

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ РАЗМЕЩЕНИЮ АНТЕНН ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СВЯЗИ В ИНТЕРЕСАХ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

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

¹АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург, 198226, Российской Федерации

²Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук
(СПИИРАН), Санкт-Петербург, 199178, Российской Федерации

³ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н. Г. Кузнецова», Санкт-Петербург, 197045, Российской Федерации

* Адрес для переписки: potapychev@mail.ru

Аннотация—В работе рассмотрены особенности оценки эффективности позиционных и мобильных гидроакустических систем связи с погруженными объектами-корреспондентами на этапе их проектирования и принятия решения по координатам места установки приемо-передающих антенн пункта управления на основе моделирования и визуализации ожидаемых зон гидроакустической связи с использованием интеллектуальных геоинформационных систем. Проведена оценка влияния качества информационного обеспечения геоинформационных систем на точность результатов расчета ожидаемых зон гидроакустической связи в различных гидролого-акустических условиях. **Предмет исследования.** Статья посвящена вопросам оценки эффективности гидроакустической связи и интеллектуальной поддержки принятия решений по рациональному пространственному размещению приемно-передающих антенн гидроакустических систем связи с погруженными объектами-корреспондентами. **Метод.** Рассмотрен метод оптимизации (выбора рационального варианта) пространственного размещения приемно-передающих антенн позиционных гидроакустических средств связи или глубины постановки опускаемых и буксируемых антенн корабельных гидроакустических средств связи, с использованием специализированных программно-информационных средств и геоинформационных систем. **Основные результаты.** Предложен новый показатель эффективности в виде пространственного объема зоны гидроакустической связи и разработан метод оптимизации пространственного размещения приемно-передающих антенн по критерию максимального объема ожидаемой зоны гидроакустической связи для заданных гидролого-акустических условий в районе. **Практическая значимость.** Внедрение разработанного метода в системы гидроакустических расчетов и автоматизированной поддержки принятия решений для перспективных систем гидроакустической связи позволит значительно сократить время принятия решения на размещение антенн (при проектировании или при планировании применения) и повысить эффективность (устойчивость и дальность действия) гидроакустических средств связи с погруженными объектами-корреспондентами.

Ключевые слова—Гидроакустические средства связи, оценка эффективности гидроакустической связи, зона гидроакустической связи, гидролого-акустические условия, неоднородная морская среда, интеллектуальные геоинформационные системы, цифровые картографические данные, пространственные данные.

Информация о статье

УДК 681.1.003

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 11.02.20, принята к печати 10.04.20.

Ссылка для цитирования: Потапычев С. Н., Малый В. В., Ивакин Я. А. Поддержка принятия решений по рациональному размещению антенн гидроакустических средств связи в интересах диспетчеризации геопространственных процессов // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 1. С. 90–100. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-90-100.

SUPPORT FOR DECISION-MAKING ON THE RATIONAL PLACEMENT OF ANTENNAS OF UNDERWATER COMMUNICATION SYSTEMS IN THE INTERESTS OF DISPATCHING OF GEO-SPACE PROCESSES

S. Potapychев^{1,2}, V. Malyj^{1,3}, Y. Ivakin^{1,2}

¹JSC «Concern «Oceanpribor», St. Petersburg, 198226, Russia

²St. Petersburg Institute of Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences
(SPIIRAS), St. Petersburg, 199178, Russia

³Military Educational-and-Research Centre «N. G. Kuznetsov Naval Academy»,
St. Petersburg, 197045, Russia

Abstract—The paper considers the main features of evaluating the efficiency of positional and mobile underwater communication systems with immersed correspondent objects at the stage of their design and deciding on the coordinates of the installation site of the transmitter-receiver antennas based on modeling and visualization of the expected underwater communication zones using intelligent geographic information systems. The influence of the quality of information support of geographic information systems on the accuracy of the calculation results of the expected zones of underwater communication in various hydrological and acoustic conditions is assessed. **Research subject.** The article is devoted to the issues of evaluating the efficiency of underwater communication and intellectual decision-making support for rational spatial distribution of receiving and transmitting antennas of underwater communication systems with immersed correspondent objects. **Method.** A method for optimizing (choosing a rational option) the spatial distribution of receiving and transmitting antennas of positional underwater communications or the depth of setting of lowered and towed antennas of marine underwater communications using specialized software and information tools and geographic information systems is considered. **Core results.** A new performance indicator is proposed in the form of the spatial volume of the underwater communication zone and a method has been developed to optimize the spatial distribution of the receiving and transmitting antennas according to the criterion of the maximum volume of the expected underwater communication zone for given hydrological and acoustic conditions in the area. **Practical relevance.** The introduction of the developed method into the systems of sonar calculations and automated decision support for advanced underwater communication systems will significantly reduce the decision-making time for the placement of antennas (when designing or planning applications) and increase the efficiency (stability and range) of underwater communication means with immersed objects - correspondents.

