

П.П. Пивнев

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИГНАЛОВ В АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ

Была поставлена задача повышения дальности действия акустических систем с параметрическими антеннами в мелком море (плоском естественном волноводе) и в искусственных волноводах. Нами предложено использовать многокомпонентные сигналы накачки для повышения дальности действия. Однако в средах с дисперсией, которыми являются волноводы, необходимо провести исследования, разрушается ли сигнал в волноводе или нет, и применить меры по увеличению дальности действия.

Ранее [1–3] было показано, что увеличение эффективности генерации волн при нелинейном взаимодействии в низкочастотном диапазоне волн разностной частоты возможно применением взаимодействия многокомпонентных сигналов накачки. При этом генерируется многокомпонентный сигнал волн разностной частоты.

В этих работах показано, что вычисление сигнала волны разностной частоты можно производить, используя выражение

$$P_{-} = \sum_{m=1}^{n-m} P_m, \quad (1)$$

где P_m – амплитуда m -й компоненты волны разностной частоты, равная

$$P_m = \sum_{k=1}^{n-m} A_{k,k+m} p_k p_{k+m}, \quad (2)$$

где n – количество компонент; m – номер компоненты сигнала разностной частоты ($m_{\max} = n-1$); p_k, p_{k+m} – амплитуда взаимодействующих волн.

$$A_{k,k+m} = B_{k,k+m} I_{k,k+m}, \quad (3)$$

где $B_{k,k+m}$ – коэффициент, учитывающий параметры нелинейного взаимодействия волн, равный

$$B_{k,k+m} = \frac{a^2 \varepsilon m \Omega}{8 c_m^4 \rho} \exp\left(-\frac{z}{L_{zm}}\right); \quad (4)$$

$$I_{k,k+m} = i \cdot \int_0^z \frac{\exp(-\alpha z (1 - i \Delta D))}{\left(1 - i \cdot \frac{z-y}{L_{dm}}\right) + y \cdot \left(\frac{2 \cdot i \cdot L_{dm}}{l_{dk} \cdot l_{dk+1}} + \frac{z}{l_{dk} \cdot l_{dk+1}}\right)} dy, \quad (5)$$

где $l_{dk} = \frac{a^2 \omega_k}{2 c_k}$, $l_{dk+1} = \frac{a^2 \omega_{k+1}}{2 c_{k+1}}$ – длина зоны дифракции k -й и $k+1$ -ой компоненты волн

накачки; $L_{dm} = \frac{a^2 m \Omega}{4 c_m}$ – длина зоны дифракции m -й компоненты ВРЧ;

$\alpha = \left(\frac{2 c_m^3 \rho}{b(m \Omega)^2}\right)^{-1}$ – коэффициент затухания m -той компоненты ВРЧ; c_m, c_k, c_{k+1} – скорость звука m -й компоненты ВРЧ, k -й и $k+1$ -ой компоненты волн накачки соответственно,

$\Delta D_m = (k_j - k_{j+1} - K_m) L_{zm}$ – изменение фазового сдвига между взаимодействующими волнами на расстоянии, пропорциональном L_{zm} для компонент сигнала, ΔD_m – характеризует дисперсионные свойства среды и определяет период осцилляций и амплитуду ВРЧ.

Проведем анализ поведения компонент волн разностной частоты в волноводах для следующих параметров компонент сигнала и параметров среды: сигнал накачки десятикомпонентный, частота каждой компоненты сигнала разностной частоты 3кГц, диапазон частот компонент волн накачки 120–147 кГц, сигнал распространяется в плоском волноводе с акустически жесткими стенками шириной $h=0,5$ м.

Фазовая скорость волны в таком волноводе вычисляется по формуле [5]

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{1 - (l \cdot \pi / k \cdot h)^2}}, \quad (6)$$

где $k = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{c_0}$ – волновое число, l – номер моды, h – ширина волновода.

