

полосовых фильтров, выполненную на интегральных микросхемах. Фразы, используемые для получения параметров звуков речи, отражали изменения всех типов гласных и дифтонгов, произносимых в различных тональностях и различном фонетическом окружении.

В качестве дикторов были приглашены 3 мужчины и 2 женщины – носители нормы ханойского произношения вьетнамского языка, произносившие все подготовленные фразы по 3 раза. Общее число фраз – 27. Кроме того, для выявления особенностей отдельных дифтонгов, трифтонгов и некоторых тональностей произносились последовательности изолированных слов, не связанные смыслом. В табл. 1 приводятся параметры гласных слитной речи: формантных частот и их динамики. В табл. 2 – параметры отдельных дифтонгов и трифтонгов: отношения средних длительностей и формантные частоты на каждом участке. На фигуре приведены типичные картинки шести типов тональностей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Нгуен Ань Туан, Трунин-Донской В. Н. Динамический анализ тонов вьетнамской речи на ЭВМ БЭСМ-6. – В кн.: Дискретная обработка речевых сигналов. М.: ВЦ АН СССР, 1978, с. 81–100.
2. Козадаев Б. П., Нгуен Ань Туан, Родионова Г. Г., Трунин-Донской В. Н. Ввод информативных речевых признаков в ЭВМ СМ-4. Тез. докл. и сообщ. XII-го Всес. семинара по автоматическому распознаванию слуховых образцов (АРСО-12). Киев – Одесса, 1982, с. 172–174.

Вычислительный центр  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
5.IX.1983

УДК 534.232

## ИЗЛУЧЕНИЕ РАВНОМЕРНО ДВИЖУЩЕГОСЯ В ГАЗЕ ТЕЛА, ПРОЛЕТАЮЩЕГО НАД ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Стажун Н. С.

Если тело равномерно движется в газе, то при дозвуковой скорости оно не излучает звуковых волн. Однако если в этом случае вблизи от пути тела находятся другие рассеивающие тела или экраны, то возникает излучение.

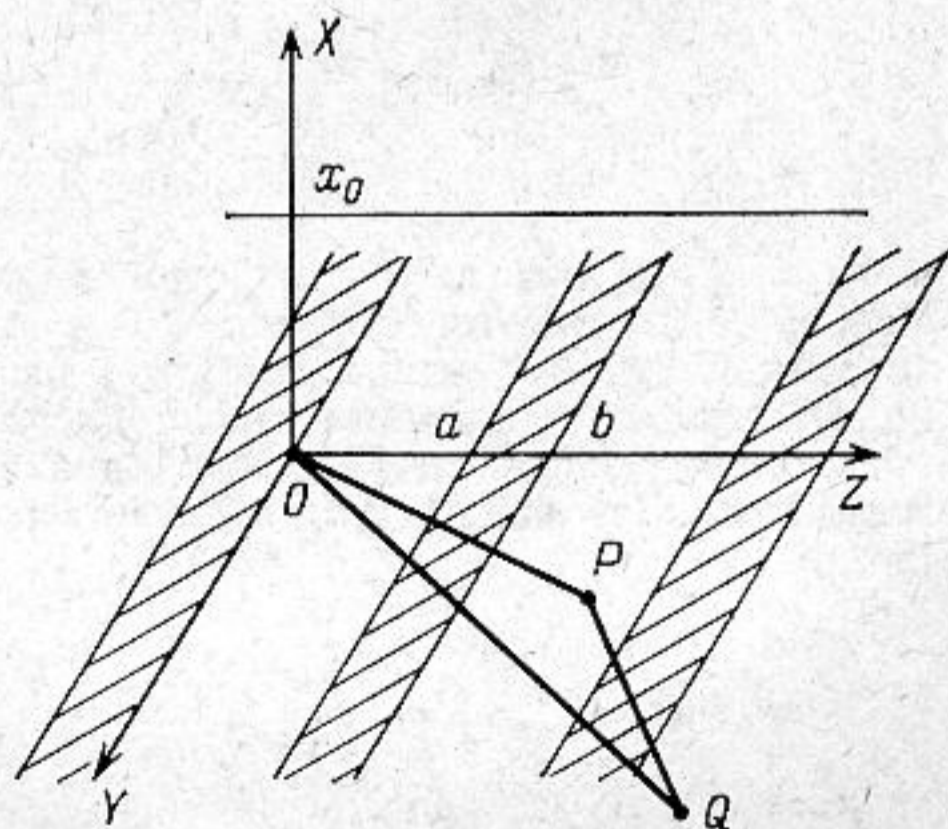
Пусть в газе с плотностью  $\rho$  некоторое малое тело движется прямолинейно и равномерно со скоростью  $v$  параллельно оси  $OZ$  на расстоянии  $x_0$  от плоскости экрана, представляющего собой параллельные оси  $OY$  полосы ширины  $b-a$ , периодически расположенные с периодом  $b$ , как показано на фиг. 1. Уравнение, описывающее изменение плотности  $\rho(x, y, z, t)$  газа, имеет вид [1, с. 596]

$$\Delta \rho - c_s^{-2} \frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} = F c_s^{-2} \delta(x - x_0) \delta(y) \times \frac{\partial}{\partial z} \delta(z - vt), \quad (1)$$

