

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СКАЛЯРНО-ВЕКТОРНОГО ПРИЕМНИКА ЗВУКА В РЕЖИМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПЕЛЕНГОВАНИЯ ИСТОЧНИКА ПОДВОДНОГО ШУМА

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

Описан эксперимент в мелководной акватории по приему сигналов движущегося подводного источника шумовых сигналов скалярно-векторным приемником, размещенным на борту стационарной донной станции. Проанализированы отношения сигнал/помеха в векторных и скалярных каналах приемника на различных дальностях источника. Отмечены существенно различные уровни анизотропной помехи в каналах приемника и возможность достижения выигрыша в 6–10 дБ в отношении сигнал/помеха векторным каналом с минимальными значениями действующей анизотропной помехи относительно скалярного канала. Выполнен анализ углового прихода энергии шумоизлучения источника в течение его движения, показана возможность разделения дополнительных объектов шумоизлучения в контролируемой акватории и по угловому положению и составу излучаемого спектра.

**Ключевые слова:** скалярно-векторный приемник звука, отношение сигнал/помеха, обнаружение и пеленгация подводного источника шума.

## Введение

Скалярно-векторные приемники (СВП) звука, совмещающие в одном корпусе обычные скалярные приемники звукового давления и векторные приемники колебательной скорости, широко используются для создания различных гидроакустических систем [1]. Применение СВП за счет ряда их уникальных возможностей особенно целесообразно, например, в системах контроля подводной обстановки [2]. Одной из особенностей СВП является возможность определения углового положения источника шумового сигнала из точки установки приемника. При малых габаритах (значительно меньше длины волны частот рабочего диапазона) они обеспечивают угловое разрешение в несколько градусов в широком низкочастотном диапазоне [3]. Кроме того, СВП обладают повышенной помехоустойчивостью, осуществляя подавление помехи за счет пространственной избирательности и осреднения во времени, что может быть использовано для создания устройств обнаружения слабых сигналов. Также такие приемники перспективны в связи с возможностью их установки

на борту малогабаритных гライдеров или гибридных аппаратов [4, 5].

Эти особенности СВП подвергнуты тщательному анализу во многих публикациях [6–8]. Количественная оценка выигрыша приемных трактов с СВП в сравнении со скалярными приемниками давления – гидрофонами, представляется разными авторами по-разному, но всегда определяется структурой действующей помехи, значение которой может быть снижено за счет возможности накопления данных и управления характеристикой направленности приемника.

Известные методы решения задачи обнаружения шумового сигнала неизвестной структуры в системах, использующих СВП, принципиально не отличаются от систем с гидрофонами, основанных на применении энергетического приемника-интегратора и сравнении его выходного сигнала со сформированным порогом. Особенностью обнаружителей с СВП, как показано в [9], является то, что законы распределения энергетических параметров звукового поля, определенные через давление и колебательную скорость, соответствуют распределению Лапласа. Однако при использовании СВП классическая

статистическая модель обнаружения может быть дополнена.

Новый метод решения задачи обнаружения при применении СВП, основанный на определении частотного и углового спектров плотности мощности потока акустической энергии (вектор интенсивности потока энергии), был предложен в работе [10]. В таком обнаружителе обеспечивается подавление изотропной помехи, а представленные в работе экспериментальные результаты подтверждают эффективность метода. В работе [2] анализируются дополнительные возможности, связанные с учетом фазовой структуры принимаемого сигнала, знание которой позволяет выделить только бегущие волны от источника и тем самым еще исключить влияние помехи.

Для наиболее сложных условий мелкого моря эти особенности обнаружения целесообразно исследовать экспериментально. Целью настоящей работы является сравнительная оценка условий приема в мелком море скалярным и векторными каналами СВП шумового сигнала на относительно высоких частотах (верхние сотни Гц) на фоне ярко выраженных анизотропных помех.

## 1. Постановка эксперимента

Эксперимент проводился в мелководной акватории с глубинами 30–40 м с достаточно плоским дном, при удаленности донной станции от береговой черты более 5,5 км, в условиях «редкого» ближнего судоходства, близости бухты с портовыми причальными сооружениями, при волнении поверхности моря 2 балла. Порядок выполнения работ заключался в следующем.



