

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <https://naukovedenie.ru/>

Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/vol9-5.php>

URL статьи: <https://naukovedenie.ru/PDF/24TVN517.pdf>

Статья опубликована 07.10.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Пятакович В.А. Методология оценки эффективности радиогидроакустических средств в структуре нейро-экспертной системы мониторинга морских акваторий государства // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/24TVN517.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 534.222:623.98

Пятакович Валерий Александрович

ФГКВОУ ВО «Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С. О. Макарова», Россия, Владивосток¹
Начальник научно-исследовательской лаборатории
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: pva.877com@mail.ru

Методология оценки эффективности радиогидроакустических средств в структуре нейро-экспертной системы мониторинга морских акваторий государства

Аннотация. Дальний параметрический прием полей различной физической природы, формируемых морской средой и объектами, в просветных системах мониторинга достигается на основе измерительных технологий нелинейной просветной гидроакустики, фазового приема, спектральной и корреляционной обработки сигналов. Способность варьировать и подбирать характеристики сигнала является важным фактором развития современных гидролокационных систем, использующих сложные методы обработки сигналов.

В данной статье рассмотрены показатели эффективности и предложена методология оценки радиогидроакустических средств при использовании их в общей структуре системы мониторинга, распознавания и классификации полей, генерируемых источниками в морской среде. Особенностью системы 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.

Результаты научных разработок авторов по данной тематике защищены патентами, изданы в виде монографий и отражены в научных статьях.

Реализация разрабатываемого комплекса вычислительных операций нейронных сетей на многопроцессорных нейроподобных сверхбольших интегральных схемах в виде нейросетевой экспертной системы для распознавания и классификации измеряемых информационных полей морских объектов системой мониторинга морских акваторий, обеспечит возможность решения multifunctional задач морской науки и оборонного комплекса государства.

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

Ключевые слова: классификация морских объектов; нечёткая логика; нейронные сети; гидрофизические поля; системы автоматического управления

Цель исследования

Основной целью научно-технических авторских разработок является создание глобальной 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 архитектур искусственных нейронных сетей и методики их обучения для решения задач распознавания (классификации) технических источников информационных полей в морской среде [1, 4-12].

Введение

В общей структуре системы мониторинга, распознавания и классификации полей, генерируемых источниками в морской среде при информационном обеспечении, используются радиогидроакустические средства добывания сведений в реальном масштабе времени с высокими точностями местоположения и пространственного разрешения объектов наблюдения. Они реализуют активные и пассивные принципы работы, осуществляя мониторинг океаносферы в широком диапазоне частотного спектра электромагнитных и акустических колебаний. Эффективность решения координатных задач объектов наблюдения при дистанционном мониторинге будет зависеть от качества динамических моделей физических полей, инженерно-технических решений и характеристик видов техники.

Одним из средств, обеспечивающих повышение эффективности функционирования систем морского мониторинга, является создание методологии как стратегии исследования на основе научных методов обоснования решений, которые призваны устранить противоречия, возникающие между выдвигаемыми требованиями к таким системам и возможностями их достижения.

Максимальная эффективность применения средств освещения обстановки достигается, как правило, при комплексном использовании стационарных и автономных средств обнаружения с учетом их показателей эффективности.

Неотъемлемым условием технической реализации и эффективности эксплуатационного использования системы является возможность интеграции и обработки в реальном масштабе времени многомерной регистрируемой информации линиями спектрального, корреляционного и нейросетевого анализа (применение новых четких и нейро-нечетких методов в системе обработки образов) информационно-аналитического центра (ИАЦ).

Практическая значимость создаваемой радиогидроакустической системы [2, 8, 10-15] освещения обстановки и мониторинга полей различной физической природы заключается в решении функционально связанных задач морской науки, народно-хозяйственного и оборонного комплексов Российского государства.

