

НЕНАПРАВЛЕННЫЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ ПЕЛЕНГАТОР НИЗКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ

Ю.В. Матвиенко, Ю.А. Хворостов, А.В. Каморный

Предложен комбинированный приемник звука, в составе которого для измерения горизонтальных компонент колебательной скорости размещены два попарно ортогональных канала, имеющих общий фазовый центр, повернутых относительно друг друга на 45 град. Приведена модель расчета пеленга такой системой. Обоснована возможность уменьшения угловой зависимости погрешности определения пеленга при суммарной обработке данных за счет увеличения числа измерений и разделения горизонта наблюдения на 16 угловых секторов.

Ключевые слова: векторно-скалярный приемник, компоненты вектора интенсивности, угловая зависимость погрешности пеленгования, отношение сигнал/шум.

1. Введение

Известны пассивные системы обнаружения источника низкочастотного шумового поля и определения направления на него (пеленга), состоящие из многоэлементных линейных или пространственных приемных антенн, выполняющих обработку путем согласованной фильтрации и когерентного суммирования сигналов на элементах антенны. Характеристики систем определяются в основном характеристиками приемных антенн, в частности угловое разрешение определяется волновым размером антенны. Так для шумового сигнала со средней частотой 100 Гц оценка размера приемной линейной антенны, обеспечивающей угловое разрешение 5°, составляет 10 длин волн или 150 м [1].

Для пассивных систем обнаружения приемные антенны таких размеров не могут быть установлены на мобильных системах обнаружения, например на автономных необитаемых подводных аппаратах или глайдерах [2].

Известны системы пеленгования низкочастотного шума, в которых в качестве приемной антенны применяются векторные приемники колебательной скорости. При малых габаритах (значительно меньше длины волны средней частоты принимаемого шума) они могут обеспечивать угловое разрешение в несколько градусов и при этом сохраняют направ-

ленные свойства в широком низкочастотном диапазоне. Векторный приемник колебательной скорости имеет три ортогональных пространственных канала, ориентированных в рабочей среде так, что один канал служит для измерения вертикальной компоненты, а два других – для измерения горизонтальных компонент вектора колебательной скорости. Приемник изготавливается и градуируется так, чтобы выходы горизонтальных компонент скорости v_x и v_y , были пропорциональны синусу и косинусу направления на источник сигнала соответственно [3]. Такая приемная антенна может определить пеленг β из выражения:

$$\beta = \arctg \frac{v_y}{v_x} \quad (1)$$

Однако для слабых сигналов в присутствии шумовых помех точность и помехоустойчивость такого пеленгатора оказываются очень низкими и на практике такие системы не применяются.

Известны системы, в которых для пеленгования источника низкочастотных шумовых сигналов в качестве приемной антенны используются комбинированные векторно-скалярные приемники звука, объединяющие приемник звукового давления p и приемник колебательной скорости [4]. Для увеличения помехоустойчивости при определении пеленга в системе выполняется предварительная обработка

измеряемых данных давления и скорости с расчетом и осреднением горизонтальных компонент вектора интенсивности:

$$I_x = \langle \text{Re}[pv_x] \rangle \text{ и } I_y = \langle \text{Re}[pv_y] \rangle. \quad (2)$$

Осреднение обеспечивает подавление изотропной помехи, а пеленг рассчитывается из выражения:

$$\beta = \text{arctg} \frac{I_y}{I_x}. \quad (3)$$

Такой пеленгатор при отношении сигнал/помеха 20 дБ потенциально может обеспечить угловое разрешение при определении направления на источник шума около 5°, но его основным недостатком является значительная зависимость точности от текущего значения угла пеленга (направления на объект относительно оси X). Большая ошибка формируется антенной при приеме сигнала в угловых секторах, оси которых совпадают с направлением ортогональных горизонтальных осей приемника за счет погрешности измерения уровня полезного сигнала в одном из его каналов. В этих секторах ошибка формируется как за счет технологического несовершенства приемника, так и различного влияния помехи в каналах. Так если принимается шумовой сигнал с отношением сигнал/помеха 20 дБ, то при значении пеленга, равном 1°, в канале X уровень сигнала за счет направленности $v_x \sim \cos \beta$ оказывается максимальным, а в канале Y уровень сигнала за счет направленности $v_y \sim \sin \beta$ оказывается очень слабым (меньше на 35 дБ). Сигнал в канале полностью подавляется некомпенсированной помехой, и вычисление пеленга по формуле (3) выполняется с большой ошибкой. Фактически в таком пеленгаторе формируются слепые угловые зоны, где ошибка измерения пеленга неприемлемо велика. Ширина этих зон определяется отношением сигнал/помеха. При выполнении реальных работ такая зависимость ошибки пеленгования от текущей угловой ориентации приемника резко ограничивает возможности их применения [5, 6].

Целью настоящей статьи является оценка возможности создания ненаправленного пеленгатора гидроакустических низкочастотных шумовых сигналов, обеспечивающего относительно равномерную точность пеленгования во всем диапазоне горизонтальных углов (0÷360°) на основе комбинированного векторно-скалярного приемника звука. Такие системы могут найти применение в мобильных системах контроля подводной обстановки, например, при размещении пеленгатора на борту автономного необитаемого подводного аппарата или глайдера.

2. Модель пеленгатора

В качестве решения рассмотрим комбинированный приемник, включающий приемник звукового давления и приемник колебательной скорости с общим фазовым центром, причем приемник колебательной скорости ориентирован в рабочей среде в виде одного вертикального и четырех попарно ортогональных горизонтальных каналов. Это достигается тем, что в конструкцию известного комбинированного приемника введена вторая пара ортогональных горизонтальных приемных каналов, геометрически повернутых относительно первой пары на угол 45° (рис. 1) [7].

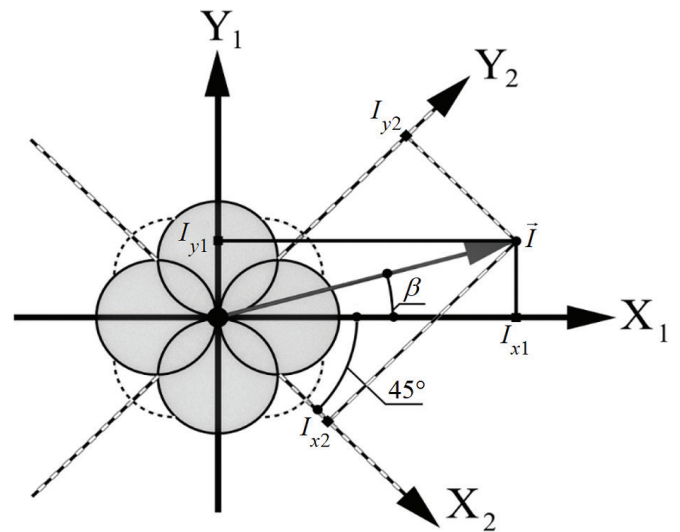


Рис. 1. Комбинированный приемник с двумя парами горизонтальных каналов

Такой приемник измеряет акустическое давление p и четыре компоненты вектора колебательной скорости в горизонтальной плоскости v_{x1}, v_{y1}, v_{x2} и v_{y2} . Первичная обработка принятых данных от сосредоточенного источника сигнала по пеленгу β заключается в расчете горизонтальных компонент вектора интенсивности каждой парой каналов [8, 9]:

$$I_{x1} = \text{Re}[pv_{x1}], \quad I_{y1} = \text{Re}[pv_{y1}], \quad (4)$$

$$I_{x2} = \text{Re}[pv_{x2}], \quad I_{y2} = \text{Re}[pv_{y2}].$$

Избыточные данные (4) на основе очевидных соотношений:

$$\frac{\sin \beta_1}{\cos \beta_1} = \frac{I_{y1}}{I_{x1}}, \quad \frac{\sin\left(\frac{\pi}{4} - \beta_2\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{4} - \beta_2\right)} = \frac{I_{y2}}{I_{x2}},$$

$$\frac{\sin\left(\frac{\pi}{4} + \beta_3\right)}{\cos \beta_3} = \frac{I_{y2}}{I_{x1}}, \quad \frac{\cos\left(\frac{\pi}{4} + \beta_4\right)}{\sin \beta_4} = \frac{I_{x2}}{I_{y1}},$$

$$\frac{\cos\left(\frac{\pi}{4} + \beta_5\right)}{\cos \beta_5} = \frac{I_{x2}}{I_{x1}}, \quad \frac{\sin\left(\frac{\pi}{4} + \beta_6\right)}{\sin \beta_6} = \frac{I_{y2}}{I_{y1}}, \quad (5)$$

позволяют получить шесть оценок β_i измеряемого пеленга β :

$$\beta_1 = \arctg(B_1), \quad \beta_2 = \frac{\pi}{4} - \arctg(B_2), \quad \beta_3 = \arctg(B_3),$$

$$\beta_4 = \arctg(B_4), \quad \beta_5 = \arctg(B_5), \quad \beta_6 = \arctg(B_6). \quad (6)$$

В (6) введены обозначения:

$$B_1 = \frac{I_{y1}}{I_{x1}}, \quad B_2 = \frac{I_{y2}}{I_{x2}}, \quad B_3 = \frac{\sqrt{2} \times I_{y2} - I_{x1}}{I_{x1}},$$

$$B_4 = \frac{I_{y1}}{\sqrt{2} \times I_{x2} + I_{y1}}, \quad B_5 = \frac{I_{x1} - \sqrt{2} \times I_{x2}}{I_{x1}},$$

$$B_6 = \frac{I_{y1}}{\sqrt{2} \times I_{y2} - I_{y1}}. \quad (7)$$

Применение этих расчетных соотношений предполагает накопление измеряемых данных и формирование статистик, необходимых для получения взвешенных оценок пеленга по всей совокупности данных. Если далее определить дисперсии для каждой оценки пеленга $\sigma_{\beta_i}^2$ и ввести показатель точности измерения:

$$\mu_i^2 = \frac{1}{\sigma_{\beta_i}^2}, \quad (8)$$

то можно получить средневзвешенную оценку пеленга по всем измерениям в известном виде:

$$\beta = \frac{\mu_1^2 \beta_1 + \mu_2^2 \beta_2 + \mu_3^2 \beta_3 + \mu_4^2 \beta_4 + \mu_5^2 \beta_5 + \mu_6^2 \beta_6}{\mu_1^2 + \mu_2^2 + \mu_3^2 + \mu_4^2 + \mu_5^2 + \mu_6^2}. \quad (9)$$

Для расчета оценок пеленгов β_i и показателей точности μ_i в (9) необходимо установить временной интервал накопления данных, в котором определить осредненные значения компонент вектора интенсивности и их дисперсии. При расчетах пеленгов в выражениях (7) также следует выполнить подстановку:

$$I_{x1} = \langle \text{Re}[pv_{x1}] \rangle, \quad I_{y1} = \langle \text{Re}[pv_{y1}] \rangle,$$

$$I_{x2} = \langle \text{Re}[pv_{x2}] \rangle, \quad I_{y2} = \langle \text{Re}[pv_{y2}] \rangle,$$

где $\langle \text{Re}[pv] \rangle$ – осредненные значения соответствующих компонент вектора интенсивности.

