

УДК 004.93'1:623.98:534.222

## ОБРАБОТКА РАЗМЕРНОСТИ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ МОРСКИХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМОЙ

Пятакович В.А., Василенко А.М.

*ФГКВОВУ ВО «Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова»,  
Владивосток, e-mail: pva.877com@mail.ru, kahunya@gmail.com*

Рассматривается проблема распознавания образа надводного корабля (судна), подводной лодки, специального морского аппарата – далее морского технического объекта, находящегося в зоне возможностей штатного акустического комплекса. Предполагается, что анализируемые данные являются векторами многомерного евклидова пространства, где они располагаются в соответствии с некоторой функцией распределения. Каждый вектор это и есть объект, подлежащий распознаванию, а координаты вектора являются его признаками. Размерность пространства признаков всегда велика. Основной задачей исследования является выделение основных «обобщенных признаков», что снижает исходную размерность признаков и позволяет идентифицировать объект. Сжатие исходного пространства происходит поэтапно. На первом этапе временной нестационарный процесс, несущий информацию, обрабатывается по методике Колмогорова – Хинчина, на втором – используется репликативная сеть, позволяющая выделить объект. В настоящей работе рассматривается этап обработки признакового пространства для обеспечения задач классификации морских технических объектов нейросетевыми структурами.

**Ключевые слова:** классификация морских объектов, нечёткая логика, нейронные сети, нейро-нечёткие модели, системы автоматического управления, обучающие алгоритмы нейронных сетей

## REDUCING THE DIMENSIONALITY OF ATTRIBUTE SPACE IN PROBLEMS OF MARINE TECHNICAL OBJECTS CLASSIFICATION BY A NEURAL NETWORK EXPERT SYSTEM

Pyatakovich V.A., Vasilenko A.M.

*The Pacific Higher Naval College named after Admiral Makarov Federal state-owned military  
educational establishment of higher education of the Ministry of defence of the Russian Federation,  
Vladivostok, e-mail: pva.877com@mail.ru, kahunya@gmail.com*

Discussed is the image recognition problem for a surface ship (vessel), a submarine or a special marine vehicle (hereinafter collectively referred to as «marine technical objects») located within the reach of a regular acoustic system. It is assumed that the analyzed data are vectors of a multidimensional Euclidean space, where they are located according to a certain distribution function. Specifically, each vector is an object to be recognized, the vector's coordinates being the object's attributes. The dimension of the attribute space is always high. The main objective of the study is to find basic «generic attributes», which reduces original dimensions of attributes, allowing to identify the object. The compression of the original space occurs in stages. At the first stage, the temporary non-stationary process that contains the information is processed according to the Kolmogorov-Khinchin method, on the second stage, a replicative network is used, which makes it possible to single out an object. In this paper, we discuss the attribute space processing to enable the classification of marine technical objects by neural network structures.

**Keywords:** classification of sea objects, fuzzy logic, neural networks, neuro-fuzzy models, automatic control systems, training algorithms of neural networks

Целью научно-технических разработок авторов статьи является создание широкомасштабной радиогидроакустической системы освещения атмосферы, океана и земной коры, мониторинга их полей различной физической природы, построение нейросетевой экспертной системы распознавания в общей структуре просветной системы мониторинга, включая комплекс ее автоматизированного управления на основе разработанных авторами архитектур искусственных нейронных сетей и методики их обучения для решения задач распознавания (классификации) технических источников информационных полей в морской среде [1–5]. Некоторые результаты научных

разработок авторов по данной тематике отражены в приведенном ниже списке литературы [2, 5–9].

### Постановка задачи

Предполагается, что на морском техническом объекте, имеется штатный комплекс средств распознавания и параллельно работающая распознающая система, построенная с использованием искусственных нейронных сетей (рис. 1).

При разработке названной структуры использовались традиционные сети и сети реализующие нечеткие алгоритмы, которые наиболее целесообразны в тех или иных гидрологических условиях [6, 10, 11].