Рис. 1. Фотография донной станции

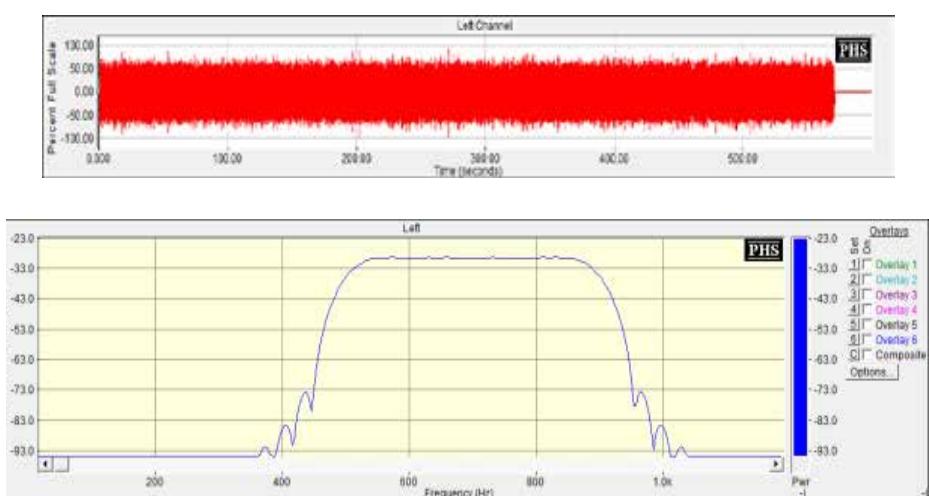


Рис. 2. Временная развертка и спектр сигнала фрейма, подаваемого на излучатель

На дно в фиксированной точке была выставлена стационарно донная гидроакустическая станция, содержащая СВП с датчиками его углового положения. Станция кабельной линией была соединена с надводным модулем, оборудованным средствами радиосвязи с пунктом управления и обработки данных (обеспечивающее судно – катамаран). Программные и аппаратные средства станции обеспечивали синхронный прием, запись и трансляцию данных в каналах звукового давления и трех компонент колебательной скорости.

В качестве подводного источника шумового сигнала использовался малогабаритный пьезокерамический излучатель с резонансной частотой около 6 кГц. Излучатель выставлялся на глубину 15 м и буксировался парусно-моторной шхуной.

Выполнялось два галса буксировки излучателя – прямой галс на удаление от станции до момента потери ею контроля излучаемого сигнала и обратный на скоростях 1,0 и 2,0 м/с соответственно. При этом величина максимального удаления составила около 5 км. На обоих галсах непрерывно излучался шумовой сигнал в полосе 500–900 Гц циклическими фреймами, включающими каждый 570 с сигнала и 30 с его отсутствия.

Донная станция обеспечивала запись принятых акустических данных (каналами звукового давления – Р) и трех компонент колебательной скорости (X, Y, Z) во внутреннюю память в диапазоне частот 17–1100 Гц с одновременной их передачей по радиоканалу на борт обеспечивающего судна для обработки в реальном времени.

На рис. 1–2 приведены фотография донной станции и характеристики сигнального фрейма на излучатель.

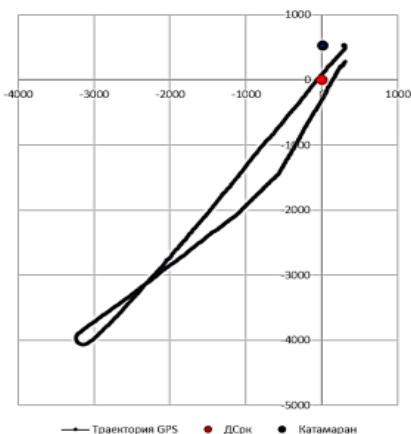


Рис. 3. Траектория обоих галсов буксировки излучателя

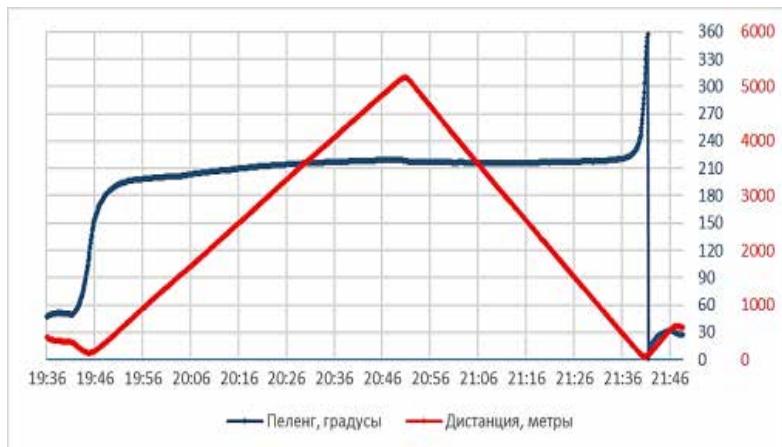


Рис. 4. Пеленг и дальность излучателя относительно донной станции в обоих галсах буксировки

При выполнении галсов буксировки текущее положение излучателя фиксировалось мобильным приемником спутниковой навигации, по данным которого и координатам станции были построены траектории движения излучателя (рис. 3) и рассчитаны его пеленги и дистанции от местоположения станции (рис. 4).

