

О ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНОЙ ДАЛЬНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ГЛАЙДЕРОВ

В.М. Кузькин, Ю.В. Матвиенко, С.А. Пересёлков, П.В. Рыбьянец

Изложена методика голографической обработки шумового сигнала подводного источника, позволяющая оценить его предельную дальность обнаружения. Представлен алгоритм определения параметров голографической обработки, реализующий предельную дальность обнаружения. Приведены результаты численного эксперимента по определению предельной дальности обнаружения гибридного АНПА в режиме «подводного планера». В качестве приемной системы рассмотрены одиночный приемник и линейная антенна.

Ключевые слова: голографическая обработка, шумовой подводный источник, приемная система, длительность сигнала, предельная дальность обнаружения, глайдер.

1. Введение

Контроль состояния подводной среды, обеспечивающий обнаружение и локализацию движущихся подводных аппаратов по их шумовому полю, является одной из приоритетных задач гидроакустики. Особенно острой в последние годы является проблема обнаружения таких малошумных источников, как малогабаритные автономные подводные необитаемые аппараты (АНПА), в частности подводные глайдеры. Подводные глайдеры представляют собой АНПА, которые не имеют движителя и перемещаются в воде за счет изменения плавучести. Горизонтальная скорость аппарата составляет 0.1–1.0 м/с, минимальная средняя вертикальная скорость – 0.05 м/с, глубина погружения – 40–1000 м, автономность – несколько месяцев, дальность плавания – более 10000 км [1]. Связь обеспечивается через спутник и GPS. При этом необходимость в наличии специализированного судна обеспечения полностью отсутствует. Шумоизлучение движущихся подводных глайдеров обусловлено обтеканием водой корпуса, благодаря чему создается слабый шумовой сигнал, уровень которого соизмерим или ниже уровня фоновой помехи.

На сегодняшний день можно выделить два основных направления решения проблемы освещения подводной обстановки. Одно из них, которое имеет длительную историю, основано на согласованной со

средой пространственной обработке гидроакустических сигналов (*matched-field processing*) [2, 3], которая подразумевает использование многоэлементных приемных антенн и данных о трассе распространения, позволяющих рассчитывать модельную форму сигнала. Эти алгоритмы обработки сигналов, судя по публикациям, достигли предельных возможностей и не позволяют решать современные задачи обнаружения и локализации малошумных подводных источников. Другое направление, получившее развитие в последние годы, основано на применении голографической интерферометрии [4]. Обработка реализует накопление максимумов спектральной плотности сигнала вдоль локализованных полос интерференционной картины (интерферограммы), формируемой шумовым источником, в переменных частота–время, которая далее подвергается двумерному преобразованию Фурье. Голографическая обработка, по сравнению с обработкой *matched-field processing*, обладает высокой помехоустойчивостью, отличается малой чувствительностью к изменяющимся условиям распространения волнового поля и работоспособностью в условиях, не требующих знания о передаточной функции акватории. При этом, что весьма важно, удается также оценить предельную дальность обнаружения шумового источника в зависимости от входного отношения сигнал/помеха (с/п), параметров обработки и условий распространения.

В работе сформулирован критерий предельной дальности обнаружения шумового источника. Получено выражение, связывающее предельную дальность обнаружения с параметрами голографической обработки шумовых сигналов. В рамках численного моделирования, опираясь на экспериментальные данные о спектральных характеристиках шумоизлучения АНПА в режиме «подводного планера» (подводного глайдера) и фонового шума акватории, оценена его предельная дальность обнаружения. Проанализированы средний и высокочастотный диапазоны, обработка рассмотрена с применением одиночного приемника и линейной антенны.

2. Голографическая обработка

Голографическую обработку шумового сигнала $s(t)$ на фоне помехи $n(t)$ рассмотрим на примере звукового давления $p(t)$, регистрируемого одиночным приемником. Для компонент векторно-скалярного приемника рассмотрение аналогично. С применением линейных антенн обработка изложена в [4]. В частотной полосе Δf за время наблюдения Δt накапливаются J независимых шумовых реализаций $p(t) = s(t) + n(t)$ длительностью T и временным интервалом δT между ними:

$$J = \Delta t / (T + \delta T). \quad (1)$$

Реализации независимы, если $\delta T \geq 1 / \Delta f$. Преобразованием Фурье восстанавливается частотно-временное представление шумовых реализаций $p(f, t) = s(f, t) + n(f, t)$ и формируется интерферограмма звукового давления:

$$I(f, t) = p(f, t)p^*(f, t) = |s(f, t)|^2 + n(f, t)s^*(f, t) + s(f, t)n^*(f, t) + |n(f, t)|^2, \quad (2)$$

где верхний индекс «*» обозначает комплексно-сопряженную величину. Первое и четвертое слагаемые (2) дают на плоскости (f, t) спектральную плотность сигнала и помехи, а второе и третье слагаемые – взаимные спектральные плотности сигнала и помехи. Так как сигнал и помеха некоррелированы, то взаимные спектральные плотности будут иметь вид слабо-контрастного размазанного фона и их весом в интерферограмме можно пренебречь.