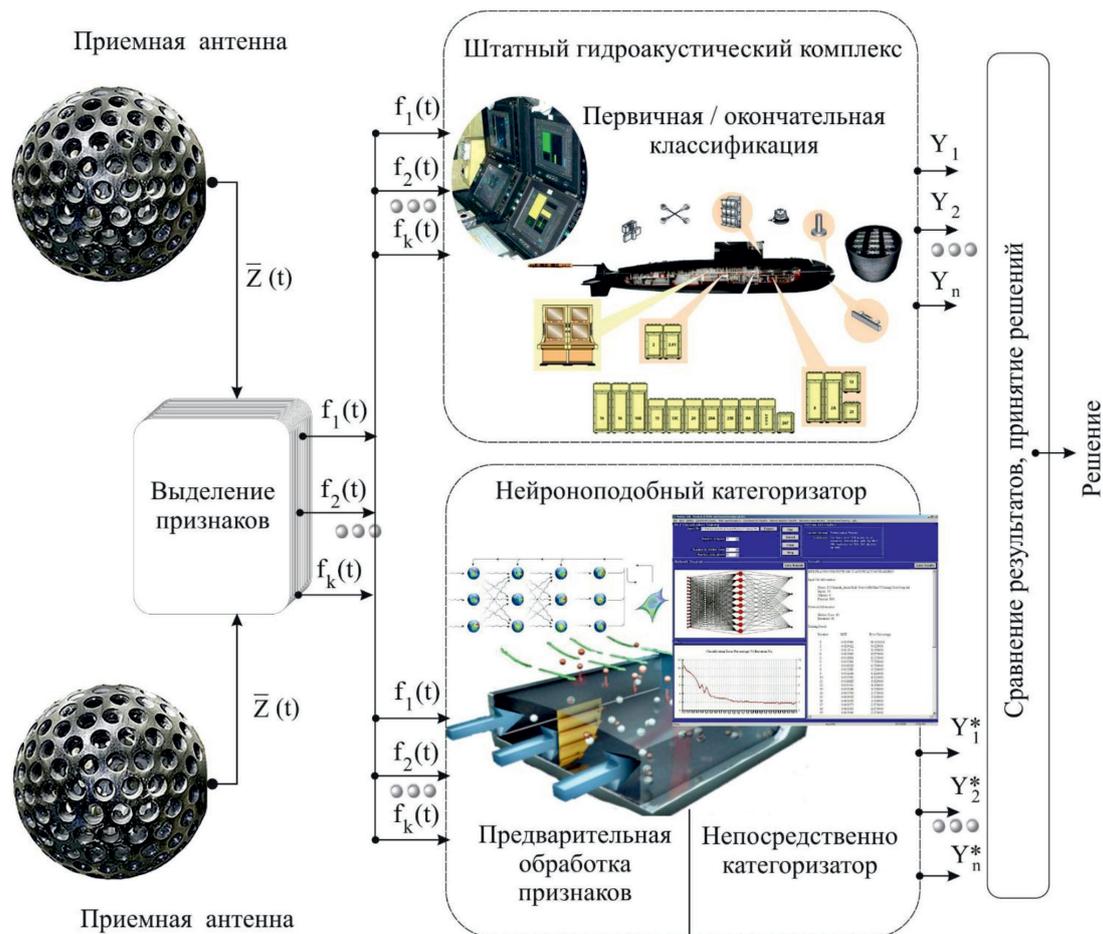


Рис. 1. Функциональная схема гидроакустической системы поиска и классификации

Научная новизна состоит прежде всего в том, что авторами показана возможность применения высокотехнологичных научных методов для решения прикладных задач классификации морских объектов. Предлагается параллельно штатному гидроакустическому комплексу устанавливать нейроноподобный категоризатор, производящий предварительную обработку признаков и классификацию морских объектов.

Под терминами обнаружение и распознавание авторы понимают этап гидроакустического наблюдения, направленный на установление наличия объекта в обследуемой морской акватории. Обнаружение сигнала и извлечение из него полезной информации определяет содержание первичной обработки гидроакустической информации и вследствие случайного характера сигналов и помех может, в некоторых случаях, решаться с использованием аппарата статистической теории [6, 12]. Процесс обнаружения начинается с момента первич-

ного выделения сигнала и заканчивается принятием решения об отнесении обнаруженного объекта к определенному классу. Из-за влияния целого ряда факторов процесс обнаружения морских технических объектов является вероятностным. Эффективность обнаружения может быть охарактеризована дальностью, соответствующей заданной либо выбранной вероятности, а также вероятностными характеристиками, являющимися функцией дистанции до морского объекта и существенно изменяться в условиях воздействия преднамеренных помех.