## 2. Модели обработки данных

### 2.1 Обнаружение сигнала

При решении задачи обнаружения сигнала в случае применения СВП энергетические параметры звукового поля, определенные через компоненты вектора интенсивности потока энергии, наиболее информативны, поскольку при идентичности сигнальных составляющих несут различные помеховые составляющие, что связано с различной пространственной зависимостью помеховых составляющих в векторных каналах СВП. Фактически увеличение отношения сигнал/помеха на выходе системы обработки сигналов СВП формируется не только за счет когерентного сложения и накопления энергии сигнала, но и дополнительно за счет уменьшения влияния действующей помехи. Последнее реализуется увеличением времени обработки в случае, если структура помехи близка к изотропной, или выбором векторного канала, направленность которого максимально подавляет действующую анизотропную помеху с ярко выраженным пространственным положением.

Качественную оценку выигрыша вместе с тем можно дать простым сравнением отношений сигнал/помеха в канале давления и каналах компонент скорости комбинированного приемника. Для получения характеристик помехи обрабатываются данные

при отсутствии сигнала в паузах излучения, а после его возобновления – данные, включающие сигнал и помеху. Целесообразно выполнить эту обработку с использованием различного времени осреднения, которым определяется степень подавления изотропной составляющей помехи. Результаты обработки удобно представить в виде сонограмм – как зависимости значений измеряемых параметров от частоты и времени, а также спектров – зависимости значений измеряемых параметров от частоты на заданном временном промежутке.

### 2.2 Пеленгование сигнала

Определение углового положения источника сигналов основано на анализе времена-углового распределения энергии всех частотных составляющих принимаемого СВП шумового сигнала. При обработке принятого сигнала по наблюдаемому частотному диапазону формируется угловое распределение суммарных уровней потоков энергии, приходящих в узкие назначенные угловые сектора всей горизонтальной плоскости [11]. Обработка реализуется с использованием быстрого преобразования Фурье, которое служит для получения спектров комплексных амплитуд звукового давления  $P(\omega)$  и трех ортогональных компонент вектора колебательной скорости  $V_i(\omega)$ , где  $i=x,y,z$ , используемых в дальнейших расчетах энергетических параметров.

Вначале определяются три текущие компоненты вектора интенсивности потока энергии  $I_i(\omega)$ :

$$I_i(\omega) = P(\omega) \times V_i^*(\omega) = \operatorname{Re} I_i(\omega) + j \operatorname{Im} I_i(\omega).$$

Следующий шаг – расчет массива направлений приходящих частотных потоков энергии. Для каждой частоты выполняется осреднение реальных частей

горизонтальных компонент вектора интенсивности потоков:

$$\bar{I}_X(\omega) = \langle \operatorname{Re} I_X(\omega) \rangle \text{ и } \bar{I}_Y(\omega) = \langle \operatorname{Re} I_Y(\omega) \rangle,$$

затем рассчитываются направления прихода потоков  $\beta(\omega)$  в локальной системе координат СВП (углы против часовой стрелки относительно оси канала X) по формуле:

$$\beta(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\bar{I}_Y(\omega)}{\bar{I}_X(\omega)}.$$

По результатам расчетов формируется угловое распределение принимаемой энергии для всех частот наблюдаемого диапазона путем суммирования в узких назначенных угловых секторах энергий горизонтальных потоков  $\bar{I}(\omega)$ :

$$\bar{I}(\omega) = \sqrt{\left[ \bar{I}_X(\omega) \right]^2 + \left[ \bar{I}_Y(\omega) \right]^2},$$

направления прихода которых попадают в один и тот же сектор.

В итоге от классической энергетической сонограммы времени–частота переходим к сонограмме времени–угловое распределение с изображением принимаемой энергии в координатах частота – угол прихода в горизонтальной плоскости, определенной с заданным усреднением. В сонограмме времени–угловой приход потоков энергии выделяется доминирующий угловой сектор с максимальной величиной секторной энергии. По ориентации доминирующего сектора принимается решение об угловом направлении на источник.

Итогом обработки являются показатель превышения энергии доминирующего углового сектора над средней секторной по всему горизонту, взвешенная оценка принятого направления на источник шума и параметры спектрального состава сигнала, формирующие совокупную энергию по принятому направлению.