Тогда интерферограмму (2) приближенно можно записать в виде линейной комбинации интерферограмм сигнала и помехи:

$$I(f, t) \approx |s(f, t)|^2 + |n(f, t)|^2 = I_s(f, t) + I_n(f, t), \quad (3)$$

так что голограмма звукового давления принимает вид:

$$F(\tau, \nu) \approx \int_0^{\Delta t} \int_{f_1}^{f_2} [I_s(f, t) + I_n(f, t)] \exp[i2\pi(t\nu - f\tau)] df dt = F_s(\tau, \nu) + F_n(\tau, \nu) \quad (4)$$

Здесь ν и τ – частота и время голограммы; $f_{1,2} = f_0 \mp (\Delta f / 2)$, f_0 – средняя частота спектра. На голограмме спектральная плотность сигнала $F_s(\tau, \nu)$ движущегося шумового источника сконцентрирована в узкой полосе в форме фокальных пятен, вызванных интерференцией мод разных номеров. Вне этой полосы она практически подавлена. Фокальные пятна расположены в первом и третьем квадрантах голограммы, если радиальная скорость источника $w < 0$ (источник приближается к приемнику), и во втором и четвертом квадрантах ($w > 0$) при удалении источника от приемника. Под радиальной скоростью понимается проекция скорости источника в направлении на приемник. Если $w = 0$, то координаты пиков фокальных пятен расположены на оси времени τ . Область концентрации содержит $(M - 1)$ пиков с координатами (τ_μ, ν_μ) , расположенными на прямой $\nu = \varepsilon\tau$ с угловым коэффициентом $\varepsilon = \nu_\mu / \tau_\mu$, где M – число мод, формирующих поле, $\mu = 1, M - 1$ – номер фокального пятна. Полоса ограничена прямыми линиями

$$\nu_1 = \varepsilon\tau + \delta\nu, \quad \nu_2 = \varepsilon\tau - \delta\nu. \quad (5)$$

Здесь $\delta\nu = 1/\Delta t$ – полуширина фокальных пятен в направлении оси ν . Вдоль оси τ полуширина фокальных пятен $\delta\tau = 1/\Delta f$.

Спектральная плотность помехи $F_n(\tau, \nu)$ распределена по всей плоскости (τ, ν) голограммы.

Интерферограмма характеризуется частотными $\Lambda_f^{(mn)}$ и временными $\Lambda_t^{(mn)}$ масштабами изменчивости, обусловленными интерференцией m -й и n -й мод [5]:

$$\Lambda_f^{(mn)} = \frac{2\pi}{r |dh_{mn}(f_0) / df|}, \quad \Lambda_t^{(mn)} = \frac{1}{|wh_{mn}(f_0)|}, \quad (6)$$

где $h_{mn} = h_m - h_n$, h_m – горизонтальное волновое число m -й моды. Регистрируемые интерферограмма и голограмма не искажаются, если полоса Δf и время наблюдения Δt для любой пары (m, n) интерферирующих мод удовлетворяют условиям:

$$\Delta f > \Lambda_f^{(mn)}, \quad \Delta t > \Lambda_t^{(mn)} \quad (7)$$

Неравенства (7) ограничивают минимальные значения ширины полосы приема и время наблюдения

в зависимости от расстояния, радиальной скорости и частотно-временных масштабов изменчивости передаточной функции волновода. При невыполнении первого (левого) условия локализация полос интерферирующих (m, n) мод не наблюдается, их голограмма не формируется. Иная закономерность проявляется при несоблюдении второго (правого) условия, когда время наблюдения недостаточно для пересечения источником пространственных масштабов изменчивости интерферограммы. По отношению к ним интерферограмма формируется неподвижным источником, и положение пиков фокальных пятен интерферирующих мод смещается на ось времени τ .

3. Предельная дальность обнаружения шумового источника

В качестве критерия дальности обнаружения шумового источника принимается условие, согласно которому максимум углового распределения спектральной плотности голограммы (функции обнаружения) шумового сигнала на фоне помехи:

$$G(\chi, q_0) = \int_0^{\Delta\tau} |F(\tau, \chi\tau, q_0)| d\tau \quad (9)$$

в направлении $\chi = \varepsilon$ расположения пиков фокальных пятен сигнала в два и более раз превышает помеховый уровень в направлениях $\chi \neq \varepsilon$ при входном отношении с/п q_0 :

$$G(\varepsilon, q_0) \geq 2G(\chi, q_0). \quad (10)$$

Здесь $\Delta\tau$ – линейный размер области концентрации сигнала по оси времени τ ; χ – варьируемое значение углового коэффициента при интегрировании вдоль прямых $v = \chi\tau$. При приближении источника к приемнику $0 \leq \chi < \infty$, в случае удаления $-\infty < \chi \leq 0$.