Основная часть

Большое значение в процессе эксплуатации радиогидроакустических средств (РГАС) системы морского мониторинга имеет уровень их восстанавливаемости. По этому признаку РГАС подразделяются на восстанавливаемые, или средства непрерывного, многократного и

периодического использования, и восстанавливаемые, т. е. средства разового применения. Подлежат восстановлению, как правило, неавтономные средства, т. е. те средства, ремонт которых требует меньших затрат, чем замена, хотя в последнее время все большее распространение приобретает восстановление работоспособности технических средств агрегатным способом, т. е. путем замены отдельных узлов, модулей и целых блоков исправными. Возможности систем пребывать в работоспособном состоянии с достаточной полнотой характеризуются их надежностью. В это понятие включаются свойства безотказности, ремонтпригодности, сохраняемости и восстанавливаемости. Количественные характеристики надежности хотя и учитывают свойства внешней среды, но, как правило, не отражают реакцию систем на экстремальные воздействия, т. е. их стойкость. Для совместного учета надежности систем и стойкости их к определенным внешним воздействиям в не конкретной ситуации вводят понятие «живучесть».

Однако не все свойства системы охватываются этими двумя терминами, поэтому вводят понятие «качество» – совокупность указанных в технических условиях свойств системы, характеризующих пригодность системы к функциональному (в процессе работы системы мониторинга) и техническому обслуживанию, транспортировке, ремонту и т. д.

Перечисленные характеристики не отражают весь перечень вопросов использования системы во всем многообразии условий (гидроакустических, климатических и др.), так как относятся к так называемым внутренним свойствам систем. Восполнить этот пробел, т. е. отразить количественное соответствие априорных (расчетных) или апостериорных (фактических) результатов ожидаемым или заданным тактическим характеристикам в конкретных условиях, и призвана такая характеристика, как эффективность. Следовательно, в отличие от надежности и качества, эффективность должна характеризовать не только внутренние свойства технических систем, но и то, как они эксплуатируются в заданных условиях для достижения определенной цели.

Практическая ценность такой оценки будет определяться тем, насколько рационально выбраны ее критерий и показатель. До настоящего времени, к сожалению, не существует не только общепринятых подходов к оценке эффективности, но даже терминологию этой характеристики нельзя считать установившейся. Необходимо отметить, что попытки внедрить количественную оценку эффективности в практику эксплуатации предпринимались. В систему так называемых качественных показателей вводятся результаты эксплуатационного использования РГАС, т. е. тактические параметры, полученные фактически или расчетным путем, а также их потенциальные значения. Однако очевидные недостатки этой системы оценок не только не позволяют получать от нее практическую пользу, но в некоторых случаях приводят к неверным выводам и рекомендациям.

Радиогидроакустическое обеспечение функционирования системы морского мониторинга и ее информационно-аналитического центра помимо общих организационно-технических мероприятий по эксплуатации предусматривает выполнение развёртывания элементов системы наблюдения для своевременного освещения подводной и надводной обстановки в интересах задач морской науки, народно-хозяйственного и оборонного комплексов Российского государства.

Под термином (система наблюдения) примем совокупность однородных или разнородных технических средств наблюдения, объединенных функциональным единством решаемых задач, характеризующая той или иной структурой построения и взаимного расположения составляющих ее элементов.

Освещение обстановки – это получение и отображение в том или ином виде на основе сбора, обработки и обобщения информации о морских объектах в ИАЦ, находящихся в

пределах зоны обзора средств наблюдения. Систему радиогидроакустического наблюдения в зависимости от характера решаемых задач и обстановки образуют акустические, радиолокационные средства и средства обнаружения по другим физическим полям морских технических объектов (МТО) [2, 3, 9, 14]. Радиогидроакустическое наблюдение включает ряд самостоятельных этапов, основными из которых являются поиск, обнаружение и классификация МТО, определение и сопровождение МТО по пространственным координатам, обеспечение передачи информации средствами гидроакустического подавления. Кроме того, РГАС системы автоматизированного мониторинга решают задачи обеспечения гидроакустической связи, опознавания и навигационной безопасности. Эффективность каждого этапа, реализуемого средствами, определяет в целом и эффективность системы. Оценка эффективности средств, входящих в РГАС системы автоматизированного мониторинга, осуществляется на основе выбранного критерия (системы критериев) показателем (совокупностью показателей), численно характеризующим его реализуемость. Основным содержанием РГАС системы автоматизированного мониторинга является обеспечение высокой эффективности применения ее по прямому назначению, т. е. получение максимального значения показателя эффективности в совокупности заданных условий. При этом предполагается, что МТО находится в зоне обзора.

