

УДК 681.883.77

© А. Д. Консон, А. А. Волкова

АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург

mfp@mail.wplus.net

ОБНАРУЖЕНИЕ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ ПОДВОДНОГО ШУМОИЗЛУЧЕНИЯ МОРСКИХ СУДОВ ПРИ КАЧКЕ НА ФОНЕ СВЕРХНИЗКОЧАСТОТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ

Статья поступила в редакцию 21.03.2018, после доработки 04.03.2019

Проведен анализ влияния сверхнизкочастотных (с частотой ниже 0.05 Гц) флуктуаций подводного шумоизлучения морских судов на возможность выделения амплитудной модуляции сигнала, существующей в диапазоне частот качки морских судов на взволнованной поверхности (от 0.03 до 0.5 Гц). На основе анализа записей сигналов, полученных в натуральных условиях, определены возможные характерные варианты спектров сверхнизкочастотных флуктуаций. Наблюдалось, что сверхнизкочастотные могут проявляться в отдельных диапазонах общей полосы частот несущего сигнала (от 0.5 до 8.0 кГц). Предложены различные гипотезы о природе образования сверхнизкочастотных флуктуаций в зависимости от гидролого-акустических условий. Показано, что сверхнизкочастотные флуктуации могут оказывать негативное влияние на возможность обнаружения амплитудной модуляции. Рассмотрены возможные схемы выделения амплитудной модуляции сигнала в диапазоне частот качки на фоне сверхнизкочастотных флуктуаций. Предложен способ компенсации влияния сверхнизкочастотных флуктуаций для типового устройства обнаружения амплитудной модуляции, обусловленной качкой. Предложенный способ реализован программным образом в составе типового устройства. Показана работоспособность способа на натуральных записях шумовых сигналов морских судов.

Ключевые слова: гидроакустика, шумопеленгование, флуктуации сигнала, амплитудная модуляция, качка, устройство обнаружения модуляции.

A. D. Konson, A. A. Volkova

JSC «Concern «Oceanpribor», St.-Petersburg, Russia

DETECTION OF AMPLITUDE MODULATION OF SEA VESSEL UNDERWATER NOISE EMISSION AT ROLLING AND PITCHING AT THE BACKGROUND OF ULTRALOW FREQUENCY FLUCTUATIONS

Received 21.03.2018, in final form 04.03.2019

Analysis of the influence of ultralow frequency (up to 0.05 Hz) fluctuations of sea vessel underwater noise emission on the possibility of extraction of signal amplitude modulation existing in the frequency band of sea vessel rolling and pitching on the rough surface (from 0.03 to 0.5 Hz) is carried out. Possible characteristic variants of ultralow frequency fluctuations spectra are determined based on the analysis of signals recorded in natural conditions. Appearance of ultralow frequency signal fluctuations was observed in different frequency bands of the total frequency band of the carrier signal (from 0.5 to 8.0 kHz). Different hypotheses of the nature of ultralow frequency fluctuations formation depending on hydrological-acoustic conditions are proposed. It is shown that ultralow frequency fluctuations can have negative effect on the possibility of amplitude modulation detection. Possible circuits of extraction of signal amplitude modulation in rolling and pitching frequency band against ultralow frequency fluctuations are considered. The effective method of compensation of ultralow frequency fluctuations influence for a standard device of detection of amplitude modulation caused by rolling and pitching is presented. The proposed method is implemented as software in the structure of a standard device. Operability of the method has been shown using noise signals of sea vessels recorded in natural conditions.

Keywords: hydroacoustics, passive listening, signal fluctuations, amplitude modulation, rolling and pitching, modulation detection device.

Ссылка для цитирования: Консон А.Д., Волкова А.А. Обнаружение амплитудной модуляции подводного шумоизлучения морских судов при качке на фоне сверхнизкочастотных флуктуаций // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12, № 2. С. 12–19.

For citation: Konson A.D., Volkova A.A. Detection of amplitude modulation of sea vessel underwater noise emission at rolling and pitching at the background of ultralow frequency fluctuations. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2019, 12, 2, 12–19.

DOI: 10.7868/S2073667319020023

Введение. Исследование амплитудной модуляции подводного шумоизлучения морских судов имеет важное практическое значение для построения гидроакустической аппаратуры. Известно, что шумы судов подвержены двум видам модуляции: вально-лопастной модуляции, обусловленной работой двигателя и проявляющейся на частотах от единиц Гц до 30 (иногда 50) Гц, и модуляции при качке судна на взволнованной поверхности, проявляющейся на частотах от 0.03 до 0.5 Гц [1, 2]. Для обнаружения и измерения параметров амплитудной модуляции обоих видов используется унифицированное устройство, структурная схема которого приведена на рис. 1. Устройство содержит последовательно соединенные блоки: ПФ – полосовой фильтр (преселектор), АРУ – блок автоматической регулировки усиления, АД – амплитудный детектор, ФНЧ – фильтр нижних частот, СА – спектроанализатор, ВУ – вычислительное устройство, на выходе которого получены параметры амплитудной модуляции, необходимые, например, для последующей классификации типа источника сигнала.

