УДК 534.2

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ КАРТИНА В ПОДВИЖНЫХ СРЕДАХ

¹Глущенко А.Г., ¹Глущенко Е.П., ²Устинова Е.С.

¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»,

Самара, e-mail: gag646@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет сервиса», Тольятти

Рассмотрены особенности интерференции волн, формируемых точечными когерентными источниками в движущихся однородных, изотропных средах. Показано, что движение среды существенно меняет интерференционную картину, формирует асимметрию интерференционной картины в направлении движения среды, что необходимо учитывать при расчете распределения направления излучения системы излучателей. Если скорость движения среды растет, то увеличивается сдвиг интерференционной картины. Получены соотношения для аналитического расчета амплитуды и фазы результирующих колебаний с учетом движения среды. Соотношения, полученные в работе, могут быть использованы для расчета распределения интенсивности и фазы результирующего колебания в любой точке пространства при любом пространственном расположении источников и при произвольном направлении и скорости движения среды. В работе приведены результаты расчета изменения интерференционной картины четырех источников излучения при увеличении скорости движения среды.

Ключевые слова: интерференция, движение среды

THE INTERFERENCE PATTERN IN A MOVING MEDIUM

Glushchenko A.G., Glushchenko E.P., Ustinova E.S.

¹Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, e-mail: gag646@yandex.ru;

²Volga Region State University of Service, Togliatti

It was considered especially interference of waves generated by point sources into coherent motion of homogeneous, isotropic media. It is shown that the motion of the medium substantially alters the interference pattern, the interference pattern creates an asymmetry in the direction of motion of the medium, it is necessary to take into account in the calculation of the distribution of the direction of radiation emitters system. If the velocity of the medium increases, it increases the shift of the interference pattern. The relations for the analytical calculation of the amplitude and phase of the resulting fluctuations in view of the medium. The ratios obtained in can be used to calculate the intensity and phase distribution of the resulting oscillation in any point in space at any spatial arrangement of sources and in a random direction and velocity of the medium. The results of calculating the change in the interference pattern, the four sources of radiation while increasing the speed of the medium.

Keywords: interference, the movement of the medium

Излучение разнесенных в пространстве когерентных источников сопровождается формированием интерференционной картины стационарного перераспределения интенсивности для волновых процессов любой физической природы. Расчет пространственного распределения интенсивности является классической задачей излучения акустических и электромагнитных источников и проводится в аналитическом виде обычно для двух источников в изотропных средах [1–3], и численно для более сложных конфигураций. Движение среды может существенно влиять на волновые процессы, что наиболее наглядно проявляется для акустических волн [3], поскольку скорость движения среды может быть сопоставима со скоростью распространения волн в этих средах [4–5]. Методика аналитического расчета интерференционной картины от произвольного числа источников была рассмотрена в работе [4].

Основные соотношения. Рассмотрим здесь влияние движения среды на интерференционную картину, создаваемую когерентными источниками волн s_i (i = 1, 2, 3, 4) (рис. 1) в акустической среде, характеризуемой скоростью распространения волн \tilde{n} . Среда движется в общем случае со скоростью u под углом β к оси 0y.



Рис. 1. Сложение волн от четырех источников в подвижной среде

В соответствии с принципом суперпозиции суммарное давление поля в любой точке пространства *P* определяется суммой давлений, создаваемых каждым источником:

$$p = p_1(t) + p_2(t + \tau_1) + p_2(t + \tau_2) + p_2(t + \tau_3),$$

где $\tau_1 = \frac{r_2}{\upsilon_2} - \frac{r_1}{\upsilon_1}, \ \tau_2 = \frac{r_3}{\upsilon_3} - \frac{r_1}{\upsilon_1}, \ \tau_3 = \frac{r_4}{\upsilon_4} - \frac{r_1}{\upsilon_1} - \frac{r_2}{\upsilon_1}$

это время задержки волн, проходящих пути r_2 от второго, r_3 третьего и r_4 четвертого источников по сравнению с расстоянием, проходимом волной, распространяющейся по пути r_1 от первого источника излучения. Скорости распространения для всех четырех волн от источников в направлении точки наблюдения P в общем случае различаются и определяются направлением скорости движения среды u:

$$\upsilon_{1} = c + u \cos(\alpha_{1} - \beta),$$

$$\upsilon_{2} = c + u \cos(\alpha_{2} - \beta),$$

$$\upsilon_{3} = c + u \cos(\alpha_{3} - \beta),$$

$$\upsilon_{4} = c + u \cos(\alpha_{4} - \beta).$$

Различаются, следовательно, и волновые числа всех четырех волн:

$$k_{i} = \frac{\omega}{\upsilon_{i}} = \frac{\omega}{\tilde{n} + u\cos(\alpha_{i} - \beta)} = \frac{k_{0}}{1 + \frac{u}{c}\cos(\alpha_{i} - \beta)}$$

Углы $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ направлений распространения каждой из волн от источников в точку наблюдения *P*, определяются соотношениями (рис. 1):

$$\cos \alpha_1 = \frac{y - d}{r_1},$$
$$\cos \alpha_2 = \frac{y + d}{r_2},$$
$$\cos \alpha_3 = \frac{y + d}{r_3},$$
$$\cos \alpha_4 = \frac{y - d}{r_4},$$

