

УДК 681.883.77

© А. И. Машошин, Ю. В. Шафранюк

ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, Россия

aimashoshin@mail.ru

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЦЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ ИХ ШУМОВ

Амплитудная модуляция подводного шумоизлучения морских судов широко используется на практике для их классификации. На основе анализа параметров амплитудной модуляции могут быть определены: тип судна, его водоизмещение, тип движителя, количество гребных валов, количество лопастей гребного винта, скорость хода, факт изменения курса либо скорости судна. Подводные шумы морских судов подвержены двум видам модуляции: вально-лопастной модуляции, обусловленной кавитацией, возникающей на гребном винте при его вращении на сверхкритической скорости, что характерно для быстро движущихся объектов (надводных кораблей и судов, торпед), и модуляции качкой, обусловленной качкой судна на волнении и, как следствие, периодическим изменением погруженной в воду части судна. В работе приводится синтез оптимального (по критерию максимального правдоподобия) алгоритма классификации морских объектов на основе анализа амплитудной огибающей их шумов. Показано, что синтезированный алгоритм может применяться как индивидуально, так и в составе комплексного алгоритма, осуществляющего классификацию целей на основе совокупности классификационных признаков. Исследована эффективность синтезированного алгоритма в зависимости от отношения сигнал/помеха в полосе додетекторного фильтра, а также от параметров устройства обнаружения амплитудной модуляции.

Ключевые слова: классификация подводного объекта, амплитудная огибающая шума, дискретная составляющая спектра, синтез оптимального алгоритма классификации.

Амплитудная модуляция (АМ) подводного шумоизлучения морских судов широко используется на практике для их классификации [1—15]. На основе анализа параметров АМ могут быть определены: тип судна, его водоизмещение, тип движителя, количество гребных валов, количество лопастей гребного винта, скорость хода, факт изменения курса либо скорости судна. Первые работы, посвященные АМ подводного шумоизлучения морских судов, появились в начале 1960-х гг. практически одновременно в нашей стране и за рубежом. В англоязычной литературе алгоритмы обнаружения и измерения параметров АМ получили название Detection Envelope Modulation On Noise или сокращенно DEMON [4].

Экспериментально обоснованная модель АМ подводного шумоизлучения морских судов приведена в работе [6]. Работа [15] содержит описание оптимального устройства для обнаружения и измерения параметров АМ.

Согласно [6] подводные шумы морских судов подвержены двум видам модуляции:

- вально-лопастной модуляции (ВЛМ), обусловленной кавитацией, возникающей на гребном винте при его вращении на сверхкритической скорости, что характерно для быстро движущихся объектов (надводных кораблей и судов, торпед);
- модуляции качкой (МК), обусловленной качкой судна на волнении и, как следствие, периодическим изменением погруженной в воду части судна.

Целью представляемой работы является синтез автоматического алгоритма классификации целей (ААКЦ) на основе анализа АМ их шумов.

Методика синтеза ААКЦ по их гидроакустическим шумам и сигналам приведена в работе [16]. Согласно этой работе к рассматриваемым алгоритмам предъявляются следующие требования:

- ввиду низкой информативности отдельных классификационных признаков (КП) для обеспечения высокой достоверности классификации целей алгоритм должен базироваться на использовании всей совокупности измеренных КП (под КП понимается параметр сигнала, векторный либо скалярный, который может быть измерен на выходе гидроакустического приемника и несет информацию о классе цели);

- поскольку информативность КП зависит от текущих гидроакустических и помехосигнальных условий, ААКЦ должен быть адаптивным;

- учитывая взаимную зависимость всех КП, ААКЦ должен строиться на базе использования их совместной плотности распределения вероятностей (ПРВ) и синтезироваться по критерию максимального правдоподобия;

- поскольку КП измеряются за различное время, ААКЦ должен быть динамическим, т. е. решение о классе цели должно приниматься при поступлении на его вход первой по времени оценки КП, а затем уточняться при поступлении оценок других КП, измеряемых за большее время.

