Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 http://naukovedenie.ru/

Том 9, №2 (2017) http://naukovedenie.ru/vol9-2.php

URL статьи: http://naukovedenie.ru/PDF/55TVN217.pdf

Статья опубликована 19.04.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:
Василенко А.М., Пятакович В.А., Мироненко М.В. Структура нейросетевой экспертной системы распознавания и классификации объектов по их информационным полям в системе комплексного мониторинга морских акваторий // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017) http://naukovedenie.ru/PDF/55TVN217.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 534.222:623.98

Василенко Анна Михайловна
ФГКВОУ ВО «Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова», Россия, Владивосток[1]
Научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории
Кандидат технических наук
E-mail: kahunya@gmail.com

Пятакович Валерий Александрович
ФГКВОУ ВО «Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова», Россия, Владивосток
Начальник научно-исследовательской лаборатории
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: pva.877com@mail.ru

Мироненко Михаил Владимирович
Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, Россия, Южно-Сахалинск
Главный научный сотрудник лаборатории гидрофизики
Доктор технических наук, профессор
E-mail: professor@mail.primorye.ru

Структура нейросетевой экспертной системы распознавания и классификации объектов по их информационным полям в системе комплексного мониторинга морских акваторий

Аннотация. В настоящей работе приводится материал очередного этапа исследований авторского коллектива. Особенностью которого является привлечение аппарата нечеткой логики для решения задач классификации объектов нейросетевой экспертной системой совместно со спектральными линиями анализа приемного тракта разрабатываемой радиогидроакустической системы мониторинга морских акваторий с последующим комплексным анализом результатов в едином информационно-аналитическом центре.

В задачах распознавания морских объектов по временному и частотному портретам полей их шумоизлучения приходится сталкиваться с задачей анализа ненадежных и слабо формализированных входных данных, что обусловливает необходимость использования аппарата нечетких множеств.

[1] 690062, Россия, г. Владивосток, пер. Камский 6

Сети, построенные на нечетких множествах, весьма эффективны, что подкреплено рядом доказанных теорем, аналогичных теоремам о полноте для искусственных нейронных систем. Возможно одновременное использование различных композиций нечетких выводов. Сама схема выводов может быть многокаскадной. Перспективы рассматриваемого подхода состоят в том, что можно принимать правильные решения в условиях неполной и нечеткой входной информации об идентифицируемом объекте.

Реализация вычислительных операций нейронных сетей для распознавания и классификации измеряемых информационных полей атмосферы, океана и земной коры в приемном тракте радиогидроакустической системы обеспечивает возможность целенаправленного мониторинга и управляемого освоения в решении многофункциональных задач морской науки, оборонного и народно-хозяйственного комплексов Государства.

Ключевые слова: радиогидроакустическая система; классификация морских объектов; математическая модель; нечеткие множества; нечеткая логика; нейросетевая экспертная система; амплитудно-частотная характеристика; пространство Фурье; методика Хинчина.

Использование аппарата нечетких множеств для распознавания морских объектов обусловлено сложностью методов анализа процесса распространения звукового сигнала в воде, базирующихся на серии допущений и гипотез, которые усложняют решение и, в ряде случаев, приводят к не всегда удовлетворительным результатам.

Различают два типа нечетких выводов: восходящие и нисходящие. Следует, прежде всего, обратить внимание на ограничения (недостатки) применения систем с нечеткой логикой, которые связаны со следующими особенностями:

- исходный набор нечетких правил формируется экспертом - человеком и может оказаться неоднозначным или противоречивым;
- вид и параметры функций принадлежности, описывающих входные и выходные переменные системы, выбираются субъективно и могут оказаться не вполне отражающими реальную действительность;
- системы с нечеткой логикой следует применять только для анализа сложных процессов, когда нет простой математической модели и знания о системе можно сформулировать в лингвистической форме.

Отметим, что существующие методы распознавания, базирующиеся на развитой алгоритмической и технической базе, применяемые для распознавания морских объектов, в конечном счете, определяются подготовкой эксперта - пользователя (оператора), то есть использование нечеткой логики не вносят суровый диссонанс в построение систем распознавания.