Keywords—Underwater communication systems, assessment of the underwater communication efficiency, underwater communication zone, hydrological and acoustic conditions, inhomogeneous marine medium, intelligent geographic information systems, digital cartographic data, spatial data, volume of the underwater communication zone.

Article info

Article in Russian.

Received 11.02.20, accepted 10.04.20.

For citation: Potapychев S., Malyj V., Ivakin Y.: Support for Decision-Making on the Rational Placement of Antennas of Underwater Communication Systems in the Interests of Dispatching of Geo-Space Processes // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 1. pp. 90–100 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-90-100.

Введение

Режим гидроакустической связи является важнейшим и, по сути, единственным возможным, способом обмена информацией между погруженными автономными подводными объектами (в частности, автономными подводными аппаратами (АПА)) и соответствующим пунктом управления (мобильным или стационарным). В случае мобильного пункта управления связь с АПА осуществляется с помощью гидроакустических средств (ГАС) связи, размещаемых на (надводном или подводном) корабле-обеспечителе работ. В стационарном варианте (береговой пункт управления) связь с АПА осуществляется с помощью позиционных (стационарных или автономных) ГАС связи.

С помощью ГАС связи со стационарного или мобильного пункта управления на АПА передаются сигналы управления и телеметрии, с АПА осуществляется прием информации о производстве работ (выполнении миссии), о техническом состоянии аппарата и т. п.

Эффективность гидроакустической связи с погруженными объектами-корреспондентами зависит от многочисленных факторов. При этом одними из основных являются конкретные гидролого-акустические условия (ГАУ), существующие в данный момент времени, в конкретном месте установки (размещения) приемных и излучающих антенн ГАС связи, определяемые вертикальным распределением скорости звука (ВРСЗ), глубиной моря, рельефом дна и т. д.

В случае позиционных (стационарных или автономных) ГАС связи, могут применяться донные или якорные антенны, в случае корабельных ГАС связи – это могут быть подкильные (ПА), буксируемые (БА) или опускаемые антенны (ОА).

Именно поэтому возникает интеллектуальная задача выбора рационального пространственного размещения приемно-передающих антенн позиционных ГАС связи или выбора глубины постановки ОА или БА корабельных ГАС связи, которая решается с использованием специализированных программно-информационных ГИС-средств [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Качество их реализации непосредственно влияет на точность результатов расчета ожидаемых зон устойчивой связи в различных ГАУ, а в конечном итоге, на эффективность применения ГАС связи.

Уместно заметить, что с другой стороны, может иметь место и противоположная задача - обеспечения скрытности подводного объекта, осуществляющего активное излучение в режиме передачи информации на корабль-обеспечитель или береговой пункт управления.

Раскрытие особенностей указанного влияния позволяет конкретизировать его существование и предложить комплексный показатель для оценки эффективности обеспечения гидроакустической связи в различных ГАУ (в зависимости от заданного времени района действий (производства работ)).

1 Задача оптимального выбора пространственных координат и глубины размещения антенн гидроакустических средств связи

Задача оптимального выбора пространственных координат (λ_0, ϕ_0) и глубины размещения (h_0) антенн ГАС связи (позиционных (стационарных, автономных) или мобильных (корабельных – опускаемых, буксируемых)), представляется исключительно сложной, т. к. ГАУ в различных районах Мирового океана обладают значительной изменчивостью одновременно и в пространстве, и во времени (месяц, сезон).