Считая далее, что во всех каналах приемника действует идентичная помеха, которая может быть определена через дисперсию σ_I модуля измеряемых компонент I_x и I_y вектора интенсивности на интервале накопления данных, определим осредненный на этом интервале модуль вектора интенсивности в горизонтальной плоскости в виде $\langle I_x^2 + I_y^2 \rangle$ и введем параметр, определяющий выходное отношение сигнал/шум по результатам серии измерений при накоплении данных в виде:

$$q^2 = \frac{\langle I_x^2 + I_y^2 \rangle}{\sigma_I^2}, \quad (10)$$

который необходим для расчета показателей точности измерения отдельных оценок пеленгов.

Дисперсии оценок пеленга следуют из (6) в виде:

$$\sigma_{\beta_i}^2 = \frac{1}{(1 + B_i^2)^2} \times \sigma_{B_i}^2, \quad (11)$$

где $\sigma_{B_i}^2$ – дисперсии функций, определенных выражением (7).

Тогда, с учетом введенных обозначений, можно рассчитать показатели точности для каждой оценки. Например, для оценки пеленга β_1 получим:

$$\mu_1^2 = \frac{q^2 \sigma_I^2 \langle I_x^2 + I_y^2 \rangle}{\sigma_y^2 \langle I_{x1}^2 \rangle + \sigma_x^2 \langle I_{y1}^2 \rangle}, \quad (12)$$

где $\sigma_y^2 \langle I_{x1}^2 \rangle$ и $\sigma_x^2 \langle I_{y1}^2 \rangle$ – дисперсии осредненных на интервале анализа компонент вектора интенсивности в горизонтальной плоскости. Аналогично можно определить показатели точности и для других оценок пеленгов.

3. Численное моделирование

Сначала оценим ошибку пеленгования для известного комбинированного приемника при его работе по всему горизонту при достаточно высоком отношении сигнал/шум q . На рис. 2 представлены эти расчеты при отношении сигнал/шум 16 дБ.

Минимальная погрешность пеленгования для этого приемника, как следует из расчетов, обеспечивается в четырех «узких» угловых секторах, оси которых совпадают с углами, кратными 45 град (45, 135, 225 и 315 град). При $q=16$ дБ максимальная ошибка по всему горизонту наблюдения составляет около 5 град, а в упомянутых секторах может быть менее 1 град. Ширина секторов с минимальной погрешностью пеленгования определяется действующим отно-



Рис. 2. Угловая зависимость ошибки пеленгования комбинированного приемника с одной парой горизонтальных каналов при отношении сигнал/шум $q=16$ дБ



Рис. 4. Угловая зависимость ошибки пеленгования комбинированного приемником с двумя парами ортогональных горизонтальных каналов при отношении сигнал/шум $q=6$ дБ

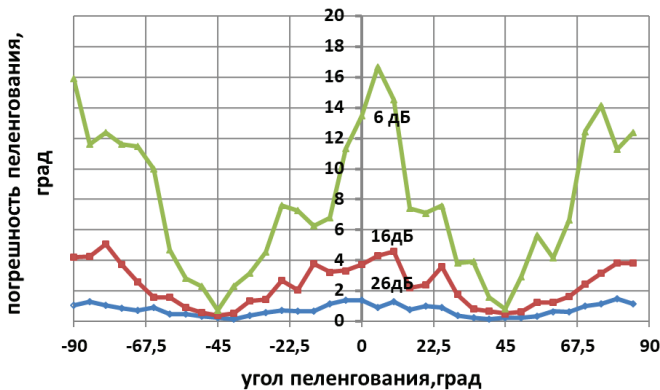


Рис. 3. Угловая зависимость ошибки пеленгования комбинированного приемника с одной парой горизонтальных каналов при отношении сигнал/шум $q = 6, 16$ и 26 дБ

шением сигнал/шум. На рис. 3 представлены оценки погрешности пеленгования для этого комбинированного приемника при различных отношениях сигнал/шум для углов $-90 \div +90$ град (значения в диапазоне $+90, \div -90$ град будут симметричными).