Учитывая эти требования, ААКЦ должен иметь вид [16]:

$$\omega_{opt} = \arg \max_j \{P_{\text{апост}}(\omega_j, \Gamma, \hat{\mathbf{X}})\}, \quad (1)$$

где ω_j — j -й класс цели; ω_{opt} — результат классификации (т. е. класс цели, которому соответствует максимальная апостериорная вероятность); $\hat{\mathbf{X}}$ — оценка вектора КП \mathbf{X} ; Γ — вектор параметров, характеризующих текущие гидроакустические и помехосигнальные условия; $P_{\text{апост}}(\omega_j, \Gamma, \hat{\mathbf{X}})$ — апостериорная вероятность принадлежности цели j -му классу, определяемая по формуле [17]

$$P_{\text{апост}}(\omega_j) = \frac{g_{\hat{\mathbf{X}}/\omega_j, \Gamma}(\hat{\mathbf{X}})}{\sum_{m=1}^M g_{\hat{\mathbf{X}}/\omega_j, \Gamma}(\hat{\mathbf{X}})} = \frac{PF(\omega_j)}{\sum_{m=1}^M PF(\omega_m)}, \quad (2)$$

где $g_{\hat{\mathbf{X}}/\omega_j, \Gamma}(\mathbf{x})$ — условная (в зависимости от класса цели ω_j и текущих гидроакустических и помехосигнальных условий Γ) ПРВ оценки вектора КП \mathbf{X} , превращающаяся в функцию правдоподобия (ФП) $PF(\omega_j)$, зависящую только от класса цели, при подстановке в нее вместо аргумента \mathbf{x} оценки вектора КП $\hat{\mathbf{X}}$ [17]:

$$PF(\omega_j) = g_{\hat{\mathbf{X}}/\omega_j, \Gamma}(\hat{\mathbf{X}});$$

M — количество распознаваемых классов целей.

Из рассмотрения формул (1) и (2) следует, что единственной трудностью при синтезе ААКЦ является построение условной ПРВ оценки вектора КП \mathbf{X} , которую с учетом сделанных выше замечаний можно представить в виде:

$$g_{\hat{\mathbf{X}}/\omega_j, \Gamma}(\mathbf{x}) = \prod_{s=1}^S g_{\hat{\mathbf{X}}_s/\omega_j, \Gamma}(\mathbf{x}_s), \quad (3)$$

где S — количество КП, измеренных на текущем цикле принятия решения о классе цели; $g_{\hat{x}_s/\omega_j, \Gamma}(\mathbf{x}_s)$ — условная ПРВ оценки s -го КП; $\hat{\mathbf{X}}_s, \mathbf{x}_s$ — оценка s -го КП и ее неслучайный аналог соответственно.

Из рассмотрения формулы (3) следует, что для синтеза ААКЦ необходимо найти вид условной ПРВ оценки каждого s -го КП. Это относится и к рассматриваемому в настоящей работе КП — амплитудной модуляции шума цели.

Вместе с тем, ничто не мешает подставить условную ПРВ отдельного КП в формулу (2) вместо условной совместной ПРВ совокупности КП и осуществлять классификацию целей с использованием только этого одного КП. Такой шаг позволит исследовать информативность каждого отдельного КП и результаты этого исследования принимать во внимание при выборе рациональной совокупности КП, игнорируя заведомо не информативные КП.

Синтез ААКЦ на основе анализа АМ их шума. Из рассмотрения модели АМ [6] следует, что информация о классе цели содержится в факте наличия/отсутствия АМ принимаемого шума, а также в параметрах АМ, если установлено ее наличие. Параметрами АМ являются: количество дискретных составляющих (ДС) в спектре амплитудной огибающей (АО) шума цели и их частоты, в случае вально-лопастной модуляции образующие звукоряд.

В данной работе будем синтезировать алгоритм ААКЦ, который устанавливает только факт наличия/отсутствия АМ, т. е. позволяет отличить малозумные цели, движущиеся в докавитационном режиме работы движителей, от сильношумящих целей, у которых имеет место кавитация на гребном винте.

