

DOI: 10.17516/1999-494X-0386

УДК 629.124: 681.883

Aggregation of the Hydroacoustic System Variant to Provide the Required Spatial Characteristics of the Hydroacoustic Field

Grigory V. Dorofeev*, Evgeny A. Storozhok,
Andrey O. Lipovetskiy and Pavel A. Starodubtsev
*Pacific Higher Naval School named after S. O. Makarov
Vladivostok, Russian Federation*

Received 27.09.2021, received in revised form 20.01.2022, accepted 11.03.2022

Abstract. To effectively solve the tasks of opening the underwater situation and detecting underwater objects, perfect hydroacoustic systems are needed. Their creation should be based not only on a «rough increase in the sensitivity of the receiving elements and improvement of their design, but also be of a comprehensive nature based on a scientifically based approach. A variant of the approach to the construction of a hydroacoustic system with the criterion of minimum losses and adequate representation of the underwater situation is proposed. The method of sampling the detection zone and calculating the optimal size of the secret is applied. On the basis of this approach, the structure of aggregation of the hydroacoustic system variant and its elements is developed. The content of the source data database. The requirements for the module for forming the contour of the requirements for the hydroacoustic system. The tasks to be solved by the module for forming variants of the hydroacoustic system and the data necessary for this.

Keywords: hydroacoustic system, hydroacoustic field, mapping of the underwater situation, zone sampling, samples, hydroacoustic field, hydroacoustic information, aggregation technique.

Citation: Dorofeev, G.V., Storozhok, E.A., Lipovetskiy, A.O., Starodubtsev, P.A. Aggregation of the hydroacoustic system variant to provide the required spatial characteristics of the hydroacoustic field, J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2022, 15(2), 238–245. DOI: 10.17516/1999-494X-0386

Агрегирование варианта гидроакустической системы для обеспечения требуемых пространственных характеристик гидроакустического поля

Г. В. Дорофеев, Е. А. Сторожок,
А. О. Липовецкий, П. А. Стародубцев

*Тихоокеанское высшее военно-морское училище
им. С. О. Макарова
Российская Федерация, Владивосток*

Аннотация. Для эффективного решения задач по вскрытию подводной обстановки и обнаружению подводных объектов необходимы совершенные гидроакустические системы. Их создание должно не только основываться на «грубом» увеличении чувствительности приемных элементов и совершенствовании их конструкции, но и носить комплексный характер, основанный на научно обоснованном подходе. Предложен вариант подхода к построению гидроакустической системы (ГАС) с критерием минимума потерь и адекватного отображения подводной обстановки. Применен метод дискретизация зоны обнаружения и вычисление оптимального размера дискрета. На базе данного подхода разработана структура агрегирования варианта ГАС и ее элементы, содержание базы исходных данных, предъявляемые требования к модулю формирования контура требований к ГАС, решаемые задачи модулем формирования вариантов ГАС и необходимые для этого данные.

Ключевые слова: гидроакустическая система, гидроакустическое поле, отображение подводной обстановки, дискретизация зоны, дискреты, гидроакустическое поле, гидроакустическая информация, методика агрегирования.

Цитирование: Дорофеев, Г. В. Агрегирование варианта гидроакустической системы для обеспечения требуемых пространственных характеристик гидроакустического поля / Г. В. Дорофеев, Е. А. Сторожок, А. О. Липовецкий, П. А. Стародубцев // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2022, 15(2). С. 238–245. DOI: 10.17516/1999-494X-0386

Для формирования варианта построения ГАС S_1 необходимо в соответствующем сложном состоянии среды Q^* действиями A_1^0 обеспечить достижение цели агрегирования G^{F_1} , состоящей в минимизации информационных потерь I_1 за счет пространственных характеристик гидроакустического поля (ГАП) системы $F_{прос}$ при ограничениях на ресурсы $P_{зад}$ (1):

$$A_1^0 : G^{F_1} \rightarrow K_1 = \min I_1 \left(\frac{S_1}{F_{прос}}, P_{зад}, A^0, Q^* \right), P \leq P_{зад}. \quad (1)$$

С точки зрения критерия минимума потерь ГАС должна обеспечивать решение всех возложенных задач, адекватное отображение подводной обстановки, каждого подводного объекта в заданной зоне пространства, то есть в каждом элементарном объеме ГАП.

Для реализации адекватного отображения подводной обстановки в системе используются различные модели отображения подводных объектов, ее составляющих, такие как отметка – точка, совокупность точек, пространственно-протяженная геометрическая фигура (для групповых и пространственно-протяженных объектов) и т. п. или формуляр, отображающий положение и характеристики соответствующего объекта.