Параллельно штатному гидроакустическому комплексу установлен нейроноподобный категоризатор, производящий первичную обработку признаков (предварительное сжатие пространства признаков) и категоризацию объектов. На рис. 1 использованы следующие обозначения:  $\bar{Z}(t)$  – сигнал на выходе гидроакустической антенны;  $f_1(t)$ ,  $f_2(t), \dots, f_k(t)$  – выделенные временные функ-

ции признаков, по которым производится классификация;  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  – категории (объекты), выделенные штатным распознающим устройством;  $Y_1^*, Y_2^*, \dots, Y_n^*$  – категории (объекты), выделенные нейроподобным распознающим устройством. Оператор рассматриваемого гидроакустического комплекса имеет возможность сравнивать результаты, полученные на выходе штатного комплекса, и нейроподобного категоризатора, работающего параллельно с основным. Решение принимается на основании анализа результатов, полученных на выходе обеих систем. Следует отметить, что нейроподобный категоризатор, реализованный на ограниченных штатных вычислительных средствах погружного аппарата, показал весьма удовлетворительные результаты, сравнимые с работой штатного комплекса, а по времени формирования решения – превосходящие его.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В настоящей работе основное внимание уделяется одному достаточно узкому вопросу, связанному с предварительной обработкой информации (сжатием выделенных обобщенных признаков). Полный перечень информационных признаков распознавания позволяет отнести их в сложных гидрологических условиях к классу нечетких информационных признаков. Предварительная обработка признаков необходима для определенного упорядочения сигналов, что значительно

упрощает работу нейроподобного категоризатора. Фактически авторами решалась проблема близкая той, которая вынудила Колмогорова и Хинчина пойти на принятие решения о необходимости предварительной обработки сигнала. Метод Колмогорова и Хинчина не является необходимым, но его достаточность позволяет сжать исходное параметрическое пространство и решить задачу упорядочения в почти реальном масштабе времени с учетом нескольких циклов предыстории. Полученные обобщенные характеристики являются более достоверными, «смягченными». Далее рассмотрим непосредственно работу блока предварительной обработки информации.

#### Блок предварительной обработки информации (БПИ)

БПИ – это устройство, которое по методике Колмогорова – Хинчина [5, 10] преобразует нестационарный временной процесс его основными статистическими параметрами практически в реальном масштабе времени. Функциональная схема БПИ представлена на рис. 2.

Схема реализует названный алгоритм, с помощью которого временные процессы  $f_1(t), f_2(t), \dots, f_k(t)$ , содержащие информационные признаки (размерность которых весьма велика), заменяются их статистическими характеристиками: математическим ожиданием  $m_{xi}$ , среднеквадратическим отклонением  $\sigma_{xi}$  и корреляционным моментом  $k_{xi}$ , где  $i$  – номер временного процесса.