Оценка эффективности ГАС связи (при проектировании или при планировании применения) обычно производится с помощью специальных программных средств (систем гидроакустических расчетов (СГАР) или имитационных моделирующих аппаратно-программных комплексов (АПК)) [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

В традиционных СГАР обычно используется наиболее простая и распространенная на данный момент модель плоскослоистой неоднородной среды с ровным дном. В этом случае оценка эффективности ГАС связи производится путем расчета т. н. «ожидаемой дальности действия ГАС связи» (дальности гидроакустической связи), одинаковой для всех направлений излучения сигнала связи при фиксированной глубине подводного объекта-корреспондента, принимающего сигнал. Либо путем расчета, построения и визуализации т. н. «зоны гидроакустической связи» (ЗГС) в вертикальной плоскости в координатах «дальность-глубина», также одинаковой для всех направлений возможного нахождения объекта-корреспондента.

Таким образом, традиционный подход к решению данной задачи требует либо приближенных оценок, ожидаемых ЗГС для средних по району и сезону ГАУ, как правило, с помощью СГАР с упрощенными моделями плоскослоистой среды с ровным дном, либо дорогостоящих натурных исследований в течение длительного времени.

Для совершенствования данного процесса (создания и разработки позиционных ГАС связи) или выбора оптимальных глубин размещения антенн ГАС связи мобильных носителей (с целью сокращения времени и уменьшения затрат) перспективным представляется использование интеллектуальных 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 [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Это позволяет рассчитывать и визуализировать реальные трехмерные ЗГС для ГАС связи

и любые ее проекции или разрезы в произвольном направлении в вертикальной плоскости и на любом горизонте в горизонтальной плоскости.

В общем случае зона гидроакустической связи с подводным объектом для ГАС связи, работающей в соответствующем режиме, строится относительно (координат) места размещения излучающей (передающей) антенны ГАС связи (λ_0 , ϕ_0 , h_0) и определяет пространственную область в координатах «пеленг-дистанция-глубина» (α , r , h), при входе в которую, подводный объект-корреспондент (определенного класса) может реализовать сеанс связи с заданной вероятностью правильного обнаружения и распознавания (приема) сигнала связи, т. е. в пределах которой выполняется условие:

$$P_{\text{по}}(\alpha, r, h) \geq P_{\text{по}}^*,$$

где: $P_{\text{по}}(\alpha, r, h)$ – вероятность правильного обнаружения (ВПО) и приема сигнала связи в зависимости от дистанции, глубины и направления наблюдения;

r – горизонтальное расстояние до подводного объекта-корреспондента;

h – глубина погружения объекта-корреспондента;

α – пеленг на объект-корреспондент;

$P_{\text{по}}^*$ – заданное (нормативное) значение вероятности приема сигнала связи.

Современные средства визуализации ожидаемых зон гидроакустической связи (ЗГС) позволяют отображать в виде цветовой гаммы произвольные значения ВПО в зависимости от пространственных координат. Однако, как правило, принято рассматривать границы ЗГС с фиксированным значением вероятности правильного обнаружения (приема), равным $P_{\text{по}} = 0,9$.

В целом, общий вид ожидаемой ЗГС определяется рабочей характеристикой приемника-обнаружителя и соответствующей сложной пространственной зависимостью входного отношения сигнал/помеха. В условиях зональной структуры гидроакустического поля ЗГС может представлять собой сложную совокупность несвязанных областей акустической освещенности и зон тени.

На рис. 1 (см. ниже) приведен пример результатов расчета и построения ожидаемой ЗГС в условиях глубокого моря и сложного переменного по трассе ВРСЗ при размещении излучающей антенны на глубине $h = 50$ м, с использованием модели двумерно-неоднородной морской среды (180 направлений расчета относительно излучателя): рельеф дна и переменные по трассе ВРСЗ для направления 180° от излучателя (рис. 1а); вертикальный разрез ЗГС по направлению 180° от излучателя, для произвольных значений ВПО $0 \leq P_{\text{по}}(r, h) \leq 1$ (рис. 1б); вид ожидаемой ЗГС на горизонте $h = 50$ м (с нанесением на карту), для фиксированного значения порога ВПО $0,9 \leq P_{\text{по}}(r, \alpha) \leq 1$ (рис. 1в); вид ожидаемой ЗГС в полярных координатах на горизонте $h = 50$ м, для произвольных значений ВПО $0 \leq P_{\text{по}}(r, \alpha) \leq 1$ (рис. 1г).

На основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что для точной оценки эффективности ГАС связи (и особенно – низкочастотных ГАС связи дальнего действия) необходима строгая привязка рассчитываемых ожидаемых ЗГС к карте района с учетом точных координат установки излучающих и приемных антенн (объектов-корреспондентов), реального рельефа дна и переменных в пространстве ВРСЗ с заданной сеткой по географическим координатам.

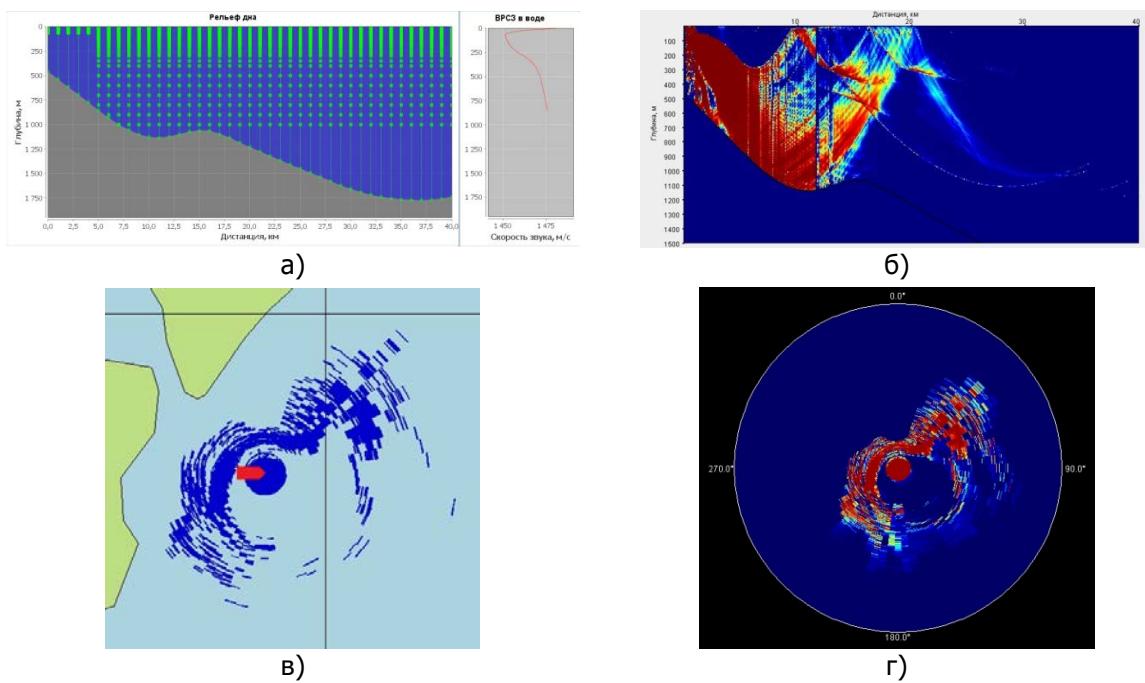


Рис. 1. Результаты расчета ожидаемой ЗГС для ГАС связи с использованием данных моделирования в ГИС

В настоящее время созданы имитационные моделирующие аппаратно-программные комплексы [6, 7, 8, 9, 10, 11], предназначенные для оценки эффективности любых интегрированных систем подводного наблюдения (ИСПН) и, в том числе, для оценки эффективности режима гидроакустической связи между подводными объектами-корреспондентами.

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 (ГАУ) и помехо-сигнальной обстановке, с применением морских геоинформационных систем (ГИС) [1, 2, 3, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19]: в том числе и распределенных позиционных (стационарных и автономных) активно-пассивных гидроакустических систем подводного наблюдения, работающих в различных режимах, включая режим гидроакустической связи.

Одной из предполагаемых целей моделирования является интеллектуальная поддержка процесса синтеза проектируемой системы (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 ОПО.

