

УДК 519.234:621.391
DOI: 10.17223/19988605/53/9

И.М. Рудько

ЕДИНОЕ ПОЛЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЛЯ РАЗНОРОДНЫХ СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ

Рассмотрена задача вычисления единого поля вероятности обнаружения для стационарных и подвижных наблюдателей, контролирующих заданный район и работающих в пассивном режиме в различных частотных диапазонах. В работе рассматриваются расположенные на плоскости, снабженной декартовой системой координат, стационарные гидроакустические средства, координаты которых известны, и рассчитывается единое поле вероятностей обнаружения объекта для всех стационарных гидроакустических средств по всему району $P_{\text{обн}}(x, y)$. Это поле используется как основа для интеграции систем подводного наблюдения и объединения всех имеющихся позиционных и маневрирующих гидроакустических систем в единый комплекс подводного наблюдения, в том числе и при условии работы в анизотропной среде.

Ключевые слова: траектория движения объекта; интеграция систем подводного наблюдения; вероятность обнаружения объекта; поле вероятностей обнаружения объекта.

Рассматривается задача обнаружения морского подводного объекта (МПО) средствами пассивной гидролокации в районе, контролируемом несколькими стационарными гидроакустическими станциями (СГАС) и маневренными средствами (МС).

В настоящее время реализация идей «сетцентризма» применительно к решению задач поиска МПО приводит к интеграции систем подводного наблюдения [1] и объединению всех имеющихся позиционных и маневрирующих гидроакустических систем в единый комплекс подводного наблюдения.

При решении рассматриваемой задачи применительно к обработке гидроакустической информации необходимо учитывать также сложную структуру поля, по которому происходит распространение сигнала. Зона потенциально возможного обнаружения цели является анизотропной (слоисто-неоднородной), т.е. обладает контрастной структурой с чередованием зон акустической освещенности и зон акустической тени. Контрастная структура зоны наблюдения может выражаться в любой мере – либо как давление или интенсивность полезного сигнала [2], либо как вероятность обнаружения полезного сигнала [3], лишь бы они представляли собой корректную свертку всех основных влияющих факторов и были доступны для оценки.

Удобство использования вероятностной формы определяется тем, что она позволяет получать не только текущие локальные, но и интегральные оценки потенциальной возможности обнаружения объекта поиска по траектории, т.е. по маршруту (в горизонтальной плоскости) и трассе (по глубине) следования МПО относительно наблюдателя

Непосредственно такую возможность характеризует *вероятностный критерий*, представляющий собой вероятность такого события, при котором за время прохождения МПО маршрута его ни разу не обнаружит ни один из L ($L \geq 1$) наблюдателей, расположенных в районе и работающих в пассивном режиме. Обозначим эту вероятность $P_{\text{обн}}$ и будем называть ее вероятностью обнаружения объекта на траектории движения.

В случае независимых наблюдателей (вероятность наступления события обнаружения хотя бы одним наблюдателем) оценки производятся по формуле интегральной (кумулятивной, накопленной) вероятности [4]:

$$P_{\text{обн}} = 1 - \prod_{i=1}^L (1 - P_{\text{обн}i}), \quad (1)$$

где L – число наблюдателей, $P_{\text{обн}i}$ – вероятность обнаружения i -м наблюдателем.

Удобство использования вероятностной формы определяется тем, что она позволяет получать не только текущие локальные, но и интегральные оценки потенциальной возможности обнаружения объекта поиска по траектории следования относительно наблюдателей.

В данной работе рассматриваются расположенные на плоскости, снабженной декартовой системой координат XOY , стационарные гидроакустические средства, координаты которых известны, и рассчитывается единое поле вероятностей обнаружения объекта для всех СГАС по всему району $P_{\text{обн}}(x, y)$. Это поле используется как основа для интеграции систем подводного наблюдения и объединения всех имеющихся позиционных и маневрирующих гидроакустических систем в единый комплекс подводного наблюдения.