За счет второй повернутой пары ортогональных каналов можно существенно уменьшить ошибку даже при незначительном превышении сигнала над помехой. На рис. 4 приведены расчеты погрешности пеленгования для углов $-90 \div +90$ град (значения в диапазоне $+90 \div -90$ град будут симметричными) при отношении сигнал/шум $q=6$ дБ для пеленга, определенного по обеим парам ортогональных каналов. При пеленговании парой каналов, повернутых на 45 град, по горизонту наблюдения дополнительно формируются четыре угло-

вых сектора с осями $0, 90, 180$ и 270 град, в которых ошибка минимальна.

Введение второй пары каналов для изменения горизонтальных компонент колебательной скорости дает шесть комбинаций для расчета искомого пеленга в соответствии с (6). Причем для каждой пары расчетных значений компонент вектора интенсивности минимальное значение ошибки будет, очевидно, определяться угловыми секторами, в которых эти компоненты близки по уровню.

Использование неортогональных компонент колебательной скорости для вычисления оценок пеленга поясняется на рис. 5, где для отношения сигнал/шум $q=16$ дБ приведены угловые зависимости ошибки пеленгования при расчете пеленгов $\beta_3, \beta_4, \beta_5$ и β_6 по формулам (6).

Включение в расчетную схему данных от неортогональных каналов позволяет сформировать

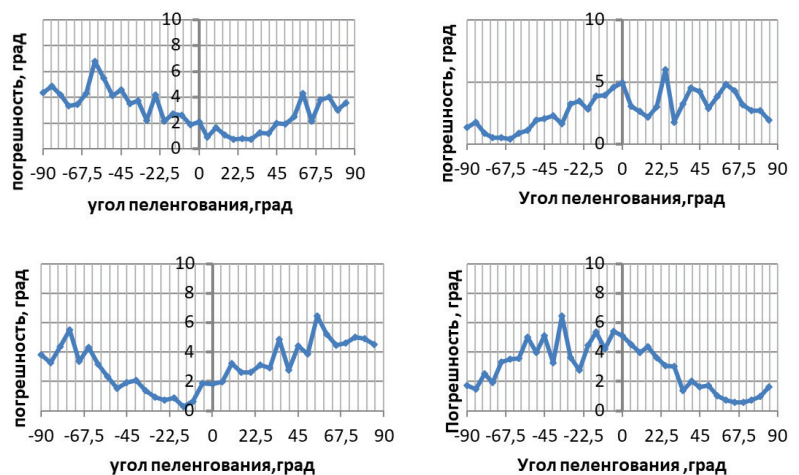


Рис. 5. Угловая зависимость ошибки пеленгования парами неортогональных горизонтальных каналов при отношении сигнал/шум $q=16$ дБ для пеленгов 3–6 в выражениях (6) соответственно

Заключение

еще восемь (по два для каждой пары) угловых секторов, оси которых совпадают с углами, кратными 22.5 град (22.5; 67.5; 112.5; 157.5; 202.5; 247.5; 292.5 и 337.5 град), в которых измеряемые компоненты скорости близки и, соответственно, ошибки пеленгования минимальны.

Таким образом, для предлагаемого комбинированного приемника в расчетной модели по горизонту наблюдения формируется 16 угловых секторов пеленгования, каждый шириной 22.5 град, с минимальной угловой зависимостью от значения угла пеленга.

Взвешенное суммирование расчетных значений пеленгов по всем возможным парам каналов дает оценки пеленгов с низкой ошибкой по всему горизонту наблюдения (рис. 6 и 7).

