

С. Н. ПОТАПЫЧЕВ, Я. А. ИВАКИН  
СПИИРАН, АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург

В. В. МАЛЫЙ  
ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н.Г. Кузнецова, Санкт-Петербург

## ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ АНТЕНН ПОЗИЦИОННЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

*В работе рассмотрены основные особенности моделирования рационального размещения позиционных (стационарных и автономных) гидроакустических систем на этапе проектирования и принятия решения по координатам места установки антенн на основе моделирования и визуализации ожидаемых зон наблюдения с использованием интеллектуальных геоинформационных систем. Рассмотрены вопросы интеллектуальной поддержки принятия решений по рациональному пространственному размещению антенн позиционных гидроакустических систем. Предложен новый показатель эффективности в виде пространственного объема зоны наблюдения, реализация которого возможна в рамках концепции боевых пространств средств ВМФ.*

**Введение.** Гидроакустические средства и системы (ГАС) широко применяются в интересах решения задач информационного обеспечения поисково-спасательных операций, ведения рыбного промысла, а также охраны объектов морской экономической деятельности, которые в дальнейшем понимаются как геопространственные процессы, согласно [1,2]. При этом большую роль в решении данных 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 и на определенной глубине. Эффективность освещения подводной обстановки ГАС зависит от многочисленных 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 антенн ПГАС, которая решается с использованием специализированных геоинформационных систем (ГИС). Качество их реализации непосредственно влияет на точность результатов расчета ожидаемых зон наблюдения (ЗН) ПГАС в различных ГАУ, а в конечном итоге, на эффективность их применения. Раскрытие особенностей указанного влияния позволяет конкретизировать его существо и предложить комплексный показатель для оценки эффективности подводного наблюдения гидроакустическими системами в различных гидролого-акустических условиях.

**Задача оптимального выбора пространственных координат и глубины размещения антенн позиционных ГАС.** 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 плоскостной неоднородной среды с ровным дном. В этом случае оценка эффективности производится путем расчета т.н. «ожидаемой дальности действия ГАС», одинаковой для всех направлений наблюдения при фиксированной глубине объекта обнаружения. Либо путем расчета, построения и визуализации т. н. зоны наблюдения (или обнаружения), в вертикальной плоскости в координатах «дальность-глубина», также одинаковой во всех направлениях наблюдения. Таким образом, традиционный подход к решению данной задачи требует либо использование приближенных оценок для средних по району и сезону ГАУ, как правило, с помощью СГАР с упрощенными моделями плоскостной среды с ровным дном, либо дорогостоящих натурных исследований в течение длительного времени (минимум год).

Для совершенствования данного процесса (создания и разработки ПГАС) (с целью сокращения времени и уменьшения затрат) перспективным представляется использование интеллектуальных ГИС с базами данных по дну и среднестатистическим ВРСЗ для различного времени наблюдения (месяц, сезон) или данных оперативной океанологии. В наиболее совершенных

современных имитационных моделирующих АПК используется более сложная модель двумерно-неоднородной среды с переменным рельефом дна и изменяющимся ВРСЗ по трассе распространения сигнала. Это позволяет рассчитывать и визуализировать реальные трехмерные ЗН ГАС и любые ее проекции или разрезы в произвольном направлении в вертикальной плоскости и на любом горизонте. В общем случае зона наблюдения (или зона 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» ( $\alpha, r, h$ ), при входе в которую, подводный объект определенного класса может быть обнаружен с заданной вероятностью правильного обнаружения (ВПО), т.е. 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;  $\alpha$  – пеленг на объект наблюдения;  $P_{\text{по}}^*$  – заданное (нормативное) значение ВПО объекта наблюдения.

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 основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что для точной оценки эффективности ПГАС и особенно – низкочастотных БГЛС и МлГЛС дальнего действия (с разнесением 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.

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 ИСПН, предназначен для моделирования динамики функционирования СПН различного назначения и конфигурации в различных тактических ситуациях, гидролого-акустических условиях и помехо-сигнальной обстановке, с применением морских интеллектуальных ГИС: в том числе и распределенных позиционных (стационарных и автономных) активно-пассивных гидроакустических систем подводного наблюдения, работающих в различных режимах, включая бистатический и мультистатический режимы гидролокации. Одной из предполагаемых целей имитационного 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, для обоснования наиболее целесообразного рационального состава, координат расстановки антенных устройств и основных технических решений, а также для анализа возможного (необходимого) наращивания элементов мобильной составляющей системы для достижения необходимых значений 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 зоны наблюдения на заданном горизонте, не площадь вертикального разреза ЗН в координатах «дальность-глубина» в одном из направлений наблюдения, а «объем освещаемого пространства, соответствующего заданному порогу ВПО».

