

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-567-575

A MODEL OF RATIONAL PLACEMENT OF RECEIVING ANTENNAS OF POSITIONAL SONAR SYSTEMS IN THE INTERESTS OF DISPATCHING GEOSPATIAL PROCESSES

S. N. Potapychiev^{1,2}, V. V. Malyj^{1,3}, Y. A. Ivakin^{1,2}

¹ — Concern OCEANPRIBOR JSC, St. Petersburg, Russian Federation

² — St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), St. Petersburg, Russian Federation

³ — Kuznetsov Naval Academy, St. Petersburg, Russian Federation

The main features of an efficiency evaluation of positional (stationary and autonomous) sonar systems at the design stage and deciding on the coordinates of the antenna installation site based on modeling and visualization of the expected surveillance zones using intelligent geographic information systems are considered in the paper. The issues of intellectual decision support for the rational spatial distribution of receiving antennas are considered. The influence of the information support quality of geographic information systems on the calculations accuracy of expected surveillance zones of the sonar systems under the various hydrological and acoustic conditions is assessed. A new performance indicator in the form of spatial volume of the expected surveillance zone is proposed. A method for solving the optimization problem of finding the maximum volume of the illuminated space as a coordinates function of the antenna placement within a given observation area, with fixed technical characteristics of the monitoring system and given noise conditions, acoustic characteristics of the detection object and the observation time has been developed. The proposed approach to selecting the rational variant of the receiving antennas location of positional hydroacoustic facilities and systems in the interests of dispatching geospatial processes using as a mean of intelligent support the modern hardware and software complex realizing the specified selection by such efficiency indicator as volume of illuminated space, in the conditions of a two-dimensionally inhomogeneous model of medium, close to real hydrological-acoustic conditions, allows to increase the accuracy of assessing the illumination efficiency of underwater environment of positional hydroacoustic means and systems and significantly reduce the design and development time as compared with the traditional approach, requiring expensive field observation over a long period of time.

Keywords: sonar system, surveillance zone, hydrological-acoustic conditions, inhomogeneous marine medium, intelligent geoinformation system, digital cartographic data, spatial data, volume of the observation zone.

For citation:

Potapychiev, Sergei N., Vladimir V. Malyj, and Yan A. Ivakin. "A model of rational placement of receiving antennas of positional sonar systems in the interests of dispatching geospatial processes." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 12.3 (2020): 567–575. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-567-575.

УДК 681.1.003

МОДЕЛЬ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПРИЕМНЫХ АНТЕНН ПОЗИЦИОННЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В ИНТЕРЕСАХ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

С. Н. Потапычев^{1,2}, В. В. Малый^{1,3}, Я. А. Ивакин^{1,2}

¹ — АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР», Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ — ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Изложены основные особенности оценки эффективности позиционных (стационарных и автономных) гидроакустических систем на этапе проектирования и принятия решения по координатам места

установки приемных антенн на основе моделирования и визуализации ожидаемых зон наблюдения с использованием интеллектуальных геоинформационных систем. Рассмотрены вопросы интеллектуальной поддержки принятия решений по рациональному пространственному размещению приемных антенн данных средств с использованием специализированных программно-информационных средств и геоинформационных систем. Выполнена оценка влияния качества информационного обеспечения геоинформационных систем на точность расчетов ожидаемых зон наблюдения гидроакустических систем в различных гидролого-акустических условиях. Предложен новый показатель эффективности в виде пространственного объема ожидаемой зоны наблюдения. Разработан метод решения оптимизационной задачи поиска максимума объема освещаемого пространства как функции координат размещения антенны в пределах заданного района наблюдения при фиксированных технических характеристиках системы наблюдения и заданных помеховых условиях, акустических характеристиках объекта обнаружения и времени наблюдения. Предложенный подход к выбору рационального варианта размещения приемных антенн позиционных гидроакустических средств и систем в интересах диспетчеризации геопространственных процессов с использованием в качестве средства интеллектуальной поддержки современного аппаратно-программного комплекса, реализующего указанный выбор по такому показателю эффективности, как объем освещаемого пространства, в условиях двумерно-неоднородной модели среды, близких к реальным гидролого-акустическим условиям, позволяет повысить точность оценки эффективности освещения подводной обстановки позиционных гидроакустических средств и систем и существенно сократить сроки проектирования и разработки по сравнению с традиционным подходом к решению данной задачи, требующим дорогостоящих натурных исследований в течение длительного периода времени.