где расстояния от источников до точки наблюдения:

$$r_{1,2} = \sqrt{(x-a)^2 + (y \mp d)^2},$$

$$r_{3,4} = \sqrt{(x+a)^2 + (y \pm d)^2}.$$

При наложении когерентных волн в точке *P* возникает результирующая волна с той же частотой и амплитудой волны определяемой соотношением:

$$A^{2}(\mathbf{r},t) = (A_{1}\cos k_{1}r_{1} + A_{2}\cos k_{2}r_{2} + A_{3}\cos k_{3}r_{3} + A_{4}\cos k_{4}r_{4})^{2} + (A_{1}\sin k_{1}r_{1} + A_{2}\sin k_{2}r_{2} + A_{3}\sin k_{3}r_{3} + A_{4}\sin k_{4}r_{4})^{2};$$

$$A^{2} = A_{1}^{2} + A_{2}^{2} + A_{3}^{2} + A_{4}^{2} +$$

+2 $A_{1}A_{2}\cos(k_{1}r_{1} - k_{2}r_{2}) + 2A_{1}A_{3}\cos(k_{1}r_{1} - k_{3}r_{3}) + 2A_{1}A_{4}\cos(k_{1}r_{1} - k_{4}r_{4}) +$
+2 $A_{2}A_{3}\cos(k_{2}r_{2} - k_{3}r_{3}) + 2A_{2}A_{4}\cos(k_{2}r_{2} - k_{4}r_{4}) + 2A_{3}A_{4}\cos(k_{3}r_{3} - k_{4}r_{4})$

Фаза результирующего колебания определяется в виде:

$$\Phi = \operatorname{arctg} \frac{A_1 \sin k_1 r_1 + A_2 \sin k_2 r_2 + A_3 \sin k_3 r_3 + A_4 \sin k_4 r_4}{A_1 \cos k_1 r_1 + A_2 \cos k_2 r_2 + A_3 \cos k_3 r_3 + A_4 \cos k_4 r_4}$$

Интенсивность волнового процесса в точке *Р* может быть представлена в виде:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + 2\sqrt{I_1 \cdot I_2} \cos(k_1 r_1 - k_2 r_2) + 2\sqrt{I_1 \cdot I_3} \cos(k_1 r_1 - k_3 r_3) + 2\sqrt{I_1 \cdot I_4} \cos(k_1 r_1 - k_4 r_4) + 2\sqrt{I_2 \cdot I_3} \cos(k_2 r_2 - k_3 r_3) + 2\sqrt{I_2 \cdot I_4} \cos(k_2 r_2 - k_4 r_4) + 2\sqrt{I_3 \cdot I_4} \cos(k_3 r_3 - k_4 r_4).$$

Максимальная интенсивность

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 +$$

+2 $\sqrt{I_1 \cdot I_2} + 2\sqrt{I_1 \cdot I_3} + 2\sqrt{I_1 \cdot I_4} + 2\sqrt{I_2 \cdot I_3} + 2\sqrt{I_2 \cdot I_4} + 2\sqrt{I_3 \cdot I_4}$

будет наблюдаться в тех точках, для которых одновременно выполняются соотношения $k_i r_i - k_j r_j = 2m\pi$, m = 0, 1, 2, ... При равной интенсивности всех источников $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_0$ имеем соотношение:

$$I = 2I_0[2 + \cos(k_1r_1 - k_2r_2) + \cos(k_1r_1 - k_3r_3) + \cos(k_1r_1 - k_4r_4) + \cos(k_2r_2 - k_3r_3) + \cos(k_2r_2 - k_4r_4) + \cos(k_3r_3 - k_4r_4)].$$

Отметим, что полученные соотношения могут быть использованы для расчета распределения интенсивности и фазы результирующего колебания в любой точке пространства при любом пространственном расположении источников. На рис. 2 показано влияние скорости движения среды (при $\beta = 0$) на распределение интенсивности интерференционной картины, создаваемой источниками, расположенными в вершинах прямоугольника (рис. 1).



Рис. 2. Пространственная зависимость распределения интенсивности от относительной скорости движения среды

Выводы

Движение среды формирует асимметрию интерференционной картины отдельных источников (различимых на картине распределения интенсивности до скорости движения среды $u/c \sim 0.9$) в направлении движения среды. С ростом скорости движения среды растет «снос» интерференционной картины. Таким образом, движение среды существенно меняет интерференционную картину, что необходимо учитывать при расчете диаграммы направленности системы излучателей.

1. Гринченко В.Т., Вовк И.В., Мацыпура В.Т. Основы акустики. – Киів: Наукова думка, 2007. – 640 с.

2. Осташев В.Е. Распространение звука в движущихся средах.– М.: Наука, 1992. – 208 с.

3. Шкундин С.З., Румянцева В.А. Повышение точности измерения скорости воздушного потока акустическим анемометром // Измерительная техника – 2001. – №1. – С. 54–57.

4. Глущенко А.Г., Глущенко Е.П., Устинова Е.С. Невзаимные волновые процессы // European research. – 2015. – № 10 (11).– С. 9.

5. Глущенко А.Г., Глущенко Е.П. Методика расчета пространственного распределения интенсивности волнового процесса, формируемого точечными источниками// Вестник науки и образования. – 2016. – №11(23). – С. 6–9.