За оценку углового коэффициента ε принимается положение максимального пика, $\max G(\chi) = G(\varepsilon)$. В этом случае восстанавливаемые оценки параметров источника (пеленг, удаленность, радиальная скорость и глубина) близки к реальным значениям [4]. Если условие (10) не выполняется, то в функции обнаружения появляются пики помехи, которые усиливаются с уменьшением входного отношения с/п q_0 и маскируют пик шумового сигнала. Возрастает неоднозначность в определении углового коэффициента ε , достоверность обнаружения источника снижается.

Под отношением с/п q на выходе голографической обработки, принимая во внимание определение критерия (10), условимся понимать величину

$$q = G(\varepsilon, q_0) / G(\chi, q_0), \quad (11)$$

где угловой коэффициент χ отвечает области помехи. Тогда, полагая, что частотные смещения интерференционных максимумов сигнала накапливаются когерентно, а помехи – некогерентно, выражение (11) принимает вид [4]:

$$q = Jq_0. \quad (12)$$

Строго говоря, эти положения не выполняются, однако с качественной и количественной стороны результаты остаются вполне осмысленными. В результате предельная дальность обнаружения r_{lim} шумового источника, согласно (10), (12), характеризуется выражением:

$$2 = J_{\text{lim}} q_0 (r_{\text{lim}}). \quad (13)$$

Отношение с/п $q_0(r_{\text{lim}})$ определяется законом спадающей средней мощности шумоизлучения источника с расстоянием и уровнем помехи. При заданных параметрах обработки Δt и Δf предельное число шумовых реализаций (1) составляет

$$J_{\text{lim}} = \frac{\Delta t}{T_{\text{lim}} + (1/\Delta f)}. \quad (14)$$

Значение J_{lim} может быть сделано достаточно большим. Это показывает возможность увеличения выходного отношения с/п q (12) на основе выбора длительности сигнала T_{lim} и увеличения дальности обнаружения шумового источника.

Предельную длительность шумового сигнала T_{lim} оценим из представления сигнала с помощью частотных выборок передаточной функции волновода. При этом достаточно ограничиться рассмотрением наименьшего частотного масштаба изменчивости поля (6), обусловленного интерференцией между крайними модами:

$$\min \Lambda_f = \frac{2\pi}{r |dh_{1M}(f_0) / df|}. \quad (15)$$

Период изменчивости сигнала определяется независимыми значениями передаточной функции в пяти точках. Частотный интервал δf между соседними выборками равен $\delta f = 1/T_{\text{lim}}$. В результате имеем:

$$T_{\text{lim}} = \frac{4}{2\pi} r_{\text{lim}} |dh_{1M}(f_0) / df|, \quad (16)$$

так что с увеличением расстояния r и уменьшением средней частоты f_0 спектра минимальное время регистрации шумового сигнала возрастает. Характерной чертой соотношения (16) является то обстоятельство, что в него входят расстояние и параметры передаточной функции волновода, физическое содер-

жание которых различно в зависимости от акватории. Если длительность шумового сигнала T меньше T_{lim} , $T < T_{\text{lim}}$, это приводит к искажениям в восстановлении спектра сигнала, что влечет за собой возрастание погрешности в регистрации интерферограммы и голограммы.

В результате предельное число независимых временных шумовых реализаций (14) оценивается как

$$J_{\text{lim}} = \frac{\Delta t}{(4/2\pi)r_{\text{lim}} |dh_{1M}(f_0)/df| + (1/\Delta f)}. \quad (17)$$

При входном отношении с/п $q_0(r_{\text{lim}})$ для предельной дальности обнаружения шумового источника, согласно (13) и (17), получаем оценку в неявной форме:

$$r_{\text{lim}} = \frac{2\pi \Delta t q_0(r_{\text{lim}}) - (2/\Delta f)}{8 |dh_{1M}(f_0)/df|}. \quad (18)$$

Напомним, что выражение (18) связывает предельную дальность обнаружения с входным отношением одиночного приемника.