При этом при моделировании процесса сбора и передачи информации, а также управления маневренными и позиционными элементами системы предлагаются использовать в качестве основного показателя эффективности обес-

печения устойчивой гидроакустической связи с погруженными объектами-корреспондентами не традиционные ожидаемые дальности действия ГАС связи, не площадь ожидаемой зоны связи на заданном горизонте, не площадь вертикального разреза ЗГС в координатах «дальность-глубина» в одном из направлений на объект-корреспондент, а «пространственный объем зоны гидроакустической связи», соответствующий заданному порогу вероятности приема сигнала.

2 Обобщенный алгоритм расчета пространственного объема зоны устойчивой гидроакустической связи

Алгоритм расчета пространственного объема зоны гидроакустической связи для заданного значения ВПО (условий уверенной связи) и заданных границ возможных глубин погружения подводного объекта-корреспондента 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 ИГИС [1, 2, 3, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19] процесса создания и проектирования стационарных ГАС связи с подводными объектами или выбора места нахождения корабля-обеспечителя работ (носителя ГАС связи) заключается в информационном обеспечении решения оптимизационной задачи поиска максимума пространственного объема зоны гидроакустической связи как функции координат размещения антенн ГАС связи $V_{3C}(\lambda_0, \phi_0, h_0)$ в пределах заданного района, при фиксированных технических характеристиках ГАС связи (стационарного или корабельного) пункта управления и подводных объектов-корреспондентов, помеховых условиях и времени наблюдения. Тогда постановку задачи выбора варианта размещения приемно-излучающих антенн позиционных гидроакустических средств связи в интересах диспетчеризации геопространственных процессов можно представить, как постановку соответствующей оптимизационной задачи (1)–(3).

При этом оптимизационная задача может решаться как в общем случае:

$$V_{3C}(\lambda_0, \phi_0, h_0) \rightarrow \max_{\lambda_0, \phi_0, h_0} \{V_{3C}(\lambda_0, \phi_0, h_0)\}, \quad (1)$$

так и, в случае уже выбранных координат места установки, путем изменения только глубины размещения антенн:

$$V_{3C}(\lambda_0, \phi_0, h_0) \rightarrow \max_{h_0} \{V_{3C}(h_0)\} \Big|_{\lambda_0, \phi_0 = \text{const}}. \quad (2)$$

В случае стационарных ГАС связи, срок эксплуатации которых рассчитан на длительный период, измеряемый годами, необходим учет сезонного изменения ГАУ (прежде всего, ВРСЗ), путем осреднения объема ожидаемой зоны наблюдения для четырех сезонов ($N = 4$) или 12 месяцев ($N = 12$):

$$V_{3C}(\lambda_0, \phi_0, h_0) \rightarrow \max_{h_0} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N V_{3C_i}(h_0)}{N} \right\} \Big|_{\lambda_0, \phi_0 = \text{const}} \quad (3)$$

Решение такой задачи оптимизации обеспечивает наилучший вариант размещения приемно-передающих антенн позиционных гидроакустических средств связи в интересах диспетчеризации пространственных процессов.

Таким образом, при использовании системы гидроакустических расчетов, интегрированной в ИГИС, встроенной в АПК имитационного моделирования, для обоснования конфигурации размещения антенн системы подводной гидроакустической связи, при расчете показателей эффективности вида V_0 (пространственный объем ЗГС) и S_0 (площадь сечения пространственной ЗГС), возможно решение отдельной задачи обоснования (поиска и выбора) наиболее рационального варианта построения системы гидроакустической связи, обеспечивающей максимизацию искомого объема V_0 или площади S_0 .

Пример расчета суммарного пространственного объема ЗГС и площади сечения пространственной ЗГС приведен на рис. 2.

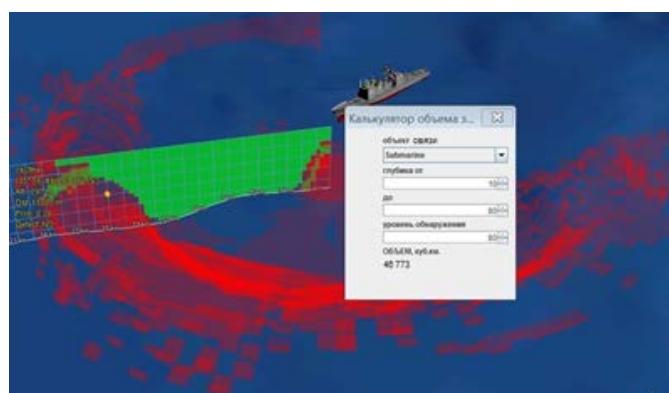


Рис. 2. Пример расчета суммарного объема V_0 или площади сечения S_0 зоны связи (освещаемого подводного пространства)