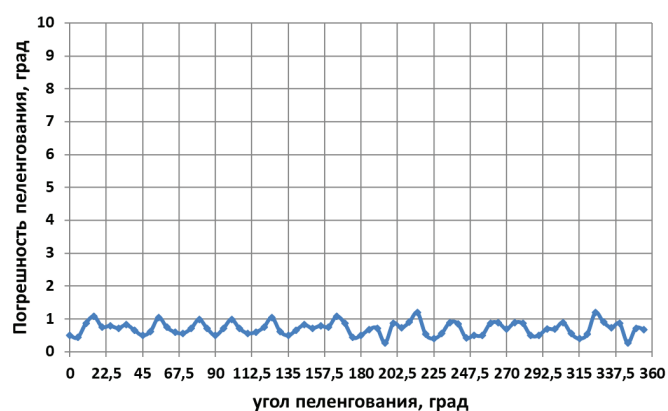


Рис. 6. Угловая зависимость ошибки пеленгования комбинированным приемником с двумя парами горизонтальных каналов при отношении сигнал/шум $q = 16$ дБ с использованием ортогональных и неортогональных компонент скорости

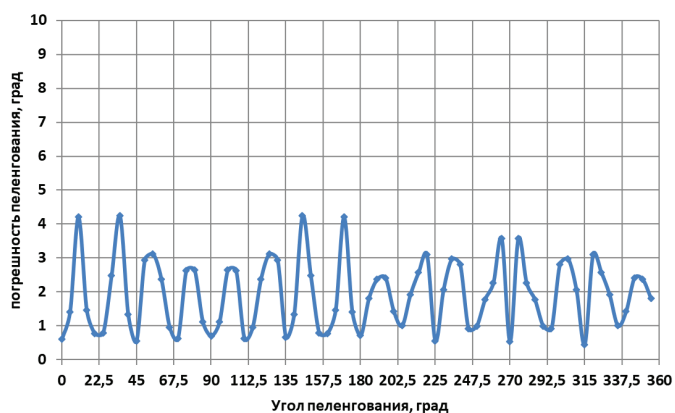


Рис. 7. Угловая зависимость ошибки пеленгования комбинированным приемником с двумя парами горизонтальных каналов при отношении сигнал/шум $q = 6$ дБ с использованием ортогональных и неортогональных компонент скорости

Оценивая полученные результаты, можно отметить, что зависимость погрешности пеленгования от направления прихода сигнала минимизирована, при этом диапазон ошибок уменьшается в 5–6 раз.

Усложнение конструкции векторно-скалярного приемника второй парой горизонтальных каналов обеспечивает увеличение объема независимых данных при измерении компонент колебательной скорости, которые используются для получения шести оценок искомого пеленга. Это дает возможность обеспечить взвешенную попарную обработку при расчете пеленга с использованием измеренных компонент вектора интенсивности с наибольшим уровнем и, соответственно, меньшим влиянием действующего значения помехи, что в совокупности позволяет обеспечивать пеленгование шумового объекта во всем диапазоне горизонтальных углов с минимальной погрешностью.

Благодарности

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

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Бурдик В.С. Анализ гидроакустических систем. Л.: Судостроение, 1988. 392 с.
- 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. DOI: 10.37102/1992-4429_2023_43_01_01. EDN: HPVCMN.
- Скребнев Г.К. Комбинированные гидроакустические приемники. СПб: Элмор, 1997. 200 с.
- Щуров В.А., Щеглов С.Г., Иванов Е.Н. Мобильные акустические комбинированные приемные системы на основе автономных необитаемых подводных аппаратов // Подводные исследования и робототехника. 2012. № 2(14). С. 4–12.
- Захаров К.Л. Частотно-угловые характеристики гидроакустического сигнала при использовании векторно-фазового метода // Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление : научный электронный журнал. 2014. Т. 10, № 3(24). С. 7. URL: www.pypravlenie.ru
- Матвиенко Ю.В., Хворостов Ю.А., Кулешов В.П. Особенности применения скалярно-векторных приемников звука в системах контроля подводной обстановки локальных районов // Подводные исследования и робототехника. 2022. № 4 (42). С. 4–15. DOI: 10.37102/1992-4429_2022_42_04_01. EDN: CAMOFW.
- Патент № 2811513 РФ, МПК G01S 15/00 (2006.01). Пеленгатор низкочастотных шумовых сигналов для мобильных систем обнаружения малошумных подводных объектов: № 2023111429 : заявл. 03.05.2023 : опубл. 12.01.2024, Бюл. №2 / Матвиенко Ю.В., Хворостов Ю.А., Глушенко М.Ю. 10 с.
- Патент № 2699923 РФ, МПК G01S 3/80(2006.01). Способ обнаружения подводного источника широкополосного шума: № 2019101778 : заявл. 23.01.2019 : опубл. 11.09.2019, Бюл. № 26 / Матвиенко Ю.В., Хворостов Ю.А., Каморный А.В. 15 с.
- Патент № 2784699 РФ, МПК G01S 3/80 (2006.01). Устройство обнаружения подводного источника широкополосного шума : № 2022108027 : заявл. 28.03.2022 : опубл. 29.11.2022, Бюл. № 34 / Матвиенко Ю.В., Хворостов Ю.А., Каморный А.В. 14 с.