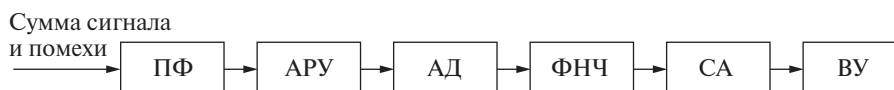


Рис. 1. Структурная схема устройства обнаружения амплитудной модуляции.

Fig. 1. Structure chart of device of amplitude modulation detection.

Известно [3], что в шумовом сигнале судна могут присутствовать сверхнизкочастотные флуктуации на частотах ниже 0.05 Гц, обусловленные физическими процессами другой природы. Влияние таких флуктуаций на процедуру обнаружения амплитудной модуляции, обусловленной качкой, исследовалось не достаточно подробно с использованием экспериментальных данных.

Целью данной работы является экспериментальное определение возможности выделения амплитудной модуляции шумового сигнала морского судна, существующей в диапазоне частот качки, на фоне сверхнизкочастотных флуктуаций, и разработка способа уменьшения влияния сверхнизкочастотных флуктуаций.

Сверхнизкочастотные флуктуации подводного шумоизлучения морских судов. Основываясь на фундаментальных работах по акустике океана [4], следует признать, что сверхнизкочастотные флуктуации шумового сигнала судна могут существовать и на частотах менее 0.05 Гц. Природа таких флуктуаций, согласно [5, 6], может быть обусловлена рассеянием звука при отражении от взволнованной поверхности. Согласно упомянутым работам, при значениях параметра Рэлея меньше единицы $2k\sigma_h \sin\alpha \leq 1$, где k – волновое число, σ_h – среднеквадратическое значение неровностей поверхности, α – угол скольжения луча у поверхности, спектр флуктуаций отраженного сигнала повторяет спектр волнения и проявляется на частотах от 0.05 до 0.5 Гц в диапазоне модуляции качкой, но с ростом этого параметра спектр расширяется, а основная энергия флуктуаций сигнала проявляется в окрестности нулевой частоты. В работах [7, 8] аналогичный вывод был сделан при рассмотрении флуктуаций сигнала, обусловленных явлением качки судна на волне.

В работе [3] авторами исследовались шумовые сигналы надводных кораблей на предмет наличия сверхнизкочастотных флуктуаций. При лабораторной обработке записей шумовых сигналов надводных кораблей были получены спектры сверхнизкочастотных флуктуаций. Для получения спектров использовалось устройство обнаружения амплитудной модуляции, которое идентично по составу блоков устройству на рисунке 1 и отличается только возможностью изменения диапазона частот полосового фильтра. Средняя частота полосового фильтра менялась от 500 до 7500 Гц. Ширина полосы численно выбиралась равной значению корня квадратного из средней частоты фильтра. Такая обработка позволила выявить частотные свойства сверхнизкочастотных флуктуаций шумового сигнала в зависимости от различных частот самого сигнала.

На рис. 2 приведены три показательных типа спектров сверхнизкочастотных флуктуаций шумовых сигналов морских судов, соответствующих профилям вертикального распределения скорости звука, указанным на рис. 3. Двумерные спектры низкочастотных процессов ($f \leq 0.05$ Гц) приведены в яркостном виде (максимум соответствует белому цвету, минимум – черному). По оси абсцисс отложена частота флуктуаций сигнала (f , Гц), по оси ординат – варьируемые средние частоты (Fsr , кГц) полосового фильтра (ПФ) устройства обнаружения амплитудной модуляции, структурная схема которого приведена на рис. 1. Спектры сверхнизкочастотных флуктуаций получены с разрешением по частоте

0.009375 Гц. Имеющаяся длительность записи не позволяла осуществлять накопление, поэтому результат представляет собой мгновенные спектральные плотности.

На рис. 3 приведены профили вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ) для условий, в которых получены спектры флуктуаций соответственно. По оси абсцисс – скорость звука (C), по оси ординат – глубина (h). На рис. 3, *а*: Баренцево море, октябрь. Глубина дна 240 м. Скорость звука у поверхности – 1476.5 м/с, скорость звука у дна – 1484 м/с. На рис. 3, *б*: Норвежское море, декабрь. Глубина дна 2 км. Скорость звука у поверхности – 1472.6 м/с, скорость звука у дна – 1478.1 м/с. Минимальное значение скорости звука – 1460 м/с на глубине 600 м. Слой скачка со скоростью звука – 1474 м/с на глубине 187 м. На рис. 3, *в*: Белое море, июнь. Глубина дна – 220 м. Скорость звука у поверхности – 1489.7 м/с, скорость звука у дна – 1439.6 м/с. Наибольший градиент скорости звука наблюдается от поверхности до глубины 25 м.