### 3. Результаты обработки данных

#### 3.1 Обнаружение источника сигналов

На рис. 5 для проведенного эксперимента представлены сонограммы сигналов P, X, Y, Z, принятых каналами СВП донной станции на прямом галсе букировки излучателя. Спектры сигналов в сонограммах

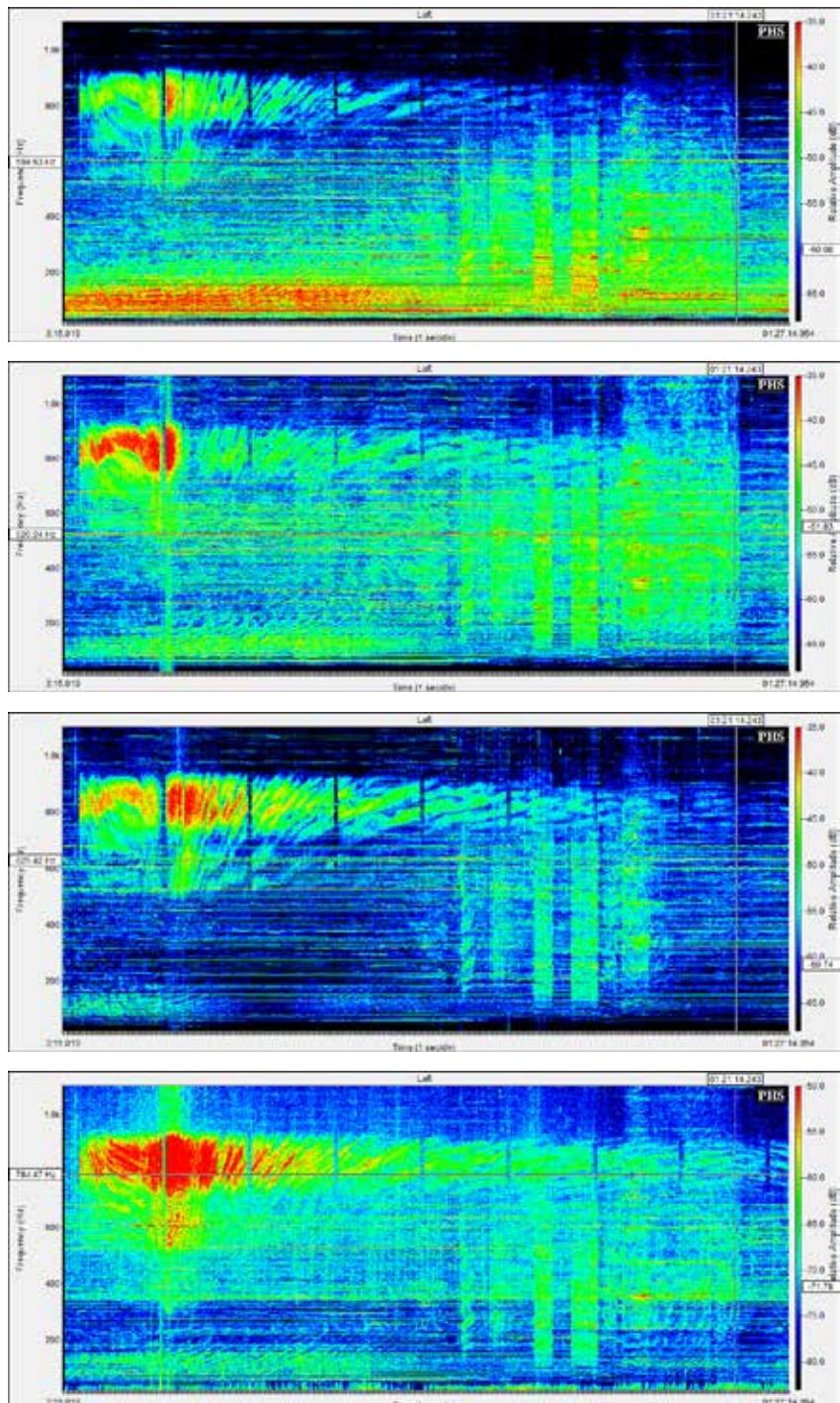


Рис. 5. Сонограммы сигналов, принятых станцией в течение галса на удаление.  
Сверху вниз: каналы P, X, Y, Z

макс получены в частотной полосе 20–1100 Гц, с частотным шагом БПФ 1,0 Гц и сглаживающим окном Hanning, без осреднения спектров.

На сонограммах рис. 5 изображена картина шумовой обстановки в акватории во всем частотном диапазоне работы приемной станции для всех каналов СВП в течение времени прямого галса. Источник излучает сигнал в полосе 500–900 Гц, но его производительность в нижней части (500–750 Гц) мала и визуально превышает фоновую помеху только в окрестности траверса (на дальностях первые сотни метров). Верхние частоты излучения (750–900 Гц) имеют более высокий уровень и наблюдаются в течение всего галса. Для этого диапазона можно дать сравнительную оценку помехоустойчивости каналов приемника. Кроме того, на акватории в наблюдаемом частотном диапазоне (20–1100 Гц) также видны шумовые сигналы и от других источников. На сонограммах вертикально выделяются 30-секундные паузы, в которых излучение буксируемого источника отсутствует. Цветовая гамма пауз определена действующей помехой в соответствующем канале. Положение периодических пауз четко связано с дальностью буксируемого источника, первая после траверса на дальности 780 м, последняя, шестая, – на дальности около 4700 м.