Справка об авторах

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

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий им. М.Д. Агеева
Дальневосточное отделение Российской академии наук

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

Научные интересы: акустика океана, прикладная гидроакустика, векторно-скалярные гидроакустические системы, локация и обнаружение источников звука, подводная робототехника, гидроакустическая навигация, гидроакустические комплексы и системы

Тел.: +7(908)9-821-389. E-mail: ymat33@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-4486-3719

ХВОРОСТОВ Юрий Анатольевич, ведущий конструктор

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий им. М.Д. Агеева
Дальневосточное отделение Российской академии наук

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

Научные интересы: акустика океана, прикладная гидроакустика, векторно-скалярные гидроакустические системы, локация и обнаружение источников звука

Тел.: +7(914)7-036-723. E-mail: oss.dvfu@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4805-3051

КАМОРНЫЙ Александр Валерьевич, научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий им. М.Д. Агеева
Дальневосточное отделение Российской академии наук

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

Научные интересы: акустика океана, прикладная гидроакустика, векторно-скалярные гидроакустические системы, локация и обнаружение источников звука, подводная робототехника, гидроакустическая навигация, гидроакустические комплексы и системы

Тел.: +7(924)2-327-605. E-mail: greatsania@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9851-2826



UNDIRECTIONAL HYDROACOUSTIC DIRECTION FINDER FOR LOW FREQUENCY SIGNALS

Yu.V. Matvienko, Yu.A. Khvorostov, A.V. Kamorny

A combined sound receiver is proposed, in which two pairwise orthogonal channels are placed, having a common phase center and rotated relative to each other by 45 degrees, to measure the horizontal components of the vibrational velocity. A model for calculating bearing by such a system is presented. The possibility of reducing the angular dependence of the bearing determination error during summary data processing is substantiated by increasing the number of measurements and dividing the observation horizon into 16 angular sectors.

Keywords: vector-scalar receiver, intensity vector components, angular dependence of direction finding error, signal-to-noise ratio.