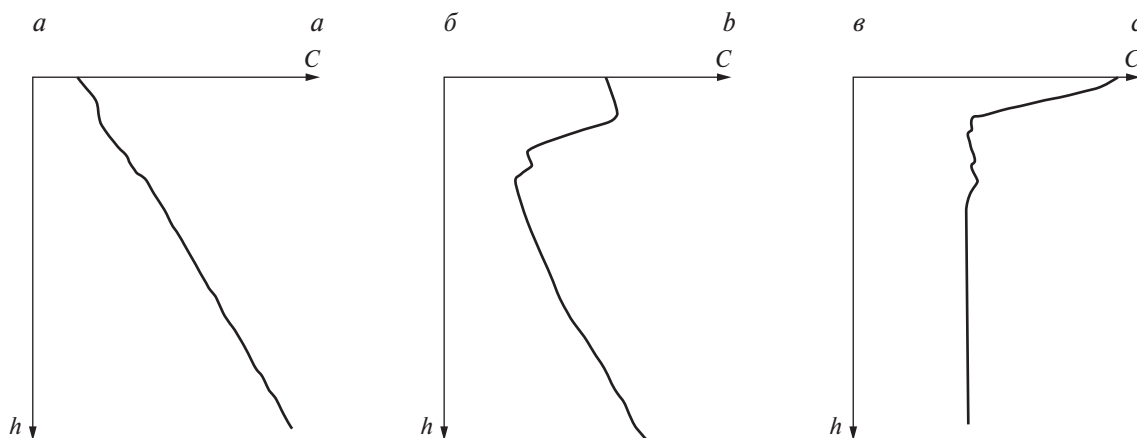


Рис. 3. Профили вертикального распределения скорости звука.
а – Баренцево море; *б* – Норвежское море; *в* – Белое море.

Fig. 3. Profiles of vertical gradient of sound velocity (VGSV).
a – the Barents Sea; *b* – The Norwegian Sea; *c* – The White Sea.

Результаты, приведенные на рис. 2, *а* при гидрологии на рис. 3, *а*, согласуются с моделью образования сверхнизкочастотных флуктуаций при рассеянии звука на взволнованной поверхности. На рис. 2, *а* видно, что сверхнизкочастотные флуктуации начинают проявляться на частотах основного сигнала (несущей) более 3 кГц и их уровень возрастает с дальнейшим увеличением частоты. При этом на рис. 3, *а* видно, что условия распространения сигнала характеризуются положительным градиентом скорости звука, то есть сплошной освещенностью с многократным отражением сигнала от поверхности. Данный результат согласуется с работами [5, 6], где установлено, что сверхнизкочастотные флуктуации могут появиться при больших параметрах Рэлея, которые, в свою очередь, возможны с ростом частоты основного сигнала.

На рис. 2, *б* сверхнизкочастотные флуктуации можно наблюдать на низких частотах основного сигнала (несущей) – 1–3 кГц. В качестве основной пока остается гипотеза, предложенная в работе [3], где использована модель дифракционной решетки Брэгга, образованной внутренними волнами в океане вследствие движения судна с небольшой скоростью [9]. Тогда создаются не только корабельные волны на поверхности моря, но и внутренняя волна на границе раздела слоев воды с разными показателями преломления. Учитывая возможные параметры внутренней волны, образованной вследствие движения судна, когда длина волны меньше высоты, вполне можно рассматривать эту волну по отношению к акустической волне как дифракционную решетку Брэгга, в которой дифракция волны происходит на объемной периодической структуре при падении луча под углом к решетке [10].

Согласно общей теории, в нашем случае при распространении акустической волны сквозь неоднородную среду внутренней волны, дифракционные эффекты должны заметно проявляться для длин акустических волн, сравнимых с длиной внутренней волны [11]. При длине внутренней волны, существенно превышающей длину акустической волны (в 3–4 раза и более), явлением дифракции, как правило, можно пренебречь. Этим можно объяснить отсутствие эффекта сверхнизкочастотных

флуктуаций на высоких частотах шумового сигнала. На рис. 2, б видно, что эффект сверхнизкочастотных флуктуаций наблюдается в диапазоне частот шумового сигнала (несущей) ниже 2 кГц, что соответствует длине звуковой волны 0.75 м и более. Возможно, это имело место в рассматриваемом эксперименте при движении крупнотоннажного судна. При этом на рис. 3, б видно, что условия распространения сигнала в этом случае характеризуются наличием подводного звукового канала, то есть преобладанием водных лучей без отражения от поверхности.