1. Расчет единого поля вероятности обнаружения для нескольких наблюдателей в изотропном поле

При обработке гидроакустической информации в пассивном режиме обнаружение осуществляется по результатам обработки излученного объектом и принятого наблюдателем сигнала при наличии помех. Решение о наличии или отсутствии сигнала от объекта принимается наблюдателем периодически, после предварительной обработки поступившей на интервале наблюдения (накопления) длительностью T_0 реализации гауссовского случайного процесса $X(t)$ с нулевым математическим ожиданием. Обозначим символом $\sigma_{\text{ш}}^2$ дисперсию помех на входе наблюдателя, символом $\sigma_c^2 = \sigma_c^2(v, D)$ – дисперсию сигнала, излученного движущимся объектом и поступившего на вход наблюдателя, зависящую от текущей скорости движения объекта v и текущего расстояния D между ним и наблюдателем. При отсутствии сигнала от объекта случайный процесс $X(t)$ имеет дисперсию $\sigma_{\text{ш}}^2$, при наличии сигнала от объекта – дисперсию $\sigma_c^2 + \sigma_{\text{ш}}^2$.

Используя основное уравнение гидроакустики (ОУГ) [5], определим дисперсию сигнала на входе приемника. Полагая, что зависимость уровня интенсивности излученного МПО сигнала от его скорости носит степенной характер, а закон распространения гидроакустического сигнала в среде – сферический, имеем для интенсивности сигнала на входе наблюдателя [6]

$$I_c(v, D) = I_c(v_0) \left(\frac{v}{v_0} \right)^{m_v} \frac{D_0^2}{D^2},$$

где $I_c(v_0)$ – интенсивность излучения МПО на эталонной скорости v_0 , v – текущая скорость движения МПО, D – текущее расстояние между ним и наблюдателем, D_0 – эталонное расстояние.

Интенсивность помехи на входе приемной системы наблюдателя рассчитывается по формуле $I_{\text{ш}} = I_n^0(f)/A(f)$, где $I_n^0(f)$ – суммарная интенсивность помех в районе расположения наблюдателя, $A(f)$ – коэффициент концентрации антенной системы наблюдателя в полосе приема. Выражение для текущего отношения сигнал/помеха может быть записано в следующем виде:

$$\rho = \frac{\sigma_c^2(v, D)}{\sigma_{\text{ш}}^2} = \frac{I_c(v, D)}{I_{\text{ш}}} = \frac{I_c(v_0) \left(\frac{v}{v_0} \right)^{m_v} \frac{D_0^2}{D^2}}{I_n^0(f)/A(f)}.$$

Вероятность обнаружения МПО наблюдателем по результатам обработки информации на одном интервале наблюдения длительностью T_0 вычисляется по следующей формуле [6]:

$$P_{\text{обн}}(v, D) = 1 - F_N \left(\frac{h_F}{\frac{I_c(v, D)}{I_{\text{ш}}} + 1} \right) = 1 - F_N \left(\frac{h_F}{\rho(v, D) + 1} \right),$$

где F_N – функция χ^2 -распределения с N степенями свободы, h_F – квантиль уровня $(1 - \alpha)$, $N = 2T_0\Delta F$, ΔF – полоса частот, $\alpha = P_{\text{лт}}$ – вероятность ложной тревоги.

Расстояние, на котором вероятность правильного обнаружения сигнала $P_{обн}$ равна установленному значению при соблюдении требований к вероятности ложных тревог $P_{лт}$, называется дальностью действия ГАС [7]. Данное определение в общем виде относится к однократному (мгновенному) наблюдению при установленных зависимостях между временем накопления T_0 , отношением сигнал/помеха ρ , $P_{обн}$ и $P_{лт}$.

Хотя эффективность обнаружения цели по акустическому полю принято оценивать вероятностью правильного обнаружения, она зависит от величины энергии принимаемого сигнала. При заданной мощности энергия сигнала определяется длительностью его приема, а мощность зависит от акустической силы цели и от расстояния до цели. Для заданной вероятности ложной тревоги $P_{лт} = \alpha$ вероятность правильного обнаружения $P_{обн}$ возрастает с увеличением ρ , а ρ монотонно убывает с ростом расстояния r до цели.

Как правило, приемная система наблюдателя работает периодически, каждый раз накапливая и обрабатывая сигнал в течение фиксированного времени T (времени разового наблюдения), за которое положение обнаруживаемого объекта и его скорость практически не изменяются. По истечении этого времени принимается решение об отсутствии или наличии МПО. Будем называть такую процедуру «взглядом», а время T – длительностью взгляда.