Зная закон изменения фазовой скорости от частоты в плоском волноводе, получим для этого случая в формуле (4)

$$c_m = \frac{c_0}{\sqrt{1 - (l \pi / k_m h)^2}}, \quad k_m = \frac{m \Omega}{c_0}. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (4), получим

$$B_{k,k+m} = \frac{a^2 \varepsilon m \Omega (1 - (l \pi / k_m h)^2)^2}{8 c_0^4 \rho} \exp\left(-\frac{z}{L_{zm}}\right). \quad (8)$$

В формуле (5) перепишем значения l_{dk} , l_{dk+1} , L_{dm} , α с учетом того что

$$c_k = \frac{c_0}{\sqrt{1 - (l \pi / k_k h)^2}}, \quad k_k = \frac{\omega_k}{c_0}; \quad c_{k+1} = \frac{c_0}{\sqrt{1 - (l \pi / k_{k+1} h)^2}}, \quad k_{k+1} = \frac{\omega_{k+1}}{c_0};$$

$$c_m = \frac{c_0}{\sqrt{1 - (l \pi / k_m h)^2}}, \quad k_m = \frac{m \Omega}{c_0}.$$

Получим

$$l_{dk} = \frac{a^2 \omega_k \sqrt{1 - (l \pi / k_k h)^2}}{2 c_0}; \quad l_{dk+1} = \frac{a^2 \omega_{k+1} \sqrt{1 - (l \pi / k_{k+1} h)^2}}{2 c_0};$$

$$L_{dm} = \frac{a^2 m \Omega \sqrt{1 - (l \pi / k_m h)^2}}{4 c_0}; \quad \alpha = \frac{b(m \Omega)^2}{2 c_0^3 \rho (1 - (l \pi / k_m h)^2)^{3/2}}.$$

Зависимость фазовой скорости от частоты в плоском волноводе с акустически жесткими стенками шириной $h=0,5$ м представлена на рис. 1.

Вертикальными штрихпунктирными линиями обозначены частоты компонент разностного сигнала.

Компоненты сигнала разностной частоты попадают в область сильной дисперсии. Из рис. 1 видно, что разные компоненты сигнала ВРЧ имеют разные фазовые скорости.

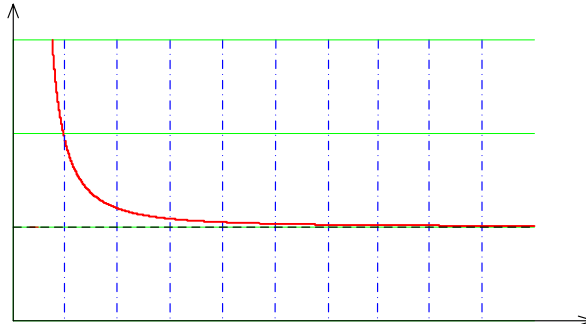


Рис. 1. Зависимость фазовой скорости от частоты для плоского волновода с абсолютно жесткими стенками шириной $h=0,5\text{ м}$ $c(f)$, м/с

На рис. 2,а представлены времена прихода каждой компоненты сигнала ВРЧ в точку, лежащую на оси излучения на расстоянии 5 м от излучателя. Из рис. 2,а видно, что уже на расстоянии 5 м время прихода компонент сигнала ВРЧ различно. Следовательно, сигнал ВРЧ затягивается во времени.

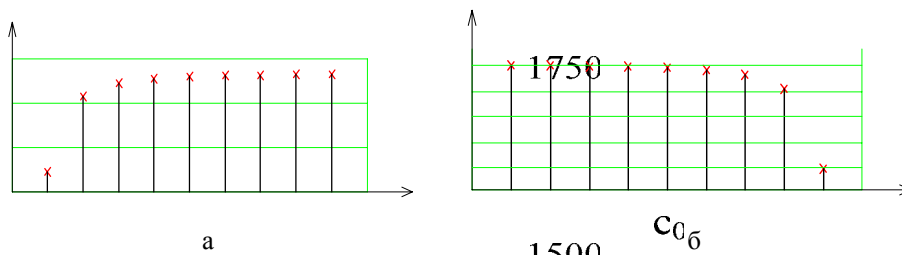


Рис. 2. Времена прихода каждой компоненты сигнала ВРЧ в точку, лежащую на оси излучения на расстоянии 5 метров от излучателя (а), задержки сигнала ВРЧ в точке излучения(б)

Длительность сигнала ВРЧ в волноводе шириной 0,5 м уже на расстоянии 5 м на 0,45 мс больше длительности сигнала ВРЧ, распространяющегося в безграничной среде. Вышеизложенное подтверждает тот факт, что в волноводе происходит затягивание сигнала.