В качестве измеряемого параметра (классификационного признака), характеризующего наличие/отсутствие АМ, будем рассматривать выходное отношение сигнал/помеха (ОСП) $Q_{\text{вых}}$, равное максимальному в спектре АО превышению уровня отдельного спектрального отсчета над фоновой частью спектра в окрестности этого отсчета (под фоновой понимается часть спектра в окрестностях спектрального отсчета, превышающего по уровню соседние отсчеты). Оценка $Q_{\text{вых}}$ вычисляется по формуле:

$$\hat{Q}_{\text{вых}} = \frac{\hat{G}_{AO}(\Omega_M) - M[\hat{G}_{AO}(\Omega \neq \Omega_M)]}{\sigma[\hat{G}_{AO}(\Omega \neq \Omega_M)]}, \quad (4)$$

где $\hat{G}_{AO}(\Omega)$ — оценка спектральной составляющей энергетического спектра амплитудной огибающей входного процесса на частоте Ω ; $M[\hat{G}_{AO}(\Omega)]$, $\sigma[\hat{G}_{AO}(\Omega)]$ — математическое ожидание и дисперсия оценки $\hat{G}_{AO}(\Omega)$ соответственно; Ω_M — частота спектрального отсчета, имеющего максимальное превышение над фоном.

Определим ПРВ параметра $Q_{\text{вых}}$. Согласно [18, с. 384], ПРВ оценки уровня одного спектрального отсчета в накопленном энергетическом спектре имеет вид:

$$g_{\hat{y}}(y) = \frac{n^n}{\sigma^{2n} \cdot \Gamma(n)} \cdot y^{n-1} \cdot \exp\left\{-\frac{ny}{\sigma^2}\right\} = \frac{1}{\left(\frac{\sigma^2}{n}\right)^n \cdot \Gamma(n)} \cdot y^{n-1} \cdot \exp\left\{-\frac{y}{\left(\frac{\sigma^2}{n}\right)}\right\}, \quad y > 0,$$

где σ^2 — мощность этого спектрального отсчета; n — количество накоплений энергетического спектра.

Математическое ожидание и дисперсия уровня рассматриваемого спектрального отсчета соответственно равны

$$m_{\hat{Y}} = \sigma^2; \quad \sigma_{\hat{Y}}^2 = \frac{\sigma^4}{n}.$$

Для упрощения обозначений представим формулу (4) в виде:

$$\hat{Q}_{\text{вых}} = \frac{\hat{Z}}{\sigma_{\hat{X}}}, \quad (5)$$

где $\hat{Z} = \hat{Y} - m_{\hat{X}}$ — оценка превышения над фоном спектрального отсчета, содержащего амплитудную модуляцию. Матожидание \hat{Z} равно $m_{\hat{Z}} = \sigma_M^2$, дисперсия — $\sigma_{\hat{Z}}^2 = \frac{\sigma_M^4}{n}$, где σ_M^2 — мощность модулирующего процесса; $m_{\hat{X}}, \sigma_{\hat{X}}^2$ — матожидание и дисперсия уровня фонового спектрального отсчета в окрестности отсчета, содержащего амплитудную модуляцию:

$$m_{\hat{X}} = \sigma_{\Phi}^2; \quad \sigma_{\hat{X}}^2 = \frac{\sigma_{\Phi}^2}{n},$$

где σ_{Φ}^2 — мощность фонового отсчета.

Поскольку параметр $Q_{\text{вых}}$, согласно формуле (5), представляет собой линейную функцию уровня спектрального отсчета, то, согласно [18], ПРВ параметра $Q_{\text{вых}}$ будет иметь вид:

$$\begin{aligned} g_{\hat{Q}_{\text{вых}}}(z) &= \sigma_{\hat{X}} \cdot g_{\hat{Y}}(\sigma_{\hat{X}} \cdot z) = \frac{\sigma_{\Phi}^2}{\sqrt{n}} \cdot g_{\hat{Y}}\left(\frac{\sigma_{\Phi}^2}{\sqrt{n}} \cdot z\right) = \\ &= \frac{n^{\frac{n}{2}}}{\left(\frac{\sigma_M^2}{\sigma_{\Phi}^2}\right)^n \cdot \Gamma(n)} \cdot z^{n-1} \cdot \exp\left(-\frac{\sqrt{n} \cdot z}{\left(\frac{\sigma_M^2}{\sigma_{\Phi}^2}\right)}\right) = \frac{n^{\frac{n}{2}}}{\Theta^n \cdot \Gamma(n)} \cdot z^{n-1} \cdot \exp\left(-\frac{\sqrt{n} \cdot z}{\Theta}\right), \quad z > 0, \end{aligned} \quad (6)$$

где $\Theta = \frac{\sigma_M^2}{\sigma_{\Phi}^2}$.