Согласно поставленной задаче требуется распознать морской объект из некоторого множества, т.е. решить задачу тактического использования нейросетевой экспертной системы, имеющей в своем составе ряд распознающих структур. В работах [1 - 6, 10, 11] рассмотрен ряд методов и способов распознавания, позволяющих выделить, по крайней мере, класс морского объекта по ее шумовому портрету, среди которых следует отметить:

- нейроструктура определяющая тип морского объекта по шумовому портрету преобразованной в пространство Фурье;
- нейроструктура определяющая тип морского объекта по временному шумовому портрету цели с использованием вероятностного подхода Хинчина;
- нейроструктура определяющая тип морского объекта по размытым экспертным успехам;

- нейроструктура определяющая тип морского объекта по косвенным признакам, к которым можно отнести: вариабельность шума, скорости (линейной и угловой) движения морского объекта, силы звука и т.д., с так же учитывающей состояние водной среды: гидрологию, температуру, рельеф дна, глубину и т.д.;
- нейроструктура принятия решения, которая по результатам анализа, проведенного четырьмя предыдущими структурами, должна принять окончательное решение.

На разработанном авторами рис. 1 представлен один из возможных вариантов распознающей суммарной структуры нейросетевой экспертной системы, где использованы следующие обозначения:

X - входной вектор распознающей сети РС-1, представляющий набор характерных амплитудных значений в пространстве Фурье (в виде логарифмической амплитудно-частотной характеристики);

X* - тот же вектор, приведенный к формату входа распознающей сети РС-1;

Y - временной портрет морского объекта, выделенный из общей шумовой картины воспринимаемой гидрофоном (после фильтров);

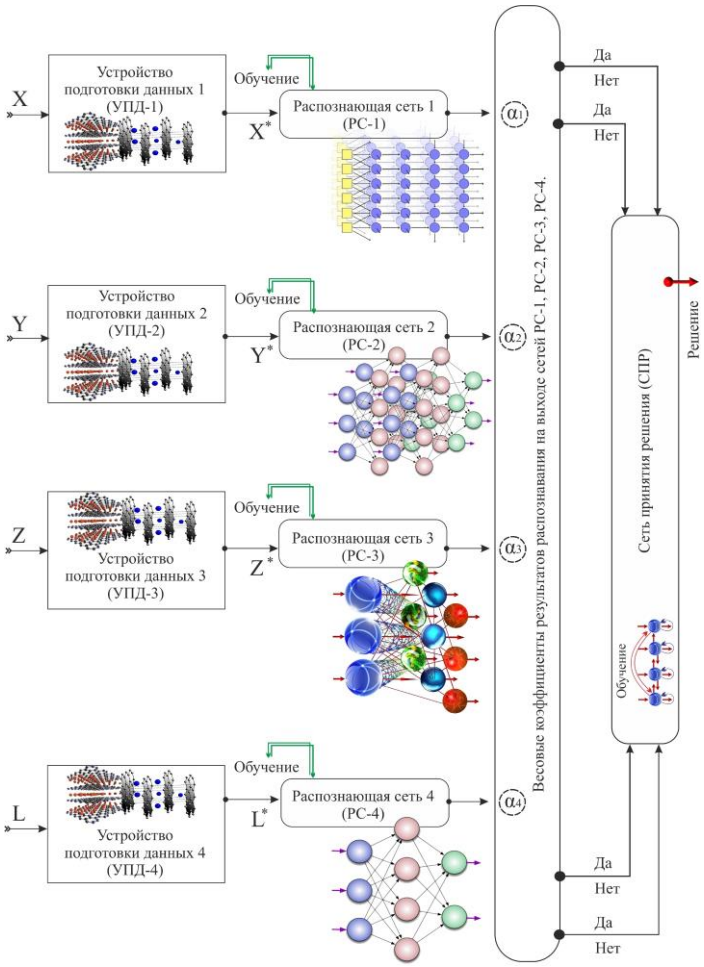

Рисунок 1. *Распознающая суммарная структура нейросетевой экспертной системы (один из возможных вариантов) (составлена авторами)*