Ключевые слова: гидроакустическая система, зона наблюдения, гидролого-акустические условия, неоднородная морская среда, интеллектуальная геоинформационная система, цифровые картографические данные, пространственные данные, объем зоны наблюдения.

Для цитирования:

Потапычев С. Н. Модель рационального размещения приемных антенн позиционных гидроакустических средств в интересах диспетчеризации геопространственных процессов / С. Н. Потапычев, В. В. Малый, Я. А. Ивакин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 3. — С. 567–575. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-567-575.

Введение (Introduction)

Гидроакустические средства и системы (ГАС) широко применяются при решении задач информационного обеспечения поисково-спасательных операций, ведения рыбного промысла, а также охраны объектов морской экономической деятельности, которые в дальнейшем понимаются как *геопространственные процессы* согласно данным источников [1], [2]. При этом большую роль в решении этих задач играют позиционные ГАС (ПГАС), антенные системы которых в течение длительного времени (автономные ГАС) или до конца срока эксплуатации (стационарные ГАС) располагаются в фиксированном месте с заданными координатами (λ_0 , φ_0) и на определенной глубине h_0 .

В настоящее время помимо моностатических ПГАС с одиночной антенной (работающих в активном или в пассивном режимах), широкое применение находят также активные системы с направленным излучением и приемом (так называемые бистатические и мультистатические гидролокационные системы — (БГЛС) и (МлГЛС) соответственно). Проектирование таких систем и принятие решения по рациональному выбору места установки антенн стационарных или автономных ГАС в заданном районе наблюдения представляет собой достаточно сложную задачу с точки зрения оценки достигаемой эффективности освещения подводной обстановки. Причем в бистатических и мультистатических системах это касается размещения как приемных, так и излучающих антенн.

Эффективность освещения подводной обстановки ГАС зависит от многих факторов. При этом одними из основных являются конкретные гидролого-акустические условия (ГАУ) в месте установки антенн в данный момент времени, определяемые вертикальным распределением скорости звука (ВРСЗ), глубиной моря, рельефом дна и т. д. Именно поэтому возникает интеллектуальная задача выбора рационального пространственного размещения приемных антенн ПГАС, которая решается с использованием специализированных программно-информационных средств и гео-

информационных систем (ГИС). Качество их реализации оказывает непосредственное влияние на точность результатов расчета ожидаемых зон наблюдения (ЗН) в различных ГАУ, а в конечном итоге, и на эффективность применения ПГАС. Раскрытие особенностей указанного влияния позволяет конкретизировать его суть и предложить комплексный показатель для оценки эффективности наблюдения гидроакустических систем в различных ГАУ.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Задача оптимального выбора пространственных координат (λ_0, φ_0) и глубины размещения приемных антенн ПГАС (h_0) представляется исключительно сложной, так как ГАУ в различных районах Мирового океана обладают значительной изменчивостью одновременно в пространстве и во времени (месяц, сезон). Оценка эффективности проектируемых ГАС обычно производится с помощью специальных программных средств (систем гидроакустических расчетов (СГАР) или имитационных моделирующих аппаратно-программных комплексов (АПК)).

В традиционных СГАР обычно используется наиболее простая и распространенная на данный момент модель плоскостойкой неоднородной среды с ровным дном. В этом случае оценка эффективности производится либо путем расчета так называемой *ожидаемой дальности действия ГАС*, одинаковой для всех направлений наблюдения при фиксированной глубине объекта обнаружения, либо путем расчета, построения и визуализации так называемой *зоны наблюдения* (обнаружения) в вертикальной плоскости в координатах «дальность – глубина», также одинаковой во всех направлениях наблюдения. Таким образом, традиционный подход к решению данной задачи требует либо приближенных оценок для средних по району и сезону ГАУ, реализуемых, как правило, с помощью СГАР с упрощенными моделями плоскостойкой среды с ровным дном, либо дорогостоящих натурных исследований в течение длительного периода времени (минимум года). Для совершенствования данного процесса (создания и разработки ПГАС), с целью сокращения затрачиваемого времени и уменьшения затрат перспективным, необходимо использование интеллектуализированных ГИС с базами данных по характеристикам дна и среднестатистическим ВРСЗ для различного времени наблюдения (месяц, сезон) или данных оперативной океанологии.