References

1. Burdik V.S. Analiz gidroakusticheskikh sistem. L.: Sudostroenie, 1988. 392 p. (In Russ.).
2. Seleznev I.A., Jasnikov A.I. Perspektivy primeneniya podvodnykh glajderov dlja okeanografii i osveshheniya podvodnoj obstanovki. Obzor po materialam zarubezhnoj pechati. Podvodnye issledovaniya i robototekhnika. 2023. No. 1 (43). P. 4–13. DOI: 10.37102/1992-4429_2023_43_01_01. EDN: HPVCMN. (In Russ.).
3. Skrebnev G.K. Kombinirovannye gidroakusticheskie priemniki. SPb: Jelmor, 1997. 200 p. (In Russ.).
4. Shhurov V.A., Shheglov S.G., Ivanov E.N. Mobil'nye akusticheskie kombinirovannye priemnye sistemy na osnove avtonomnykh neobitaemykh podvodnykh apparatov. Podvodnye issledovaniya i robototekhnika. 2012. No. 2(14). P. 4–12. (In Russ.).
5. Zaharov K.L. Chastotno-uglovyye karakteristiki gidroakusticheskogo signala pri ispol'zovanii vektorno-fazovogo metoda. Ustoichivoe innovatsionnoe razvitiye: proektirovanie i upravlenie: nauchnyy jelektronnyy zhurnal. 2014. Vol. 10, No. 3(24). P. 7. URL: www.rypravlenie.ru. (In Russ.).
6. Matvienko Ju.V., Hvorostov Ju.A., Kuleshov V.P. Osobennosti primeneniya skaljarno-vektornykh priemnikov zvuka v sistemah kontrolja podvodnoj obstanovki lokal'nykh rajonov. Podvodnye issledovaniya i robototekhnika. 2022. No. 4 (42). P. 4–15. DOI: 10.37102/1992-4429_2022_42_04_01. EDN: CAMOFW. (In Russ.).
7. Patent № 2811513 RF, MPK G01S 15/00 (2006.01). Pelengator nizkочastotnykh shumovykh signalov dlja mobil'nykh sistem obnaruzheniya maloshumnykh podvodnykh ob#ektov : No. 2023111429 : zajavl. 03.05.2023 : opubl. 12.01.2024, Bjul. No. 2 / Matvienko Ju.V., Hvorostov Ju.A., Glushhenko M.Ju. 10 s. (In Russ.).
8. Patent № 2699923 RF, MPK G01S 3/80(2006.01). Sposob obnaruzheniya podvodnogo istochnika shirokopolosnogo shuma : No. 2019101778 : zajavl. 23.01.2019 : opubl. 11.09.2019, Bjul. No. 26 / Matvienko Ju.V., Hvorostov Ju.A., Kamornyj A.V. 15 p. (In Russ.).
9. Patent № 2784699 RF, MPK G01S 3/80 (2006.01). Ustrojstvo obnaruzheniya podvodnogo istochnika shirokopolosnogo shuma : No. 2022108027 : zajavl. 28.03.2022 : opubl. 29.11.2022, Bjul. No. 34 / Matvienko Ju.V., Hvorostov Ju.A., Kamornyj A.V. 14 s. (In Russ.).

Information about the authors

MATVIENKO Yurii Viktorovich, Dr. Sci., chief researcher
Institute of Marine Technology Problems, Far Eastern Branch of
Russian Academy of Science
Address: 690091, Russia, Vladivostok, Sukhanova st., 5a
Scientific interests: ocean acoustics, applied hydroacoustics,
vector-scalar hydroacoustic systems, location and detection of
sound sources, underwater robotics, hydroacoustic navigation,
hydroacoustic complexes and systems
Phone: +7(908)9-821-389
E-mail: ymat33@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-4486-3719

KHVOROSTOV Yurii Anatolyevich, lead designer
Institute of Marine Technology Problems, Far Eastern Branch of
Russian Academy of Science
Address: 690091, Russia, Vladivostok, Sukhanova st., 5a
Scientific interests: ocean acoustics, applied hydroacoustics,
vector-scalar hydroacoustic systems, location and detection of
sound sources
Phone: +7(914)7-036-723
E-mail: oss.dvfu@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4805-3051

KAMORNY Alexander Valerievich, senior researcher
Institute of Marine Technology Problems, Far Eastern Branch of
Russian Academy of Science
Address: 690091, Russia, Vladivostok, Sukhanova st., 5a
Scientific interests: ocean acoustics, applied hydroacoustics,
vector-scalar hydroacoustic systems, location and detection of
sound sources, underwater robotics, hydroacoustic navigation,
hydroacoustic complexes and systems
Phone: +7(924)2-327-605
E-mail: greatsanja@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9851-2826