Обобщим оценку (18) на линейные антенны. Предположим, что на входе элементов антенны помеха не коррелирована. Для выполнения этого условия достаточно потребовать выполнения неравенства $d \geq \lambda/2$, где d и λ – межэлементное расстояние и длина волны. Тогда выражение (18) принимает вид:

$$r_{\text{lim}(an)} = \frac{2\pi \Delta t (\eta/B) q_{an}(r_{\text{lim}(an)}) - (2/\Delta f)}{8 |dh_{1M}(f_0)/df|}, \quad (19)$$

где η и B – коэффициент усиления и число элементов антенны, q_{an} – отношение с/п на входе одиночного элемента антенны. В случае горизонтальной линейной антенны максимальная помехоустойчивость голографической обработки достигается при пеленге, равном углу компенсации, тогда $\eta = B^2$. Для вертикальной антенны $\eta \approx B^2$ [4]. Далее примем, что $\eta/B = B$.

Алгоритм выбора параметров голографической обработки при реализации предельной дальности обнаружения шумового источника с применением одиночного приемника представлен ниже.

1. Вводится априорная модель волновода. Задается предельная дальность обнаружения r_{lim} и выбираются параметры обработки: время наблюдения Δt , ширина полосы Δf и средняя частота спектра f_0 . Устанавливается средний уровень помехи $\overline{N_{\Delta f}^2}$ в полосе Δf . Моделируется зависимость мощности шумового источника $\overline{P_{\Delta f}^2}(r)$ от расстояния r .

2. На основе данных зависимости $\overline{P_{\Delta f}^2}(r)$ и уровня помехи $\overline{N_{\Delta f}^2}$ для предельной дальности об-

наружения r_{lim} вычисляется входное отношение с/п $q_0(r_{\text{lim}}) = \overline{P_{\Delta f}^2}(r_{\text{lim}}) / \overline{N_{\Delta f}^2}$.

3. Из выражения (18) находится величина $|dh_{1M}(f_0)/df|$, определяющая предельную длительность шумовой реализации T_{lim} .

4. В соответствии с (16), (17) находятся предельные длительности T_{lim} шумового сигнала и число шумовых реализаций J_{lim} .

Описанный алгоритм не требует предварительного знания о числе энергонесущих мод, формирующей поле на предельном расстоянии. Информация о предельной длительности сигнала извлекается из заданных параметров обработки и установленной предельной дальности обнаружения шумового источника.

4. Численное моделирование

В рамках численного эксперимента оценим предельную дальность обнаружения подводного глайдера и минимальную длительность шумового сигнала с использованием одиночного приемника и малогабаритной антенны.

4.1. Исходные данные

В качестве спектральной характеристики подводного глайдера примем усредненный спектр шумоизлучения малогабаритного гибридного АНПА, свободно всплывающего со скоростью около 0.07 м/с при отключенных движителях, который приведен на рис. 1. Там же показан усредненный спектр шумового фона акватории, где проводились измерения, который рассматривается как помеха по отношению к шумовому сигналу гибридного АНПА. Децибелы

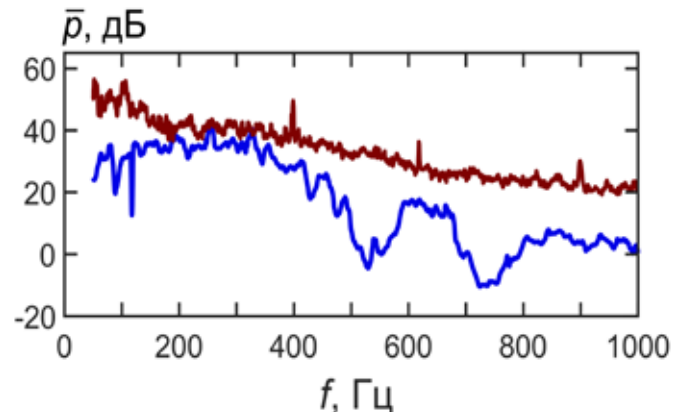


Рис. 1. Экспериментальные усредненные спектры звукового давления гибридного АНПА на расстоянии $r_0 = 200$ м в режиме свободного планирования без работы движителей (синяя кривая) и шумового фона акватории (коричневая кривая) [6]

отсчитываются относительно произвольного кон-
кретного уровня.

Волновод полагается горизонтально-однородным, глубина $H = 60$ м, скорость звука $c = 1480$ м/с. Частотные диапазоны: $\Delta f_1 = 300 - 350$ Гц, $\Delta f_2 = 900 - 950$ Гц. В первом случае уровни шумового сигнала и помехи сопоставимы, во втором случае уровень шумового сигнала много меньше уровня помехи. Средние частоты спектра: $f_1 = 325$ Гц, $f_2 = 925$ Гц. Параметры дна: отношение плотности грунта и воды $\rho = 1.8$; комплексные показатели преломления $g = 0.88(1 + i0.013)$ (диапазон Δf_1), $g = 0.88(1 + i0.022)$ (диапазон Δf_2). Одиночный приемник и горизонтальная линейная антенна из пяти элементов, $B = 5$, расположены на глубине $z_q = 50$ м. Время наблюдения $\Delta t = 30$ с. Пренебрегая изменениями глубины подводного глайдера во время движения, положим, что он перемещается в малой окрестности горизонта $z_s = 30$ м. Например, при минимальной средней вертикальной скорости 0.05 м/с аппарат перемещается по глубине на 1.5 м. В начальный момент времени $t_0 = 0$ горизонтальное расстояние между глайдером и приемной системой $r_0 = 200$ м.

