

## Векторно-скалярные характеристики структурной помехи в строительных конструкциях

Г.М. Глебова<sup>1</sup>, Г.А. Жбанков<sup>1</sup>, Т.Н. Ларина<sup>2</sup>, А.М. Харахашьян<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

<sup>2</sup>Ростовский государственный строительный университет

**Аннотация:** В различных методах неразрушающего контроля, работающих с деформационными полями, точность диагностики во многом зависит от интенсивности структурной помехи, возникающей на мелкомасштабных неоднородностях конструкции. В данной работе исследуется эффективность использования векторно-скалярных приемных систем при проведении вибродиагностики и дефектоскопии строительных конструкций. С использованием компьютерного моделирования выполнен сравнительный анализ флуктуаций скалярной и потоковой компонент акустического поля структурной помехи, подавление которой способствует более точной локализации дефектов конструкции. Исследование проведено с учетом того, что потоковая компонента акустического поля, для которой интенсивность структурной помехи минимальна, измеряется не непосредственно, а с использованием двух датчиков: скалярного и векторного. Показано, что использование потоковой компоненты позволяет повысить эффективность обнаружения и локализации источника деформационного поля.

**Ключевые слова:** дефектоскопия, структурная помеха, флуктуации, компоненты акустического поля, поток мощности.

### Введение

В настоящее время в различных областях акустики интенсивно исследуются векторно-скалярные приемные системы. В работе [1] дано обоснование эффективности использования таких приемных систем при исследовании деформационных полей, возникающих в различных конструкциях и представляющих опасность для жизнедеятельности человека. В ряде работ показано, что измерение скалярной и векторной компонент акустического поля позволяет существенно повысить помехоустойчивость приемных систем и точность локализации источников шума [2-6]. Кроме того, в настоящее время создание приемных элементов, измеряющих векторную компоненту акустического поля, вышло на производственный уровень [7, 8], что позволяет использовать векторно-скалярные приемные системы для решения прикладных задач в области

---

неразрушающего контроля. Эффективность обнаружения дефектов, присутствующих в конструкции зависит от характеристик структурного шума и способов пространственно-временной обработки сигналов. Структурный шум на приемном преобразователе формируется как суперпозиция сигналов, отраженных от мелкомасштабных неоднородностей, присутствующих в конструкциях [9]. Физическая модель структурного шума в виде суммы независимых случайных величин, представляющих собой элементарные источники, распределенные в пространстве по заданному закону, позволяет рассчитать ряд характеристик акустических полей, например мощности акустических компонентов поля [10, 11]. Однако, характеристики потока мощности, полученные теоретически, могут существенно отличаться от характеристик, полученных на основе измерений, осуществляемых аппаратурой.

### Описание модели

Будем рассматривать одиночный векторно-скалярный приемный модуль, состоящий из приемника давления и трех ортогональных векторных приемников. Обозначим рассчитанные мощности давления, колебательной скорости и потока мощности через  $P^2$ ,  $V^2$  и  $W = P \cdot V$ , соответственно. Для векторных компонент  $V^2 \underline{V}^2 P^2 P_k^2 / k$ . Значение коэффициента  $k > 1$  и зависит от ориентации оси векторного приемника, геометрических размеров и физических параметров исследуемой конструкции. В соответствии с моделью, использованной в [4], определяются мощности взаимной ковариации компонент акустического поля для конкретных геометрических параметров конструкции.

Чтобы сравнить помехоустойчивость приемника давления и приемника, измеряющего поток мощности, промоделируем работу одиночного векторно-скалярного модуля и сравним его характеристики при

---

использовании скалярной компоненты поля и потока мощности. Допустим, что направление прихода сигнала от дефекта совпадает с осью векторного приемника. Данное предположение не уменьшает общности в постановке задачи, так как наличие трех ортогональных векторных приемников обеспечивает выполнение этого условия. Одной из основных характеристик обнаружителя является отношение сигнал/помеха на выходе приемного устройства

$$s / n = \frac{\Phi(s)}{\sigma[\Phi(n)]}, \quad (1)$$

где  $\Phi(s)$ - среднее значение на выходе устройства обнаружения при приеме только сигнала от источника,  $\sigma[\Phi(n)]$ – среднеквадратическое отклонение на выходе приемного устройства при приеме только шумовой составляющей. Таким образом., различия в помехоустойчивости определяются различием флуктуаций (дисперсий) скалярной и потоковой компонент, поскольку значение числителя в выражении (1) одинаково как при работе с потоковой, так и скалярной компонентой поля. Рассчитаем дисперсию потока мощности с учетом того, что устройство, измеряющее поток мощности, измеряет давление  $p$  и векторную компоненту  $v$  «отдельно» по разным приемным каналам. Для измеряемых величин известно, что они распределены по гауссу, для давления это общепринятое предположение. Для векторной компоненты, которая пропорциональна градиенту давления, это предположение также правомерно, так как градиент от нормально распределенной величины также имеет нормальное распределение. Предположим, что давление характеризуется нулевым средним и среднеквадратическим отклонением  $\sigma=1$ . Для общности положим, что шум пространственно изотропен, поэтому  $V^2=P^2/k$ , параметры распределения векторной компоненты равны  $(0, 1/\sqrt{k})$ .