Как видно из рис. 5, максимальный уровень помех наблюдается в канале давления. Близким по уровню помехи является канал X, максимум чувствительности которого направлен на работающие

береговые сооружения. В этих каналах визуально определяются только паузы на дальностях менее 3210 м. Канал Y имеет меньшую помеху, поскольку ориентирован на посторонние источники зоной с низкой чувствительностью, и превышение сигнала излучателя над помехой наблюдается на максимальной дальности. Однако наибольшее отношение сигнал/помеха по всей трассе буксировки наблюдается в канале Z.

Выделим фрагменты сонограмм всех каналов на максимальной дальности излучателя от донной станции (рис. 6). На этих сонограммах для лучшего отражения структуры использована разная цветовая палитра – ширина палитры неизменна, но верхнему значению присвоены разные величины. При этом в каждой корректно отражается соотношение сигнал/помеха. Сонограммы приведены с частотным разрешением БПФ 0,122 Гц, без усреднения спектров, в частотном диапазоне 20–1100 Гц и имеют маркеры начала 30-секундной паузы излучения.

Далее сравним прием в скалярном канале давления и вертикальном векторном канале на различных дальностях. На рис. 7 приведены спектры помех (красная линия) и смеси сигналов и помех (синяя линия).

По данным рис. 6, 7 можно отметить, что в вертикальном канале обеспечивается лучший прием слабого сигнала, что обусловлено большим превышением сигнала над помехой (на 5–10 дБ) в сравнении с остальными каналами СВП.