В самом общем случае процесс обнаружения МТО определяется двумя последовательными и относительно независимыми событиями – встречи носителя средств обнаружения (наблюдателя) с целью и установления энергетического контакта с ней [1, 4-6]. В соответствии с данным положением вероятность обнаружения МТО определится соотношением

$$P_{\text{обн}} = P_{\text{вх}} P_{\text{к}}$$

где: $P_{\text{вх}}$ – вероятность вхождения МТО в зону обзора средства наблюдателя»;

$P_{\text{к}}$ – вероятность установления контакта с ней.

Вероятность $P_{\text{вх}}$ выступает в качестве показателя эффективности тактического поиска МТО наблюдателем, а $P_{\text{к}}$ – показателем эффективности обнаружения цели, находящейся в зоне обзора средства наблюдения. Максимизация вероятности $P_{\text{вх}}$ относится к прерогативе теории эксплуатационного использования РГАС, а повышение вероятности $P_{\text{к}}$ является одной из основных задач радиогидроакустического обеспечения. Таким образом, РГАС системы мониторинга является составной частью эксплуатационного использования системы автоматизированного морского мониторинга и преследует цель оптимизации режимов работы средств в интересах получения экстремальных значений выбранных показателей эффективности.

После испытаний, длительной автономной эксплуатации и т. д., возникает необходимость в оценке эффективности РГАС для окончательного решения о включении их в состав системы морского мониторинга (апостериорный аспект оценки эффективности средств). Современные радиогидроакустические средства являются средствами многообразного действия, предназначены для решения широкого круга задач и построены по иерархическому принципу [2, 7, 14]. Оценка эффективности таких систем также должна подчиняться иерархическому принципу и базироваться на положениях системотехники. Основой системотехнического подхода при оценке эффективности сложных автоматизированных систем является учет взаимозависимости и взаимообусловленности целого комплекса факторов [2, 16-19]. и оптимизация состава РГАС их режимов работы на основе количественных оценок. Исходя из принципов системотехнического подхода последовательность действий при оценке эффективности радиогидроакустических средств системы мониторинга сводится к следующему:

- анализу задач, возлагаемых на РГАС, условий их применения и определению совокупности исходных данных;
- выбору критерия (критериев) и показателей эффективности;
- разработке математической модели функционирования систем;
- производству расчетов и выработке предложений по составу РГАС в системе мониторинга и определению оптимальных режимов эксплуатационного и технического обслуживания средств.

Подобная последовательность действий является обязательной для систем любого уровня иерархии, но объем работы по каждому этапу будет разным. Оценка эффективности начинается с анализа задач, возлагаемых на РГАС, и условий их применения в общей структуре системы морского мониторинга. Особое внимание уделяется характеристике гидроакустических районов и акустических свойств МТО. Количественная оценка эффективности РГАС требует выбора математических моделей функционирования» связывающих тактические параметры с техническими характеристиками аппаратуры. Общих способов построения моделей не существует. В каждом конкретном случае модель выбирается исходя из целевой направленности исследования и степени сложности системы (региональная, широкомасштабная, глобальная и т. д.).

В зависимости от сложности системы уровня иерархии и задач исследования может быть использован математический аппарат различной сложности. Математические модели с вычислительной точки зрения подразделяются на аналитические, статистические и смешанные, а по степени полноты учета случайных факторов – регулярные, квазирегулярные и случайные. Каждый из рассмотренных типов моделей имеет свои достоинства и недостатки. Аналитические модели являются сравнительно грубыми, учитывают небольшое число факторов и правомерны, как правило, при определенных ограничениях. Достоинством этих моделей является простота, наглядность и возможность физической интерпретации результатов исследования. Статистические модели более точны и подробны, учитывают практически неограниченно большое число факторов. Однако данные методы не позволяют производить интерпретацию результатов, громоздки, требуют большего расхода времени.

Наилучше результаты получаются при совместном применении аналитических и статистических моделей. Примером совместных моделей является расчет коэффициента концентрации антенн, амплитуды и фазы возбуждения элементов, которых задается статистически. Регулярные модели использует строго детерминированные параметры.

Примером является уравнение дальности, в которое входит величина порогового значения коэффициента распознавания. К квазирегулярным моделям можно отнести вероятностные характеристики обнаружения, полученные на базе статистической теории обнаружения и случайных выбросов. В данных моделях вероятностный характер носит отношение сигнал/помеха. Примером использования статистических моделей для оценки эффективности РГАС является получение законов распределения параметров, определяющих потенциал обнаружения уравнения дальности для различных режимов работы. Данная модель достаточно подробно рассматривается в настоящей работе.