Предлагая предложенные модели образования сверхнизкочастотных флуктуаций как основные, допускаем существование других. Например, хорошо известно, что возникающая в условиях многолучевости интерференция при взаимном перемещении источника и приемника может приводить к квазипериодическому изменению уровня сигнала. Однако можно ожидать, что этот эффект будет проявляться во всем диапазоне частот несущей и особенно на высоких частотах, как это происходит при отражении от взволнованной поверхности, где также имеет место эффект интерференции.

В процессе проведения натуральных экспериментов наблюдались сверхнизкочастотные флуктуации сигнала, появление которых можно было бы объяснить одновременным действием двух факторов: рассеянием звука на взволнованной поверхности моря и дифракцией звука на внутренней волне. Такие результаты приведены на рис. 2, в. Видно, что сверхнизкочастотные флуктуации проявляются как на верхних частотах шумового сигнала, так и на нижних, хотя в разной степени интенсивности. При этом между частотными областями существования сверхнизкочастотных флуктуаций имеется определенный разрыв, что допускает предположение о различной природе их образования. Кроме того, на рис. 3, в видно, что условия распространения сигнала близки к условиям, когда могут существовать и водные лучи, и лучи, отраженные от поверхности, а наличие участка отрицательного градиента скорости звука допускает возможность образования дифракционной решетки Брэгга.

Влияние сверхнизкочастотных флуктуаций на обнаружение модуляции качкой.

Для исследования влияния сверхнизкочастотных флуктуаций на обнаружение модуляции качкой использовалась схема на рис. 1.

При программной реализации устройства рассмотрены две схемы: одна – с АРУ и другая – без АРУ. Предполагалось, что это позволит путем сопоставления результатов оценить влияние сверхнизкочастотных флуктуаций на обнаружение модуляции качкой.

Автоматическая регулировка усиления (АРУ) осуществлялась путем нормировки накопленных отсчетов на их средний уровень:

$$\hat{U}_i = \frac{U_i}{\sqrt{\sum_{j=1}^N U_j^2}}, \quad i = 1, \dots, N$$

где U_i , \hat{U}_i – отсчеты сигнала, соответствующие интервалу времени i , до и после АРУ, соответственно; N – количество отсчетов в выборке.

На рис. 4 приведены спектры амплитудной огибающей сигнала, полученные как результаты работы устройства на рис. 1 в широкой частотной полосе преселектора по схемам обработки с АРУ и без АРУ для экспериментов, в которых наблюдалась качка на взволнованной поверхности. На графиках по оси абсцисс – частота модуляции (f , Гц), по оси ординат – амплитуда (A), нормированная на максимальное значение. Рисунок 4, а соответствует гидрологическим условиям на рис. 3, а; рисунки 4, б и в – гидрологическим условиям 3, б (для одного судна в разных условиях наблюдения). Здесь и далее спектры амплитудной огибающей сигнала получены с разрешением по частоте 0.0038 Гц и накоплены по четыре реализации при общем времени наблюдения 18 мин.

На выходе устройства наблюдаются спектры огибающей сигнала, основная энергия которых сосредоточена в области частот, простирающейся до значений 0.05 Гц. По схеме без АРУ из рис. 4 видно, что в области частот, характерных для качки, гармоники проявляются незначительно. Применение схемы с АРУ позволяет выделить область существования спектра качки в ситуациях б, в, но не позволяет обнаружить модуляцию в ситуации а.

Рассмотрим возможность компенсации влияния сверхнизкочастотных флуктуаций для обнаружения амплитудной модуляции, обусловленной качкой, по способу, предложенному в [12]. Способ может быть реализован программным образом в блоке ВУ устройства (рис. 1).

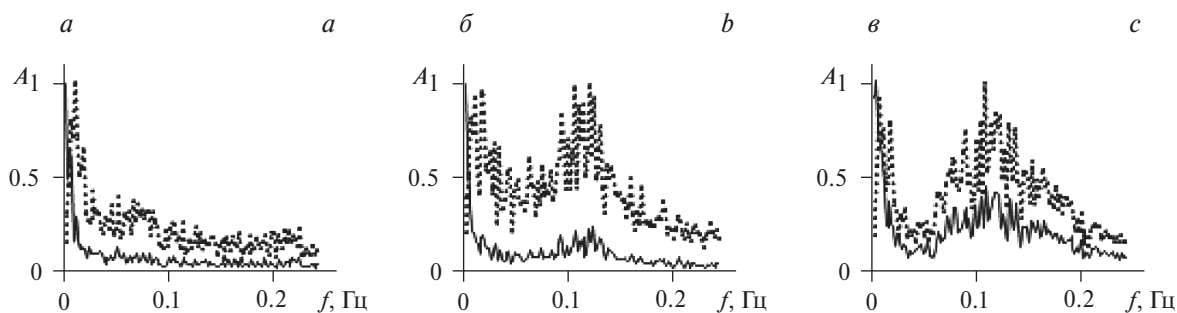


Рис. 4. Спектр модуляции, полученный по схемам с АРУ и без АРУ (сплошная линия – схема без АРУ, пунктир – схема с АРУ).
a – Баренцево море ВРСЗ на рис. 3, *a*;
б, в – Норвежское море ВРСЗ на рис. 3, *б*.