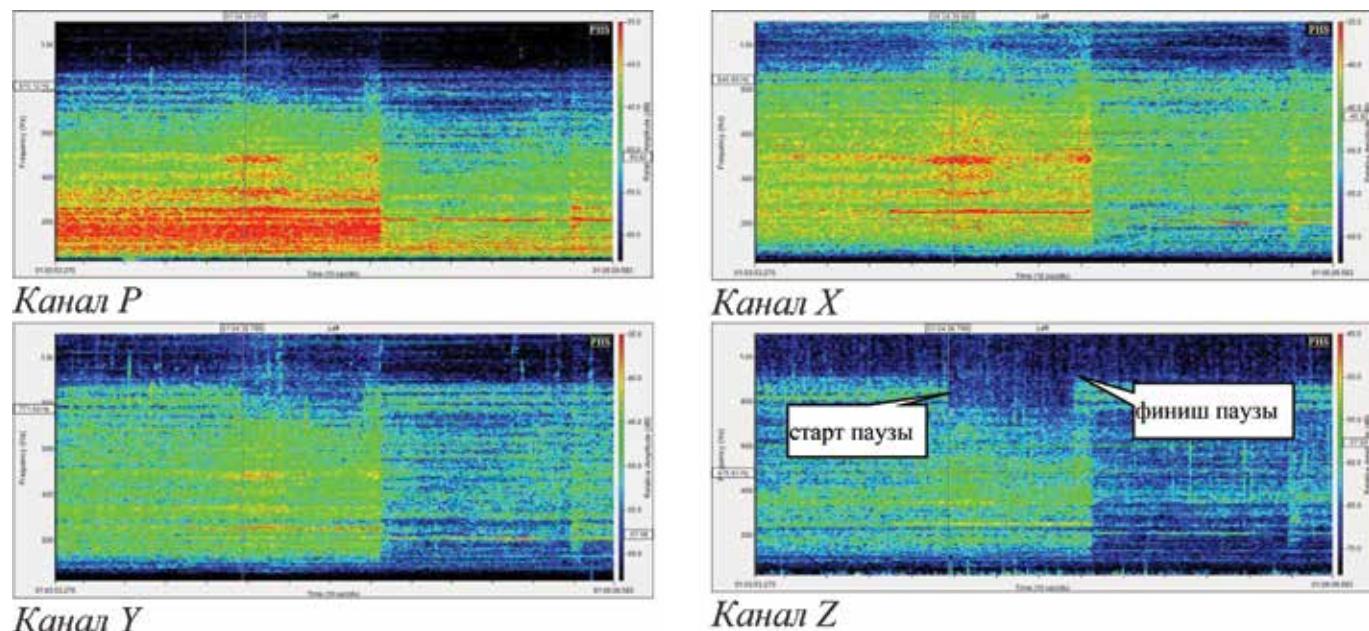


Рис. 6. Фрагменты сонограмм на максимальной дальности

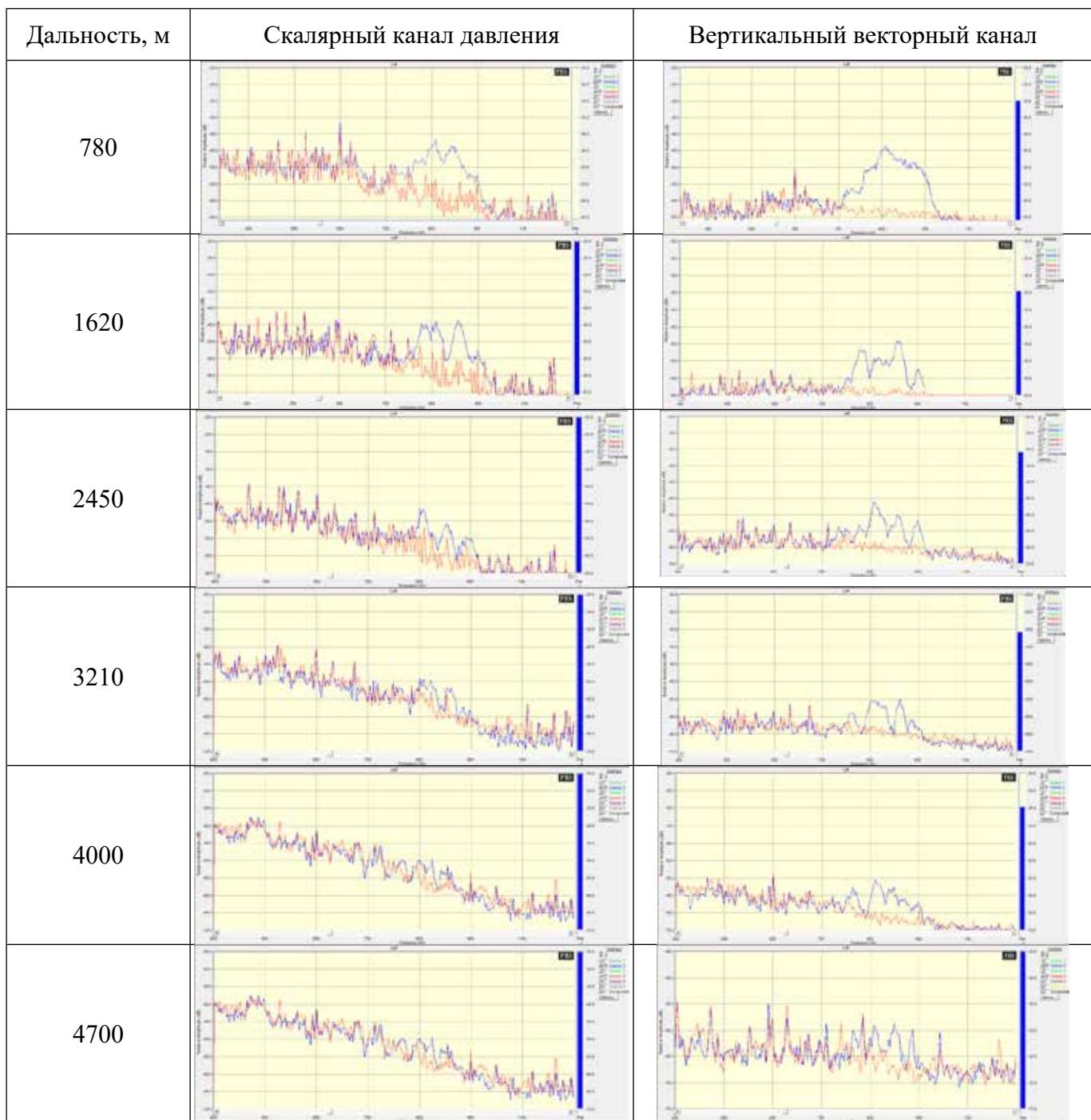


Рис. 7. Спектральные характеристики сигналов и помех на различных дальностях

### 3.2 Пеленгование источника сигналов

Общая картина углового распределения прихода потоков энергии во времени для обоих галсов проведенного эксперимента показана на рис. 8 при анализе принятых сигналов станцией во всей рабочей частотной полосе. Цветовой палитрой отражен уровень энергии. Картина распределения свидетельствует о наличии в акватории помимо излучателя еще нескольких источников шума. Так, отмечается работа

порта (по пеленгу 120 град) и движение нескольких судов.

Разделяя частотные диапазоны анализа на нижний (рис. 9) и верхний (рис. 10), можно выделять отдельные стационарные и движущиеся объекты на основе различий спектров их шумоизлучения.

При определении пеленга на буксируемый излучатель (рис. 10) наблюдаются также паузы излучения на дальности до 4000 м.