В наиболее совершенных современных АПК используется более сложная модель двумерно-неоднородной среды с переменным рельефом дна и изменяющимся ВРСЗ по трассе распространения. Это позволяет рассчитывать и визуализировать близкие к реальным трехмерные ЗН ГАС и любые их проекции или разрезы в произвольном направлении и на любом горизонте. В общем случае зона наблюдения (обнаружения) морского подводного объекта для ГАС, работающего в соответствующем режиме, строится относительно координат (места размещения) приемной антенны ГАС ($\lambda_0, \varphi_0, h_0$) и определяет пространственную область в координатах «пеленг – дистанция – глубина» (α, r, h), при входе в которую подводный объект определенного класса может быть обнаружен с заданной вероятностью правильного обнаружения, в пределах которой выполняется условие

$$P_{\text{ПО}}(\alpha, r, h) \geq P_{\text{ПО}}^*, \quad (1)$$

где $P_{\text{ПО}}(\alpha, r, h)$ — вероятность правильного обнаружения (ВПО) объекта в зависимости от дистанции, глубины и направления наблюдения;

r — горизонтальное расстояние до объекта наблюдения;

h — глубина (погружения) объекта наблюдения;

α — пеленг на объект наблюдения;

$P_{\text{ПО}}^*$ — заданное (нормативное) значение ВПО объекта наблюдения.

Современные средства визуализации ожидаемых зон наблюдения ГАС позволяют отображать в виде цветовой гаммы произвольные значения ВПО в зависимости от пространственных координат. Однако, как правило, принято рассматривать границы ЗН с фиксированным значением вероятности правильного обнаружения $P_{\text{ПО}} = 0,9$. В целом общий вид ожидаемой ЗН ГАС определяется рабочей характеристикой приемника-обнаружителя и соответствующей сложной пространственной зависимостью входного отношения сигнал / помеха. В условиях зональной структуры поля ЗН ГАС

может представлять собой сложную совокупность несвязанных областей акустической освещенности и зон тени.

На рис. 1 приведен пример результатов расчета и построения ожидаемой ЗН для низкочастотной мультистатической гидролокационной системы (МлГЛС) с тремя приемниками, удаленными от излучателя на $b = 60$ км, в условиях Баренцева моря (глубина моря в районе до 275 м) в зимний период (январь), при размещении антенн на глубине $h = 60$ м с использованием модели двумерно-неоднородной морской среды (180 направлений расчета относительно излучателя и относительно каждого из приемников), а именно:

- рельеф дна и переменные по трассе ВРСЗ для направления 0° от излучателя (рис. 1, а);
- вертикальный разрез ЗН по направлению 39° от излучателя для произвольных значений ВПО $0 \leq P_{\text{по}}(r, h) \leq 1$ (рис. 1, б);
- вид ожидаемой ЗН на горизонте $h = 80$ м (с нанесением на карту) для фиксированного значения порога ВПО $0,9 \leq P_{\text{по}}(r, \alpha) \leq 1$ (рис. 1, в);
- вид ожидаемой ЗН в полярных координатах на горизонте $h = 80$ м для произвольных значений ВПО $0 \leq P_{\text{по}}(r, \alpha) \leq 1$ (рис. 1, г).

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что для точной оценки эффективности ПГАС, особенно низкочастотных БГЛС и МлГЛС дальнего действия (с размещением излучателя и приемников на значительные расстояния), необходима строгая привязка рассчитываемых ожидаемых ЗН к карте района с учетом точных координат установки излучателя и приемных антенн, реального рельефа дна и переменных в пространстве ВРСЗ с заданной сеткой по географическим координатам.