Y* - тот же временной портрет, обработанный по методике Хинчина, т.е. представленный набором статистических характеристик (математическим ожиданием, дисперсией и коэффициентом корреляции);

Z* - предварительно обработанный и фаззифицированный вектор Z;

L - вектор косвенных признаков;

L* - входной вектор сети РС4, представляющий собой специально обработанный вектор L;

РС-1 - сеть, осуществляющая распознавание амплитудно-частотной характеристике шумового портрета морского объекта;

РС-2 - сеть, осуществляющая распознавание по временному шумовому портрету морского объекта при использовании методики Хинчина, т.е. по выделенным статистическим характеристикам (математическое ожидание, дисперсия и коэффициент корреляции);

РС-3 - сеть производящая распознавание по нечетким (фаззифицированным) признакам;

РС-4 - сеть производящая распознавание по косвенным признакам;

УПД-1, УПД-2, УПД-3, УПД-4 - устройства подготовки данных для сетей РС-1, РС-2, РС-3, РС-4;

α1, α2, α3, α4 - весовые коэффициенты результатов распознавания на выходе сетей РС-1, РС-2, РС-3, РС-4;

СПР - сеть принятия решения.

Совершенно очевидно, что на рис. 1 представлен избыточный вариант распознающей нейроструктуры, работоспособность которого тем не менее определена и проверена.

Рамки данной статьи не позволяют рассмотреть каждый из каналов распознавания отдельно. В связи с чем ограничимся кратким описанием распознающей сети РС-1 по признакам амплитудно-частотной характеристики морского объекта. Особенностью рассматриваемой конструкции РС-1 состоит в том, что начальная обработка данных производится с помощью быстрого преобразования Фурье. При распознавании образа морского объекта, по шумовому портрету, мы имеем образ, заданный в пространстве: амплитуда, частота, фаза и, если удается доказать, что образ имеет свойства минимально-фазовой структуры, то распознавание может проводиться по амплитудно-частотной характеристике в линейной и логарифмической интерпретации.

Координатное описание пространства существования признаков представляется комплексным числом:

$$z(n) = x(n) + jy(n),$$

где n - номер очередной пары измерительных данных, описывающих образ.

Для обработки шумовых портретов в акустических системах используется дискретное преобразование Фурье в виде:

$$F_k = F(k) = \sum_{n=0}^{m-1} z(n) \exp(-j\frac{2\pi}{M}) K_n, \quad (1)$$

для k = 1, 2, … , M-1, где: M - количество признаков распознаваемого объекта; z(n) - комплексное число.

Отдельные компоненты выражения (1) образуют вектор признаков F и определяют распознаваемый объект в пространстве Фурье:

$$F = [F_0, F_1, ..., F_{M-1}].$$

Следует отметить, что элементы вектора признаков F инвариантны (независимы) от параметров временного пространства (масштаба угла поворота, начальной точки выборки и т.д.).

Нулевой член разложения Фурье представляет собой среднее значение измерительных выборок, поскольку

$$M_0 = \frac{1}{M}\sum_{n=0}^{M-1} z(n) \quad (2)$$

Если выражение (2) приравнять к нулю, то образ объекта, представленный вектором F, не будет зависеть от первоначального положения в пространстве данных, другими словами, будет инвариантный относительно смещения.

Представляя структуру нейросетевой экспертной системы распознавания и классификации полей различной физической природы в морской среде следует остановится на описании структуры самой радиогидроакустической системы мониторинга (разработанный авторами рис. 2) входящей в общую масштабируемую систему освещения морской обстановки, посредством объединения комплексной информации в тракте единого информационно аналитического центра (ЕИАЦ) [7, 8, 11].

Излучающий тракт 1 системы мониторинга представляет собой электронную схему, содержащую последовательно соединенные: генератор стабилизированной частоты 2; усилитель мощности 3 и трехканальный блок согласования 4 выходов усилителя мощности с подводными кабелями и далее с излучающими блоками 5.1-7.1. Измерительная система включает также многоканальный тракт приема, выделения и регистрации информационных волн 11.1, входы которого соединены с приемными блоками 8.1-10.1, сформированными из трех расположенных в вертикальной плоскости по треугольникам преобразователей каждый.

