком випробувань була проведена перевірка правильності роботи гідролокатора в цілому, включаючи в себе перевірку роботи формувача сигналів, тракту прийма і випромінювання, а також алгоритмів обробки ехо-сигналів.

Для цього приєм-випромінююча антена гідролокатора кріпилася на штанзі к причалу, а сам локатор розташовувався на причалі. В товщі води з допомогою лодки був розміщений широкополосний гідрофон таким чином, щоб він знаходився в озвученій області водного простору, при цьому, сигнал з вихода гідрофона по кабелю подавався на вхід тракту прийма гідролокатора, де вироблявся його прийом, обробка і запис.

З допомогою даного експерименту була перевірена робота гідролокатора со всіма вказаними вище зондуючими сигналами.

На рис. 1 показані теоретичний і реальний спектр сверхширокополосного ЛЧМ сигнала, отриманий в ході виконання даного експерименту, де по осі абсцис відкладена частота в кГц. Параметри ЛЧМ сигнала були наступними: нижня частота 77,5 кГц, девіація частоти 78 кГц, тривалість – 14 мс.



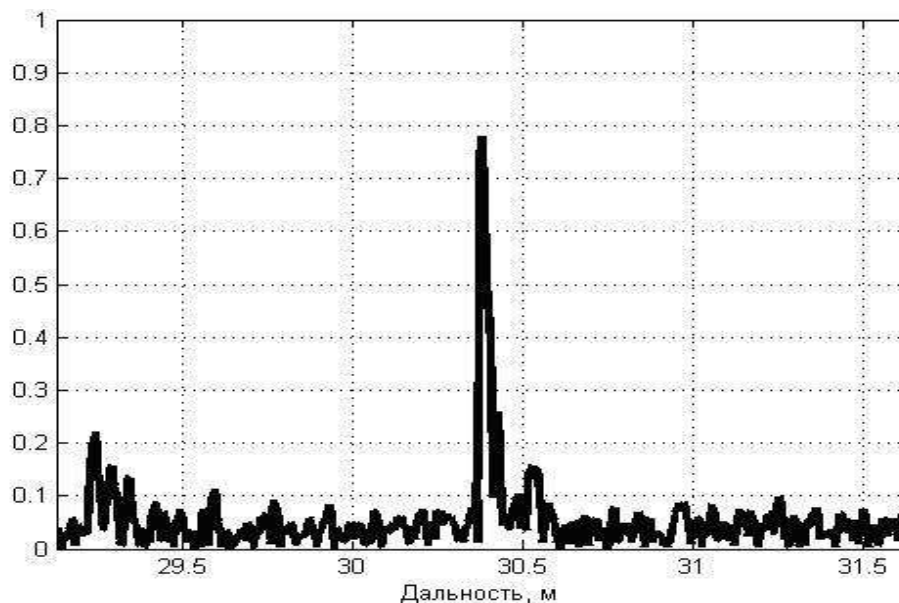
*Рис. 1 - Теоретичний і реальний спектр сверхширокополосного ЛЧМ сигнала при його прийомі гідрофоном*

Після цього в місці розташування гідрофона була поміщена ціль, в якості якої використовувався відрізок металевої труби діаметром 160 мм і довжиною 300 мм. В процесі експерименту ціль за рахунок руху лодки переміщувалася в товщі води.

Так же, як і в першому експерименті, при роботі по ціль були перевірені всі вказані вище зондуючі сигнали.

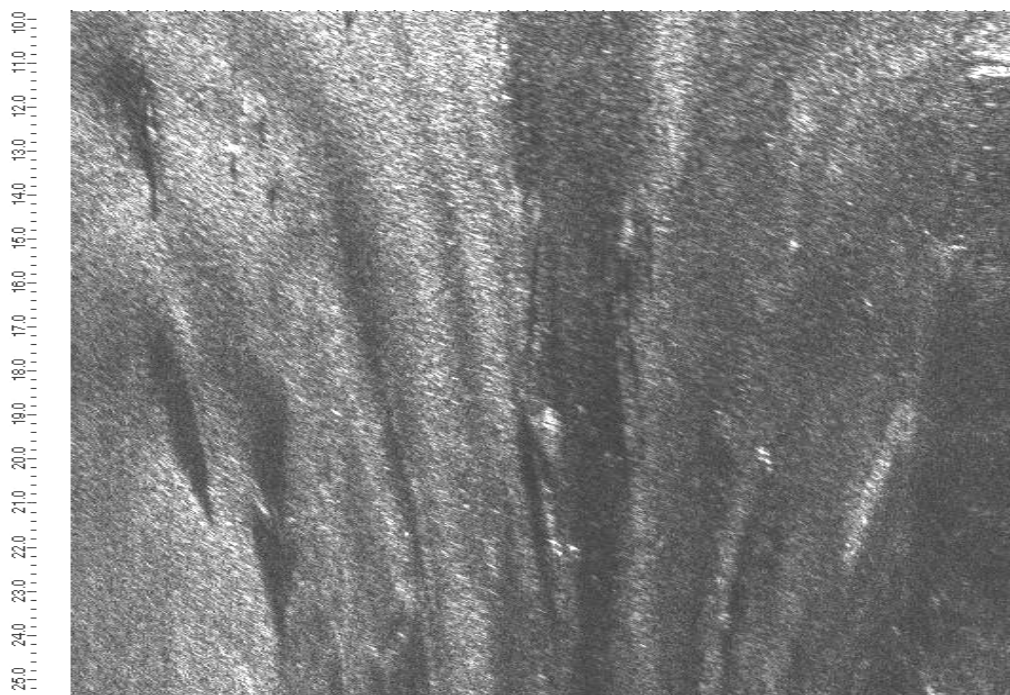
В якості прикладу на рис. 2 приведена кореляційна функція сверхширокополосного ДКЧС, відбитого від цілі. Параметри ДКЧ сигнала наступні: нижня частота 77,5 кГц, полоса – 78 кГц, тривалість 25 мс.