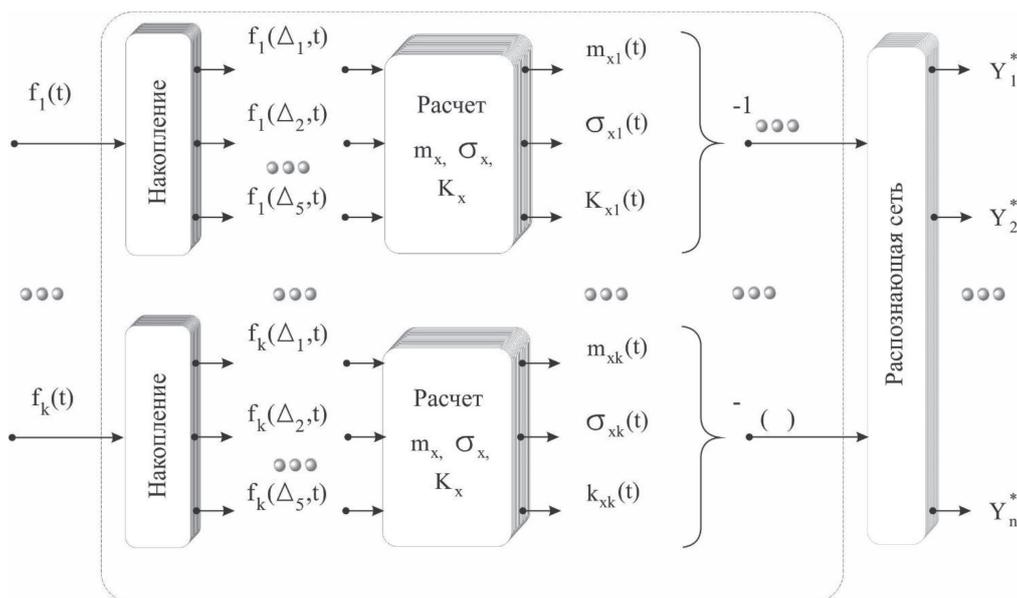


Рис. 2. Блок предварительной обработки информации

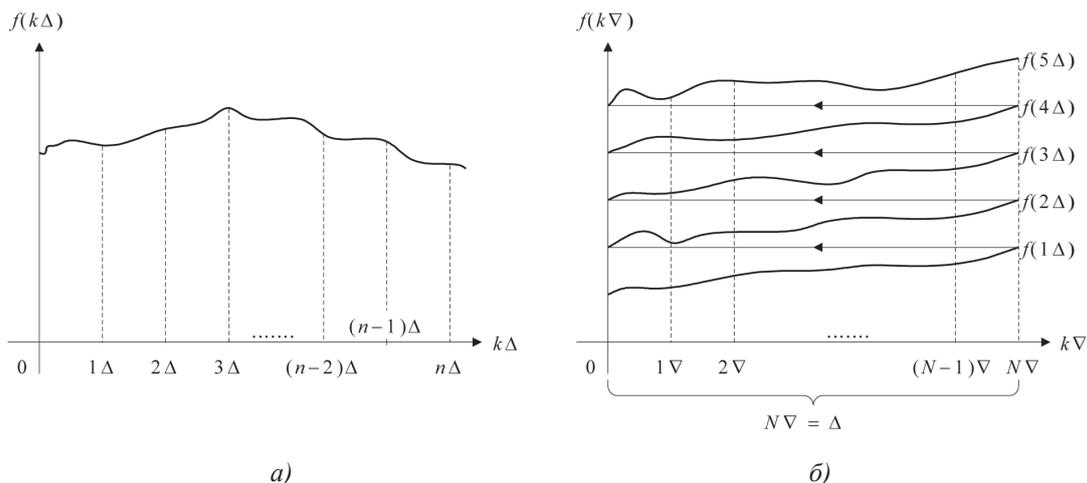


Рис. 3. Временные характеристики: а – временная функция признаков  $f(t)$ ; б – кривые, находящиеся в памяти блока «накопление»  $f(1\Delta), f(2\Delta), f(3\Delta), f(4\Delta)$  и вводимая в реальном масштабе времени функция  $f(5\Delta)$

Идея метода состоит в том, что некоторый нестационарный процесс может быть представлен через классические определения случайной величины и случайной функции, если одновременно рассматривать на некотором интервале  $\Delta$  конечное число предысторий (дискрет) и собственно процесс в реальном масштабе времени.

В нашем случае рассматривается и анализируется временная функция признаков  $f(t)$ , представленная на рис. 3, а.

Следуя выбранной методике, непрерывный процесс  $f(t)$  разбивается на ряд дискретных интервалов длительностью  $\Delta$ , которые накапливаются в памяти.

В это же устройство вводится изучаемый процесс в реальном масштабе времени. На рис. 3, б представлены кривые, находящиеся в памяти блока «накопление»  $f(1\Delta), f(2\Delta), f(3\Delta), f(4\Delta)$  вводимая в реальном масштабе времени функция  $f(5\Delta)$ .

Все выделенные временные дискреты разбиваются на  $N$  равных отрезков, длительностью  $\nabla$ , в конце которых происходит обработка всех реализаций, и определяются  $m_x(i\nabla), \sigma_x(i\nabla)$  и  $k_{xx}(i\nabla)$ , т.е. после анализа интервала  $\Delta_i (i = 0, \dots, n)$  можно получить информацию, представленную на рис. 4, а, построить вектор  $\bar{S}_x(i\nabla)$ , а также годограф «состояния» изучаемого объекта (рис. 4, б). Именно эти величины подаются на вход распознающей сети для проведения процесса классификации объекта по критерию  $\bar{S}_x(i\Delta) \in \Omega_j$ .

Описанной обработке подвергаются все временные процессы признаков. Таким образом, на вход распознающей сети в каждый момент времени подаются

три обобщенные характеристики, по которым проводится категоризация, т.е.  $\bar{S}_x^k(t) = [m_{xk}(t), \sigma_{xk}(t), k_{xx}(t)]$  – один из входных векторов распознающей сети, характеризующий процесс  $f_k(t)$  в рассматриваемый момент времени  $t$ .