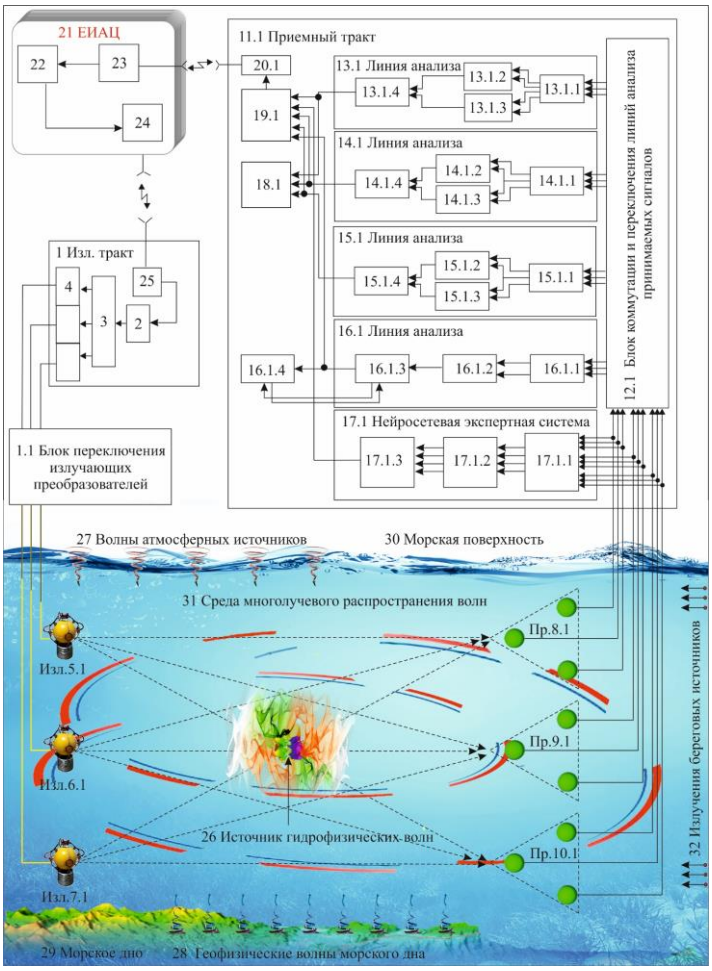

Рисунок 2. *Структура радиогидроакустической системы комплексного мониторинга морских акваторий (составлена авторами)*

Приемный тракт 11.1 системы мониторинга, представляет собой многоканальную электронную схему, включающую блок коммутации и переключения приемных блоков 12.1, соединенный с тремя линиями корреляционного 13.1.1-15.1 и одной линией спектрального анализа 16.1. Каналы корреляционного анализа приемного тракта 11.1 включают последовательно соединенные широкополосные усилители 13.1.1, 14.1.1, 15.1.1, соединенные с блоками измерения функций корреляции между средним и крайними одиночными приемниками блоки 13.1.2, 13.1.3, 14.1.2, 14.1.3, 15.1.2, 15.1.3. Далее выходы блоков измерения функций корреляции соединены с блоками измерения функции взаимной корреляции 13.1.4, 14.1.4, 15.1.4, а их выходы соединены с блоком регистрации измеряемых функций 18.1, а также с входами блока анализа комплексной информации 19.1 и далее с радиоблоком передачи измеряемой информации 20.1 в ЕИАЦ 21.

Линия спектрального анализа 16.1 включает последовательно соединенные широкополосный усилитель сигналов 16.1.1, вход которого через блок переключения каналов 12.1 соединен с акустическими преобразователями приемных блоков 8.1-10.1, а выход широкополосного усилителя соединен с преобразователем временного масштаба сигналов в высокочастотную область 16.1.2, далее с узкополосным анализатором спектров 16.1.3 и функционально связанным с ним регистратором (рекордером) выделяемых информационных сигналов 16.1.4, а также с входами блока анализа комплексной информации 19.1.