Основой такого представления является цифровое представление информации в зоне обнаружения, то есть дискретизация зоны обнаружения, временная дискретизация и амплитудное квантование принятых сигналов. При этом зона информации измерительных средств да и всей системы делится на дискреты с шагом, определяемым требованиями к точности и разрешению отметок подводных объектов. Обнаружение объекта осуществляется в каждой из дискрет методами бинарного или многоуровневого квантования путем сравнения сигнала с одним или несколькими порогами. В случае превышения сигналом порога принятия решения в дискрете формируется импульс высокого уровня – логическая 1, в случае непревышения формируется импульс низкого уровня – логический 0.

В соответствии с этим зона обнаружения каждого источника представляет собой подмножество пространственных дискретов, в каждом из которых выполняются обнаружение, определение координат, других параметров и признаков информации с определенным качеством. Параметры дискретов зависят от требований по точности и достоверности отображения, которые в первую очередь определяются возможностями датчиков. Из подмножеств дискретов, представляющих зоны обнаружения источников, формируется зона обнаружения гидроакустической системы. Огибающая совокупности зон (подмножество дискрет) источников будет представлять собой рубеж обнаружения на заданной глубине. Минимальная и максимальная глубины, на которых обеспечиваются соответствующие характеристики в границах ГАП ГАС, принимаются за глубину нижней и верхней границ ГАП. Точность расчетов зависит от размеров дискретов. Чем меньше размер дискрет, тем точнее результат, но больше время расчета.

Применение способа дискретно-последовательного анализа требует обязательного наличия цифровых данных о рельефе дна, представленных в матричной форме.

С учетом этого для разработки методики необходимо уточнить определения ГАП заданных параметров и реального ГАП.

Под ГАП заданных параметров будем понимать область пространства, в пределах которой требуется отображение подводной обстановки в каждом элементарном дискрете с характеристиками не хуже заданных. Под реальным ГАП будем понимать область пространства, в пределах которой обеспечивается отображение подводной обстановки в каждом элементарном дискрете с характеристиками не хуже заданных.

При этом для оценки информационных потерь достаточно определить количество дискрет в ГАП заданных параметров и в поле сформированной группировки. Абсолютная или относительная разность будет свидетельствовать об информационных потерях. Информационные потери могут использоваться как обратная связь для формирования рационального варианта построения. Причем в случае необходимости показатель информационных потерь можно определять в заданных направлениях, соответствующих рубежам, зонах пространства, диапазонах глубин и с учетом этого даже по определенным типам подводных объектов, не исключая использование и других традиционных показателей.

Теория и практика применения метода дискретно-последовательного анализа использует представление дискрет проекциями элементарных объемов или трехмерных дискрет зоны ответственности информационных средств ГАС на донную поверхность либо на горизонтальное сечение зоны обнаружения на заданной глубине. Это позволяет в качестве единственного па-

раметра дискрета, характеризующего его размер L , выбрать длину стороны квадрата или ребра куба.

Выбор линейного размера дискрета может быть определен с учетом следующих обстоятельств:

1. Минимальный размер дискрета должен быть меньше ошибки определения плоскостных координат наиболее точного из информационных измерительных средств и универсальным для решения различных задач, а значит, по возможности меньшим.

2. Совокупность дискрет при минимальном их количестве должна покрывать всю зону ответственности гидроакустической системы.

Наиболее естественным подходом определения размера дискрет является подход, ориентированный на учет пространственных размеров дискрет, используемых в системе. Основным системообразующим фактором ГАС служит оператор отображения, который, в первую очередь, обеспечивает временное и пространственное объединение информации. При объединении или при отождествлении координатной информации о подводных объектах, данные о которых поступают от различных источников, используются так называемые стробы отождествления. Размер строба отождествления как нельзя лучше удовлетворяет требованиям, предъявляемым к размеру дискрет. Поэтому размер строба можно использовать как базисный для определения размеров дискрет.

Традиционно размер строба выбирается равным утроенной величине ошибки определения координат подводных объектов. В ошибку определения координат входят три основных компонента: $\sigma_{изм}$ – ошибка измерения источника (ГАС), $\sigma_{экстр}$ – ошибка экстраполяции на момент времени отождествления и $\sigma_{ман}$ – ошибка, обусловленная возможным маневром подводного объекта (2).