Матожидание и дисперсия оценки параметра $Q_{\text{вых}}$ определяются в виде:

$$m_{\hat{Q}_{\text{вых}}} = \Theta; \quad \sigma_{\hat{Q}_{\text{вых}}}^2 = \frac{\Theta^2}{n}.$$

Дальнейшее рассмотрение для конкретности будем вести применительно к вально-лопастной модуляции (ВЛМ).

Для определения параметра Θ воспользуемся работой [19], в которой показано, что матожидание оценки параметра $Q_{\text{вых}}$ определяется по формуле:

$$m_{\hat{Q}_{\text{вых}}} = \sqrt{n} \cdot \frac{\Delta f}{\Delta F_{\text{ВЛМ}}} \cdot k_{\text{ВЛМ}}^2 \cdot \frac{Q_{\text{вх}}^2}{(Q_{\text{вх}} + 1)^2}, \quad (7)$$

где $k_{\text{ВЛМ}}$ — коэффициент АМ шума цели; Δf — ширина полосы частот додетекторного фильтра (т. е. ширина полосы частот шума цели, в которой выделяется АО), Гц; $Q_{\text{вх}}$ — отношение сигнал/помеха (ОСП) в полосе Δf , называемое входным (додетекторным) ОСП; $\Delta F_{\text{ВЛМ}}$ — частотное разрешение спектра АО, Гц; n — количество накоплений спектра АО.

Сравнивая (1) и (7), получим

$$\Theta = m_{\hat{Q}_{\text{вых}}} = \sqrt{n} \cdot \frac{\Delta f}{\Delta F_{\text{ВЛМ}}} \cdot k_{\text{ВЛМ}}^2(\omega_j) \cdot \frac{Q_{\text{вх}}^2}{(Q_{\text{вх}} + 1)^2}. \quad (8)$$

В формуле (8) учтено, что коэффициент ВЛМ зависит от класса цели ω_j .

С учетом полученных результатов, ААКЦ на основе анализа АМ их шума можно представить в виде:

– для каждого распознаваемого класса целей с использованием формулы (6) при подстановке в нее формулы (8) рассчитывается условная ПРВ параметра $\hat{Q}_{\text{вых}}$ в зависимости от класса цели и входного ОСП:

$$g_{\hat{Q}_{\text{вых}}}(z // \omega_j, Q_{\text{вх}}); \quad (9)$$

– при обнаружении цели определяются значения входного ОСП $\hat{Q}_{\text{вх}}$ и параметра $\hat{Q}_{\text{вых}}$. Подставляя эти значения в рассчитанные ПРВ (9), получим величину функции правдоподобия (ФП) для каждого класса целей:

$$FP(\omega_j) = g_{\hat{Q}_{\text{вых}}}(\hat{Q}_{\text{вых}} // \omega_j, \hat{Q}_{\text{вх}});$$

– подставляя рассчитанные ФП в формулу, аналогичную формуле (2), получим значения апостериорных вероятностей принадлежности обнаруженной цели каждому из распознаваемых классов:

$$P_{\text{апост}}(\omega_j) = \frac{PF(\omega_j)}{\sum_{m=1}^M PF(\omega_j)};$$

– в качестве результата классификации в соответствии с формулой (1) принимается класс, которому соответствует наибольшее значение апостериорной вероятности $P_{\text{апост}}(\omega_j)$:

$$\omega_{\text{opt}} = \arg \max_j \{P_{\text{апост}}(\omega_j)\}.$$

При этом значение апостериорной вероятности $P_{\text{апост}}(\omega_{\text{opt}})$ является оценкой достоверности принятого решения.