Конечной целью оценки эффективности РГАС является разработка рекомендаций по применению на основе расчетов показателей эффективности при решении поставленных задач. Рассмотрим показатели эффективности более подробно.

Показатели эффективности

Эффективность применения РГАС по назначению объективно характеризуется совокупностью тактических $\{\alpha_i\}$, $i = \overline{1, n}$ и технических $\{\beta_v\}$, $v = \overline{1, l}$ параметров. Кроме того, на конечные результаты применения средств оказывают влияние условия $A_{f,j}$, $j = \overline{1, L}$ и способы применения $\{B_p\}$, $p = \overline{1, k}$.

Формально это можно представить так:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}[\{\alpha_i\}, \{\beta_v\}, \{A_{f,j}\}, \{B_p\}]. \quad (1)$$

Каждый тактический параметр, входящий в совокупность $\{\alpha_i\}$, определяется совокупностью технических параметров $\{\beta_v\}$. Под условиями применения будем понимать состояние радиолокационной наблюдаемости, гидроакустические условия района применения средств, реализацию приема сигналов на фоне естественных или искусственных помех; под способами – одиночное применение или совместно со средствами других носителей. Представление (2) в виде единого аналитического выражения является весьма сложной задачей, что вынуждает при оценке эффективности прибегать к разумным упрощениям.

Рассмотрим некоторый тактический параметр α_i (дальность обнаружения, точность определения координат и т. д.), характеризующий результат применения средств по назначению. И з-за случайности целого ряда определяющих факторов этот параметр является случайным. Пусть $F(x)$ функция распределения вероятности параметра, где x – значения, принимаемые величиной α :

$$F(x) = F[x/\{\beta_v\}, \{A_{f,j}\}, \{B_p\}]. \quad (2)$$

Выражение (3) представляет функцию распределения по совокупности технических параметров, условий и способов применения. В дальнейшем перечисленные совокупности обозначим y_1, y_2, y_3 :

$$F(x) = F(x/y_1, y_2, y_3).$$

Обозначим через G множество возможных значений $F(x)$, обусловленное совокупностью y_1, y_2, y_3 .

Тогда задача выбора показателя эффективности сводится к установлению некоторого порядка предпочтения на множестве G , т. е. к выбору в этом множестве функционала $\mathcal{E}(F)$, обладающего свойством $\mathcal{E}(F_1) \geq \mathcal{E}(F_2)$, тогда и только тогда, когда функция распределения F_1 предпочтительнее или равноценна функции F_2 .

Вообще говоря, функционал $\mathcal{E}(F)$ может строиться и из условия $\mathcal{E}(F_1) \leq \mathcal{E}(F_2)$, когда F_1 предпочтительнее или равноценна F_2 . Все зависит от конкретного смысла параметра α . Например, дальность обнаружения целей желательно максимизировать, т. е. для построения $\mathcal{E}(F)$ необходимо использовать первое условие, а ошибку определения координат – минимизировать и в этом случае применить второе условие.

Если на множестве G существует ограниченный функционал $\mathcal{E}(F)$, обладающий свойствами $\mathcal{E}(\sum_{k=1}^{\infty} \lambda_k F_k) = \sum_{k=1}^{\infty} \lambda_k \mathcal{E}(F_k)$ для любой последовательности чисел $\lambda_k \geq 0$, $\sum_{k=1}^{\infty} \lambda_k = 1$ и $\mathcal{E}(F_1) \geq \mathcal{E}(F_2)$, тогда и только тогда, когда F_1 предпочтительнее или равноценна F_2 , [2, 16] то доказывается, что $\mathcal{E}(F)$ имеет вид:

$$\mathcal{E}(F) = \int_{(\alpha)} L(x) dF(x). \quad (3)$$

Здесь $L(x)$ – функция полезности, характеризующая поставленную задачу, а функция $F(x)$ – достигаемые результаты.

Выражение (3) представляет собой математическое ожидание функции полезности относительно распределения вероятностей $F(x)$.