Учитывая, что каждая СГАС может работать в нескольких частотных диапазонах со своим временем накопления в каждом, формулу вычисления интегральной вероятности (1) применить невозможно, так как длительности их взглядов различны. Если бы удалось привести времена накопления (взгляда) для всех СГАС и их частотных диапазонов к единому времени $T = const$, то можно было бы построить единую карту вероятности – $P_{обн}(x, y)$ в координатах XOY для всех СГАС, находящихся в заданном районе.

Пусть имеются два наблюдателя два частотных диапазона одной СГАС) с шириной полосы частот ΔF_1 и ΔF_2 и со временами накопления T_1 и T_2 ($T_1 \neq T_2$) соответственно, в которых решение об обнаружении принимаются независимо. Для расчета вероятности правильного обнаружения хотя бы одним из двух наблюдателей, чтобы иметь возможность использовать формулу интегральной (кумулятивной) вероятности (1), нужно *одинаковое время накопления*, но $T_1 \neq T_2$. Поэтому приведем время накопления к «общему знаменателю». Определим наименьшее общее кратное – НОК(T_1, T_2) = T_0 . Тогда за $T_0 - L_1 = T_0/T_1$ – число взглядов для 1-го наблюдателя, $L_2 = T_0/T_2$ – число взглядов для 2-го наблюдателя.

Для 1-го наблюдателя, считая, что цель неподвижна, согласно (1) за время T_0 получаем

$$P_{необн1}(T_0) = \prod_{i=1}^{L_1} P_{необн1}(T_1) = [P_{необн1}(T_1)]^{L_1}, \quad (2)$$

а для 2-го наблюдателя за время T_0

$$P_{необн2}(T_0) = \prod_{i=1}^{L_2} P_{необн2}(T_2) = [P_{необн2}(T_2)]^{L_2}.$$

Допустим, что у нас есть 3-й наблюдатель, который имеет время наблюдения T_2 и за время T_0 обеспечивает по формуле (2) такую же вероятность необнаружения $P_{необн}$, как и 1-й наблюдатель, т.е.

$$[P_{необн3}(T_2)]^{L_2} = [P_{необн1}(T_1)]^{L_1} \text{ и}$$

$$P_{необн3}(T_2) = [P_{необн1}(T_1)]^{L_1/L_2} = [P_{необн1}(T_1)]^{T_2/T_1}.$$

Таким образом, 3-й наблюдатель эквивалентен 1-му наблюдателю в том смысле, что рассчитанные для них по формуле (2) за время T_0 вероятности необнаружения $P_{необн}$ равны между собой. Так как время наблюдения T_2 для 3-го наблюдателя равно времени наблюдения для 2-го наблюдателя, то для определения суммарной (интегральной, кумулятивной) вероятности для независимых наблюдателей можно применить формулу (1):

$$P_{необн\Sigma} = P_{необн2}(T_2)P_{необн3}(T_2) = P_{необн2}(T_2)[P_{необн1}(T_1)]^{T_2/T_1}. \quad (3)$$

Следовательно, вероятности необнаружения для двух диапазонов с различными временами взглядов можно объединить, используя формулу (3), в вероятность необнаружения с единым временем взгляда.

Пусть СГАС, расположенная в районе, имеет координаты (x_k, y_k) . Тогда, используя формулу для вычисления $P_{\text{обн}}(d_i)$, приведенную в [6], можно рассчитать вероятность необнаружения для всех точек района (x, y) , т.е. сформировать поле (матрицу) вероятностей необнаружения $P_{\text{необн}}(x, y)$. Для СГАС, расположенной в точке с координатами (x_k, y_k) , и имеющей M частотных диапазонов, используя формулы (1) и (3), можно рассчитать суммарную вероятность необнаружения для всех диапазонов за время T_m :

$$P_{\text{необн}k}(x, y) = \prod_{j=1}^M P_{\text{необн}j}(x, y)^{T_m/T_j}, \quad (4)$$

где T_j – длительность взгляда для j -го частотного диапазона, $T_m = \max[T_j]$.

Рассчитав по (4) приведенные вероятности необнаружения для каждого наблюдателя, можно рассчитать единое (суммарное) поле для всех наблюдателей:

$$P_{\text{необн}}(x, y) = \prod_{k=1}^K P_{\text{необн}k}(x_k, y_k)^{T_m/T_k},$$

где K – число наблюдателей, T_k – длительность взгляда для k -го частотного диапазона, $T_m = \max[T_k]$, T_k – приведенная длительность взгляда для k -го наблюдателя, (x_k, y_k) – координаты k -го наблюдателя, $P_{\text{необн}k}$ – приведенные вероятности необнаружения для k -го наблюдателя.