Оценка эффективности классификации целей с использованием синтезированного алгоритма. Рассмотрим задачу классификации обнаруженной шумящей цели

на классы «малошумная цель» (МЦ) (как правило, подводная лодка) и «сильношумящая цель» (СЦ) (как правило, надводный корабль).

Согласно работе [6] примем, что на типовых режимах движения коэффициент модуляции шума МЦ равен 0 ($k_{\text{ВЛМ}}(\text{МЦ}) = 0$, т. е. модуляция отсутствует), а коэффициент модуляции шума СЦ равен 6 % ($k_{\text{ВЛМ}}(\text{СЦ}) = 0.06$).

Также примем, что частотное разрешение спектра АО $\Delta F_{\text{ВЛМ}} = 0.1$ Гц; количество накоплений спектра АО $n = 10$. Ширина полосы частот додетекторного фильтра Δf изменяется от 500 до 2500 Гц.

В качестве показателя эффективности классификации будем использовать среднюю вероятность правильной классификации МЦ и СЦ в зависимости от входного ОСП, вычисляемую по формуле:

$$P_{\text{ПК}}(Q_{\text{ВХ}}) = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \int_{\substack{g_{\hat{Q}_{\text{ВЫХ}}}(z//\text{МЦ}, Q_{\text{ВХ}}) > \\ > g_{\hat{Q}_{\text{ВЫХ}}}(z//\text{СЦ}, Q_{\text{ВХ}})}} g_{\hat{Q}_{\text{ВЫХ}}}(z//\text{МЦ}, Q_{\text{ВХ}}) \cdot dz + \right. \\ \left. + \int_{\substack{g_{\hat{Q}_{\text{ВЫХ}}}(z//\text{МЦ}, Q_{\text{ВХ}}) < \\ < g_{\hat{Q}_{\text{ВЫХ}}}(z//\text{СЦ}, Q_{\text{ВХ}})}} g_{\hat{Q}_{\text{ВЫХ}}}(z//\text{СЦ}, Q_{\text{ВХ}}) \cdot dz \right\}$$

На рис. 1 в качестве иллюстрации изображены ПРВ параметра $\hat{Q}_{\text{ВЫХ}}$ для классов МЦ и СЦ, рассчитанные при указанных выше значениях параметров и входного ОСП –10 дБ.

На рис. 2 приведены графики средней вероятности правильной классификации МЦ и СЦ в зависимости от входного ОСП. Параметром графиков является полоса частот додетекторного фильтра Δf .

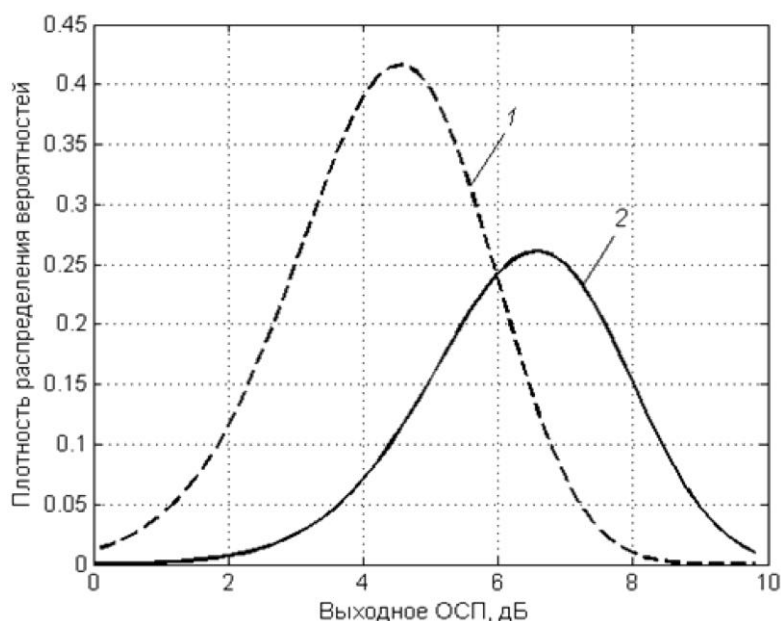


Рис. 1. ПРВ параметра $\hat{Q}_{\text{ВЫХ}}$ для классов МЦ (1) и СЦ (2), рассчитанные при входном ОСП –10 дБ.