Из рис. 1 следует, что в полосе $\Delta f_1 = 300 - 350$ Гц средняя мощность: помехи $N_1^2 = -63.01$ дБ, шумового сигнала $\overline{P_1^2}(r_0) = -67.18$ дБ; в полосе $\Delta f_2 = 900 - 950$ Гц $N_2^2 = -81.68$ дБ, $\overline{P_2^2}(r_0) = -98.84$ дБ.

4.2. Результаты моделирования

На рис. 2 показаны полученные численным моделированием в модовом приближении зависимости средней мощности шумоизлучения глайдера $\overline{P_{1,2}}(r)$ от горизонтального расстояния r . Методика расчета изложена в [4]. При оценках предельных параметров

голографической обработки будем опираться на зависимости $\overline{P_{1,2}}(r)$, полученные энергетическим сложением мод.

4.2.1. Частотный диапазон Δf_2

Одиночный приемник. Зададимся предельным расстоянием $r_{lim} = 1$ км. Из рис. 2, б следует, что ему соответствует средняя мощность шумового сигнала $\overline{P_2^2}(r_{lim}) = -102.00$ дБ. Тогда для входного отношения с/п получаем $q_0(r_{lim}) = -20.32$ дБ ($9.29 \cdot 10^{-3}$). Из выражения (18) находим $|dh_{1M}(f_2)/df| = 1.87 \cdot 10^{-4}$ с/м. В результате, согласно (16) и (17), получаем $T_{lim} = 1.19 \cdot 10^{-1}$ с и $J_{lim} = 216$. Таким образом, при заданных параметрах обработки Δt и Δf предельная дальность обнаружения подводного глайдера $r_{lim} = 1$ км достигается при длительности шумового сигнала $T_{lim} = 1.19 \cdot 10^{-1}$ с.

Антенна, число элементов $B = 5$. Полагая длительность шумового сигнала T равной длительности $T_{lim} = 1.19 \cdot 10^{-1}$ с, $T = T_{lim}$, оценим дальность обнаружения с применением антенны. В этом случае, согласно (13), дальность обнаружения подводного глайдера r_{an} определяется выражением:

$$2 = BJ_{lim}q_{an}(r_{an}), \quad (20)$$

которое можно привести к виду:

$$q_{an}(r_{an}) = q_0(r_{lim})/B. \quad (21)$$

Из (20), (21) для одиночного элемента антенны следует оценка входного отношения с/п $q_{an}(r_{an}) = 1.86 \cdot 10^{-3}$ (-27.31 дБ). При уровне помехи $N_2^2 = -81.68$ дБ средняя мощность шумового сигнала $\overline{P_2^2}(r_{an}) = -108.99$ дБ. Из рис. 2, б следует, что дальность обнаружения подводного глайдера $r_{an} = 2.81$ км.

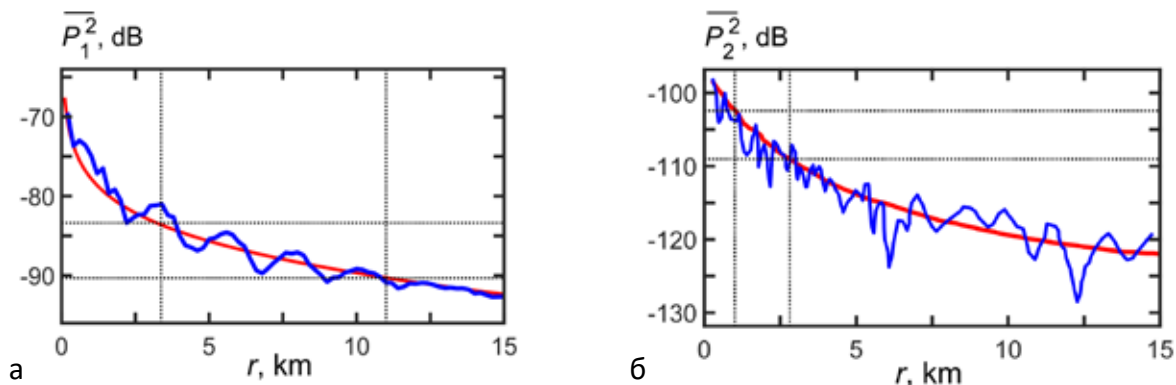


Рис. 2. Зависимость средней мощности шумоизлучения $\overline{P_{1,2}}$ от расстояния r : а – полоса $\Delta f_1 = 300 - 350$ Гц, б – полоса $\Delta f_2 = 900 - 950$ Гц. Красная линия – энергетическое суммирование мод; синяя – интерференционное сложение мод. Пунктирами отмечены уровни шумовых сигналов и отвечающие им дальности обнаружения

4.2.2. Частотный диапазон Δf_1

Примем длительность шумового сигнала $T = T_{\text{lim}} = 1.19 \cdot 10^{-1} \text{ с}$.