где  $F \delta(x - x_0) \delta(y) \frac{\partial}{\partial z} \delta(z - vt)$  — сила,

действующая на единицу объема среды. Здесь  $F = \Gamma S \rho_0 c_s v$  при дозвуковых скоростях,  $\Gamma$  — коэффициент сопротивления,  $c_s$  — скорость звука. Решение уравнения в дозвуковом случае  $V < c_s$  можно представить в следующем виде:

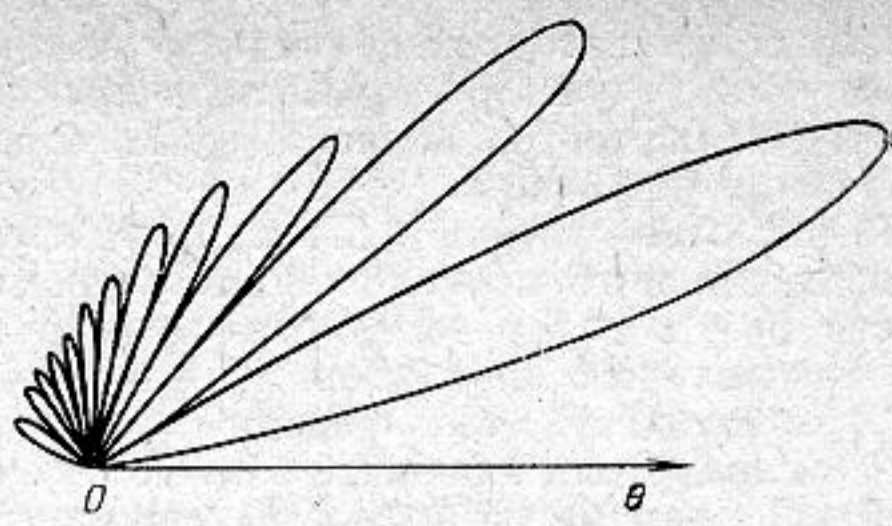
$$\rho(x, y, z, t) = \frac{iF}{8\pi^2 c_s^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{k_z e^{-|x-x_0| \sqrt{k_y^2 + k_z^2 (1-v^2/c_s^2)}}}{\sqrt{k_y^2 + k_z^2 (1-v^2/c_s^2)}} \cdot e^{ik_y y + ik_z (z-vt)} dk_y dk_z.$$



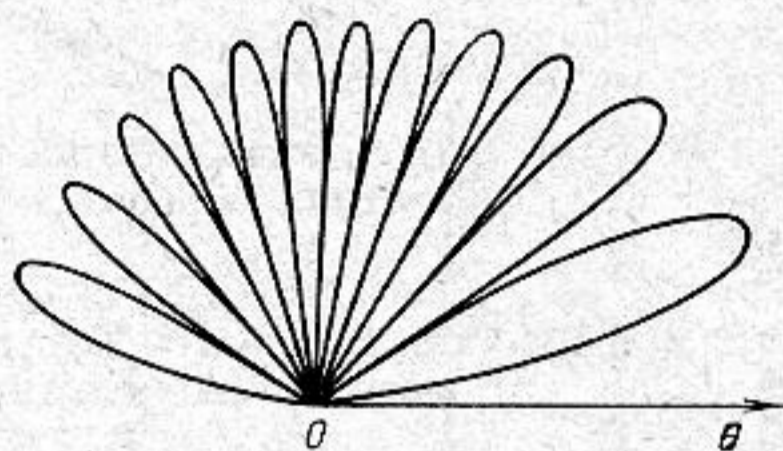
Фиг. 1. Экран расположен в плоскости  $YOZ$  и представляет собой параллельные оси  $OY$  полосы ширины  $b-a$ , повторяющиеся через период  $b$ . Точка  $P(0, y, z)$  расположена на отверстии в экране, точка  $Q(\xi, \eta, \zeta)$  — произвольная точка, лежащая над экраном



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Фиг. 2. Зависимость интенсивности излучения  $I$  от угла  $\theta$  при  $\varphi=\pi$ ,  $q=10/9$ ,  $m=6$ ,  $r=0$  в масштабе в 1 мм 1 ед.

