

КРАТКИЕ
СООБЩЕНИЯ

УДК 534.322:551.463.222

**О СРАВНИТЕЛЬНОЙ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ПРИЕМНИКОВ
ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ, КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ И ПОТОКА
МОЩНОСТИ В ДВИЖУЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ**

© 1995 г. В. И. Коренбаум

Научно-исследовательский физико-технический институт
при Дальневосточном государственном университете

690600 Владивосток, ул. Уборевича, 25

Поступила в редакцию 01.09.94 г.

Высокая восприимчивость к воздействию помех обтекания ограничивает возможности применения векторных и комбинированных приемников в составе буксируемых сейсмоакустических антенн в низкочастотной области [1]. неоднократно высказывались предложения [2, 3], что переход к регистрации потока мощности позволит добиться существенного превышения помехозащищенности комбинированного приемника по сравнению с соответствующим приемником давления. С целью выяснения и количественной оценки указанных возможностей проведен натурный эксперимент, в ходе которого исследовались два одиночных комбинированных приемника (КП) диаметром 30 мм и длиной 70 мм каждый, содержащие по одному каналу колебательной скорости, ориентированному ортогонально направлению потока жидкости, и одному каналу давления.

В ходе эксперимента КП буксировались на гибком кабеле общей длиной около 30 м за кормой парусной яхты со скоростями 1.5 - 4 м/с. Диаметр кабеля близок к диаметру КП. Как показывают оценки чисел Рейнольдса, обтекание КП имело выраженный турбулентный характер. Запись откликов каналов КП на воздействие потока жидкости осуществлялась на магнитофоне А-1014 SONY. Дальнейший спектральный и численный анализ выполнялись с помощью специализированного аппаратно-программного комплекса на персональном компьютере IBM PC/AT 286. При этом, для определения потока мощности (точнее говоря, спектральной плотности вещественной части потока мощности) использовалась математическая процедура вычисления взаимного спектра каналов давления и колебательной скорости.

Помехозащищенности канала колебательной скорости κ_v и приемника потока мощности κ_{pv} определялись относительно канала давления по соотношениям вида:

$$\kappa_v = \frac{C_{v^2}}{\Pi_{v^2}} : \frac{C_{p^2}}{\Pi_{p^2}}, \quad \kappa_{pv} = \frac{\text{Re}(C_p C_v)}{\text{Re}(\Pi_p \Pi_v)} : \frac{C_{p^2}}{\Pi_{p^2}}, \quad (11)$$

где C_v, C_p – уровни сигналов на выходах каналов колебательной скорости и давления соответ-

ственно Π_v, Π_p – уровни помех для тех же приемных трактов.

С целью упрощения эксперимента, путем предварительной многоэтапной калибровки и введения корректировочных коэффициентов передачи, чувствительности каналов КП по звуковому давлению в плоской волне были выравнены в исследуемом диапазоне частот. При этом среднеквадратическая погрешность корректировки чувствительностей каналов заведомо не превышала 2.5 дБ. Таким образом, для оценки помехозащищенностей (1) оказалось достаточным определить отношения:

$$\kappa_v = \frac{\Pi_{p^2}}{\Pi_{v^2}}, \quad \kappa_{pv} = \frac{\Pi_{v^2}}{\text{Re}(\Pi_p \Pi_v)}. \quad (12)$$

