

$$\frac{P_s(2F)}{P_s(F)} \Rightarrow n(R) \Rightarrow n(R_\omega).$$

Эффективный поперечник рассеяния при этом может быть получен в виде

$$\frac{\sigma_s}{4\pi \cdot r_1^2} = \frac{1}{4\pi \cdot r_1^2} \cdot \int_0^\infty \frac{4\pi R_0^2 \cdot n(R_\omega)}{\left(\frac{f_2^2}{f^2} - 1\right) + \sigma^2} \cdot dR_\omega = -j \cdot \frac{8\varepsilon\omega^3 \frac{e^{ikR_1}}{R_1} \cdot \Psi_{01} \cdot A}{\int_0^\infty n(R_\omega) dR_\omega + C},$$

где  $A, B, C$  – соответствующие коэффициенты.

Откуда для экспериментальных результатов при сравнении амплитуд давлений рассеянных сигналов соотношение принимает вид

$$N_{\text{эб-}} = \frac{A_s^2(2\omega)}{A_s^2(\omega)} = \left( -j \frac{8\varepsilon\omega^3 G_0 \cdot \Psi_{01} \cdot A}{\int_0^\infty n(R_\omega) dR_\omega + C} \right)^2.$$

Таким образом, получаемое на практике соотношение содержит информацию о функции распределения газовых пузырьков по размерам и может быть использовано для получения данных о характере такого распределения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заграй Н.П., Тимошенко В.И. Нелинейное рассеяние звука на сфере // Тезисы II Всесоюзного акустического семинара «Модели, алгоритмы, принятие решений», ЛИАП, АКИН. – М., 1988. – С. 90-95.
2. Заграй Н.П. Нелинейные взаимодействия в слоистых и неоднородных средах. Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. – 433 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Финаев.

**Заграй Николай Петрович** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: znp@sfedu.ru; 347925, г. Таганрог, ул. К. Либкнехта, 193а; тел.: 88634379879; кафедра эдектрогидроакустической и медицинской техники; д.т.н.; профессор.

**Zagray Nikolay Petrovitch** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: znp@sfedu.ru; 193a, K. Libknechta street, Taganrog, 347925, Russia; phone: +78634379879; the department of hydroacoustic and medical engineering; dr. of eng. sc.; professor

УДК 681.883

**В.В. Гурский**

#### СЛОЖНЫЕ СИГНАЛЫ И ВАРУ

*В гидролокационных системах для компенсации потерь энергии эхо-сигналов, вызванных расхождением волнового фронта и затуханием в среде, в приёмных трактах применяют временную автоматическую регулировку усиления (ВАРУ), подменяя её требуемую дистанционную (ДАРУ). При решении задачи обнаружения зашумленных малоразмерных целей*

посредством использования сложных сигналов с последующей их согласованной фильтрацией применяют адаптивную ВАРУ, компенсирующую затухание в грунте. Однако это вызывает паразитную амплитудную модуляцию, приводящую к ухудшению достоверности отображения эхо-сигнальной обстановки. На примере широкополосного линейного частотно-модулированного сигнала продемонстрирована неприемлемость подобного решения. Предлагается решение в виде комбинации ВАРУ и адаптивной «цифровой» ДАРУ.

*Сложные сигналы; зашумленные малоразмерные цели; ВАРУ; согласованная фильтрация.*

**V.V. Goorskey**

### COMPOUND SIGNALS AND TIME-VARIED GAIN CONTROL

*For compensation of the echo signals energy losses in sonar systems, caused by the wave front discrepancy and attenuation in medium, in receiving path the time-varied gain control (TVG) is applied instead of required distance-varied gain control (DVG)*

*The problem of silted small-sized targets detection by means of the compound signals with their subsequent matched filtering is solved by use of adaptive TVG, which compensates signal attenuation in the ground. However it causes extraneous amplitude modulation leading to declining of the reliability of represented echo signal environment. On the base of broad-band linear frequency-modulated signal unacceptability of this solution is shown. The alternative solution in the form of TVG and adaptive «digital» DVG combination is offered.*

*Compound signals; the silted small-sized targets; TVG; matched filtering.*

В современных гидролокационных системах достаточно широко применяются сложные сигналы, согласованная фильтрация которых позволяет повышать помехоустойчивость и дальность действия [1].