С точки зрения оценки эффективности РГАС с учетом возможности их применения в условиях $\{A_{f,j}\}$ и способах $\{B_p\}$ выражение (3) необходимо переписать:

$$\mathcal{E}(F) = \int_{(\alpha)} L(x) dF(x/y_1, y_2, y_3). \quad (4)$$

Из (6.6) видно, что функционал $\mathcal{E}(F)$ определяет одновременно с отношением предпочтения на множестве G соответствующее отношение предпочтения на множестве возможных значений технических параметров β_v , условий $A_{f,j}$ и способов применения.

Общие выражения (3) и (4) справедливы и тогда, когда параметр α , характеризующий результат применения средства, является не случайной, а детерминированной величиной. В этом случае в выражениях (3) и (4) необходимо использовать функцию распределения для детерминированной величины, рассматриваемой как частный вид случайной величины. Эта функция распределения для конкретных значений β_v, A_f, B будет иметь вид:

$$F(x/y_1, A_f, B) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < x^*(y_1, A_f, B); \\ 1 & \text{при } x \geq x^*(y_1, A_f, B), \end{cases}$$

где $x^*(y_1, A_f, B)$ – значение детерминированной величины для совокупности детерминированных значений технических параметров β и «заданных условий A_f и способов использования B . В соответствии с выражением (3) показатель эффективности определится выражением

$$\mathcal{E}(F) = L(x^*/y_1, A_f, B).$$

Нахождение функции $F(x/y_1, y_2, y_3)$ в зависимости от совокупности, y_2, y_3 является весьма сложной задачей.

Конкретизируем условия и способы применения средства, т. е. выберем конкретные значения A_f и B . Случайность величины x обуславливается флуктуациями значений технических параметров β . Тогда в соответствии с общими соотношениями (3) и (4) оценка эффективности РГАС сводится к нахождению экстремальных значений показателя

$$\mathcal{E}^*(F) = \max_{\min} \{\mathcal{E}(x/y_1, A_f, B)\}. \quad (5)$$

Формула (5) означает, что $\mathcal{E}^*(F)$ есть максимальное (минимальное) значение функции $\mathcal{E}(F)$, вычисленное по совокупности случайных значений y_1 при заданных условиях и способах применения средств.

Расчет показателя (5) предполагает, что функция полезности задана в соответствии с требованиями внешней обстановки, например, требованиями оружия носителя.

Рассмотрим некоторые частные случаи показателей эффективности, вытекающие из их общего вида. При этом будем оперировать одномерной функцией распределения параметра x , так как для многомерной функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ соответствующие выражения получаются аналогичным образом.

Пусть $L(x) = x$ при всех x , т. е. $L(x)$ – линейная функция (рис.1, а), при которой эффект применения различных РГАС в системе автоматизированного морского мониторинга равномерно увеличивается по мере роста достигаемого параметра x .

Из выражения (4) получаем:

$$\mathcal{E}(F) = \int_{(\alpha)} x dF(x/y_1, A_f, B) = \bar{\alpha}(y_1, A_f, B)$$

где $\bar{\alpha}(y_1, A_f, B)$ математическое ожидание величины α с функцией распределения $F(x/y_1, A_f, B)$.

Таким образом, показателем эффективности является математическое ожидание случайной величины α , характеризующей результат применения.

Пусть $L(x)$ имеет вид ступенчатой функции (см. рис. 1б), тогда

$$L(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < x_0; \\ 1 & \text{при } x \geq x_0, \end{cases}$$

где x_0 – некоторая заданная величина.