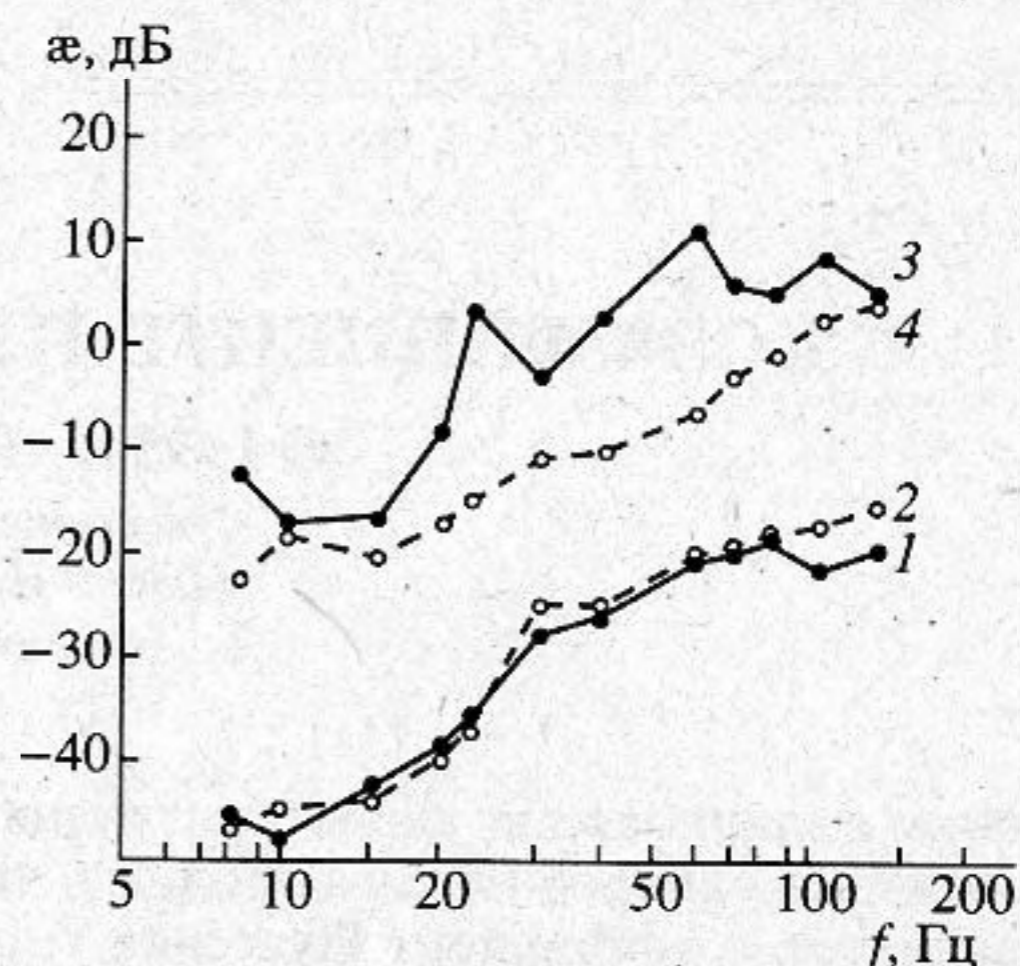
Для определения сравнительной помехозащищенности (2) каналов КП использовались как средние уровни помех – $M(\Pi_{v^2}), M(\Pi_{p^2}), M(\text{Re}(\Pi_p \Pi_v))$, где M – математическое ожидание, так и среднеквадратичные отклонения (СКО) – $D^{1/2}(\Pi_{v^2}), D^{1/2}(\Pi_{p^2}), D^{1/2}(\text{Re}(\Pi_p \Pi_v))$, где D – дисперсия.

Вычисление средних уровней и среднеквадратичных отклонений (СКО) помехи производилось по 10 интервалам наблюдения длительностью по 8 сек каждый. Результаты вычислений в логарифмической форме ($10 \lg \kappa_v, 10 \lg \kappa_{pv}$) в зависимости от частоты для скорости потока 1.5 м/с приведены на рисунке.

Анализ приведенных графиков свидетельствует, что помехозащищенность канала колебательной скорости уступает помехозащищенности канала давления как по средним (кривая 1), так и по СКО (кривая 2) на величину 45 - 15 дБ во всем диапазоне частот 8 - 130 Гц, в котором по данным измерений доминируют помехи обтекания. Причем следует оговориться, что под помехами обтекания в данном случае понимается совокупность воздействий турбулентных пульсаций давления непосредственно на корпус КП и вынуждаемых ими вибрационных колебаний гибкого кабеля, на котором буксируются КП.