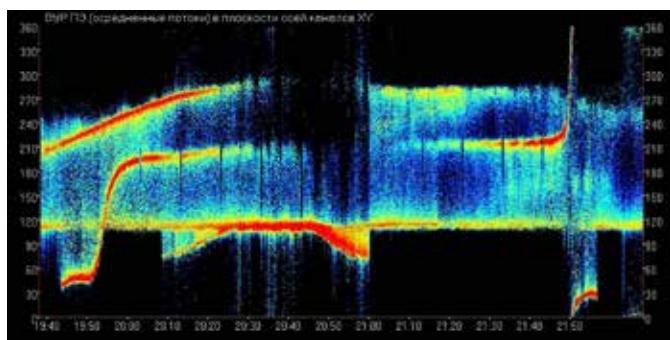


Рис. 8. Общая картина углового распределения прихода потоков энергии во время эксперимента в полосе частот 25–1000 Гц

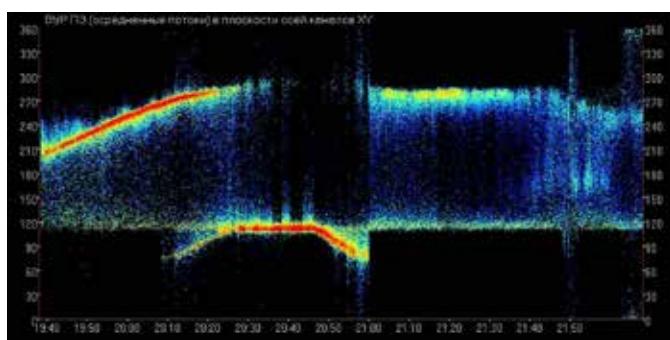


Рис. 9. Картина углового распределения прихода энергии во время эксперимента в полосе частот 100–300 Гц

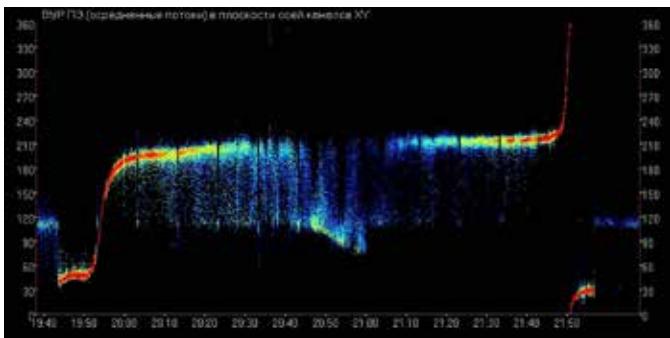


Рис. 10. Картина углового распределения прихода энергии во время эксперимента в полосе частот 700–900 Гц

## Заключение

Проведенный эксперимент подтвердил исключительные возможности применения СВП для наблюдения за подводной шумовой обстановкой в мелководной акватории с высоким уровнем антропогенных помех. Отмечено, что уровень интегральный действующей помехи, наблюдаемый в скалярном канале звукового давления СВП, в векторных каналах может быть значительно меньшим за счет их пространственной избирательности. Для условий проведенного эксперимента наиболее помехоустойчивым оказался вертикальный канал СВП, в котором

уровень помехи до 10–15 дБ ниже уровня скалярного канала.

Показана также возможность одновременного определения углового положения нескольких источников подводного шума и их разделения на основе различий спектральных характеристик шумоизлучения.

## Благодарности

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

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Гордиенко В.А., Ильичев В.И., Захаров Л.Н. Векторно-фазовые методы в акустике. М: Наука, 1989. 223 с.
- 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.
- Скребнев Г.К. Комбинированные гидроакустические приемники. СПб: Элмор, 1997. 200 с.
- Щуров В.А. и др. Мобильные акустические комбинированные приемные системы на основе автономных необитаемых подводных аппаратов // Подводные исследования и робототехника. 2012. № 2 (14). С 4–12.
- Селезнев И.А., Ясников А.И. Перспективы применения подводных гайдеров 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.
- Смарышев М.Д. О помехоустойчивости комбинированного акустического приемника // Акуст. журн. 2005. Т. 51, № 4. С. 558–559.
- Дзюба В.П. Скалярно-векторные методы в теоретической акустике. Владивосток: Дальнаука, 2006. 194 с.
- Гордиенко В.А., Гордиенко Е.Л., Краснописцев Н.А., Некрасов В.Н. Помехоустойчивость гидроакустических приемных систем, регистрирующих поток акустической мощности // Акуст. журн. 2008. Т. 54, № 5. С. 774–785.
- Селезнев И.А., Глебова Г.М., Жбанков Г.А., Мальцев А.М., Харахашян А.М. Вероятностные характеристики обнаружения сигналов одиночным скалярно-векторным модулем // Подводные исследования и робототехника. 2016. № 2 (22). С. 44–49.
- Захаров К.Л. Частотно-угловые характеристики гидроакустического сигнала при использовании векторно-фазового метода // Электронное научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление». 2014. Т. 10, № 3 (24). С. 7. URL: [www.gupravlenie.ru](http://www.gupravlenie.ru).
- Матвиенко Ю.В., Каморный А.В., Хворостов Ю.А. Об одном подходе к решению задачи обнаружения подводного источника шумовых сигналов // Подводные исследования и робототехника. 2018. № 2 (26). С. 37–43.