Как известно, амплитуда эхо-сигнала от малоразмерной цели связана с дальностью до цели и затуханием в среде распространения соотношением

$$A(r) \sim \frac{A_0 e^{-2br}}{r^2}, \quad (1)$$

где  $A(r)$  – амплитуда эхосигнала;  $A_0$  – амплитуда приведённого к 1 м звукового давления, развиваемого излучающей антенной;  $b$  – коэффициент затухания звука в среде распространения;  $r$  – дальность до лоцируемого объекта.

Для компенсации уменьшения амплитуды эхо-сигнала в зависимости от расстояния издавна применяется временная автоматическая регулировка усиления (ВАРУ) приёмного тракта, обычно осуществляемая в трактах аналоговой предварительной обработки, при которой стремятся изменять во времени коэффициент передачи приёмного тракта по закону

$$K(t) \sim t^2 e^{2bt/c}, \quad (2)$$

где  $K(t)$  – коэффициент передачи приёмного тракта;  $t$  – время, соответствующее приходу эхо-сигналу с дальности  $r$ ;  $c$  – скорость звука в среде распространения.

Таким образом, происходит подмена необходимой зависимости коэффициента передачи приёмного тракта от дальности до лоцируемого объекта зависимостью коэффициента передачи приёмного тракта от времени [2].

Следует сказать, что при коротких зондирующих сигналах, применявшихся на заре развития гидроакустики, а зачастую и в современных гидролокационных системах, такая подмена приемлема и не оказывает существенного влияния на «качество» эхограмм и достоверность отображения эхо-сигнальной обстановки.

Однако, при применении сложных сигналов, имеющих в гидроакустике, как правило, достаточно большие длительности (по сравнению с эквивалентными по разрешающей способности по дальности простыми сигналами), вышеописанная «подмена» приводит к специфическим особенностям.

Во-первых, в диапазоне временных интервалов от начала зондирования, соизмеримых с длительностью зондирующего импульса, происходит паразитная амплитудная модуляция (ПАМ) принимаемого эхо-сигнала по параболическому закону (на малых дальностях затуханием можно пренебречь), «степень» которой зависит как от длительности зондирующего сигнала, так и от времени его прихода.

Во-вторых, существуют гидролокационные системы, в частности профилографы, предназначенные для стратификации донных отложений и обнаружения затонувших малоразмерных целей (МРЦ). В наиболее «продвинутых» применяют так называемую «адаптивную» ВАРУ (АВАРУ). АВАРУ так же, как и ВАРУ, применяется обычно в трактах аналоговой предварительной обработки, но с моментов времени, соответствующих текущей дальности до дна, начинает использовать при вычислении параметров  $K(t)$  совершенно другой коэффициент затухания звука, характерный для конкретного типа донных осадков и, как правило, на порядки? отличающийся от коэффициента затухания в воде. Такой подход позволяет при относительно коротких зондирующих сигналах существенно улучшить «качество» эхограмм в области донных осадков и, зачастую, регистрировать цели, не отображаемые на эхограмме при «обычной» ВАРУ. Однако при сложных сигналах появляется ПАМ, «степень» которой очень существенно зависит от коэффициента затухания звука в грунте и «пространственной» длительности зондирующего сигнала.

Следствием возникновения ПАМ оказывается изменение отклика согласованного фильтра (СФ), выражающееся в увеличении как амплитуды отклика, так и его эффективной длительности, т.е. возникновение ПАМ приводит к ухудшению разрешающей способности гидролокационной системы по дальности и искажению отображения эхосигнальной обстановки.