Нейросетевая экспертная система 17.1 представляет собой автоматическое многофункциональное самообучающееся электронное устройство накопления, хранения, аналитической обработки и вывода информации на базе программируемых логических интегральных схем, содержащее последовательно соединенные: управляемый коммутатор 17.1.1, блок нейросетевого распознавания и классификации 17.1.2 и блок итогового анализа 17.1.3. Развернутый вид нейросетевой экспертной системы (НЭС) представлен на разработанном авторами рис. 3, где управляемый коммутатор 17.1.1, включает блок определения диапазонов, предварительный усилитель с аналогово-цифровым преобразователем (АЦП), предварительный фильтр и усилитель с автоматической регулировкой усиления (АРУ), полосовой фильтр связанный с усилителем АРУ обратной связью, блок выделения информативных признаков, работающий по принципу спектрального анализатора параллельного действия, с выхода которого информация передается на вход блока первичной обработки данных для нейросетевых распознающих парадигм по методу Колмогорова - Хинчина дополненного традиционно-необходимым нормированием (биполяризацией и т.д.) и накопителем информативных признаков, затем информация поступает в устройства подготовки данных для распознающих сетей РС-1, РС-2, РС-3, РС-4 [8, 10, 11].

Сеть РС-1, осуществляет распознавание по амплитудочастотной характеристике шумового портрета морского объекта. Сеть РС-2, осуществляет распознавание по временному шумовому портрету морского объекта при использовании методики Хинчина, т.е. по выделенным статистическим характеристика сигнала m_y (t), δ_y (t) и k_y (t). Нечеткая нейронная сеть РС-3 производит распознавание по нечетким (фаззифицированным) признакам объекта. Сеть РС-4 производит распознавание по косвенным признакам объекта [11].

С выхода устройств подготовки данных для РС-1, РС-2, РС-3, РС-4, информация принимается блоком нейросетевого распознавания и классификации 17.1.2 и непосредственно через его блок управления распределяется для обработки и классификации по распознающим сетям 17.1.2.1 РС-1, 17.1.2.2 РС-2, 17.1.2.3 РС-3, 17.1.2.4 РС-4 соответственно. Результаты распознавания поступают в память блока итогового анализа 17.1.3, далее в блоке совокупного анализа входного сигнала 17.1.3.1, связанного обратной связью с библиотекой эталонов, происходит сравнение с математическими образами спектрограмм морских объектов для получения вывода о степени принадлежности исследуемой области спектра объекту

классификации, затем в блоке принятия решения 17.1.3.2 должно быть принято окончательное решение по результатам совокупного анализа работы четырех распознающих структур РС-1, РС-2, РС-3, РС-4 блока 17.1.2. При распознавании широкополосного частотного портрета морского объекта удобно производить раздельное исследование по низкочастотному, среднечастотному и высокочастотному диапазонам [10, 11]. Использование рассматриваемого подхода вызвано стремлением уменьшить размерность вектора входных параметров распознающих сетей РС-1, РС-2, РС-3, РС-4, что существенно упрощает их структуру.