Кроме задания единого времени наблюдения для всех наблюдателей для расчета единого поля вероятности обнаружения требуется выполнение еще одного очевидного условия – равенства вероятности ложных тревог для всех наблюдателей: $P_{\text{лт}} = \alpha$.

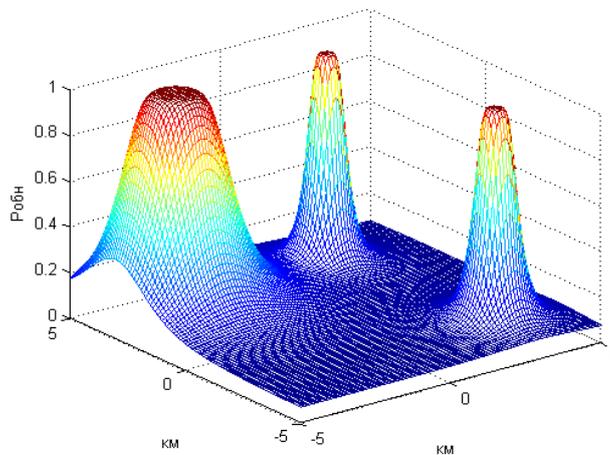


Рис. 1. Пример расчета единого поля вероятности обнаружения для трех наблюдателей
Fig. 1. Example of calculating a single detection probability field for three observers

На рис. 1 представлен пример расчета единого поля вероятности обнаружения для трех наблюдателей с различными параметрами наблюдения в случае изотропного акустического поля.

2. Расчет единого поля вероятности обнаружения для нескольких наблюдателей в анизотропном поле

В неоднородной морской среде (анизотропном поле) вероятность обнаружения зависит не только от расстояния между МПО и наблюдателем, но также от глубины и профиля дна, акустических свойств грунта, от гидрологических, определяемых видом вертикального распределения скорости звука, и метеорологических условий наблюдения, глубины погружения МПО, характеристик СГАС и глубины установки ее антенны и ряда других факторов [8]. В результате круговая диаграмма,

присущая изотропному полю, сильно деформируется и зависит уже от четырех параметров: расстояния между МПО и наблюдателем (d), глубины погружения МПО ($h_{ист}$), азимута на МПО и глубины установки антенны СГАС ($h_{пр}$). Тем не менее для фиксированной глубины погружения МПО ($h_{ист}$) также можно рассчитать вероятность обнаружения для всех точек района $P_{обн}(x, y)$, т.е. построить карту вероятности обнаружения для $h_{ист} = const$. Такой набор карт вероятности можно описывать трехмерной матрицей в координатах $(x, y, h_{ист})$ для ряда фиксированных глубин $h_{ист j}$ ($1 \leq j \leq J$) при фиксированных глубинах каждого наблюдателя $h_{пр k}$ ($1 \leq k \leq K$).

Рассчитав по (4) приведенные вероятности необнаружения для всех наблюдателей и их диапазонов, можно рассчитать общее (суммарное) поле для всех наблюдателей.

На рис. 2–4 приведен пример расчета суммарного поля вероятности обнаружения для двух наблюдателей по формуле

$$P_{необн}(x, y) = \prod_{k=1}^K P_{необнк}(x_k, y_k)^{T_M/T_k}, \quad (5)$$

где K – число наблюдателей, T_k – длительность взгляда для k -го частотного диапазона, $T_M = \max[T_k]$, T_k – приведенная длительность взгляда для k -го наблюдателя, (x_k, y_k) – координаты k -го наблюдателя, $P_{необнк}$ – приведенные вероятности необнаружения для k -го наблюдателя.