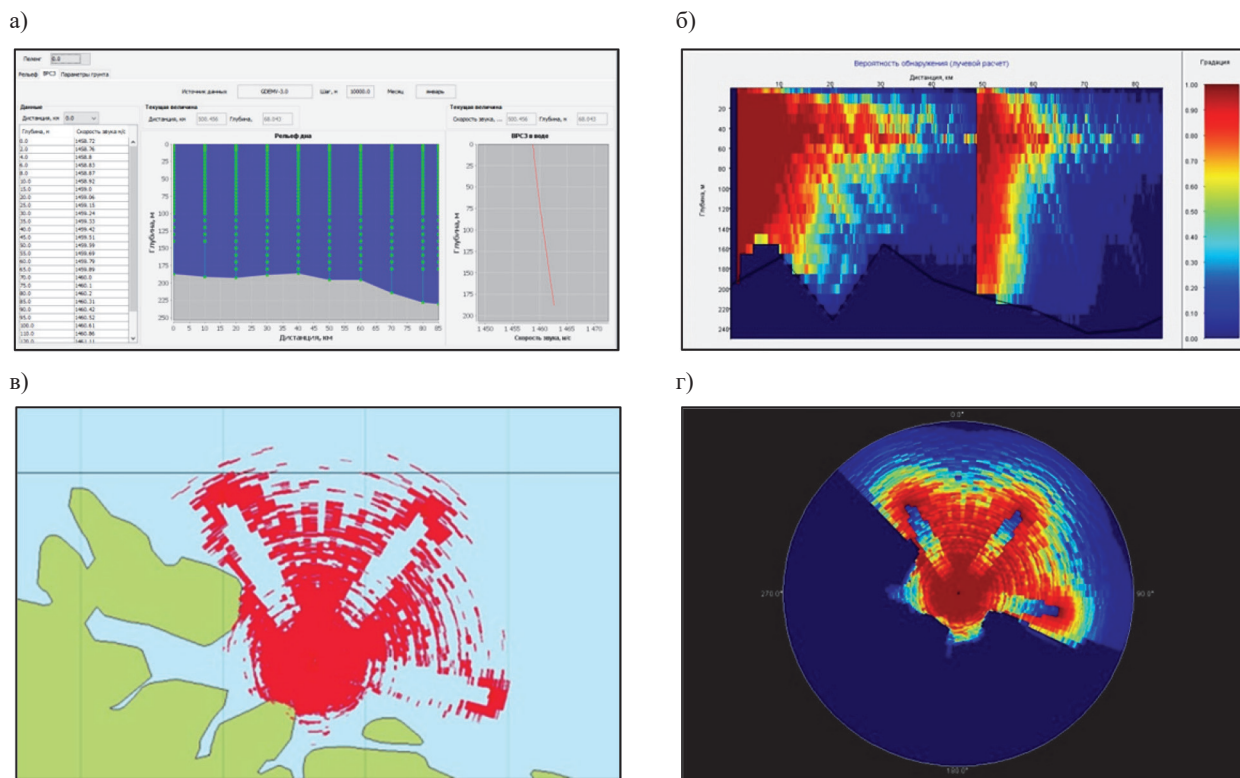


Рис. 1. Результаты расчета ожидаемой ЗН МлГЛС с использованием данных моделирования в ГИС:

- а — рельеф дна и переменные по трассе ВРСЗ для направления 0° от излучателя;
- б — вертикальный разрез ЗН по направлению 39° от излучателя для произвольных значений ВПО $0 \leq P_{\text{по}}(r, h) \leq 1$;
- в — вид ожидаемой ЗН на горизонте $h = 80$ м (с нанесением на карту) для фиксированного значения порога ВПО $0,9 \leq P_{\text{по}}(r, \alpha) \leq 1$;
- г — вид ожидаемой ЗН в полярных координатах на горизонте $h = 80$ м для произвольных значений ВПО $0 \leq P_{\text{по}}(r, \alpha) \leq 1$

В настоящее время созданы имитационные моделирующие аппаратно-программные комплексы [3]–[11], предназначенные для оценки эффективности любых интегрированных систем подводного наблюдения (ИСПН). В частности, программно-аппаратный комплекс имитационного моделирования и оценки эффективности системы подводного наблюдения (СПН) предназначен для моделирования динамики функционирования СПН различного назначения и конфигурации в различных тактических ситуациях, гидролого-акустических условиях и помехо-сигнальной обстановке с применением морских ГИС, в том числе распределенных позиционных (стационарных и автономных) активно-пассивных гидроакустических СПН, работающих в различных режимах, включая бистатистический и мультистатистический режимы гидролокации.