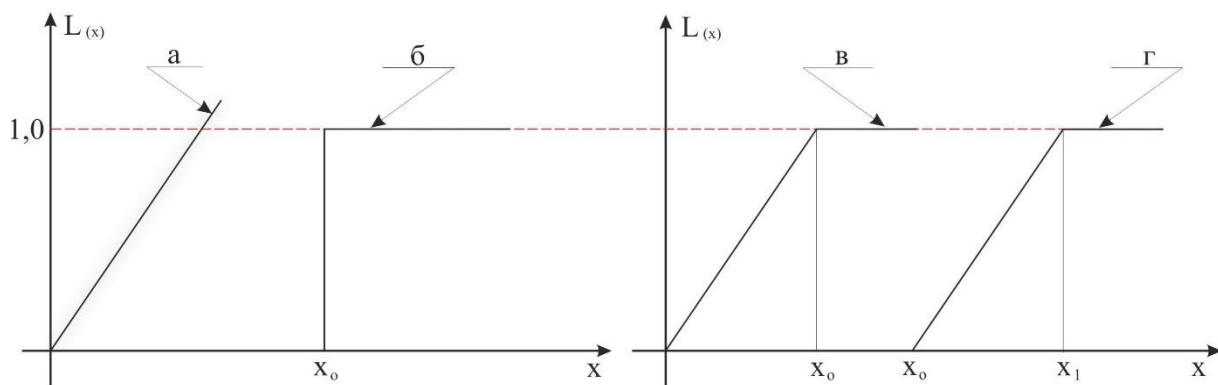


Рисунок 1. Некоторые типичные функции полезности (составлен автором)

При функции $L(x)$ решение задачи, возлагаемой на средство, обеспечивается, если реализуется значение параметра x не менее, чем x_0 , поскольку превышение этого значения дополнительного эффекта не дает.

В соответствии с (3) получим

$$\mathcal{E}(F) = \int_{x \geq x_0} dF(x/y_1, A_f, B) = \text{Вер.}(\alpha \geq x_0/y_1, A_f, B).$$

Следовательно, показателем эффективности выступает вероятность события $\alpha \geq x_0$.

Рассмотрим в качестве параметра x дальность обнаружения цели. Тогда при $x_0 = D_0$

$$\mathcal{E}(F) = \mathcal{E}(D) = \int_{D_0}^{\infty} dF(x/y_1, A_f, B) = P(D \geq D_0).$$

здесь получили величину показателя эффективности. Если в качестве параметра α взять точность определения угловой координаты $\Delta\varphi$, то из физических соображений ясно, что

функция полезности $L(x)$ будет зеркальной относительно функции (5). Для показателя эффективности получи

$$\mathcal{E}(F) = \int_0^{x \leq \Delta\varphi_0} dF(x/y_1, A_f, B) = P(\Delta\varphi \leq \Delta\varphi_0). \quad (6)$$

Величина показателя (6) определяет вероятность того, что точность определения координат не меньше некоторой заданной $\Delta\varphi_0$.

Рассмотрим функцию полезности, изображенной на рис. 1в. Аналитическое выражение для такой функции, называемой линейной функцией с насыщением, будет иметь вид:

$$L(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0; \\ x/x_0 & \text{при } 0 \leq x \leq x_0; \\ 1 & \text{при } x \geq x_0, \end{cases}$$

где x_0 значение параметра x , при котором наступает насыщение.

Подставляя это выражение в (4), получим:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}(F) &= \frac{1}{x_0} \int_0^{x_0} x dF(x/y_1, A_f, B) + \int_{x_0}^{\infty} dF(x/y_1, A_f, B) = \\ &= \frac{\bar{x}_{\text{усл}}(y_1, A_f, B)}{x_0} p(x < x_0/y_1, A_f, B) + p(x > x_0/y_1, A_f, B), \end{aligned}$$

где

$$\bar{x}_{\text{усл}}(y_1, A_f, B) = \frac{1}{F(x_0/y_1, A_f, B)} \int_0^{x_0} x dF(x/y_1, A_f, B)$$

– условное математическое ожидание величины x при условии $x < x_0$;

$$\begin{aligned} p(x < x_0/y_1, A_f, B) &= F(x_0/y_1, A_f, B); \\ p(x \geq x_0/y_1, A_f, B) &= 1 - F(x_0/y_1, A_f, B). \end{aligned}$$

В рассматриваемом случае показатель эффективности уже нельзя трактовать так просто, как это имело место при линейной и ступенчатой функциях полезности.

Функция полезности $L(x)$, изображенная на рис. 1г, называется линейной функцией с насыщением и задержкой роста. Для этой функции характерно наличие двух уровней: x_0 , до которого результат применения равен нулю, и уровня x_1 , после которого наступает «насыщение».