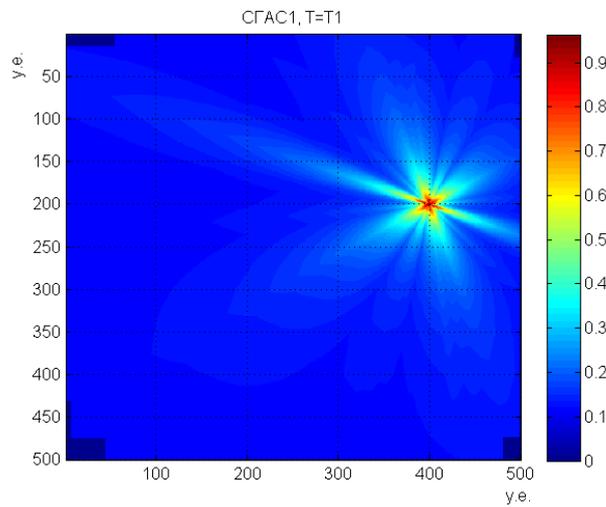


Рис. 2. Поле вероятности обнаружения для 1-го наблюдателя за время T_1
 Fig. 2. Detection probability field for the 1st observer during T_1

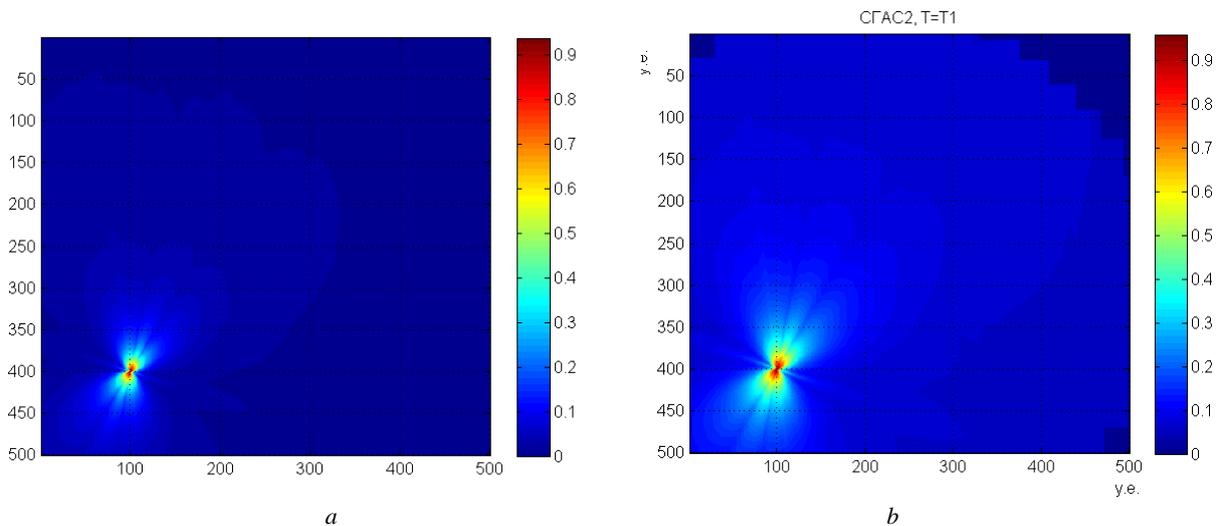


Рис. 3. Поле вероятности обнаружения для 2-го наблюдателя: a – за время T_2 ; b – за время T_1 ($T_1 > T_2$) – по формуле (5)
 Fig. 3. Field of probability of detection for the 2nd observer: a – during T_2 ; b – during the time T_1 ($T_1 > T_2$) - according to the formula (5)

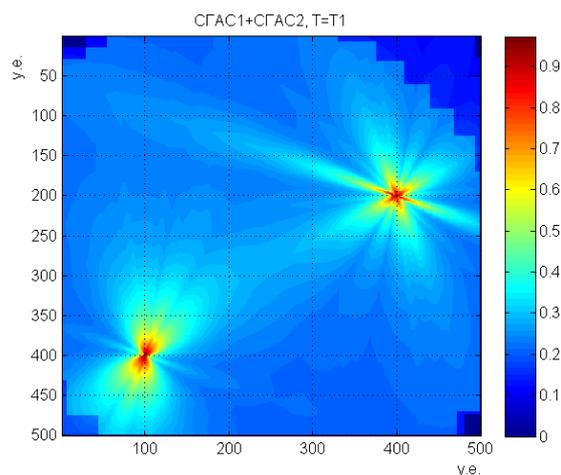


Рис. 4. Суммарное поле вероятности обнаружения для 1-го и 2-го наблюдателя по формуле (5)
 Fig. 4. The total detection probability field for the 1st and 2nd observer according to the formula (5)

Такое поле вероятности обнаружения может быть построено для набора возможных глубин МПО. Таким образом, формируется трехмерная матрица $P_{\text{обн}}(x, y, h_{\text{ист}})$.