Одной из предполагаемых целей моделирования является интеллектуальная поддержка процесса синтеза проектируемой ИСПН путем последовательной оценки эффективности различных вариантов ее построения. В первую очередь это касается позиционной (прежде всего стационарной) составляющей системы наблюдения, для обоснования наиболее целесообразного и рационального состава, координат расстановки антенных устройств и основных технических решений, а также анализа возможного (необходимого) наращивания элементов мобильной составляющей системы в целях достижения требуемых показателей эффективности освещения подводной обстановки. При этом предлагается использовать в качестве основного показателя эффективности освещения подводной обстановки ПГАС не традиционные ожидаемые дальности действия, не площадь ожидаемой ЗН на заданном горизонте, не площадь вертикального разреза ЗН в координатах «дальность-глубина» в одном из направлений наблюдения, а объем освещаемого пространства, соответствующий заданному порогу ВПО.

Результаты (Results)

Обобщенный алгоритм расчета объема пространственной зоны обнаружения для заданного значения порога ВПО и заданных границ глубин погружения подводного объекта реализован в программно-аппаратном комплексе имитационного моделирования и оценки эффективности системы подводного наблюдения в виде отдельной задачи (подпроекта). При этом интеллектуальная поддержка принятия решений на базе ИГИС (в процессе создания и проектирования СГАС) заключается в информационном обеспечении метода решения оптимизационной задачи поиска максимума объема освещаемого пространства как функции координат размещения антенны $V_{\text{ЗН}}(\lambda_0, \varphi_0, h_0)$ в пределах заданного района наблюдения при фиксированных технических характеристиках ГАС, помеховых условиях, заданных акустических характеристиках объекта обнаружения и времени наблюдения. Постановку задачи выбора оптимального варианта размещения приемных антенн позиционных ГАС в интересах диспетчеризации геопроцессов можно представить как постановку соответствующей оптимизационной задачи (2)–(4).

При этом оптимизационная задача может решаться как в общем случае:

$$V_{\text{ЗН}}(\lambda_0, \varphi_0, h_0) \rightarrow \max_{\lambda_0, \varphi_0, h_0} \{V_{\text{ЗН}}(\lambda_0, \varphi_0, h_0)\}, \quad (2)$$

так и в случае уже выбранных координат места установки антенн путем изменения только их глубины h_0 :

$$V_{\text{ЗН}}(\lambda_0, \varphi_0, h_0) \rightarrow \max_{h_0} \{V_{\text{ЗН}}(h_0)\} \Big|_{\lambda_0, \varphi_0 = \text{const}}. \quad (3)$$

Данный подход может быть использован прежде всего для автономных ГАС, период работы которых ограничен промежутком времени порядка 1–3 месяца (сезон), когда ГАУ (ВРСЗ) можно приближенно считать неизменными. В случае стационарных ГАС, срок эксплуатации которых рассчитан на длительный период, измеряемый годами, а, порой, и десятилетиями, необходим учет сезонного изменения ГАУ (прежде всего ВРСЗ) путем осреднения объема ожидаемой зоны наблюдения для четырех сезонов ($N = 4$) или 12 месяцев ($N = 12$).

$$V_{3H}(\lambda_0, \varphi_0, h_0) \rightarrow \max_{h_0} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N V_{3H_i}(h_0)}{N} \right\}_{\lambda_0, \varphi_0 = \text{const}}. \quad (4)$$

Решение такой задачи оптимизации обеспечивает наилучший вариант размещения приемных антенн позиционных гидроакустических средств в интересах диспетчеризации пространственных процессов. Таким образом, для обоснования оптимальной конфигурации размещения антенн системы подводного наблюдения при использовании системы гидроакустических расчетов, интегрированной в ИГИС и встроенной в АПК имитационного моделирования, при расчете показателей эффективности вида V_0 (объем освещаемого пространства) и S_0 (площадь сечения освещаемого пространства), возможно решение отдельной задачи обоснования (поиска и выбора) наиболее рационального варианта построения системы, обеспечивающего максимизацию искомого объема V_0 или площади S_0 .

Пример расчета суммарного объема освещаемого пространства и сечения освещаемого пространства приведен на рис. 2. Для определения показателей эффективности стационарной СПН более высокого уровня, связанных с анализом накопленных вероятностей обнаружения и слежения, потребуется включение стохастической составляющей для маневрирования объектов наблюдения и проведения соответствующего имитационного моделирования.