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{изм}^2 + \sigma_{экстр}^2 + \sigma_{ман}^2}. \quad (2)$$

Среднеквадратическую ошибку координатной информации можно рассчитать по формуле (3):

$$\sigma_{CKO} = \sqrt{\sigma^2 \left(1 + \frac{1}{k} + \frac{2}{3k^2} \right) + \frac{g^2 (n^2 - 1)}{20} T_{обз}^4}, \quad (3)$$

где $T_{обз}$ – время (темп) цикла обзора, обновления информации (обработки и выдачи ГАИ); $k = T_{сгл}/T_{обз}$, $T_{сгл}$ – интервал сглаживания координат цели; n – допустимое либо вероятное значение перегрузки гидродинамической цели; g – ускорение силы тяжести.

Ускорение силы тяжести (ускорение свободного падения) тел в вязких средах определяется взаимодействием сил гравитационной F_1 (4) и гидродинамического сопротивления F_2 (5):

$$F_1 = \frac{\pi d^3 (\delta - \Delta) g}{6}, \quad (4)$$

где d – эквивалентный диаметр шара равновеликого по объёму реального тела, м; δ – плотность тела, кг/м³; Δ – плотность среды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

$$F_2 = \psi V^2 d^2 \Delta, \quad (5)$$

ψ – коэффициент гидродинамического сопротивления среды подвижному телу; V – скорость тела в среде, м/с.

Анализ зависимости $\sigma_{\Sigma_{xy}}$ от $T_{обз}$ при $\delta_{xy}=1000$ м, $k=2$, $n=2, 3, 5$ показывает, что суммарные ошибки при $T_{обз}<10$ с слабо зависят от периода обзора, а при $T_{обз}>10$ с ошибки резко возрастают. Поэтому темп обновления информации о плоскостных координатах (период обзора) не должен превышать 10 с для рассматриваемого случая. Числовое значение $\sigma_{\Sigma_{xy}}$ для указанного случая составляет 0,6+2 км в зависимости от возможной перегрузки, испытываемой объектом при маневре. Значит, размер строга (а стало быть, и искомый размер дискрета) составит в этих условиях порядка 1,8+6 км.

Методика агрегирования варианта гидроакустической системы для обеспечения требуемых пространственных характеристик ГАП (рис. 1) представляет собой совокупность реализованных на ЭВМ вновь разработанных компонентов и компонентов известных методик.

База исходных данных

База исходных данных содержит исходные данные по району установки системы (барьера) радиогидроакустических буев (глубина места установки, рельеф дна, гидрология и др.),



Рис. 1. Структура методики агрегирования варианта ГАС

Fig. 1. Structure of the methodology for aggregating the HS variant

противостоящему противнику (боевой состав, возможности, ТТХ, базирование), гражданскому судоходству (порты, места рыболовства, количество и типы, характеристики судов, их ведомственная принадлежность, структура и интенсивность), своим силам и средствам (боевой состав, возможности, ТТХ, базирование, группировка, состояние вооружения и техники) и т. п.

Модуль формирования контура требований к гидроакустической системе

Формирование требований осуществляется на основе результатов логико-аналитической деятельности и по результатам оценки обстановки по следующим основным направлениям:

- а) прогнозирование возможных ударов беспилотными подводными аппаратами типа «Посейдон» (провокаций, инцидентов);
- б) оценка характера и интенсивности использования подводного пространства (как в своих территориальных водах, так и в нейтральных);
- в) оценка требований, предъявляемых потребителями информации;
- г) оценка района базирования предполагает анализ исходных данных по цифровым картам рельефа дна, гидрологическим и метеорологическим условиям.

Полученные в результате оценки обстановки данные позволяют структурировать значения заданных параметров ГАП и следующие требования к ГАС:

- глубины нижней и верхней границ сплошного ГАП вдоль государственной границы (установленных рубежей, в заданных областях пространства) – $H_{гр}^{TP}(H_{гр}^{TP})$;
- глубину ГАП на различных участках (направлениях) – $G_{НС}^{TP}$;
- точность гидроакустической информации, необходимая ее потребителям для выполнения задач – $\sigma_{з/н}^{TP}$;
- возможные участки (районы) возникновения конфликтных ситуаций при выполнении задач, ожидаемые типы и тактико-технические характеристики подводных лодок-нарушителей и других подводных объектов;
- располагаемое время приведения в готовность дежурных сил, включения средств гидролокации.

Для определения требований по рубежам обнаружения и выдачи информации следует делить гидроакустическую информацию на разведывательную и боевую. Причем разведывательная информация о подводной обстановке предназначена для вскрытия замысла действий противника и распределения (сосредоточения) средств при отражении удара. Предназначение боевой информации – целераспределение и целеуказание активным средствам.