---

## Результаты расчетов

Расчет статистических характеристик выходного сигнала по скалярной и потоковой компонентам акустического поля структурной помехи выполнялся с помощью моделирования случайных величин  $x = \sum_{i=1}^N p_i \cdot p_i^*$  и  $y = \sum_{i=1}^N p_i \cdot v_i^*$ , которое повторялось 2000 раз. Затем рассчитывались средние значения и дисперсии величин  $x$  и  $y$  в зависимости от объема выборки  $N$ . В реальных измерениях  $N = \Delta f \cdot \Delta t$ , где  $\Delta f$  – полоса пропускания частотного фильтра, а  $\Delta t$  время наблюдения. Полученные значения, нормированные на  $\bar{x}$ , приведены в таблице 1.

Таблица 1

Средние значения и среднеквадратические отклонения скалярной и потоковой компонент поля для различного объема выборки

$N$	4	10	50	100	400	1000
$\bar{x}$	1	1	1	1	1	1
$\sigma(x)$	0.87	0.71	0.48	0.40	0.28	0.22
$ \bar{y} $	0.008	0.003	0.002	0.002	0.0007	0.0001
$\sigma(y)$	0.19	0.12	0.06	0.04	0.02	0.01

Для более наглядного сравнительного анализа зависимостей флуктуаций различных компонент структурной помехи ( $\sigma(x)$ ,  $\sigma(y)$ ) от объема выборки приведен рис. 1. На нем также приведены зависимости  $1/\sqrt{N}$  и  $1/\sqrt[4]{N}$ .

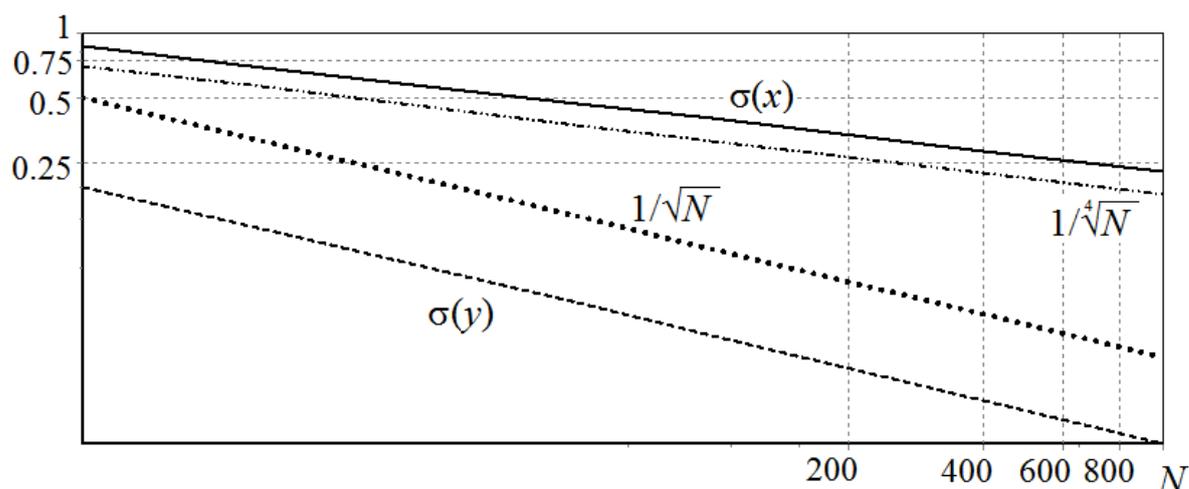


Рис.1. – Зависимость среднеквадратических ошибок оценок мощности давления  $\sigma(x)$  и потока мощности  $\sigma(y)$ , а также теоретические кривые  $1/\sqrt{N}$  и  $1/\sqrt[4]{N}$  при различном объеме выборки

### Заключение

Показано, что для потока мощности среднее значение больше среднеквадратической ошибки  $\bar{y} > \sigma(y)$  и  $\sigma(x)$  пропорционально  $1/\sqrt[4]{N}$ , а  $\sigma(y)$  пропорционально  $1/\sqrt{N}$ . Выигрыш для отношения сигнал/помеха при использовании потока мощности зависит от объема выборки и пропорционален  $\sqrt[4]{N}$ . Как следствие, использование потоковой компоненты может повысить помехоустойчивость векторно-скалярной приемной системы и точность локализации дефектов в конструкции.