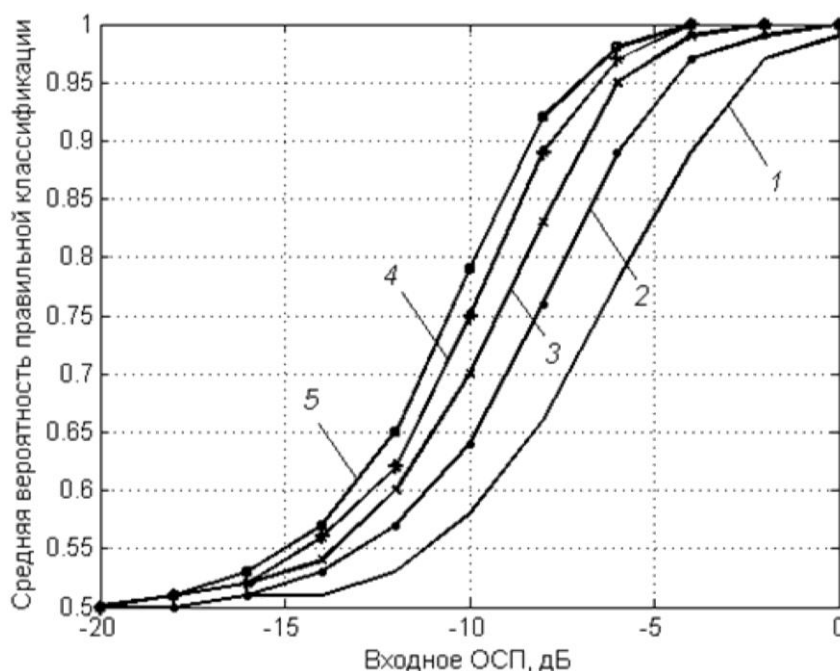


Рис. 2. Средняя вероятность правильной классификации МЦ и СЦ в зависимости от входного ОСП. Параметром графиков является полоса частот додетекторного фильтра.
1 – 0.5 кГц, 2 – 1 кГц, 3 – 1.5 кГц, 4 – 2 кГц, 5 – 2.5 кГц.

Осуществлен синтез (по критерию максимального правдоподобия) автоматического алгоритма классификации целей на основе анализа амплитудной модуляции их шумов. Синтезированный алгоритм может применяться как индивидуально, так и в составе комплексного алгоритма, осуществляющего классификацию целей на основе совокупности классификационных признаков.

Исследована эффективность синтезированного алгоритма в зависимости от отношения сигнал/помеха в полосе додетекторного фильтра, а также от параметров устройства обнаружения амплитудной модуляции. Показана применимость предложенного алгоритма для классификации морских целей на классы «малошумная»–«сильношумящая» в широком диапазоне входных отношений сигнал/помеха.

Литература

1. *Tuteur F. B.* Detection of wide-band signals modulated by a low-frequency sinusoid // Processing of Data from Sonar Systems / Ed. by R. A. MacDonald et al. Appendix A-4, Yale University, New Haven, Conn, USA. 1963. AD-420575.
2. *D'Assupcao H. A.* Theoretical assessment of DEMON performance. Technical Memorandum WRE-CPD-TM-169, 1970. <http://dspacspace.dsto.defence.gov.au/dspacspace/handle/1947/9119> (дата обращения 12.03.2012).
3. *Rajagopal R., Sankaranarayanan B., Ramakrishna Rao P.* Target classification in a passive sonar—an expert system approach // Speech Processing. 1990, April. V. 5. P. 2911—2914.
4. *Nielsen R. O.* Sonar Signal Processing. Northwood, MA: Artech House Inc., 1991. 384 p.
5. *Kummert A.* Fuzzy technology implemented in sonar systems // IEEE Journal of Oceanic Engineering. 1993. V. 18, N 4. P. 483—490.
6. *Кудрявцев А. А., Лугинец К. П., Маиошин А. И.* Об амплитудной модуляции подводного шумоизлучения гражданских судов // Акустический журнал. 2003. Т. 49, № 2. С. 224—228.
7. *Stolkin R., Sutin A., Radhakrishnan S.* et al. Feature based passive acoustic detection of underwater threats // Photonics for Port and Harbor Security II. Proceedings of SPIE. 2006. P. 40—49.
8. *Li S., Yang D.* DEMON feature extraction of acoustic vector signal based on 3/2-D spectrum // Proc. the 2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA). May 2007, Harbin. P. 2239—2243.