На основании проведенного анализа возмозжных сетевых структур, решающих задачу классификации, выбраны (ИНС) типа перцептрон и сеть Кохонена. В качестве выходного каскада и в первом и во втором варианте использована структура Гроссберга. Нечеткий вариант распознавания реализован нечеткой сетевой структурой ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). Совершенно очевидно, что кроме описанных целевых специальных процедур подготовки данных использовались классические методы, т.е. нормирование, биполяризация и др. Результаты  $n$  экспериментов над системой  $m$  случайных величин  $X(t1), \dots, X(tm)$  приведены в таблице.

### Выводы

В заключение следует отметить, что нейроноподобные распознающие сети имеют право на существование и весьма перспективны. Сети, построенные на бортовых вычислительных комплексах погружного аппарата, имеющих весьма ограниченные возможности, по многим параметрам оказались весьма конкурентоспособны со штатным гидроакустическим комплексом. При времени наблюдения изучаемого объекта около 6–10 минут вероятность правильной классификации не ниже 85%, а при классификации объектов типа надводный или подводный объект названная вероятность не менее 97%.

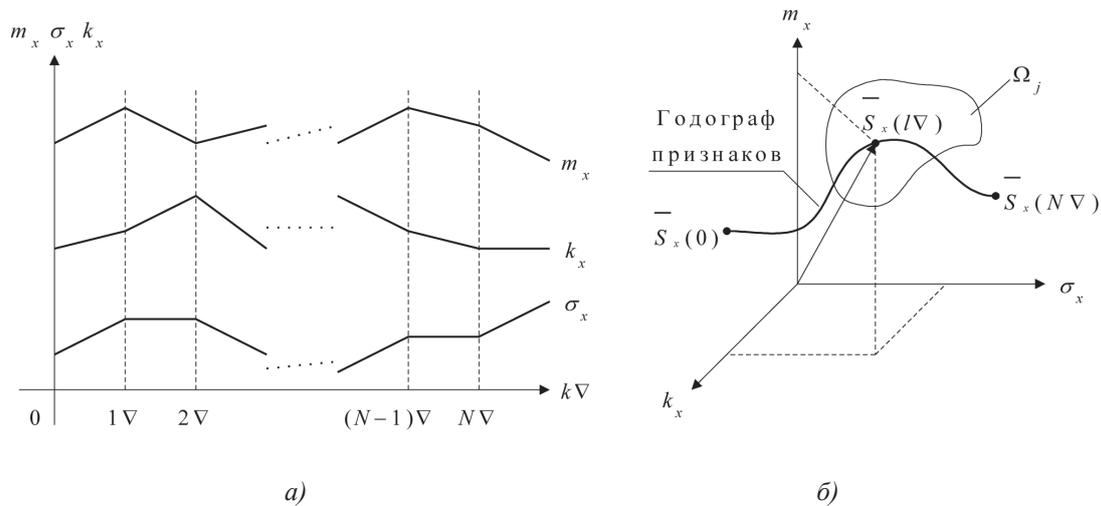


Рис. 4. Выходные характеристики блока предварительной обработки сигнала:  
 а – вектор  $\bar{S}_x(l\nabla)$ ; б – годограф «состояния» объекта

Результаты  $n$  экспериментов над системой  $m$  случайных величин  $X(t_1), \dots, X(t_m)$

Временные сечения	$t_1$	$t_2$	$t_3$	...	$t_{m-1}$	$t_m$
1	2	3	4	...	$m-1$	$m$
$x_1(t)$	$x_1(t_1)$	$x_1(t_2)$	$x_1(t_3)$	...	$x_1(t_{m-1})$	$x_1(t_m)$
$x_2(t)$	$x_2(t_1)$	$x_2(t_2)$	$x_2(t_3)$	...	$x_2(t_{m-1})$	$x_2(t_m)$
...	...	...	...	...	...	...
$x_n(t)$	$x_n(t_1)$	$x_n(t_2)$	$x_n(t_3)$	...	$x_n(t_{m-1})$	$x_n(t_m)$
Второй этап						
$\bar{m}_x(t_k)$	$m_x(t_1)$	$m_x(t_2)$	$m_x(t_3)$	...	$m_x(t_{m-1})$	$m_x(t_m)$
$\bar{D}_x(t_k)$	$D_x(t_1)$	$D_x(t_2)$	$D_x(t_3)$	...	$D_x(t_{m-1})$	$D_x(t_m)$
$\bar{K}_x(t_k, t_l)$	$K_x(t_1, t_{1-l})$	$K_x(t_1, t_{2-l})$	$K_x(t_1, t_{3-l})$	...	$K_x(t_1, t_{m-1-l})$	$K_x(t_1, t_{m-l})$