Перейдем теперь к анализу кривых 3, 4 (рисунок), характеризующих сравнительную помехозащищенность приемника потока мощности. Обращает на себя внимание значительное снижение среднего уровня помех по сравнению с каналом колебательной скорости, достигающее величины 25 - 30 дБ. Поскольку направленные свойства по полезному сигналу для приемника потока мощности и канала колебательной скорости остаются идентичными, то на основе полученных экспериментальных результатов можно рассматривать применение обработки сигналов по потоку мощности как весьма эффективный метод борьбы с помехами обтекания векторных приемников. Что касается сравнения помехозащищенности приемника потока мощности и канала давления, то поведение кривых 3, 4 характеризуется наличием некоторой граничной частоты f_0 , ниже которой помехозащищенность приемника потока мощности уступает каналу давления, а выше — превосходит. Значения f_0 для скорости потока 1.5 м/с составляют при оценке по средним уровням 25 - 40 Гц, по СКО — 85 - 90 Гц. Абсолютный выигрыш в помехозащищенности приемника потока мощности по сравнению с каналом давления по средним уровням для частот $f > f_0$ достигает 3 - 10 дБ. При оценке по СКО выигрыш существенно снижается, составляя не более 3 - 4 дБ. Следует отметить, что разница полученных численных характеристик помехозащищенности для двух исследованных КП не превышает 1 - 1.5 дБ. При увеличении скорости потока до 3 - 4 м/с значения f_0 смещаются в более высокочастотную область, выигрыш помехозащищенности по средним уровням снижается до 2 - 3 дБ, а по СКО исчезает вовсе.

С точки зрения физики процесса, воздействие турбулентных пульсаций давления на одиночный КП возможно представить в виде некоторого мультипольного источника, который в соответствии с разложением по полиномам Лежандра [3] может быть заменен монопольной и дипольной составляющими (источники более высоких порядков при грамотном построении КП влияют слабо). Воздействие на КП возбуждаемых потоком изгибных вибраций кабеля также может быть представлено эквивалентным дипольным источником. Поскольку вклады монопольного и дипольного источников математически ортогональны, то для идеальных приемников звукового давления и колебательной скорости вещественная часть потока мощности при достаточно большом интервале усреднения по времени стремиться к бесконечно малой величине в полном соответствии с теоретическим результатом [2]. Однако, экспериментальные данные свидетельствуют, что если канал колебательной скорости КП, выполненный по инерционной схеме [1], реагирует в основном на дипольные составляющие, будучи практически не чувствителен к монополь-



Сравнительная помехозащищенность КП относительно канала давления при скорости потока 1.5 м/с: 1 — канал колебательной скорости по средним уровням; 2 — канал колебательной скорости по СКО; 3 — приемник потока мощности по средним уровням; 4 — приемник потока мощности по СКО.

ным, то канал давления за счет паразитной вибрационной чувствительности, помимо монопольной составляющей, ощутимо воспринимает и дипольную. Таким образом, неидеальность свойств реальных акустических датчиков, связанных в основном с паразитной чувствительностью канала давления к осцилляциям, приводит к появлению остаточной корреляции откликов каналов давления и колебательной скорости и ограничивает потенциальные возможности подавления помех обтекания за счет обработки по потоку мощности.

На основании изложенного можно констатировать, что проведенными исследованиями:

- экспериментально зарегистрирован физический эффект, связанный с подавлением помех обтекания векторного приемника при использовании обработки по потоку мощности, достигающий 25 - 30 дБ по сравнению с каналом колебательной скорости;
- экспериментально установлено существование диапазонов частот и скоростей, в которых помехозащищенность одиночного приемника потока мощности от помех обтекания превышает помехозащищенность канала давления на величину, превосходящую возможную случайную погрешность оценок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коренбаум В.И. Особенности применения градиентных приемников в буксируемых сейсмоакустических антеннах — в сб: Методы и средства гидрофизических исследований океана. Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 1992. С. 77.
2. Петровский В.С. Нестационарные задачи гидроакустики. Л.: Судостроение. 1988. С. 11.
3. Гордиенко В.А., Ильичев В.И., Захаров Л.Н. Векторно-фазовые методы в акустике. М.: Наука, 1989. С. 196.