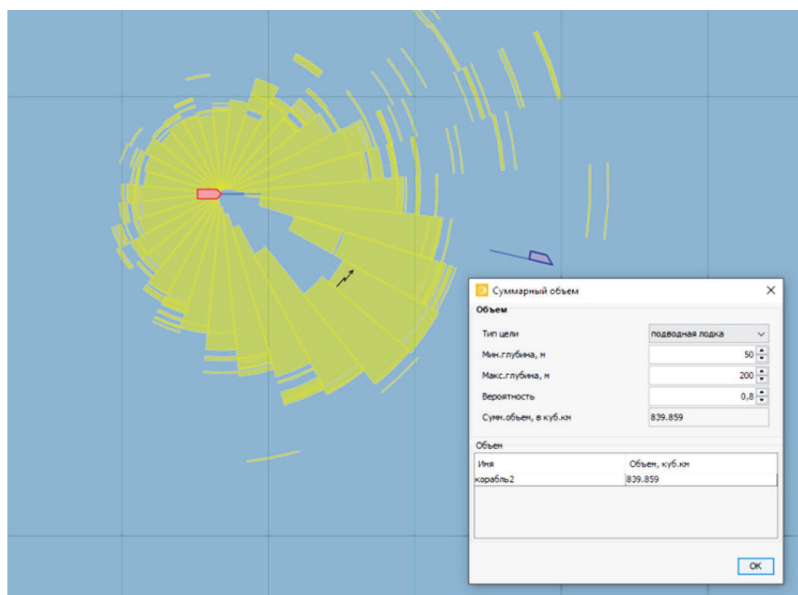


Рис. 2. Пример расчета суммарного объема V_0 или площади сечения S_0 освещаемого подводного пространства

Таким образом, основной особенностью перспективных систем проектирования позиционных гидроакустических средств и систем является возможность многоуровневой обработки геопро пространственных данных, характеризующих наблюдателя, объекты наблюдения и среду, а также диспетчеризируемые геопро пространственные процессы. При этом наиболее развитыми возможностями по многоуровневой обработке геопро пространственных данных обладают интеллектуализированные географические информационные системы.

Обсуждение (Discussion)

В результате проведенных исследований предложен новый показатель эффективности для позиционных ГАС при решении задачи обнаружения подвижных подводных объектов, а именно объем освещаемого пространства, соответствующий заданному порогу ВПО. Данный показате-

тель может быть использован для решения оптимизационной задачи поиска максимума объема освещаемого пространства как функции координат размещения антенны $V_{\text{ЗН}}(\lambda_0, \varphi_0, h_0)$ в пределах заданного района наблюдения при фиксированных технических характеристиках ГАС, помеховых условиях, заданных акустических характеристиках объекта обнаружения и времени наблюдения. При этом интеллектуальная поддержка принятия решений (в процессе создания и проектирования ПГАС) реализуется на базе ИГИС и заключается в информационном обеспечении в виде цифровых карт района наблюдения, баз данных по рельефу дна и среднестатистическим ВРСЗ для различных временных периодов.

Алгоритм расчета объема освещаемого пространства и метод решения оптимизационной задачи поиска максимума его значения для различных координат приемных антенн внедрен в аппаратно-программный комплекс и проверен в процессе компьютерного имитационного моделирования функционирования ИСПН различной конфигурации для различных районов Мирового океана. Предлагаемый метод поддержки принятия решений по рациональному размещению антенн позиционных ГАС в интересах повышения эффективности освещения подводной обстановки представляется достаточно важным и актуальным для организаций, занимающихся вопросами моделирования, проектирования и разработки позиционных гидроакустических систем.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на внедрение данного метода в системах поддержки принятия решения для операторов мобильных (корабельных) ГАС, включая перспективные СГАР и системы автоматизированного управления при решении задачи оптимального выбора глубины размещения опускаемых и буксируемых антенн.

Выводы (Summary)

1. Предлагаемый подход к выбору рационального варианта размещения приемных антенн позиционных ГАС в интересах диспетчеризации геопространственных процессов с использованием в качестве средства интеллектуальной поддержки современного АПК, реализующего указанный выбор по такому показателю эффективности, как объем освещаемого пространства, в условиях двумерно-неоднородной модели среды, близких к реальным ГАУ, позволяет повысить точность оценки эффективности освещения подводной обстановки ПГАС и существенно сократить сроки проектирования и разработки по сравнению с традиционным подходом к решению данной задачи, требующим дорогостоящих натурных исследований в течение длительного периода времени.