Вычисление единого поля вероятности $P_{\text{обн}}(x, y, h_{\text{ист}})$ для всего района позволяет наложить это поле на географическую карту. Тогда оператор может визуально (как известно, глаз человека очень хорошо справляется с такой задачей) определять «слабые» места, т.е. районы, в которых $P_{\text{обн}}$ мала, и отправлять туда, например, дополнительные маневренные средства.

3. Расчет вероятности обнаружения маневренными средствами

Наличие единого поля вероятности $P_{\text{обн}}(x, y, h_{\text{ист}})$ для СГАС всего района позволяет использовать его и как основу для комплексирования вероятностей обнаружения от различных маневренных средств.

Учитывая, что для СГАС $P_{\text{обн}}(x, y, h_{\text{ист}})$ вычисляется за единое время наблюдения T_0 , при расчете $P_{\text{обн}}(\text{МС})$ необходимо вычислять эту вероятность за то же время T_0 , иначе формулу (1) применять некорректно (*основное условие расчета единого поля вероятностей обнаружения*).

Поиск в районе МС, к которым относятся, например, подвижные наблюдатели (ПН) и неподвижные пассивные буи, контролируемые авиационными носителями, основывается на модели, основной характеристикой которой является интенсивность поиска $\gamma(t)$ – среднее число обнаружений МПО в районе поиска в единицу времени [4]. Интенсивность поиска в предположении о времени поиска $t_{\text{П}}$ и малости величины $\gamma(t)$ может быть пересчитана в вероятности обнаружения

$$P_{\text{МС}}(t_{\text{П}}) = 1 - \exp\left[-\int_{t_0}^{t_0+t_{\text{П}}} \gamma(t) dt\right],$$

где t_0 – время начала поиска, $t_{\text{П}}$ – продолжительность поиска.

Если положить $t_{\text{П}} = T_0$, то основное условие выполнено и можно использовать формулу (1).

Для буев интенсивность поиска рассчитывается по формуле [9]

$$\gamma(t) = 2n_{\text{Б}}\theta D_{\text{Б}}(V)V/S_{\text{р}},$$

где V – скорость движения МПО, $D_{\text{Б}}(V)$ – дальность обнаружения МПО пассивным буйем, зависящая от V ; $n_{\text{Б}}$ – число буев в подрайоне, через который проходит МПО; θ – доля одновременно контролируемых буев; $S_{\text{р}}$ – площадь подрайона.

Для ПН интенсивность поиска рассчитывается по формуле [4]

$$\gamma(t) = 2D_{\text{ПН}}(V, u)v_{\text{отн}}/S_{\text{р}},$$

где $D_{\text{ПН}}(V, u)$ – дальность обнаружения МПО для ПН, u – скорость ПН; $v_{\text{отн}}$ – средняя скорость движения МПО относительно ПН.

Поиск на рубеже осуществляется, когда есть достаточные основания предполагать, что проход МПО будет совершен через данный рубеж. При этом ПН имеют задачу не допустить прохода объекта поиска через данный рубеж необнаруженным. Поиск на рубеже ведется, когда известен вероятный курс или сектор вероятных курсов противника, и осуществляется при маневрировании ПН курсами, перпендикулярными вероятному курсу объекта поиска. Вероятность обнаружения цели в этом случае определяется по формуле [10]

$$P_{\text{обнР}} = \frac{2d_{\text{л}}P_{\text{к}}}{l_{\text{уч}}} \sqrt{1 + \frac{V_{\text{ПН}}^2}{V_{\text{МПО}}^2}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{к}}$ – вероятность получения контакта с целью в пределах дальности обнаружения, $l_{\text{уч}}$ – длина участка (прямолинейного отрезка от одной точки поворота до другой точки поворота), обследуемого ПН, $d_{\text{л}}$ – дальность действия средств наблюдения ПН, $V_{\text{ПН}}$ и $V_{\text{МПО}}$ – скорости ПН и МПО.