Fig. 4. Modulation spectrum, obtained using circuits with and without automatic gain control (AGC) (solid line – circuit with AGC, dotted line – circuit without AGC).
a – the Barents Sea VGSV – fig. 3, *a*;
b, c – The Norwegian Sea VGSV – fig. 3, *b*.

Процедуры способа [12] состоят в следующем:

- а) определение постоянной составляющей амплитудного спектра скользящим «окном» (по частоте);
- б) определение центрированного спектра как разности между исходным спектром и его постоянной составляющей;
- в) определение среднеквадратического отклонения совокупности спектральных отсчетов центрированного спектра;
- г) определение нормированного спектра как частного от деления центрированного спектра на среднеквадратическое отклонение.

Первые две процедуры способа позволят определить и исключить тренд спектра, обусловленный наличием сверхнизкочастотных флуктуаций, влияние которых простирается до диапазона частот модуляции качкой. Ширина скользящего «окна» подбирается эмпирически в зависимости от разрешения спектра по частоте. Вторые две процедуры позволят ограничить динамический диапазон спектра амплитудной модуляции для корректного отображения в амплитудном и яркостном виде, и последующего сравнения различных спектров друг с другом.

После последней процедуры центрированный и нормированный спектр поступает на индикацию и на анализ гармоник, обусловленных модуляцией качкой.

На рис. 5 приведены примеры спектров амплитудной модуляции сигнала, образованной качкой, после применения к ним процедур способа компенсации влияния сверхнизкочастотных флуктуаций [12]. По оси абсцисс – частота модуляции (f , Гц), по оси ординат – варьируемая средняя частота полосового фильтра (Fsr , кГц). Спектры приведены в яркостном виде (максимум соответствует белому цвету, минимум – черному). На рис. 5, *a* приведен спектр модуляции для судна среднего водоизмещения в условиях сплошной освещенности (ВРСЗ на рис. 3, *a*). На рис. 5, *б* и *в* приведены спектры модуляции для судна большого водоизмещения в условиях наличия подводного звукового канала (ВРСЗ на рис. 3, *б*) для различных расстояний между источником и приемником соответственно.

Можно отметить следующие особенности представленных результатов.

Предложенный в [12] способ, реализуемый в составе оконечного блока устройства (рис. 1), позволяет компенсировать влияние сверхнизкочастотных флуктуаций для обнаружения модуляции качкой. На рис. 5 ярко проявляются гармоники спектра, характеризующие модуляцию качкой. Средняя частота совокупности гармоник соответствует периодичности эффектов усиления и ослабления интенсивности звука, прослушиваемых оператором.

Яркостные картины спектра, формируемого с применением разработанного способа [12], позволяют анализировать характер модуляции. Из приведенных примеров видно, что спектр модуляции носит сложный характер. Ширина частотной полосы модуляции изменяется от 0.03 Гц (рис. 5, *a*) до 0.06 Гц (рис. 5, *б* и *в*). На рис. 5, *в* можно заметить, что имеется изменение основной частоты модуляции при изменении области частоты основного сигнала.

Необходимо обратить внимание на частотный диапазон шумового сигнала, в котором заметны проявления модуляции. Для одних условий — это частоты от 0.5 до 2 кГц (рис. 5, *а*). Для других условий модуляция особенно ярко проявляется на частотах от 1.0 до 3 кГц (рис. 5, *б*) и от 3.0 до 5.0 кГц (рис. 5, *в*). Указанные полосы частот можно принять оптимальными для наблюдения модуляции сигнала качкой в данных случаях. Кроме того, на рис. 5, *б* и *в* можно наблюдать изменение средней частоты модуляции и амплитуды модуляции при изменении частоты шумового сигнала.

В связи с этим, понятно, почему в ситуации, приведенной на рис. 4, *а* модуляция не была обнаружена. Это связано с тем, что результаты получены при широкополосной фильтрации в блоке ПФ, что, как видно из рис. 5, *а*, не является оптимальной преселекторной обработкой.

Рассмотрим результаты работы способа [12] в условиях широкополосной фильтрации и в условиях фильтрации в диапазоне частот, оптимальных для наблюдения модуляции в каждом случае. Эти результаты приведены на рис. 6 и 7, соответственно.

Сравнение результатов на рис. 4 и 6 показывает, что способ [12] выделения модуляции в спектре сигнала при обработке в широкой полосе частот имеет преимущества перед традиционной обработкой в широкой полосе частот. Однако, модуляция, проявляющаяся в узкой полосе частот шумового сигнала (рис. 5, *а*), не может быть обнаружена при обработке в широкой полосе частот.