Одиночный приемник. На расстоянии r_1 , согласно (13), входное отношение с/п $q_0(r_1) = q_0(r_{\text{lim}}) = -20.32 \text{ дБ}$ ($9.29 \cdot 10^{-3}$). В частотном диапазоне $\Delta f_1 = 300 - 350 \text{ Гц}$ средняя мощность помехи $N_1^2 = -63.01 \text{ дБ}$, поэтому на расстоянии r_1 средняя мощность шумового сигнала оценивается как $\overline{P_1^2}(r_1) = -83.33 \text{ дБ}$. Данной мощности, как следует из рис. 2, а, соответствует дальность обнаружения подводного глайдера $r_1 = 3.37 \text{ км}$. Полезно отметить, что если в качестве предельной дальности обнаружения принять $r_{\text{lim}} = r_1 = 3.37 \text{ км}$, то предельная дальность шумового сигнала, согласно (13), $T_{\text{lim}} = 1.19 \cdot 10^{-1} \text{ с}$, как в случае частотного диапазона Δf_2 .

Антенна, число элементов $B = 5$. Входное отношение с/п на одиночном элементе антенны $q_{\text{ан}}(r_{\text{ан}})$, определяющем дальность обнаружения шумового источника на расстоянии $r_{\text{ан}}$, дается соотношением (21), так что $q_{\text{ан}}(r_{\text{ан}}) = 1.86 \cdot 10^{-3}$ (-27.31 дБ). Соответственно средняя мощность шумового сигнала $\overline{P_1^2}(r_{\text{ан}}) = -90.32 \text{ дБ}$. Согласно рис. 2, а дальность обнаружения подводного глайдера $r_{\text{ан}} = 10.95 \text{ км}$.

5. Заключение

Наиболее существенным фактором при получении голограммы шумового источника является формирование устойчивой интерферограммы максимумов спектральной плотности энергетических параметров волнового поля в переменных частота–время. Конфигурация локализованных полос определяется частотным диапазоном, временем наблюдения, параметрами волновода, скоростью и траекторией источника, что позволяет рассматривать интерферограмму как универсальную детерминированную математическую модель шумового сигнала источника и среды распространения. Модель отличается достаточной простотой и в то же время содержит в себе большое разнообразие форм поведения. Это дает возможность на голограмме регистрировать спектральную плотность шумового сигнала в узкой полосе, в то время как помеха распределена по всей плоскости голограммы, что обеспечивает высокую помехоустойчивость обработки.

В работе рассмотрен частный аспект голографической обработки – оценка предельной дальности обнаружения малозумного подводного источника. Оценка основана на анализе распределения

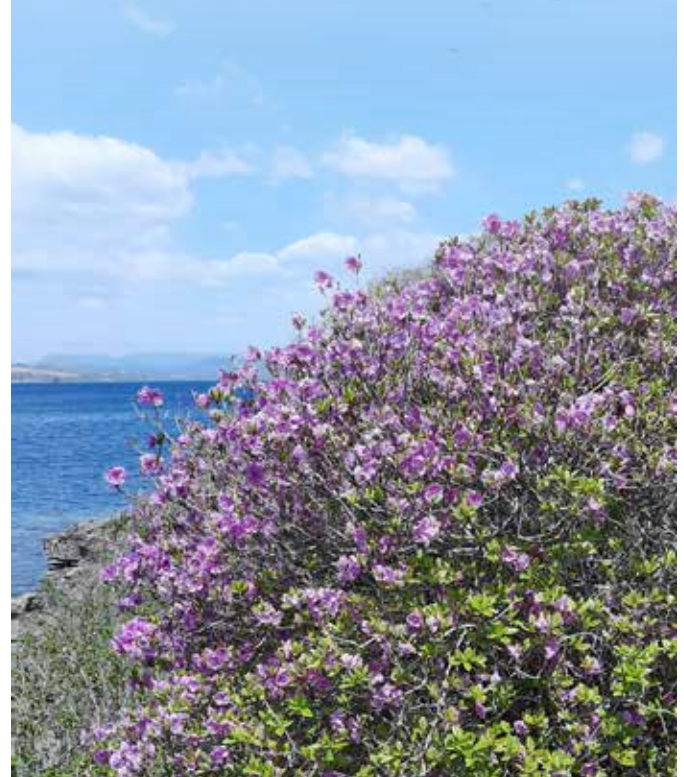
углового распределения спектральной плотности частотно-временной фокусировки шумового сигнала. Получено выражение для предельной дальности обнаружения шумового источника в зависимости от параметров обработки, входного отношения с/п и условий распространения. Разобраны случаи приема одиночным приемником и линейной антенной. В рамках численного эксперимента оценены предельные дальности обнаружения подводного глайдера для среднего и высокочастотного диапазонов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-61-10024, <https://rscf.ru/project/23-61-10024/>.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Селезнев И.А., Ясников А.И. Перспективы применения подводных глайдеров для океанографии и освещения подводной обстановки. Обзор по материалам зарубежной печати // Подводные исследования и робототехника. 2023. № 1 (43). С. 4–13.
2. Сазонтов А.Г., Малеханов А.И. Согласованная пространственная обработка сигналов в подводных звуковых каналах (обзор) // Акуст. журн. 2015. Т. 61, № 2. С. 233–253.
3. Переселков С.А., Кузькин В.М. Голографическая обработка широкополосных гидроакустических сигналов. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2023. 183 с.
4. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 264 с.
5. Хворостов Ю.А., Матвиенко Ю.В., Кузькин В.М., Переселков С.А., Ткаченко С.А. Спектральные характеристики шумового поля малогабаритного автономного необитаемого подводного аппарата в дальней зоне // Подводные исследования и робототехника. 2022. № 4 (42). С. 84–88.