2. Для совершенствования (сокращения, упрощения, удешевления) процесса размещения приемных антенн позиционных ГАС в интересах диспетчеризации геопространственных процессов в качестве средств автоматизированного обоснования проектных решений, перспективным представляется использование интеллектуальных ГИС с базами данных по дну и среднестатистическим ВРСЗ для различного времени наблюдения (месяц, сезон). Это позволит обеспечить качественный рост возможностей диспетчеризации геопространственных процессов в подводной среде.

3. Предложенный показатель эффективности ОПО в виде объема освещаемого пространства и метод оптимизации выбора глубины размещения приемных антенн ГАС в дальнейшем могут быть использованы в системах поддержки принятия решения для операторов мобильных (корабельных) ГАС при решении задачи оптимального выбора глубины размещения опускаемых и буксируемых антенн.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №18-07-00437).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивакин Я. А. Интеллектуальная поддержка принятия решений при диспетчеризации геопространственных процессов морского транспорта / Я. А. Ивакин, С. Н. Потапычев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 4. — С. 857–869. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-857-869.

2. Ивакин Я. А. Модель поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления / Я. А. Ивакин, С. Н. Потапычев, Р. Я. Ивакин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 5. — С. 842–855. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-842-855.
3. Интеллектуальные географические информационные системы для мониторинга морской обстановки / Под общ. ред. чл.-кор. РАН Р. М. Юсупова и д-ра техн. наук В. В. Поповича. — СПб: Наука, 2013. — 284 с.
4. Попович В. В. Моделирование гидроакустических полей на основе интеллектуальной геоинформационной системы / В. В. Попович [и др.] // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2009. — № 4. — С. 37–44.
5. Гучек В. И. Системы мониторинга на основе ИГИС / В. И. Гучек, В. И. Ермолаев, В. В. Попович // Оборонный заказ. — 2012. — № 2 (21). — С. 58–61.
6. Ермолаев В. И. Использование геопространственных данных при управлении морской распределенной системой наблюдения / В. И. Ермолаев // Материалы 8-й конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ–2014). — СПб: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2014. — С. 270–276.
7. Ермолаев В. И. Индикаторы тактической обстановки для операторов гидроакустических средств / В. И. Ермолаев [и др.] // Морская радиоэлектроника. — 2017. — № 3 (61). — С. 28–33.
8. Ермолаев В. И. Применение интеллектуальных геоинформационных систем при проектировании гидроакустических средств / В. И. Ермолаев // Региональная информатика и информационная безопасность: сб. тр. — 2016. — С. 446–450.
9. Ermolaev V. Modeling of Search Actions Under the Conditions of Variable Environment Properties / V. Ermolaev // Information Fusion and Geographic Information Systems (IF AND GIS 2013). — Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. — Pp. 107–117. DOI: 10.1007/978-3-642-31833-7_7.
10. Ermolaev V. Geoinformational Support of Search-Efforts Distribution Under Changing Environmental Conditions / V. Ermolaev, S. Potapichev // Information Fusion and Intelligent Geographic Information Systems (IF&IGIS'17). — Springer, Cham, 2018. — Pp. 153–164. DOI: 10.1007/978-3-319-59539-9_12.
11. Malyj V. Modeling of Surveillance Zones for Bi-static and Multi-static Active Sonars with the Use of Geographic Information Systems / V. Malyj // Information Fusion and Intelligent Geographic Information Systems (IF&IGIS'17). — Springer, Cham, 2018. — Pp. 139–152. DOI: 10.1007/978-3-319-59539-9_11.