## Для цитирования:

Матвиенко Ю.В., Хворостов Ю.А., Каморный А.В. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СКАЛЯРНО-ВЕКТОРНОГО ПРИЕМНИКА ЗВУКА В РЕЖИМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПЕЛЕНГОВАНИЯ ИСТОЧНИКА ПОДВОДНОГО ШУМА // Подводные исследования и робототехника. 2025. № 3 (53). С. 31–39. DOI: 10.37102/1992-4429\_2025\_53\_03\_03. EDN: NRFODQ.

## Сведения об авторах

**МАТВIЕНКО 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: yumat33@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



DOI: 10.37102/1992-4429\_2025\_53\_03\_03

# EXPERIMENTAL STUDIES OF SCALAR-VECTOR SOUND RECEIVER OPERATION IN THE MODES OF UNDERWATER NOISE SOURCE DETECTION AND DIRECTION FINDING

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

An experiment in shallow water area for receiving signals of a moving underwater source of noise signals by a scalar-vector receiver placed on board of a stationary bottom station is described. Signal-to-noise ratios in vector and scalar channels of the receiver at different source ranges are analyzed. Significantly different levels of anisotropic noise in the receiver channels and the possibility of achieving a 6-10 dB advantage in the signal-to-noise ratio by the vector channel over the scalar channel at minimum values of active anisotropic noise are noted. The angular arrival of noise emission energy from the source during its movement was analyzed, additional noise emitting objects in the controlled water area were detected and the possibility of differentiation between noise sources based on the composition of the emitted spectrum was shown.

**Keywords:** scalar vector sound receiver, signal-to-noise ratio, detection and direction finding of underwater noise source.

## References

1. Gordienko V.A., Il'ichev V.I., Zakharov L.N. Vector-phase methods in acoustics. Moscow: Nauka, 1989. 223 p.
2. Matvienko Yu.V., Khvorostov Yu.A., Kuleshov V.P. Features of the use of scalar-vector sound receivers in systems for monitoring the underwater environment of local areas // Underwater Research and Robotics. 2022. No. 4 (42). Pp. 4–15. DOI: 10.37102/1992-4429\_2022\_42\_04\_01. EDN: CAMOFW.
3. Skrebnev G.K. Combined hydroacoustic receivers. St. Petersburg: Elmor, 1997. 200 p.
4. Shchurov V.A. et al. Mobile acoustic combined receiving systems based on autonomous unmanned underwater vehicles. Underwater Research and Robotics. 2012. No. 2 (14). Pp. 4–12.
5. Seleznev I.A., Yasnikov A.I. Prospects for the use of underwater gliders for oceanography and underwater environment monitoring. Review based on foreign literature. Underwater Research and Robotics. 2023. No. 1 (43). Pp. 4–13. DOI: 10.37102/1992-4429\_2023\_43\_01\_01. EDN: HPVCMN.
6. Smaryshev M.D. On the noise immunity of a combined acoustic receiver. Acoustical Journal. 2005. Vol. 51, No. 4. Pp. 558–559.
7. Dzyuba V.P. Scalar-vector methods in theoretical acoustics. Vladivostok: Dalnauka, 2006. 194 p.
8. Gordienko V.A., Gordienko E.L., Krasnopistsev N.A., Nekrasov V.N. Noise immunity of hydroacoustic receiving systems registering the flow of acoustic power. Acoustical Journal. 2008. Vol. 54, No. 5. Pp. 774–785.
9. Seleznev I.A., Glebova G.M., Zhabkov G.A., Maltsev A.M., Kharakhashyan A.M. Probabilistic characteristics of signal detection by a single scalar-vector module. Underwater Research and Robotics. 2016. No. 2 (22). Pp. 44–49.
10. Zakharov K.L. Frequency-angular characteristics of a hydroacoustic signal using the vector-phase method. Electronic scientific publication "Sustainable Innovative Development: Design and Management," www.rypravlenie.ru, 2014. Vol. 10, No. 3 (24). Art. 7.
11. Matvienko Yu.V., Kamornyi A.V., Khvorostov Yu.A. On one approach to solving the problem of detecting an underwater source of noise signals. Underwater Research and Robotics. 2018. No. 2 (26). Pp. 37–43.

## 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
- KHGORSTOV 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:** greatsania@mail.ru  
**ORCID:** 0000-0002-9851-2826