Информация об авторах

КУЗЬКИН Венедикт Михайлович, главный научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»

Адрес: 119991, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 38

Область научных интересов: прямые и обратные задачи, распространение и рассеяние звука, гидроакустические волноводы, интерференция звуковых волн, акустическая голография

E-mail: kumiov@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-4136-3081

МАТВИЕНКО Юрий Викторович, д.т.н., главный научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а

Область научных интересов: акустика океана, прикладная гидроакустика, векторно-скалярные гидроакустические системы, локация и обнаружение источников звука.

E-mail: ymat@marine.febras.ru

ORCID: 0000-0002-4133-9073

ПЕРЕСЕЛКОВ Сергей Алексеевич, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой математической физики и информационных технологий, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет»

Адрес: 394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, 1

Область научных интересов: прямые и обратные задачи, распространение и рассеяние звука, гидроакустические волноводы, интерференция звуковых волн, акустическая голография.

E-mail: pereselkov@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-4083-8046

РЫБЯНЕЦ Павел Викторович, аспирант

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет»

Адрес: 394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, 1

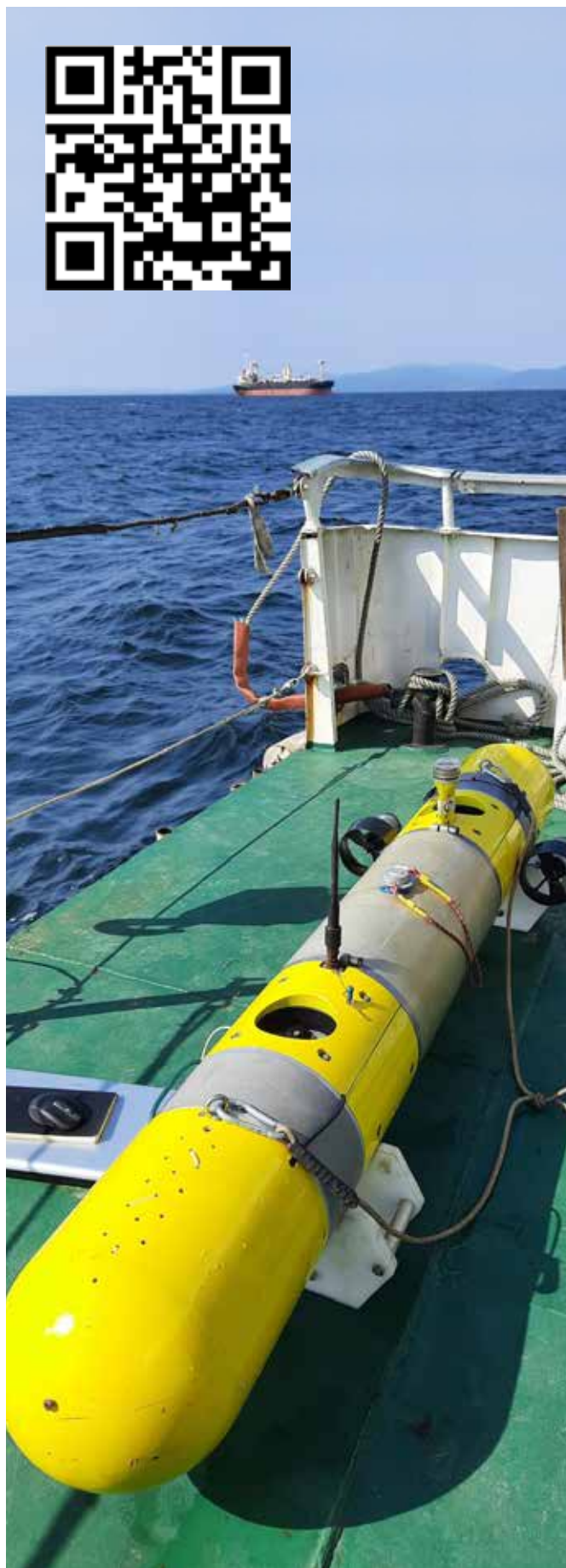
Область научных интересов: акустика океана, моделирование распространения звуковых волн, нерегулярные и нестационарные волноводы, интерференция, голографическая обработка сигналов