Анализ рис. 7 показывает, что при фильтрации в оптимальном диапазоне частот сигнала, модуляция качкой может быть обнаружена как по схеме с АРУ, так и при использовании способа [12]. При этом новый способ обработки позволяет усилить эффект обнаружения модуляции. Это проявляется по двум параметрам. Во-первых, амплитуда гармоник модуляции увеличивается

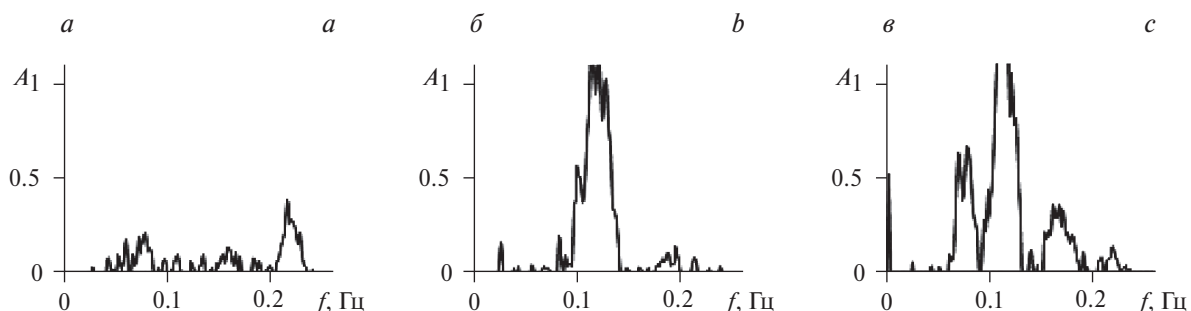


Рис. 6. Спектр модуляции, полученный по способу [12] в широкой полосе частот преселектора (соответствует условиям на рис. 5).

Fig. 6. Modulation spectrum obtained using method [12] in a broad frequency band of the preselector (corresponds conditions from fig. 5).

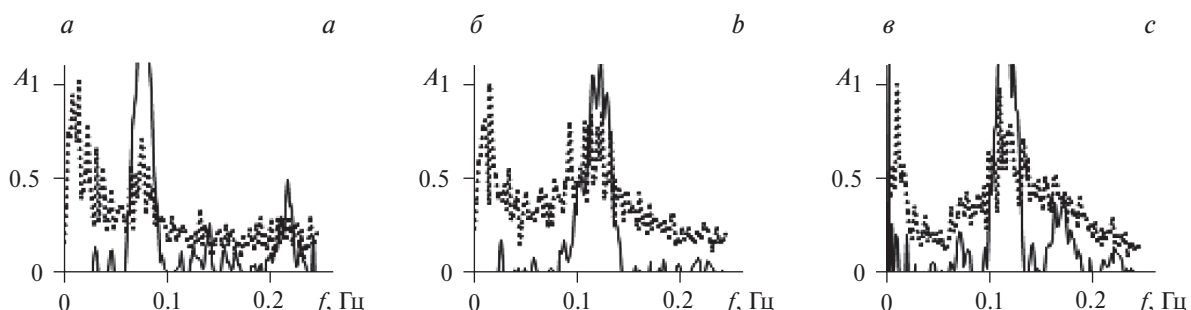


Рис. 7. Спектр модуляции, полученный в оптимальной полосе частот преселектора для двух способов обработки. *Сплошная линия* — схема по способу [12] без АРУ, *пунктир* — схема с АРУ, но без способа [12] (соответствует условиям на рис. 5).

Fig. 7. Modulation spectrum obtained in optimal frequency band of the preselector for two processing methods. *Solid line* — circuit using method [12] without AGC, *dotted line* — circuit with AGC without method [12] (corresponds conditions from fig. 5).

относительно помеховой составляющей, и, во-вторых, ширина частотной полосы модуляции сужается. Следовательно, можно ожидать, что применение предлагаемого способа [12] обработки шумового сигнала на практике обеспечит возможность обнаружения модуляции и оценки ее средней частоты в условиях более низких отношений шумового сигнала к помехе. Количественная оценка эффективности предлагаемого способа планируется для дальнейшей работы.

* * *

Проведенные исследования показывают, что сверхнизкочастотные (с частотой ниже 0.05 Гц) флуктуации подводного шумоизлучения морских судов оказывают негативное влияние на возможность обнаружения амплитудной модуляции сигнала, существующей в диапазоне частот качки судна на взволнованной поверхности (от 0.03 до 0.5 Гц). Для типового устройства обнаружения амплитудной модуляции предложен способ компенсации влияния сверхнизкочастотных флуктуаций, который может быть реализован программным образом в оконечном блоке типового устройства. Испытания работы способа с использованием натуральных записей шумовых сигналов морских судов подтвердили его работоспособность. Можно ожидать, что применение предлагаемого способа [12] обработки шумового сигнала на практике обеспечит возможность обнаружения модуляции в условиях более низких отношений шумового сигнала к помехе.