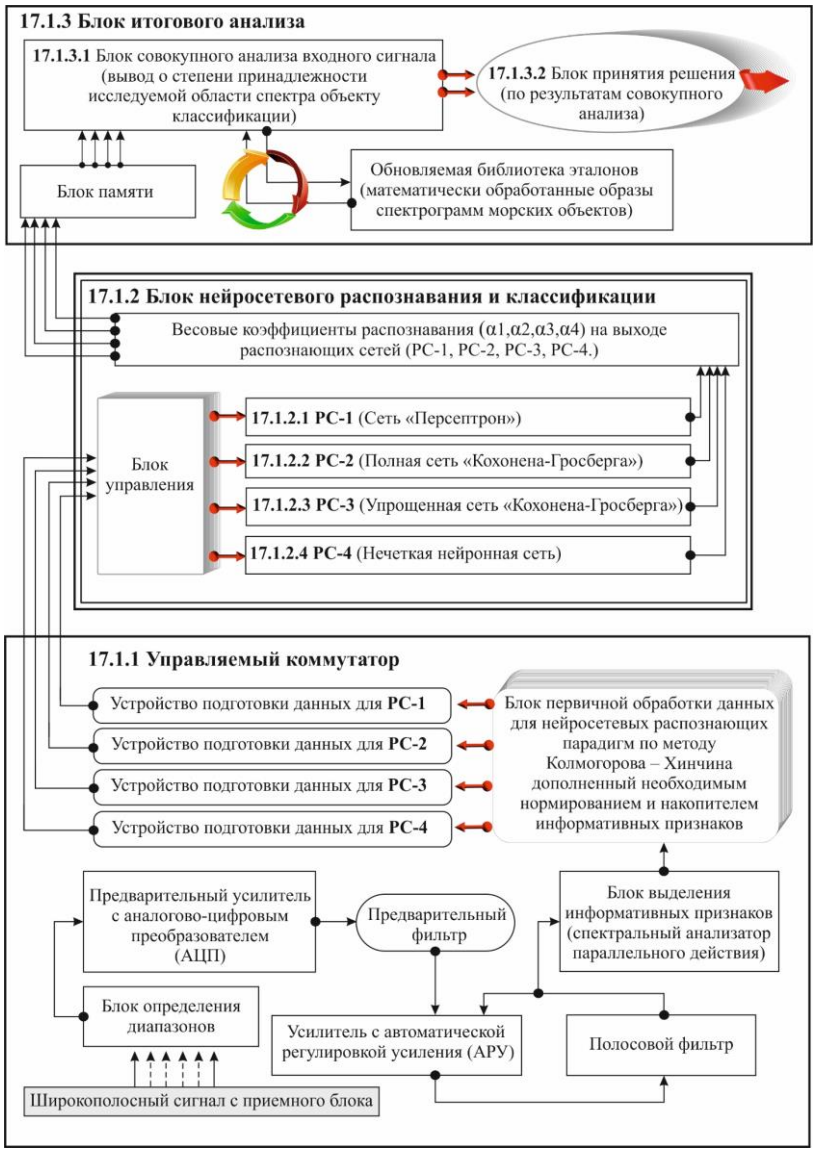

Рисунок 3. *Структура нейросетевой экспертной системы распознавания и классификации (составлена авторами)*

Алгоритм работы НЭС позволяет проводить распознавание реальных морских объектов в чистой и зашумленной до 10 дБ среде. Для распознавания подводного объекта наиболее работоспособна сеть РС-1. Для распознавания надводного объекта - сети РС-2, РС-3. Более качественное распознавание зашумленного сигнала производит нечеткая сеть РС-4 (ANFIS), а в области от 5 дБ и более она работает как обычные сети. Уверенное распознавание происходит при зашумленности входного сигнала порядка более 5 дБ [11].

Весь математический аппарат представленной нейросетевой экспертной системы проектируется при помощи системы автоматизированного проектирования. Исходные данные, необходимые для анализа закладываются на стадии проектирования и содержатся в постоянном