При огляді поверхні дна гідролокатор розміщувався на лодці типу «Зодіак», а приєм-випромінююча антена кріпилася к борту лодки з допомогою штанги.



*Рис. 2 - Корреляционная функция сверхширокополосного ДКЧС, полученная при работе по цели*

На рис. 3 приведено одно из акустических изображений участка дна Москвы-реки, полученное с помощью данного гидролокатора с СШП ЛЧМ зондирующим сигналом с параметрами: длительность 14 мс, девиация частоты 78 кГц, нижняя частота 77,5 кГц.



*Рис. 3 - Акустическое изображение участка дна с отдельными предметами, полученное с помощью ГБО со сверхширокополосным ЛЧМ сигналом*

На рис. 3 слева приведена шкала наклонных дальностей в метрах. Лодка с гидролокатором в процессе обзора поверхности дна двигалась слева-направо.

Из анализа представленных результатов следует, что в гидролокаторах в качестве зондирующего сигнала можно использовать СШПС при его правильном формировании и обработке.

Также результаты, полученные в ходе данных экспериментов, позволяют говорить о наличии в РФ всех компонент, необходимых для разработки различных типов гидролокаторов со сверхширокополосными зондирующими сигналами.

В заключение хотелось бы отметить, что существует еще достаточно вопросов, касающихся особенностей применения сверхширокополосных сигналов в гидролокации и дальнейшие натурные испытания данного гидролокатора, в частности, несомненно помогут найти на них ответы.

### Литература

1. [www.edgetech.com](http://www.edgetech.com)
2. Демидов А.И. Отечественные гидролокаторы со сложными сигналами производства НИИ Приборостроения им. В.В. Тихомирова / А. И. Демидов, Р.Ш. Комочков, С.С. Мосолов, А.В. Скарня, Е.В. Тутьнин// Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики : X Всерос. конф., 25-27 мая 2010 г. : труды конф. - Санкт-Петербург. – 2010. - С. 152-154
3. Евтютов и др. Справочник по гидроакустике. - Л.: Судостроение, 1988. – 552 с.
4. Кук Ч. Радиолокационные сигналы / Кук Ч., Бернфельд М. – М.: Советское радио, 1971 – 568 с.
5. Hussain M. Ultra-wide band impulse radar an overview of the principles. *Aerosp. And Electron. Syst. Mag.* - 1998, Vol. 13, #9, - P. 9-14
6. *Marine Technology Reporter*, январь-февраль 2011 года - С. 58
7. Залогин Н.Н. Выбор зондирующего сигнала для гидролокатора / Залогин Н.Н., Скарня А.В. // Радиолокация, навигация, связь : XIII междунар. конф. – Воронеж. - 2002-2007. - С. 2722-2730

*Стаття надійшла до редакції 10 грудня 2012 р. російською мовою*

**© М.М. Залогін, А.В. Скарня**  
**ДО ПИТАННЯ ПРО НЕОБХІДНІСТЬ І МОЖЛИВОСТІ**  
**РОЗРОБКИ Й РЕАЛІЗАЦІЇ ГІДРОЛОКАТОРІВ З**  
**НАДШИРОКОСМУГОВИМИ ЗОНДУВАЛЬНИМИ СИГНАЛАМИ**

Нині все більш очевидною стає необхідність впровадження в гідролокацію ширококосмугових технологій. Однак, на цьому шляху необхідно розв'язати низку проблем. У статті розглянуті деякі результати практичної реалізації ширококосмугової технології в гідролокації на прикладі робіт, проведених спільно ВАТ «НДІП» і ІРЕ ім. В.А. Котельникова РАН, по створенню нового покоління гідролокаторів у РФ.

**© Nikolas N. Zalogin, Anatoly V. Sknarya**  
**TO THE QUESTION OF THE NECESSITY AND POSSIBILITY OF DEVELOPMENT**  
**AND REALIZATION OF THE SONARS WITH ULTRA WIDE BAND PROBE SIGNALS**

At present the necessity of introduction of broadband technologies in sonar is becoming increasingly apparent. But for advancement in this direction it is necessary to solve several problems. This report reviewed the results of the practical realization of broadband technology in the domestic sonar on the example of the works to create a new generation of domestic sonar, conducted jointly by JSC NIIP and State Company «IRE by V.A. Kotelnikov RAS».