Литература

1. Кудрявцев А.А., Лугинец К.П., Машошин А.И. Об амплитудной модуляции подводного шума морских объектов // Акустический журнал. 2003. Т. 49, № 2. С. 224–228.
2. Машошин А.И. Оптимизация устройства обнаружения и измерения параметров амплитудной модуляции подводного шумоизлучения морских судов // Акустический журнал. 2013. Т. 59, № 3. С. 347–353.
3. Волкова А.А., Консон А.Д. Натурные исследования сверхмедленных флуктуаций шумового сигнала надводного корабля // Гидроакустика. 2017. № 30(2). С. 52–59.
4. Акустика океана / Под ред. акад. Л. М. Бреховских. М.: Наука, 1974. 693 с.
5. Лысанов Ю.П. Рассеяние звука неровными поверхностями // Акустика океана / Под ред. Л. М. Бреховских. М.: Наука, 1974. С. 231–330.
6. Андреева И.Б., Чупров С.Д. Отражение и рассеяние звука взволнованной поверхностью океана // Акустика океана / Под ред. Л.М. Бреховских. М.: Наука, 1974. С. 331–394.
7. Консон А.Д. О корреляционных характеристиках флуктуации мощности шумового сигнала, излучаемого надводным кораблем // Акустический журнал. 1999. Т. 45, № 4. С. 523–527.
8. Консон А.Д. Спектр флуктуации мощности сигнала, излучаемого кораблем при качке // Судостроение. 1997. Вып. 6. С. 46–48.
9. Коняев К.В., Сабинин К.Д. Волны внутри океана. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 272 с.
10. Гуляев Ю.В., Проклов В.В., Шкердин Г.Н. Дифракция света на звуке в твердых телах // Успехи физических наук. 1978. Т. 124, № 1. С. 61–111.
11. Боровиков В.А., Кинбер Б.Е. Геометрическая теория дифракции. М.: Связь, 1978. 247 с.
12. Консон А.Д., Волкова А.А. Патент РФ № 2645013 от 15.02.2018. Способ определения водоизмещения надводного корабля при его шумопеленговании. МПК G01S3/80.

References

1. Kudryavtsev A.A., Luginets K.P., Mashoshin A.I. Amplitude Modulation of Underwater Noise Produced by Seagoing Vessels. *Akusticheskij Zhurnal*. 2003, 49, 2, 224–228 (in Russian).
2. Mashoshin A.I. Optimization of a device for detecting and measuring parameters of amplitude modulation of underwater noise emission of seagoing vessels. *Akusticheskij Zhurnal*. 2013, 59, 3, 347–353 (in Russian).
3. Volkova A.A., Konson A.D. Field observations of superslow fluctuations of noise signal of surface ship. *Hydroacoustics*. 2017, 30(2), 52–59 (in Russian).
4. Ocean acoustics / L.M. Brekhovskikh. *M., Science*, 1974. 693 p (in Russian).

5. *Lysanov Yu.P.* Sound scattering by uneven surfaces. In Ocean acoustics / L. M. Brekhovskikh. M., Science, 1974, 231–330 (in Russian).
6. *Andreeva I.B., Chuprov S.D.* Reflection and sound scattering by the uneasy surface of the ocean. In Ocean acoustics / L.M. Brekhovskikh. M., Science, 1974, 331–394 (in Russian).
7. *Konson A.D.* Correlation of Power Fluctuations in the Noise Signal Emitted by a Surface Ship. *Akusticheskij Zhurnal*. 1999, 45, 4, 523–527 (in Russian).
8. *Konson A.D.* Range of fluctuation of signal power, radiated by the ship at the rolling. *Sudostroyeniye*. 1997, 6, 46–48 (in Russian).
9. *Konyayev K.V., Sabinin K.D.* Waves in the ocean. SPb., Gidrometeoizdat, 1992. 272 p (in Russian).
10. *Gulyayev Yu.V., Proklov V.V., Shkerdin G.N.* Diffraction of light on the sound in rigid bodies. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 1978, 124, 1, 61–111 (in Russian).
11. *Borovikov V.A., Kinber B.Ye.* Geometrical theory of diffraction. M., Svyaz', 1978, 247 p. (in Russian).
12. *Konson A.D., Volkova.A.A.* Patent RU № 2645013 on 15.02.2018. Bull. № 5. Method of determining displacement of surface ship with its noise direction finding. Int.Cl. G01S3/80 (in Russian).

К статье *Консон А. Д., Волкова А. А.* Обнаружение амплитудной модуляции...

Konson A. D., Volkova A. A. Detection of amplitude modulation...