запоминающем устройстве системы. При окончании проектирования производится верификация проекта и его компилирование, в результате чего получаем двоичный файл, который затем загружается в программируемую логическую интегральную схему (PLIS). Следует отметить, что работоспособность представленной нейросетевой экспертной системы определена и проверена. Техническое моделирование и исследование виртуальной модели НЭС проведено на ALTERA PLIS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Freeman J.A., Skapura D.M. Neural Networks: algorithms, applications, and programming techniques. - Addision-Wesley Publ. Co., - 1991.
2. Marsh H.W. Exact Solution of Wave Scattering by Irregular Surfaces // JASA. - 1991. - Vol. 33. - P. 330 - 341.
3. Zadeh L.A. Fuzzy Sets // Information and Control. - 1965. - №8. - pp. 338 - 353.
4. William S., Burdic. Underwater Acoustic System Analysis. - PRENTICE HALL, New Jersey 07632, 1991. - 466 p.
5. Нейросетевая адаптивная система распознавания объектов по их акустическим излучениям: пат. 2513719 РФ / Борзов А.Б., Лихоеденнко К.П., Павлов Г.Л. и др.; ФГБУ МГТУ им. Н.Э. Баумана; 20.04.14.
6. Машонин А.И. Особенности синтеза алгоритмов классификации подводных объектов по их гидроакустическому полю // Акустический журнал. - 1996. - Т. 42. - №2. - С. 27 - 32.
7. Радиогидроакустическая система параметрического приема волн источников и явлений атмосферы, океана и земной коры в морской среде: пат. 2593673 РФ / М.В. Мироненко, В.А. Василенко, В.А. Пятакович; ТОВВМУ им. С.О. Макарова; 14.07.16.
8. Василенко А.М., Мироненко М.В., Пятакович В.А. и др. Система мониторинга полей источников атмосферы, океана и земной коры на основе технологий нелинейной просветной гидроакустики: монография - Владивосток: ТОВВМУ им. С.О. Макарова, 2015. - 320 с.
9. Пятакович В.А., Василенко А.М., Алексеев О.А. Принципы гарантированного управления безотказностью элементов нейросетевой экспертной системы классификации целей // Проблемы и методы разработки и эксплуатации вооружения и военной техники ВМФ: Сб. статей. - Владивосток: ТОВВМУ, 2016. - Вып. 92. - С. 174 - 185.
10. Пятакович В.А., Василенко А.М., Мироненко М.В. О.А. Алексеев. Операции распознавания и классификации информационных полей подводных лодок в системе освещения морских акваторий // Проблемы и методы разработки и эксплуатации вооружения и военной техники ВМФ: Сб. статей. - Владивосток: ТОВВМУ, 2016. - Вып. 92. - С. 186 - 195.
11. Пятакович В.А., Василенко А.М., Мироненко М.В. Технологии нелинейной просветной гидроакустики и нейро-нечетких операций в задачах распознавания морских объектов: монография - Владивосток: Издательский дом ДВФУ, 2016. - 190 с.

Vasilenko Anna Mikhaylovna
The pacific higher naval college named after Admiral Makarov, Russia, Vladivostok
E-mail: kahunya@gmail.com

Pyatakovich Valeriy Aleksandrovich
The pacific higher naval college named after Admiral Makarov, Russia, Vladivostok
E-mail: pva.877com@mail.ru

Mironenko Mikhail Vladimirovich
Special research bureau for automation of marine researches, far eastern branch of Russian academy of sciences
Russia, Yuzhno-Sakhalinsk
E-mail: professor@mail.primorye.ru

The structure of neural network expert system for recognition and classification of objects by their information fields as part of the system for comprehensive monitoring of sea waters

Abstract. In this paper, we present research results obtained from the next stage of research conducted by the team of authors, its special feature being the use of fuzzy logic to solve problems of object classification by the neural network expert system in conjunction with spectral lines of analysis of the receive path of the developed radio-hydroacoustical system for the monitoring of sea waters, with subsequent comprehensive analysis of results at an integrated Information and Analytical center.

In solving problems of sea objects' recognition by analysing the time and frequency patterns of their noise emission fields, researchers are challenged with the task of analysing the unreliable and weakly formalized input data, which necessitates the use of fuzzy sets.

The networks that are built on fuzzy sets are highly effective. This fact is substantiated by a number of proven theorems that are analogous to the completeness theorems for artificial neural systems. The simultaneous use of various compositions of fuzzy conclusions is possible. The scheme of conclusions itself can be a multistage one. The prospects of the discussed approach are that you can take right decisions with incomplete and fuzzy input information about the object being identified.

The implementation of computational operations of neural networks for recognition and classification of the measured information fields of atmosphere, ocean and the Earth's crust in the receive path of radio-hydroacoustical system ensures the possibility of purposeful monitoring and managed development in solving the multi-functional tasks of marine science, defense and national economy.

Keywords: radio-hydroacoustical system; classification of sea objects; mathematical model; fuzzy sets; fuzzy logic; neural network expert system; amplitude frequency characteristic; Fourier space; Khinchin method