### Литература

1. Сперанский А.А., Захаров К.Л., Малютин Д.В. Фундаментальный подход к реконструкции механических полей для оценки эксплуатационных свойств изделий оборонпрома // Научно-техн. журнал Двигатель. 2009. № 3 (63). С. 24-28.



2. Глебова Г.М., Жбанков Г.А., Селезнев И.А. Анализ характеристик обнаружения сигнала векторно–скалярной приемной системой антенны // Научно-техн. сб. Гидроакустика. 2014. Вып. 19 (1). С. 68-78.
  3. Аверьянов А.В., Глебова Г.М. Моделирование пространственных спектров на выходе векторно–скалярной приемной системы, работающей на фоне шумов моря // Инженерный вестник Дона, 2011, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/335/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/335/).
  4. Аверьянов А.В., Глебова Г.М., Шимко О.Е. Анализ точности определения параметров источника векторно-скалярными антеннами // Инженерный вестник Дона, 2011, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/430](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/430).
  5. Винник Е.В., Глебова Г.М., Ларина Т.Н. Сравнение разрешающей способности метода Прони и Бартлетта при работе на фоне шумов моря // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1976](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1976).
  6. Ларина Т.Н., Глебова Г.М., Винник Е.В. Модификация метода Прони при приеме сигналов векторно–скалярной антенной. // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1094](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1094).
  7. Гордиенко В.А. Векторно-фазовые методы в акустике. – М.:Физматлит, 2007. – 480 с.
  8. Glebova G.M., Averyanov A.V., Kuznetsov G.N. Experimental study of the directional characteristics of vector–scalar array // Acoustical Physics. 2011. V. 57(5). pp. 696-708.
  9. Шалимова Е.В. Пространственно-временная обработка широкополосных сигналов в ультразвуковой дефектоскопии: Дис. ... канд.техн.наук. (05.12.04. – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения). Москва: Московский энергетический университет, 2005, 162 с.
-



10. Glebova G. M., Kuznetsov G. N., Shimko O. E., Vector-scalar noise fields formed by an excited sea surface // *Acoustical Physics*. 2013. V. 59(4). pp. 453-463.
11. Глебова Г.М., Жбанков Г.Н., Харахашьян А.М., Селезнев И.А. Векторно-скалярные акустические поля в ближней зоне вибрирующей пластины // *Научно-техн. сб. Гидроакустика*. 2015. Вып. 21 (2). С. 37-45.

### Reference

1. Speranskiy A.A., Zakharov K.L., Malyutin D.V. *Nauchno-tekhn. zhurnal Dvigatel*. 2009. № 3 (63). pp. 24-28.
2. Glebova G.M., Zhbankov G.A., Seleznev I.A. *Nauchno-tekhn. sb. Gidroakustika*. 2014. Вып. 19 (1). pp. 68-78.
3. Aver'yanov A.V., Glebova G.M. *Inzhenernyj vestnik Dona (Rus)*. 2011. № 1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/335/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/335/).
4. Aver'yanov A.V., Glebova G.M., Shimko O.E. *Inzhenernyj vestnik Dona(Rus)*. 2011. № 2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/430](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/430).
5. Vinnik E.V., Glebova G.M., Larina T.N. *Inzhenernyj vestnik Dona(Rus)*. 2013. № 4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1976](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1976).
6. Larina T.N., Glebova G.M., Vinnik E.V. *Inzhenernyj vestnik Dona(Rus)*. 2012. №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1094](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1094).
7. Gordienko V.A. *Vektorno-fazovye metody v akustike [Vector-phase methods in acoustics]*. M.:Fizmatlit, 2007. 480 p.
8. Glebova G.M., Averyanov A.V., Kuznetsov G.N. Experimental study of the directional characteristics of vector-scalar array. *Acoustical Physics*. 2011. V. 57(5). pp. 696-708.
9. Shalimova E.V. *Prostranstvenno-vremennaya obrabotka shirokopolosnykh signalov v ul'trazvukovoy defektoskopii [Spatio-temporal processing of wideband signals in the ultrasonic defectoscopy]*: Dis. ... kand.tekhn.nauk. (05.12.04. –



Radiotekhnika, v tom chisle sistemy i ustroystva televideniya). Moskva: Moskovskiy energeticheskiy universitet, 2005, 162 p.

10. Glebova G. M., Kuznetsov G. N., Shimko O. E., Vector-scalar noise fields formed by an excited sea surface. Acoustical Physics. 2013. V. 59(4). pp. 453-463.

11. Glebova G.M., Zhbankov G.N., Kharakhash'yan A.M., Seleznev I.A. Nauchno-tekhn. sb. Gidroakustika. 2015. Vyp. 21 (2). pp. 37-45.