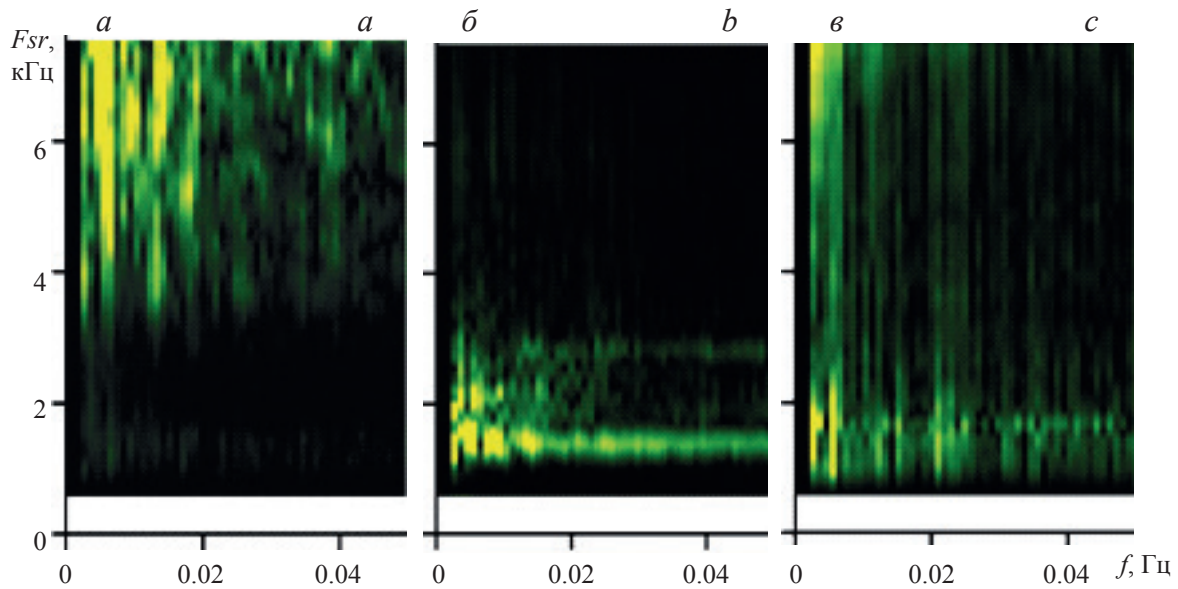


Рис. 2. Яркостной спектр сверхнизкочастотных флуктуаций.

a — Баренцево море ВРСЗ на рис. 3, *б* — Норвежское море ВРСЗ на рис. 3, *в* — Белое море ВРСЗ на рис. 3, *в*.

Fig. 2. Brightness spectrum of ultralow frequency fluctuations.

a — The Barents Sea VGSV — fig. 3, *a*; *b* — The Norwegian Sea VGSV — fig. 3, *b*; *c* — The White Sea VGSV — fig. 3, *c*.

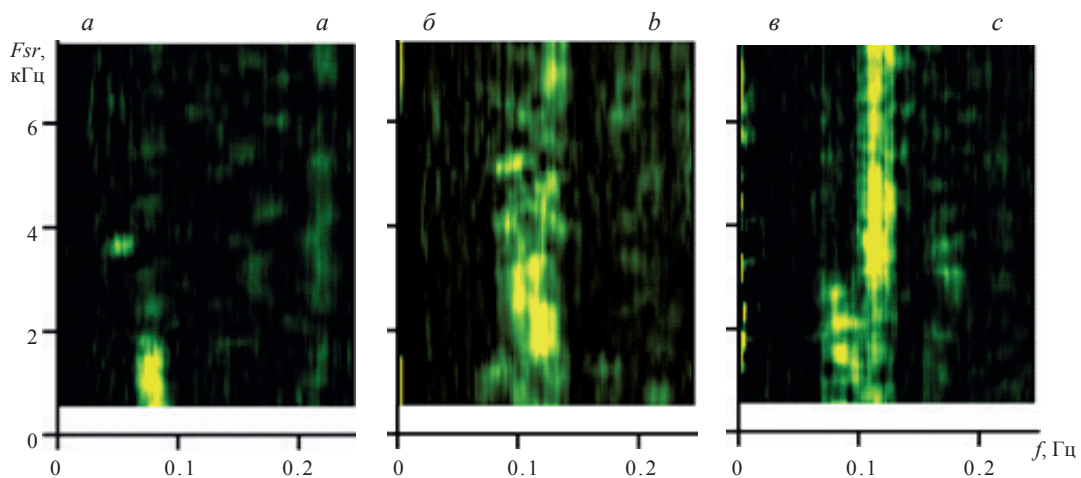


Рис. 5. Яркостной спектр модуляции после обработки по способу [12].

a — Баренцево море ВРСЗ на рис. 3, *б*, *в* — Норвежское море ВРСЗ на рис. 3, *б*.

Fig. 5. Modulation brightness spectrum after processing using method [12].

a — the Barents Sea VGSV — fig. 3, *a*; *b*, *c* — The Norwegian Sea VGSV — fig. 3, *b*.