REFERENCES

1. Ivakin, Yan A., and Sergei N. Potapychiev. “Decision-making intelligent support at dispatching geospatial processes of marine transport.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S.O. Makarova* 10.4 (2018): 857–869. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-857-869.
2. Ivakin, Yan A., Sergei N. Potapychiev, and Roman Y. Ivakin. “A model for supporting the scheduling of geospatial processes of the water transport based on the situational management.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 11.5 (2019): 842–855. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-842-855.
3. Yusupov, R. M., and V. V. Popovich, eds. *Intellektual'nye geograficheskie informatsionnye sistemy dlya monitoringa morskoi obstanovki*. SPb: Nauka, 2013.
4. Popovich, V. V., V. I. Ermolaev, Y. B. Leontyev, and O. V. Smirnova. “Modelirovanie gidroakusticheskikh polei na osnove intellektual'noi geoinformatsionnoi sistemy.” *Iskusstvennyi intellekt i prinyatie reshenii* 4 (2009): 37–44.
5. Guchek, V. I., V. I. Ermolaev, and V. V. Popovich. “Sistemy monitoringa na osnove IGIS.” *Oboronnyi zakaz* 2(21) (2012): 58–61.
6. Ermolaev, V. I. “Ispol'zovanie geoprostranstvennykh dannyykh pri upravlenii morskoi raspredelennoi sistemoi nablyudeniya.” *Materialy 8-i konf. «Informatsionnye tekhnologii v upravlenii» (ITU-2014)*. SPb: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2014. 270–276.
7. Yermolaev, V. I., N. S. Karishnev, V. V. Popovich, and S. N. Potapychiev. “Indicators of tactical situation (situational awareness) for hydroacoustic equipment operators.” *Marine Radio electronics* 3(61) (2017): 28–33.
8. Ermolaev, V. I. “Primenenie intellektual'nykh geoinformatsionnykh sistem pri proektirovanii gidroakusticheskikh sredstv.” *Regional'naya informatika i informatsionnaya bezopasnost' Sbornik trudov. Sankt-Peterburgskoe obshchestvo informatiki, vychislitel'noi tekhniki, sistem svyazi i upravleniya*. SPb: SPIIRAS, 2016. 446–450.

9. Ermolaev, Victor. "Modeling of Search Actions Under the Conditions of Variable Environment Properties." *Information Fusion and Geographic Information Systems (IF AND GIS 2013)*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. 107–117. DOI: 10.1007/978-3-642-31833-7_7.

10. Ermolaev, Victor, and Sergey Potapichev. "Geoinformational Support of Search-Efforts Distribution Under Changing Environmental Conditions." *Information Fusion and Intelligent Geographic Information Systems (IF&IGIS'17)*. Springer, Cham, 2018. 153–164. DOI: 10.1007/978-3-319-59539-9_12.

11. Malyj, Vladimir. "Modeling of Surveillance Zones for Bi-static and Multi-static Active Sonars with the Use of Geographic Information Systems." *Information Fusion and Intelligent Geographic Information Systems (IF&IGIS'17)*. Springer, Cham, 2018. 139–152. DOI: 10.1007/978-3-319-59539-9_11.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Потапычев Сергей Николаевич —

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР»
198226, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
Чкаловский пр., 46
Санкт-Петербургский институт информатики
и автоматизации Российской академии наук
(СПИИРАН)
199178, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
14-я линия В. О., 39
e-mail: potapichev@mail.ru

Малый Владимир Владимирович —

доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник
АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР»
198226, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
Чкаловский пр., 46
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»
197045, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
Ушаковская наб. 17/1
e-mail: v_malyj@rambler.ru

Ивакин Ян Альбертович —

доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник
АО «Концерн «ОКЕАНПРИБОР»
198226, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
Чкаловский пр., 46
Санкт-Петербургский институт информатики
и автоматизации Российской академии наук
(СПИИРАН)
199178, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
14-я линия В.О., 39
e-mail: yan_a_ivakin@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Potapichev, Sergei N. —

PhD,
senior researcher
Concern OCEANPRIBOR JSC
46 Chekalovskiy Av., St. Petersburg, 198226,
Russian Federation
St. Petersburg Institute for Informatics
and Automation of the Russian Academy of Sciences
(SPIIRAS)
39 14th liniya V.O., St. Petersburg, 199178,
Russian Federation
e-mail: potapichev@mail.ru

Malyj, Vladimir V. —

Dr. of Technical Sciences, professor,
leading researcher
Concern OCEANPRIBOR JSC
46 Chekalovskiy Av., St. Petersburg, 198226,
Russian Federation
Kuznetsov Naval Academy
17/1 Ushakovskaya Naberezhnaya Str.,
St Petersburg, 197045, Russian Federation
e-mail: v_malyj@rambler.ru

Ivakin, Yan A. —

Dr. of Technical Sciences, professor,
leading researcher
Concern OCEANPRIBOR JSC
46 Chekalovskiy Av., St. Petersburg, 198226,
Russian Federation
St. Petersburg Institute for Informatics
and Automation of the Russian Academy of Sciences
(SPIIRAS)
39 14th liniya V.O., St. Petersburg, 199178,
Russian Federation
e-mail: yan_a_ivakin@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16 марта 2020 г.

Received: March 16, 2020.