Таким образом, основной особенностью перспективных систем оценки эффективности и проектирования позиционных и мобильных гидроакустических средств связи является возможность многоуровневой обработки геопространственных данных, характеризующих подводные объекты-корреспонденты и среду, а также диспетчеризуемые геопространственные процессы [1, 2]. При этом наиболее развитыми возможностями по многоуровневой обработке геопространственных данных обладают интеллектуализированные географические информационные системы [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

Заключение

Предлагаемый подход к выбору варианта размещения приемно-передающих антенн позиционных ГАС связи и глубины погружения опускаемых или буксируемых антенн корабельных ГАС связи, в интересах диспетчеризации геопространственных процессов с использованием в качестве средства интеллектуальной поддержки современного АПК, реализующего указанный выбор по такому показателю эффективности, как пространственный объем ЗГС 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, но при этом требующим дорогостоящих натурных исследований в течение длительного времени.

Для совершенствования (сокращения, упрощения, удешевления) процесса размещения приемно-передающих антенн позиционных гидроакустических средств связи 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.

Уместно заметить также, что в перспективе данный подход может быть также использован и для более точной оценки объемной пространственной зоны обнаружения сигналов связи средствами разведки противоборствующей стороны.

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

Литература

1. Потапычев С. Н., Ивакин Я. А. Интеллектуальная поддержка принятия решений при диспетчеризации геопространственных процессов морского транспорта // 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., Потапычев С. Н., Ивакин Р. Я. Модель поддержки диспетчеризации геопространственных процессов водного транспорта на основе ситуационного управления // 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 «Электроприбор». 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 // Information Fusion and Geographic Information Systems (IF&GIS'2013). Springer, Berlin, Heidelberg, 2014, pp. 107–117.
10. Ermolaev V., Potapichev S. Geoinformational Support of Search-Efforts Distribution Under Changing Environmental Conditions // Information Fusion and Geographic Information Systems (IF&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. // Information Fusion and Geographic Information Systems (IF&GIS'2017). Springer, Shanghai, 2017, pp. 139–152.
12. Dobrowski J., Kulawiak M., Moszynski M., Bruniecki K., Kaminski L., Chybicki A., Stepnowski A. Real-time Web-based GIS for Analysis, Visualization, and Integration of Marine Transport

Environment Data // Information Fusion and Geographic Information Systems. Proceedings of the Forth International Workshop. 2015. Vol. 1. pp. 277–289.

13. Дюваль П. М., Матиас С., Гловер Э. Непрерывная интеграция. Улучшение качества программного обеспечения и снижение риска. СПб.: Символ, 2016. 240 с.
14. Шатохин А. В. Информационно-сопроводительная сеть – новый подход к эксплуатации гидроакустического вооружения // Национальная оборона. 2020. № 4. С. 82–89.
15. Ивакин Я. А. Потапычев С. Н. Модель информационно-сопроводительной сети для изделий отечественного гидроакустического вооружения // Гидроакустика. 2019. № 39 (3). С. 81–88.
16. Watson D. F. A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data. Oxford Pergamon Press, 2009. 321 p.
17. Walford N. Geographical Data Analysis. N. Y.: John Wiley & Sons. 2002. 292 p.
18. White F.E. A Model for Data Fusion // 1st National Symposium on Sensor Fusion: Proc. 1988; 2. pp. 20–26.
19. Ammar A. B. Query optimization techniques in graph Databases // International Journal of Database Management Systems (IJDMS). 2016. Vol. 8. Is. 4, pp.1–14.