**Обобщенный алгоритм расчета пространственного объема зоны обнаружения позиционной ГАС.** Алгоритм расчета «пространственного объема зоны обнаружения» ГАС для заданного значения 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 решений на базе интеллектуальной ГИС процесса создания и проектирования ПГАС заключается в информационном обеспечении решения оптимизационной задачи

поиска максимума объема освещаемого пространства как функции координат размещения антенны в пределах заданного района наблюдения, при фиксированных технических характеристиках ГАС, помеховых условиях, заданных акустических характеристиках объекта обнаружения и времени наблюдения. Тогда постановку задачи выбора варианта размещения приемных антенн позиционных гидроакустических средств в интересах диспетчеризации геопространственных процессов можно представить, как постановку соответствующей оптимизационной задачи (2) – (4).

При этом оптимизационная задача может решаться как в общем случае

$$V_{3H}(\lambda_0, \varphi_0, h_0) \rightarrow \max_{\lambda_0, \varphi_0, h_0} \{V_{3H}(\lambda_0, \varphi_0, h_0)\}, \quad (2)$$

так и, в случае уже выбранных координат места установки антенны, путем изменения только ее глубины

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

Данный подход (3) может быть использован прежде всего для автономных ГАС, период работы которых ограничен промежутком времени порядка 1–2 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 ( $N=12$ )

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

Решение такой задачи оптимизации обеспечивает наилучший вариант размещения приемных антенн позиционных гидроакустических средств в интересах диспетчеризации пространственных процессов.

Таким образом, при использовании системы гидроакустических расчетов интегрированной в ИГИС, встроенной в АПК имитационного моделирования и обоснования конфигурации размещения антенн системы подводного наблюдения, 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  $S_0$ .

**Заключение.** Предлагаемый подход к выбору варианта размещения приемных антенн позиционных гидроакустических средств 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 реальных ГАУ, позволяет существенно повысить точность оценок эффективности и качество принятия искомого решения, что сравнимо по качеству с традиционным подходом к решению данной задачи, требующим дорогостоящих натурных исследований в течение длительного времени. Для совершенствования (сокращения, упрощения, удешевления) процесса размещения приемных антенн позиционных гидроакустических средств 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 по диспетчеризации геопространственных процессов в подводной среде.

*Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 18-07-00437*

ЛИТЕРАТУРА

1. Потапычев С.Н. 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. №4(50). 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. №5(57). 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., Ермолаев В.И., Леонтьев Ю.Б., Смирнова О.В. Моделирование гидроакустических полей на основе интеллектуальной геоинформационной системы // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 4. С. 37–44.
5. Гучек В.И., Ермолаев В.И., Попович В.В. Системы мониторинга на основе ИГИС. // Оборонный заказ. 2012, № 2 (21), с. 58–61.
6. Ермолаев В.И. Использование геопространственных данных при управлении морской распределенной системой наблюдения // Материалы 8-й конф. «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2014). СПб: АО «Концерн «ЦНИИ «Электрон». 2014. С. 270–276.
7. Ермолаев В.И., Каришнев Н.С., Попович В.В. Потапычев С.Н. Индикаторы тактической обстановки для операторов гидроакустических средств. // Морская радиоэлектроника. 2017, №3 (61). С.28–33.
8. Ермолаев В.И. Применение ИГИС при проектировании ГАС. // Материалы XV Санкт-Петербургской межд. конф. «Региональная информатика» (РИ-2016). СПб: СПИИРАН. 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.
10. Ermolaev V., Potapichev S. Geoinformational Support of Search-Efforts Distribution under Changing environmental Conditions / V. Ermolaev // Information Fusion and Geographic Information Systems (IF AND GIS 2017). Springer, Shanghai, 2017. Pp. 153–164.
11. Malyj V. Modeling of Surveillance Zones for Bi-static and Multi-static Active Sonars with the Use of Geographic Information Systems. In: Popovich V., Schrenk M., Thill J.C., Claramunt C., Wang T. (eds) Proceedings of 8th International Symposium IF&GIS'2017, Springer, Shanghai, 2017, pp 139–152.

S.N. Potapychiev, Y.A. Ivakin, (JSC «Concern «Oceanpribor»Company, St. Petersburg), V.V. Malyj (Military Educational-and-Research Centre «N.G.Kuznetsov Naval Academy»Company, St. Petersburg)

**Features of Modeling the Rational Placement of Antennas of Positional Hydroacoustic Means for Dispatching Geospatial Processes**

The paper considers the main features of modeling the rational placement of positional (stationary and Autonomous) hydroacoustic systems at the stage of design and decision-making on the coordinates of the antenna installation site based on modeling and visualization of the expected observation zones using intelligent geoinformation systems. Questions of intellectual support of decision-making on rational spatial placement of antennas of positional hydroacoustic systems are considered. A new efficiency indicator is proposed in the form of the spatial volume of the observation zone, which can be implemented within the framework of the concept of combat spaces of the Navy.