E-mail: rybyanets.edu@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-6911-5899

Для цитирования:

Кузькин В.М., Матвиенко Ю.В., Пересёлков С.А., Рыбьянец П.В. О ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНОЙ ДАЛЬНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ГЛАЙДЕРОВ // Подводные исследования и робототехника. 2024. № 2 (48). С. 68–75. DOI: 10.37102/1992-4429_2024_48_02_08. EDN: UPXYJW.



ON THE POSSIBILITY OF ESTIMATING THE MAXIMUM DETECTION RANGE OF UNDERWATER GLIDERS

V.M. Kuz'kin, Yu.V. Matvienko, S.A. Pereselkov, P.V. Rybyanets

A technique for holographic processing of a noise signal from an underwater source is presented, which makes it possible to estimate its maximum detection range. An algorithm for determining parameters is presented holographic processing, realizing the maximum detection range. The results are given numerical experiment to determine the maximum detection range of a hybrid AUV in the "underwater glider" mode. As a receiving system, a single receiver and a linear antenna.

Keywords: holographic processing, underwater noise source, receiving system, signal duration, maximum detection range, glider

References

1. Seleznev I.A., Iasnikov A.I. Prospects of using underwater glider for oceanography and underwater environment surveillance. Review of foreign press. Underwater Investigations and Robotics. 2023. No. 1 (43). P. 4–13.
2. Sazontov A.G., Malekhanov A.I. Matched Field Signal Processing in Underwater Sound Channels (Review). Acoust. Phys. 2015. Vol. 61. No. 2. P. 213–230.
3. Baggeroer A.B., Kuperman W.A., Mikhalevsky P.N. An overview of matched in ocean acoustics. IEEE J. Ocean. Eng. 1993. Vol. 18. No. 4. P. 401–424.
4. Pereselkov S.A., Kuz'kin V.M. Holographic processing of broadband hydroacoustic signals. Voronezh: Publishing House of VSU, 2023. 183 p. [in Russian].
5. Brekhovskikh L.M., Lysanov Yu.P. Fundamentals of ocean acoustics. Berlin, New York: Springer Verlag, 1982. 250 p.
6. Khvorostov Yu.A., Matvienko Yu.V., Kuz'kin V.M., Pereselkov S.A., Tkachenko S.A. Spectral characteristics of noise field of a small-sized autonomous underwater vehicle in far zone. Underwater Investigations and Robotics. 2022. No. 4 (42). P. 84–88.

Information about the authors

KUZ'KIN Venedikt Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher

Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center "A.M. Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences"

Address: 119991, Russia, Moscow, st. Vavilova, 38

Research field: direct and inverse problems, propagation and scattering of sound, hydroacoustic waveguides, waves interference, acoustic holography

E-mail: kumiov@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-4136-3081

MATVIENKO Yurii Viktorovich, Doctor of Physical and Technical Sciences, Chief Researcher

Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Marine Technology Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Address: 690091, Vladivostok, st. Sukhanova, 5a

Research field: ocean acoustics, applied hydroacoustics, vector scalar hydroacoustic systems, location and detection of sound sources.

E-mail: ymat@marine.febras.ru

ORCID: 0000-0002-4133-9073

PERESELKOV Sergey Alekseevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department of Mathematical Physics and Information Technologies, Professor

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University"

Address: 394018, Russia, Voronezh, Universitetskaya square, 1

Research field: direct and inverse problems, propagation and scattering of sound, hydroacoustic waveguides, interference of sound waves, acoustic holography.

E-mail: pereselkov@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-4083-8046

RYBYANETS Pavel Viktorovich, PhD Student

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University"

Address: 394018, Russia, Voronezh, Universitetskaya Square, 1

Research field: ocean acoustics, modeling of sound wave propagation, irregular and non-stationary waveguides, interference, holographic signal processing

E-mail: rybyanets.edu@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-6911-5899