References

1. Ivakin Yan A., Potapychev Sergei N. Decision-making intelligent support at dispatching geospatial processes of marine transport // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 2018. No 4 (50). pp. 857–869. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-857-869.
2. Ivakin Yan A., Potapychev Sergei N., Ivakin Roman Ya. 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 admirala S. O. Makarova. 2019. No 5 (57). pp. 842–855. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-842-855.
3. Intellektualnyye geograficheskiye informatsionnyye sistemy dlya monitoringa morskoy obstanovki / Pod obshch. red. chl.-kor. RAN R. M. Yusupova i d-ra tekhn. nauk V. V. Popovicha. SPb.: Nauka. 2013. 284 s.
4. Popovich V. V., Ermolayev V. I., Leontyev Yu. B., Smirnova O. V. Modelirovaniye gidroakusticheskikh poley na osnove intellektualnoy geoinformatsionnoy sistemy // Artificial Intelligence and Decision Making. 2009. No 4. pp. 37–44.
5. Guchek V. I., Ermolayev V. I., Popovich V. V. Sistemy monitoringa na osnove IGIS // Obronnnyy zakaz. 2012. № 2 (21). S. 58–61.
6. Ermolayev V. I. Ispolzovaniye geoprostranstvennykh dannykh pri upravlenii morskoy raspredelennoy sistemoy nablyudeniya // Materialy 8-y konf. «Informatsionnyye tekhnologii v upravlenii» (ITU-2014). SPb.: AO «Kontsern «TsNII «Elektropribor». 2014. S. 270–276.
7. Yermolaev V. I., Karishnev N. S., Popovich V. V., Potapychev S. N. Indicators of tactical situation (situational awareness) for hydroacoustic equipment operators // Marine Radio-electronics. 2017. No 3 (61). pp. 28–33.
8. Ermolayev V. I. Primeneniye IGIS pri proyektirovaniyu GAS // Materialy XV Sankt-Peterburgskoy mezhd. konf. «Regionalnaya informatika» (RI-2016). SPb.: SPIIRAN. 2016. C. 446–450.
9. Ermolaev V. Modeling of Search Actions Under the Conditions of Variable Environment Properties // Information Fusion and Geographic Information Systems (IF&GIS'2013). Springer, Berlin, Heidelberg, 2014, pp. 107–117.
10. Ermolaev V., Potapichev S. Geoinformational Support of Search-Efforts Distribution Under Changing environmental Conditions // Information Fusion and Geographic Information Systems (IF&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. // Information Fusion and Geographic Information Systems (IF&GIS'2017). Springer, Shanghai, 2017, pp. 139–152.
12. Dobrowski J., Kulawiak M., Moszynski M., Bruniecki K., Kaminski L., Chybicki A., Stepnowski A. Real-time Web-based GIS for Analysis, Visualization, and Integration of Marine Transport Environment Data // Information Fusion and Geographic Information Systems. Proceedings of the Forth International Workshop. 2015. Vol. 1. pp. 277–289.

13. Dyuval P. M., Matias S., Glover E. Nepreryvnaya integratsiya. Uluchsheniye kachestva programmnogo obespecheniya i snizheniye riska. SPb.: Simvol. 2016. 240 s.
14. Shatokhin A. V. Informatsionno-soprovoditelnaya set – novyy podkhod k ekspluatatsii gidroakusticheskogo vooruzheniya // Natsionalnaya oborona. 2020. № 4. S. 82–89.
15. Ivakin J. A., Potapichev S. N. Model of information and maintenance network for products of domestic sonar armament // Hydroacoustics. 2019. No 39 (3). pp. 81-88.
16. Watson D. F. A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data. Oxford Pergamon Press, 2009. 321 p.
17. Walford N. Geographical Data Analysis. N. Y.: John Wiley & Sons. 2002. 292 p.
18. White F.E. A Model for Data Fusion // 1st National Symposium on Sensor Fusion: Proc. 1988; 2. pp. 20–26.
19. Ammar A. B. Query optimization techniques in graph Databases // International Journal of Database Management Systems (IJDMS). 2016. Vol. 8. Is. 4, pp.1–14.

Потапычев Сергей Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук, potapichev@mail.ru

Potapichev Sergey – Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer, St. Petersburg Institute of Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, potapichev@mail.ru

Малый Владимир Владимирович – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник АО «Концерн «Океанприбор», v_malyj@rambler.ru

Malyj Vladimir – Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Leading Researcher, JSC «Concern «Oceanpribor», v_malyj@rambler.ru

Ивакин Ян Альбертович – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук, ivakin@oogis.ru

Ivakin Yan – Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Leading Researcher, St. Petersburg Institute of Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, ivakin@oogis.ru