В пределах же уровней $x_0 - x_1$ эффект применения нарастает по линейному закону от нуля до единицы. Аналитическое выражение для $L(x)$ в этом случае равно

$$L(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < x_0; \\ \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} & \text{при } x_0 \leq x \leq x_1; \\ 1 & \text{при } x \geq x_1. \end{cases}$$

После подстановки этого соотношения в (4) находим:

$$\mathfrak{E}(F) = \frac{\bar{x}_{\text{усл}}(y_1, A_f, B)}{x_1 - x_0} p(x_0 \leq x \leq x_1/y_1, A_f, B) + p(x \geq x_1/y_1, A_f, B),$$

где

$$\bar{x}_{\text{усл}}(y_1, A_f, B) = \frac{1}{F(x_1/y_1, A_f, B) - F(x_0/y_1, A_f, B)} \int_{x_0}^{x_1} x dF(x/y_1, A_f, B)$$

условное математическое ожидание величины x при условии $x_0 \leq x \leq x_1$;

$$p(x_0 \leq x \leq x_1/y_1, A_f, B) = F(x_1/y_1, A_f, B) - F(x_0/y_1, A_f, B),$$

$$p(x \geq x_1/y_1, A_f, B) = 1 - F(x_1/y_1, A_f, B).$$

Следует подчеркнуть, что рассмотренные виды функций полезности и соответствующих показателей эффективности не исчерпывают возможного их многообразия, но представляются наиболее типичными в практически интересных случаях.

Конкретный вид функции полезности, количественно характеризующий цель, поставленную перед РГАС, можно определить, рассмотрев показатель эффективности системы более высокого иерархического уровня. Использование функций полезности вида линейной и линейной с насыщением целесообразно при оценке эффективности радиогидроакустических средств, входящих в систему морского мониторинга для обеспечения навигационной безопасности, обнаружения воздушных, надводных и подводных МТО.

В тех случаях, когда выбор функции полезности по показателю эффективности системы более высокого иерархического уровня невозможен (например, из-за отсутствия аналитического выражения для этого показателя), то функция $L(x)$ задается интуитивно из общих соображений или методом экспертных оценок.

Прерогатива в задании функции полезности принадлежит командному уровню (оператору), т. е. будем полагать, что функция $L(x)$ задана изначально.

Рассмотренные выше соотношения для показателя эффективности вида (3) или (4) были правомерны для одномерной функции распределения параметра a и соответственно и функции полезности $L(x)$. Однако использование одномерных функций $L(x), F(x)$ оказывается недостаточным когда речь идет об оценке эффективности, обеспечения надежности системы и т. д. [2, 14] В этих случаях необходимо определение многомерных функций $L(x_1, x_2, \dots, x_n), F(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Например, дальности и точности определения дистанции, точности определения угловой координаты и разрешающая способность по углу жестко между собой связаны. Следовательно, необходимо определение $F(D, \Delta D, \Delta \Pi, \Delta \varphi)$.

Необходимо подчеркнуть, что основной и наиболее трудоемкой задачей при вычислении показателей эффективности является разработка и реализация алгоритма вычисления функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$. или хотя бы ее параметров σ_x^2, \bar{x} .

Суммируя изложенное выше, можно заключить, что сущностью рассмотренной методологии оценки эффективности является решение в вероятностном смысле уравнений, связывающих основные тактические характеристики, требования по величине которых положены в основу критерия оценки, и характеристики внешних и внутренних факторов. Реализация рассмотренной методологии оценки предполагает рассмотрение абсолютных значений характеристик этих факторов и их флюктуаций в различных условиях, объединив их

в группы: акустические характеристики объекта наблюдения; влияние морской среды на распространение акустической энергии; помехи приему гидроакустических сигналов; техническое состояние гидроакустических средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. №2016616822 РФ Расчет лучевой картины / А. М. Василенко, В. А. Пятакович, О. А. Алексеев. Оpubл. 26.04.16.
2. 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.
3. Василенко А. М., Мироненко М. В., Пятакович В. А. и др. Нелинейная гидроакустика в системах мониторинга гидрофизических и геофизических полей морских акваторий. монография. Владивосток: ВУНЦ ВМФ «ВМА» (филиал, г. Владивосток), 2013. – 324 с.
4. Исакович М. А. Общая акустика: монография – М.: Наука, 1973. – 495 с.
5. Клей К., Медвин Г. Акустическая океанография. М.: Мир, 1980. – 584 с.
6. Малашенко А. Е., Мироненко М. В., Чудаков М. В., Пятакович В. А., Просветная радиогидроакустическая система мониторинга полей атмосферы, океана и земной коры в морской среде. Датчики и системы – М.: 2016. – № 8-9 (206). – С. 9-13.
7. Малашенко А. Е., Мироненко М. В., Чудаков М. В., Пятакович В. А., Дальний параметрический прием электромагнитных волн, формируемых техническими источниками в морской среде. Датчики и системы – М.: 2016. – № 8-9 (206). – С. 14-18.
8. Мироненко М. В., Пятакович В. А., Василенко А. М., Результаты экспериментальных исследований способа определения профиля морского объекта и реализующей его системы. Мониторинг. Наука и технологии. – 2017. – № 2(31) – С. 64-69.
9. 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.
10. Пятакович В. А., Василенко А. М., Пятакович Н. В. Математическая модель распознавания и классификации морского объекта, реализующая аппарат нечетких множеств // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/49TVN117.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
11. Пятакович В. А. Нейро-нечеткие системы и технологии комплексного мониторинга океаносферы // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке: сб. ст. по матер. II междунар. науч.-практ. конф. № 2(2). – Новосибирск: СибАК, 2017. – С. 45-55.
12. Пятакович В. А., Василенко А. М., Филиппова А. В. Технология создания автоматизированной системы дальнего приема и нейросетевой классификации