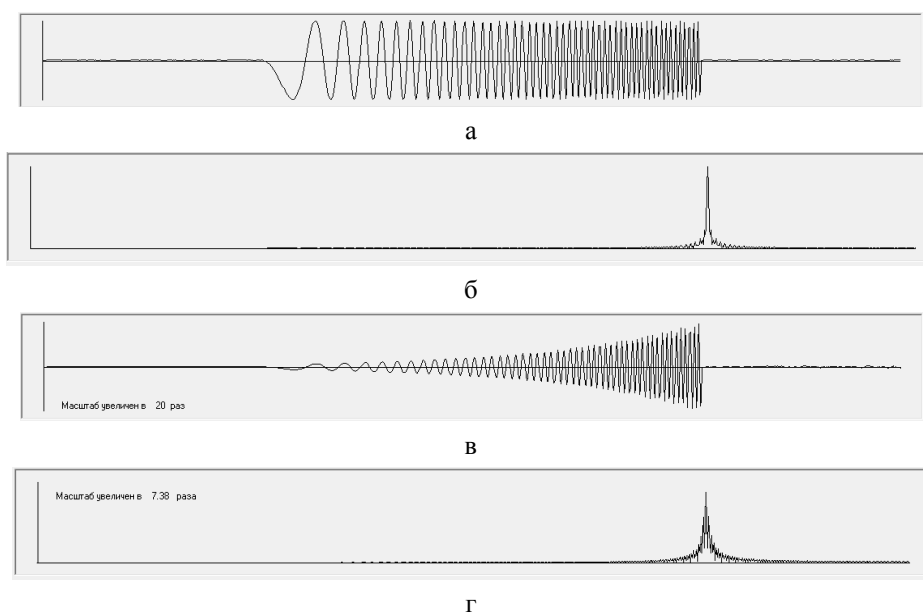
Как иллюстрация вышесказанному, на рис. 1,а,б,в,г соответственно для линейного частотно-модулированного (ЛЧМ) сигнала с несущей частотой 2,5 кГц, девиацией 5 кГц и длительностью 20 мс представлены: сигнал без ПАМ, соответствующий ему модуль отклика СФ, сигнал с ПАМ и соответствующий ему модуль отклика СФ.

Анализ откликов СФ на ЛЧМ сигнал с ПАМ и без неё показывает, что при ПАМ, соответствующей влиянию АВАРУ, компенсирующей затухание в грунте порядка 0,8 дБ/м (среднее затухание в глинистых осадках), разрешающая способность сигнала по дальности ухудшается примерно в два раза, а уровень отклика СФ увеличивается примерно на 17 дБ. При больших значениях коэффициента затухания звука в грунте проявление ПАМ окажется более значительно, а ухудшение разрешающей способности по дальности и искажение получаемой информации ещё более велико.

Такое влияние АВАРУ следует считать недопустимым.

Как выход из создавшегося положения можно принять комбинированный вариант обработки сигналов с отказом от включения АВАРУ в управляющих цепях аналогового приёмного тракта, выполнять процедуру СФ для каждого элемента пространственного разрешения (ЭПР) и только после этого вводить для каждого ЭПР соответствующие умножающие коэффициенты, компенсирующие влияние повышенного коэффициента затухания в грунте, т.е. осуществлять адаптивную «цифровую» дистанционную автоматическую регулировку усиления (АДАРУ).

Следует сказать, что необходимость отказа от АВАРУ в аналоговом тракте обработки эхосигналов и введение АДАРУ в цифровой существенно повышает требования к динамическому диапазону и, как следствие, к разрядности аналого-цифровых преобразователей. Это влечёт, в свою очередь, пропорциональное увеличение разрядности вычислительных модулей, усложнение алгоритмов, процедур вычислений и их оптимизации.



*Рис. 1. ЛЧМ-сигнал с несущей частотой 2,5 кГц, девиацией 5 кГц и длительностью 20 мс: а – ЛЧМ-сигнал без ПАМ; б – модуль отклика СФ на ЛЧМ-сигнал без ПАМ; в – ЛЧМ-сигнал с ПАМ, соответствующей влиянию компенсации АВАРУ затухания в грунте порядка 0,8 дБ/м. Масштаб по оси ординат увеличен в 20 раз; г – модуль отклика СФ на ЛЧМ-сигнал с ПАМ, соответствующей влиянию компенсации АВАРУ затухания в грунте порядка 0,8 дБ/м. Масштаб по оси ординат увеличен в 7,38 раза*

Однако, если не рассматривать определённые частные случаи, для повышения дальности обнаружения заиленных МРЦ путём использования сложных сигналов с последующей их согласованной фильтрацией альтернативы предлагаемому подходу АДАРУ нет.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зарайский В.А., Тюрин А.М. Теория гидролокации. – Л.: Военно-морская орденов Ленина и Ушакова Академия, 1975. – 605 с.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986, – 512 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.П. Заграй.

**Гурский Вадим Витальевич** – Научное конструкторское бюро цифровой обработки сигналов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: dsp@tgn.sfedu.ru; 347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2; тел.: 88634312350; начальник научно-исследовательского сектора, к.т.н.

**Goorskey Vadim Vital'evich** – SFedU Research and Design Bureau of Digital Signal Processing – Federal State-Owned Educational Autonomous Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»; e-mail: dsp@tgn.sfedu.ru, 22, Shevchenko street, Taganrog, 347922, Russia; phone: +78634312350; head of research and development sector; cand. of eng. sc.