В формуле (6) время в явном виде отсутствует. Поэтому по известным длине участка $l_{\text{уч}}$ и скорости ПН $V_{\text{ПН}}$ можно определить время прохождения участка $t_{\text{уч}} = l_{\text{уч}}/V_{\text{ПН}}$. По формуле, аналогичной (2), определяем вероятность необнаружения за время T_0 , заданное при построении карты вероятностей:

$$P_{\text{необн}}(T_0) = (1 - P_{\text{обнР}})^{T_0/t_{\text{уч}}}.$$

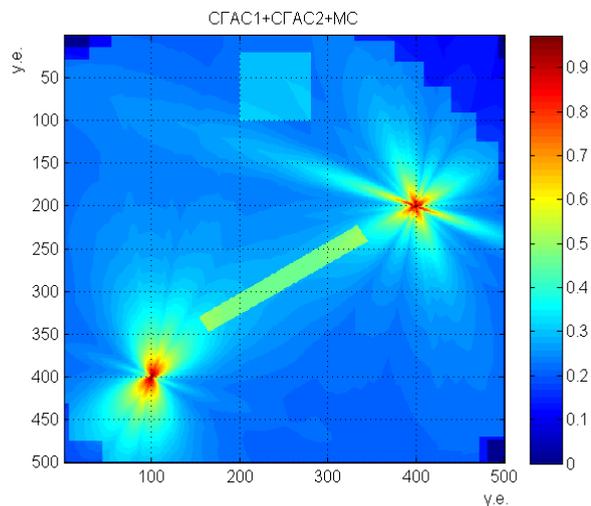


Рис. 5. Суммарное поле вероятности обнаружения для 1-й и 2-й СГАС и МС (поиск в районе (зонаверху карты) и поиск на рубеже (между СГАС))

Fig. 5. The total field of the probability of detection for the 1st and 2nd SSS and MS (search in the area (zone at the top of the map) and search at the boundary (between SSS))

На рис. 5 приведен пример расчета единого поля вероятности обнаружения с учетом применения поиска на рубеже и поиска МС.

Заключение

Единое поле вероятности обнаружения для всех наблюдателей, контролирующих заданный район, $P_{\text{обн}}(x, y, h_{\text{ист}})$:

- может быть обобщено на случай анизотропного (слоисто-неоднородного) гидроакустического поля путем добавления еще одной координаты $h_{\text{ист}}$;
- может быть использовано для визуализации, т.е. представления оператору.

Наличие единого поля вероятности $P_{\text{обн}}(x, y, h_{\text{ист}})$ для СГАС всего района позволяет использовать его как основу для комплексирования вероятностей обнаружения от различных физических полей (11). МПО имеет собственные физические поля, к которым относятся: акустическое, магнитное, гидрофизическое, электрическое, низкочастотное электромагнитное, тепловое, оптическое. Включе-

ние этих полей в единое поле вероятности обнаружения $P_{\text{обн}}(x, y, h_{\text{ист}})$ возможно при условии наличия моделей для расчетов вероятностей обнаружения объекта этими средствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пичугин С. Состояние и перспективы развития систем гидроакустического наблюдения ВМС США. Ч. 1 // Зарубежное военное обозрение. 2010. № 6. С. 61–70.
2. Ольшевский В.В. Статистические методы в гидролокации. Л. : Судостроение, 1983. 280 с.
3. Какалов В.А., Поленин В.И., Дымент А.Б., Сергеев В.А. Метод оптимизации боевого маневрирования подводной лодки по вероятностному критерию скрытности // Морская радиоэлектроника. 2003. № 3 (6). С.44–47
4. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. М. : Сов. радио, 1977. 336 с.
5. Urick R.J. Principles of underwater sound. McGraw–Hill Book Company, 1975. 445 p.
6. Абрамянц Т.Г., Маслов Е.П., Рудько И.М., Яхно В.П. Уклонение подвижного объекта от обнаружения группой наблюдателей при малых отношениях сигнал/помеха // Информационно-управляющие системы. 2011. № 2. С. 2–7.
7. Евтютов А.П., Колесников А.Е., Ляликов А.П. Справочник по гидроакустике. Л. : Судостроение, 1988. 552 с.
8. Burdic W.S. Acoustic system analysis. Englewood Cliffs, NJ : Prentice–Hall, Inc., 1984. 392 p.
9. Forrester R.N. Estimating search effectiveness with limited information. Monterey, CA : Naval Postgraduate School, 1993.
10. Хвощ В.А. Тактика подводных лодок М. : Воениздат, 1988. 266 с.
11. Якушенко Е.И., Эйдук В.И., Дружинина О.В., Лебедев В.Г., Кулида Е.Л. Применение математических методов оптимизации при управлении скрытностью морских подводных объектов // Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах : материалы конф., СПб., 9–11 окт. 2012. СПб., 2012. С. 843–846.