Таким образом, различные компоненты сигнала ВРЧ приходят в точку пространства в различное время, что приводит к изменению формы сигнала.

Если излучить многокомпонентный сигнал с задержками, такими, чтобы компоненты сигнала ВРЧ начали распространяться с задержками, представленными на рис. 2,б, то в точке, лежащей на оси излучения на расстоянии 5 м от излучателя, компоненты сигнала ВРЧ «догонят» друг друга.

Приведем ниже методику повышения дальности действия ГА-аппаратуры с параметрическими антеннами в волноводах.

Для повышения дальности действия ГА-аппаратуры с параметрическими антеннами в волноводах необходимо:

1. Определить закон дисперсии фазовой скорости в волноводе.
2. Произвести расчет задержек, с которыми компоненты сигнала ВРЧ приходят в точку z, лежащую на оси излучения на расстоянии L от излучателя.
3. Зеркально отобразить эти задержки.

4. Сформировать такой сигнал накачки, чтобы сигнал ВРЧ начал распространяться с полученными задержками.

5. Тогда сигнал ВРЧ максимально сожмется в заданной точке L, а его компоненты придут в эту точку одновременно.

Итак, зная закон дисперсии в волноводе, можно сформировать сигнал определенной формы, такой, чтобы в некоторой точке волновода L сигнал ВРЧ максимально сжался.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Воронин В.А., Куценко Т.Н., Тарасов С.П.* Исследование эффективности генерации волн различной частоты при использовании многокомпонентного сигнала накачки // Известия ТРТУ. Спец. вып.: Матер. XLV науч.-техн. и науч.-метод. конф. профессорско-преподавательского состава, аспирантов и сотрудников ТРТУ. – Таганрог. – 2000. – №1(15). – С.103.
2. *Воронин В.А., Ишутко А.Г., Куценко Т.Н.* К вопросу лоцирования природных слоев в грунте при использовании многокомпонентного сигнала накачки в параметрической антенне // Известия ТРТУ. Тематический выпуск «Нелинейные акустические системы «НЕЛАКС-2003»: Матер. науч.-техн. конф. Таганрог. – 2003. – №6(35). – С. 158.
3. *Пивнев П.П.* Исследование взаимодействия многокомпонентного сигнала в средах с дисперсией // Сборник трудов XVIII сессии Российского акустического общества. – Т.1. – М. – 2006. – С. 127.
4. *Новиков Б.К., Тимошенко В.И.* Параметрические антенны в гидролокации. – Л.: Судостроение, 1989. – 256 с.
5. *Исакович М.А.* Общая акустика. – М.: Наука, 1973, – 496 с.

УДК 534.222

Н.Н. Свинобаев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АНТЕНН ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ПОЛИСТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Применение полистатических методов локации позволяет повысить помехоустойчивость акустических средств при воздействии локальной помехи. Локальная помеха не может одинаково снижать отношение сигнал/помеха на всех разнесенных в пространстве приемных антеннах, и при рассмотрении всей полистатической системы в целом эффективность локальной помехи оказывается меньше, чем при ее воздействии на моностатическую систему.

Модель системы полистатической локации с использованием излучающих параметрических антенн будет отличаться способом обзора пространства, при котором необходимо производить сканирование узкой характеристики направленности в определенном секторе, с необходимостью учета взаимодействия волн не только при распространении, но и при отражении от объектов и границ, а также особенностями формирования реверберационных помех.

Однако при полистатическом режиме сигнал, рассеянный объектом, может маскироваться прямым излучением, причем вероятность маскировки больше при широкой направленности в излучении.

В этом направлении определенных преимуществ можно добиться, если в качестве излучающих антенн используются параметрические антенны, принцип действия которых