Использованная методика предварительного сжатия информации по методу Колмогорова – Хинчина может быть использована для обработки любых информационных временных процессов, содержащих признаки, подлежащие категоризации. Для технической реализации нейроноподобного категоризатора удобно использовать модули гибкой логики, например, программируемые логические модули (ПЛИС), различных производителей.

#### Список литературы

1. Нейросетевая адаптивная система распознавания объектов по их акустическим излучениям: Пат. 2513719 RU / Борзов А.Б., Лихоеденко К.П., Павлов Г.Л. и др., 20.04.2014. Бюллетень № 11.

2. Мироненко М.В., Василенко А.М., Пятакович В.А. Обнаружение и распознавание источников гидрофизических и геофизических полей, измеряемых в морской среде // Мониторинг. Наука и технологии. – 2017. – № 1(30) – С. 16–19.

3. Малашенко А.Е., Мироненко М.В., Карачун Л.Э., Халаев Н.Л. Создание и эксплуатация радиогидроакустических систем комплексного мониторинга гидрофизических полей морских акваторий на основе разработок средств морского приборостроения: монография. – Владивосток: Издательский дом ДВФУ, 2012. – 264 с.

4. Мироненко М.В. Нелинейная гидроакустика в системах мониторинга гидрофизических и геофизических полей морских акваторий / Монография. – Владивосток: ВУНЦ ВМФ «ВМА» (филиал, г. Владивосток), 2013. – 324 с.

5. Пятакович В.А., Василенко А.М., Мироненко М.В. Структура нейросетевой экспертной системы распознавания и классификации объектов по их информационным полям в системе комплексного мониторинга морских акваторий. – М.: Науковедение, 2017. – Т. 9, № 2. Режим доступа: <http://>

naukovedenie.ru/PDF/55TVN217.pdf, доступ свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

6. Пятакович В.А., Василенко А.М., Мироненко М.В. Технологии нелинейной просветной гидроакустики и нейро-нечетких операций в задачах распознавания морских объектов: монография. – Владивосток: ДВФУ, 2016. – 190 с.

7. Пат. 2593625. Российская Федерация, МПК G10K 11/00. Способ передачи информационных волн из морской среды в атмосферу и обратно / М.В. Мироненко, А.М. Василенко, В.А. Пятакович; Владивосток. ТОВВМУ, № 2593625. заявл. 22.04.2015; опубл. 10.08.16, Бюл. № 22. 17 с.

8. Пат. 2593624. Российская Федерация, МПК G10K 11/00. Радиогидроакустическая система передачи информационных волн из морской среды в атмосферу и обратно / М.В. Мироненко, А.М. Василенко, В.А. Пятакович; Владивосток. ТОВВМУ, № 2593624. заявл. 22.04.2015. Опубл. 10.08.16. Бюл. № 22.

9. Пат. 2593673. Российская Федерация, МПК G01H 3/00. Радиогидроакустическая система параметрического приема волн источников атмосферы, океана и земной коры в морской среде: РФ обратно / М.В. Мироненко, А.М. Василенко, В.А. Пятакович; Владивосток. ТОВВМУ, № 2593673. заявл. 22.04.2015. Опубл. 10.08.16. Бюл. № 22.

10. Мошошин А.И. Особенности синтеза алгоритмов классификации подводных объектов по их гидроакустическому полю// Акустический журнал. – 1996. – Т. 42. № 2. – С. 27–32.

11. Бобровский А.И. и др. Классификация гидроакустических сигналов с помощью нейронных сетей // Изв. вузов. Приборостроение. – 1996. – Т. 39. № 1. – С. 17–21.

12. Моргунов Ю.Н., Безответных В.В., Буренин А.В., Войтенко Е.А. Исследование влияния гидрологических условий на распространение псевдослучайных сигналов из шельфа в глубокое море // Акуст. журн. – 2016. – Т. 62, № 3. – С. 341–347.