9. *Fillinger L., Sutin A., Sedunov A.* Cross-correlation of ship noise for water traffic monitoring. Tech. Rep., Acoustical Society of America, 158th Meeting Lay Language Papers. 2009. <http://www.acoustics.org/press/158th/fillinger.htm> (дата обращения 15.03.2012).
10. *Bao F., Wang X., Tao Z., Wang Q., Du S.* Adaptive extraction of modulation for cavitation noise // Journal of the Acoustical Society of America. 2009. V. 126, N 6. P. 3106—3113.
11. *Sutin A., Bunin B.* Acoustic research for port protection at the Stevens Maritime Security Laboratory // Proceedings of the 3rd International Conference and Exhibition on Underwater Acoustic Measurements: Technologies & Results, Nafplion, Greece. June 2009. 6 p.
12. *Sutin A., Bunin B., Sedunov A., Sedunov N., Fillinger L., Tsionskiy M., Bruno M.* Stevens Passive Acoustic System for underwater surveillance // Proc. International Waterside Security Conference (WSS). 2010, 3—5 Nov. Marina di Carrara. P. 1—6.
13. *Chung K. W., Sutin A., Sedunov A., Bruno M.* DEMON Acoustic Ship Signature Measurements in an Urban Harbor // Advances in Acoustics and Vibration. 2011, Article ID 952798, 13 p.
14. *Fillinger L., Sutin A., Sedunov A.* Acoustic ship signature measurements by cross-correlation method // Journal of the Acoustical Society of America. 2011. V. 129, N 2. P. 774—778.
15. *Машошин А. И.* Оптимизация устройства обнаружения и измерения параметров амплитудной модуляции подводного шумоизлучения морских судов // Акустический журнал. 2013. Т. 59, № 3. С. 347—353.
16. *Машошин А. И.* Особенности синтеза алгоритмов классификации морских объектов по их гидроакустическому полю // Морская радиоэлектроника. 2009. № 2 (28). С. 8—12.
17. *Кендал М., Стьюарт А.* Статистические выводы и связи. М.: Наука, 1973. 899 с.
18. *Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1988. 480 с.
19. *Машошин А. И., Шафранюк Ю. В.* Результаты сравнения устройств обнаружения и измерения параметров амплитудной модуляции широкополосных сигналов морских судов // Труды XI Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». Санкт-Петербург: Наука, 2012. С. 372—375.

Статья поступила в редакцию 04.03.2014 г.



© *A. I. Mashoshin, Y. V. Shafranyuk*

JSC Concern Central Scientific and Research Institute «Elektropribor», Saint-Petersburg, Russia
aimashoshin@mail.ru

THE AUTOMATIC TARGET RECOGNITION ALGORITHM BASED ON THE SIGNAL MODULATION ANALYSES

Amplitude modulation of the sea vessel noise is widely used for automatic target recognition. Using the amplitude modulation parameters one can determine the vessel type, her displacement, the number of shafts and propeller blades, the velocity, the moment of course or velocity changing. There are two types of amplitude modulation: shaft and blade modulation due to the cavitations on the blade at large speed of rotation and roll and pitch modulation due to periodical changing of submerged part of the vessel. The paper contains the syntheses of optimal maximum likelihood automatic target recognition algorithm on base of amplitude modulation of their signals. It is shown that the same algorithm can be used both individually and as a part of the complex algorithm using several signal parameters. The effectiveness of automatic target recognition algorithm is investigated.

Key words: automatic target recognition, signal amplitude envelope, discrete component of the spectra, syntheses of optimal maximum likelihood automatic target recognition algorithm.