Поступила в редакцию 17 июня 2020 г.

Rudko I.M. (2020) UNIFIED FIELD OF DETECTION PROBABILITIES FOR HETEROGENEOUS MEANS OF OBSERVATIONS. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tehnika i informatika* [Tomsk State University Journal of Control and Computer Science] 53. pp. 93–101

DOI: 10.17223/19988605/53/9

The problem of calculating a single detection probability field for stationary and moving observers controlling a given region and working in a passive mode in different frequency ranges is considered. Currently, the implementation of the ideas of "network-centrism" in relation to solving the problems of searching for a marine underwater object leads to the integration of underwater surveillance systems and to the integration of all available positional and maneuvering sonar systems into a single complex of underwater observation, in which the results of the work of heterogeneous means of observations could be combined.

In this work we consider stationary sonar station located on a plane equipped with the Cartesian coordinate system XOY , whose coordinates are known, and calculate a single object detection probability field for all stationary sonar station throughout the region $P_{\text{det}}(x, y)$. This field is used as the basis for the integration of underwater observation systems and for combining all available positional and maneuvering sonar systems into a single underwater observation complex, including when operating in an anisotropic environment.

All the examples cited were calculated using the MATLAB computing environment.

The presence of a single field of probability of detection for a given area:

- firstly, it greatly facilitates the work of the operator;
- secondly, it allows you to quickly make adjustments to the work of maneuvering means;
- thirdly, take into account data from non-acoustic physical fields in this single field of probability.

Keywords: the trajectory of the object; the integration of underwater surveillance systems; the probability of detecting an object; the probability field of detecting an object.

RUDKO Igor Mikhailovich (Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation).

E-mail: igor-rudko@mail.ru

REFERENCES

1. Pichugin, S. (2010) Sostoyanie i perspektivy razvitiya sistem gidroakusticheskogo nablyudeniya VMS SShA. Ch. 1 [The state and development prospects of sonar surveillance systems of the US Navy. Part 1]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*. 6. pp. 61–70.
2. Olshevsky, V.V. (1983) *Statisticheskie metody v gidrolokatsii* [Statistical methods in sonar]. Leningrad: Sudostroenie.
3. Kakalov, V.A., Polenin, V.I., Dyment, A.B. & Sergeev, V.A. (2003) Metod optimizatsii boevogo manevrirovaniya podvodnoy lodki po veroyatnostnomu kriteriyu skrytnosti [A method for optimizing the combat maneuvering of a submarine by the probabilistic stealth criterion]. *Morskaya radioelektronika*. 3(6). pp. 44–47.

4. Abchuk, V.A. & Suzdal, V.G. (1977) *Poisk ob"ektov* [Search for objects]. Moscow: Sovetskoe radio.
5. Urick, R.J. (1975) *Principles of underwater sound*. McGraw– Hill Book Company.
6. Abramyants, T.G., Maslov, E.P., Rudko, I.M. & Yahno, V.P. (2011) Avoidance of a moving object from detection by a group of observers subject to small signal/noise ratios. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy – Information and Control Systems*. 2. pp. 2–7.
7. Evtuytov, A.P., Kolesnikov, A.E. & Lyalikov, A.P. (1988) *Spravochnik po gidroakustike* [Handbook of Hydroacoustics]. Leningrad: Sudostroenie.
8. Burdic, W.S. (1984) *Acoustic System Analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice–Hall, Inc.
9. Forrest, R.N. (1993) *Estimating search effectiveness with limited information*. Monterey, CA: Naval Postgraduate School.
10. Khvoshch, V.A. (1988) *Taktika podvodnykh lodok* [Tactics of Submarines]. Moscow: Voenizdat.
11. Yakushenko, E.I., Eiduk, V.I., Druzhinina, O.V., Lebedev, V.G. & Kulida, E.L. (2012) [Application of mathematical optimization methods for managing the stealth of marine underwater objects]. *Upravlenie v tekhnicheskikh, ergaticheskikh, organizatsionnykh i setevykh sistemakh* [Management in technical, ergatic, organizational and network systems]. Proc. of the Conference. St. Peteresburg, October 9–11, 2012. St. Petersburg. pp. 843–846.