Расчет требуемых рубежей выдачи информации, времени непрерывного сопровождения, требований к количеству одновременно выдаваемых целей для целеуказания, требований к точности гидроакустической информации для потребителей, а также к качеству гидроакустической информации при обеспечении заданного уровня безопасности мореплавания производится по соответствующим методикам. По результатам расчета требований к рубежам, определения диапазонов глубин и других параметров ГАП с учетом задач, стоящих перед группировкой сил и средств противолодочной обороны и возможностей противостоящего противника, структурируется облик поля заданных параметров.

Модуль формирования вариантов гидроакустической системы

Боевой порядок подразделений и частей радиотехнической службы и противолодочных сил флота строится из боевой задачи, возможностей противостоящих подводных сил противника, количества радиоэлектронной техники, средств связи, боевого состава и боевых порядков обеспечиваемых потребителей, рельефа дна и гидрологических условий, условий обеспечения боевого применения. При этом осуществляется предварительное определение районов поиска позиций и определение возможных позиций, обеспечивающих реализацию замысла построения системы.

Наличие цифровой карты рельефа дна и средства ее визуализации позволяют формализовать основные приведенные требования к позициям в виде правил, по которым вышеперечисленным элементам картографической основы ставится в соответствие признак запрещения развертывания на них гидроакустических средств. По результатам выполнения поиска с учетом этих правил определяются разрешенные для размещения средств гидроакустики районы.

Для дальнейшей структуризации варианта необходимо обеспечить рациональное размещение средств гидроакустики на разрешенных для размещения районах. При этом в зависимости от поставленных задач при размещении гидроакустических средств могут использоваться линейные, групповые (по углам треугольника, квадрата или прямоугольника) и комбинированные варианты их территориального размещения.

Далее осуществляется расчет углов закрытия для каждой из предварительно выбранных позиций и проверка соответствия их требованиям по критическим углам закрытия, определенным для каждого типа гидроакустических средств.

Список литературы \ References

[1] Аксёнов О. Ю., Кобан А. Я., Мельник Д. И., Семёнов С. А., Семёнов В. С. *Агрегирование радиолокационных систем и информации о воздушно-космической обстановке: Монография*. М.: Знание, 2018. 224 с. [Aksenov O. Yu., Kaban A. Ya., Melnik D. I., Semenov S. A., Semenov V. S., *Aggregation of radar systems and information about the aerospace situation: Monograph*. Moscow: Znaniye, 2018. 224 p. (in Russian)]

[2] Стародубцев П. А., Сторожок Е. А., Алифанов Р. Н. Агрегирование системы гидроакустического мониторинга. *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии*, 2020, 13(2), 206–212 [Starodubtsev P. A., Storozhok E. A., Alifanov R. N. Aggregation of the hydroacoustic monitoring system. *Equipment and technologies. Journal of Siberian Federal University Scientific and Technical*, 2020, 13(2), 206–212 (in Russian)]

[3] Оптнер С. А. *Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем*. М.: Сов. радио, 1969. 215 с. [Optner S. A., *System analysis to solve business and industrial problems*. Moscow: Sov. radio, 1969. 215 p. (in Russian)]

[4] Гафт М. Г. *Принятие решений при многих критериях*. М.: Знание, 1979. 520 с. [Gaft M. G., *Multi-criteria decision making*. Moscow: Znaniye, 1979. 520 c. (in Russian)]

[5] Андреев Г. И., Волчихин В. И., Миронов В. А., Тихомиров В. А. *Основы управления предприятием. Т. 1. Современные взгляды на управление предприятием*. М.: Финансы и статистика, 2004. 400 с. [Andreev G. I., Volchikhin V. I., Mironov V. A., *Basics of enterprise management. Vol. 1. Modern views on enterprise management*. Moscow: Finansy i statistika, 2004. 400 p. (in Russian)]

[6] Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. *Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта*. М.: Наука, 1986. 312 с. [Averkin A. N., Batyrshin I. Z., Blishun A. F., Silov V. B., Tarasov V. B. *Fuzzy sets in control and artificial intelligence models*. Moscow: Nauka, 1986. 312 p. (in Russian)]

[7] Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. *Введение в системный анализ*. М.: Высшая школа, 1989. 367 с. [Peregudov F. I., Tarasenko F. P. *Introduction to system analysis*. Moscow: Higher School, 1989. 367 p. (in Russian)]