- гидрофизических полей морских акватории // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 7. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – С. 247-258.
13. Пятакович В. А., Василенко А. М., Хотинский О. В. Аналитическая конструкция и исходные структуры искусственной нейронной сети, техническая реализация модели математического нейрона // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/99TVN317.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
 14. Пятакович В. А., Василенко А. М., Мироненко М. В. Технологии нелинейной просветной гидроакустики и нейро-нечетких операций в задачах распознавания морских объектов: монография. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2016. – 190 с. ISBN 978-5-7444-3790-9.
 15. Пятакович В. А., Василенко А. М., Хотинский О. В. Распознавание и классификация источников формирования полей различной физической природы в морской среде: монография – Владивосток: Мор. гос. ун-т им. Г. И. Невельского, 2017. – 255 с. ISBN 978-5-8343-1066-2.
 16. Пятакович В. А., Василенко А. М., Мироненко М. В. Нейросетевые архитектуры для решения задач классификации информационных полей морских объектов, методика их обучения // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/54TVN217.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
 17. Теория игр и статистических решений: пер. с англ. / Д. Блекуэлл, М. А. Гиршик; Под ред. Б. А. Севастьянова. – М.: Изд-во иностр. лит., 1958. 374 с.
 18. Урик Р. Д. Основы гидроакустики: монография – Л.: Судостроение, 1978. 448 с.
 19. Пятакович В. А., Филиппов Е. Г. Нейросетевая система в задаче управления распознаванием сложного технического объекта в морской среде // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 7. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – С. 239-246.
 20. Пятакович В. А., Василенко А. М., Мироненко М. В. Обучение нейронной сети как этап разработки экспертной системы для классификации источников физических полей при мониторинге акваторий // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2017. № 3(32). С. 138-149. DOI.org/10.5281/zenodo.897021.

Pyatakovich Valeriy Aleksandrovich

The Pacific Higher Naval College named after Admiral Makarov, Russia, Vladivostok
E-mail: pva.877com@mail.ru

Methodology for assessing the effectiveness of radio-hydroacoustic means in the structure of a neuro-expert monitoring system for the marine areas of the state

Abstract. In the low-frequency monitoring systems, the long-range parametric reception of fields of different physical nature, formed by the sea medium and objects, is achieved by applying measurement technologies of non-linear low-frequency hydroacoustics, phase reception, spectral and correlation signal processing. The ability to vary and select the signal characteristics is an important factor in the development of modern sonar systems using sophisticated signal processing techniques.

In this article, the efficiency indicators are considered and a methodology for estimating radio-hydroacoustic means is proposed when using them in the overall structure of the monitoring system, recognition and classification of fields generated by sources in the marine environment. The peculiarity of the developed system is 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.

The results of scientific research of the authors on this topic are protected by patents and published in the form of monographs and scientific articles.

The practical implementation of the system that is developed for executing the computing operations by way of neural networks on the multiprocessor neural VLSI circuits in the form of a neural network expert system for the identification and classification of measured information fields of sea objects as part of the sea waters' monitoring system will provide the ability to solve multi-functional problems of marine science and of the defense industry of the State.

Keywords: classification of sea objects; fuzzy logic; neural networks; training algorithms of neural networks; automatic control systems