Фиг. 3. Зависимость интенсивности  $I(\theta)$  при  $\varphi=\pi$ ,  $q=2$ ,  $m=6$ ,  $r=0$  в масштабе в 1 мм 0,01 ед.

Фиг. 4. Зависимость  $I(\theta)$  при  $\varphi=\pi$ ,  $q=10$ ,  $m=6$ ,  $r=0$  в масштабе в 1 мм  $2 \cdot 10^{-4}$  ед.

Определив выражение для плотности в плоскости экрана  $x=0$  и используя принцип Кирхгофа – Гюйгенса – Френеля [2, с. 265], получим выражение для плотности  $\rho_\omega(\xi, \eta, \zeta)$  на частоте  $\omega$  в любой точке  $Q(\xi, \eta, \zeta)$ , расположенной в полупространстве  $x < 0$ , в виде

$$\rho_\omega(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{i\lambda} \int_S \frac{e^{ikR}}{R} \Phi_\omega(y, z) dy dz,$$

где

$$\Phi_\omega(y, z) = \frac{i\omega F e^{i\omega z/v}}{8\pi^2 v^2 c_s^2} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-x_0 \sqrt{k_y^2 + \omega^2(1-v^2/c_s^2)/v^2}}}{\sqrt{k_y^2 + \omega^2(1-v^2/c_s^2)/v^2}} e^{ik_y y} dk_y,$$

$\omega = k_z v$ ,  $S$  – сумма всех отверстий в экране,  $R$  – расстояние от точки наблюдения  $Q(\xi, \eta, \zeta)$  до некоторой точки  $P(0, y, z)$ , лежащей на отверстии в экране. Подсчет энергии излучения показывает, что излучение в определенном направлении происходит лишь для конечного числа дискретных частот, что соответствует результату, полученному в работе [3, с. 471] для электромагнитного излучения. Интенсивность излучения в телесный угол  $d\Omega$  в интервале частот  $d\omega$  описывается выражением

$$dI(\theta, \varphi, \omega) = \frac{F^2 T \omega^4}{4\pi^4 v^3 c_s^3 b \rho_0} \cdot \frac{e^{-2x_0 \sqrt{\omega^2 \sin^2 \theta \sin^2 \varphi / c_s^2 + \omega^2(1-v^2/c_s^2)/v^2}}}{\omega^2 \sin^2 \theta \sin^2 \varphi / c_s^2 + \omega^2(1-v^2/c_s^2)/v^2} \cdot \frac{\sin^2(\omega \cos \theta / c_s - \omega / v) a / 2}{(\omega \cos \theta / c_s - \omega / v)^2} \frac{1}{(1/v - \cos \theta / c_s) b} \sum_n \delta(\omega - 2\pi n c_s v / (c_s - v \cos \theta) b) d\Omega d\omega \quad (2)$$

( $T$  – время пролета телом  $N$  полос).

Интегрируя  $dI(\theta, \varphi, \omega)$  по  $\theta$  от 0 до  $\pi$  и по  $\varphi$  от  $\pi/2$  до  $3\pi/2$ , можно получить полную интенсивность на частоте  $\omega$ . Как видно из анализа выражения (2), интенсивность экспоненциально падает с ростом расстояния  $x_0$  между движущимся телом и плоскостью решетки. При сверхзвуковой скорости это не имело бы места.

Если имеется только одна щель в экране в виде бесконечной полосы ( $0 \leq x \leq a$ ,  $-\infty < y < +\infty$ ), то выражение для интенсивности  $I(q, r, m, \theta, \varphi)$  записывается в виде

$$I(q, r, m, \theta, \varphi) = Kq^2 \frac{\sin^2 \pi m (\cos \theta - q)}{(\cos \theta - q)^2} \frac{e^{-4\pi r} \sqrt{\sin^2 \theta \sin^2 \varphi + q^2 - 1}}{\sin^2 \theta \sin^2 \varphi + q^2 - 1} d\Omega, \quad (3)$$

где

$$K = \frac{\Gamma^2 S^2 \rho_0 c_s}{16\pi^4}, \quad c_s/v = q, \quad x_0/\lambda = r, \quad a/\lambda = m.$$

На фиг. 2–4 приведены графики угловой зависимости  $I(\theta)$  при некоторых фиксированных значениях параметров  $q, r, m, \varphi$ , рассчитанные по формуле (3).

Автор выражает благодарность Б. М. Болотовскому за большое внимание и интерес к работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Докучаев В. П. К теории излучения звуковых волн при движении малых тел в газообразных средах.— ЖЭТФ, 1962, т. 43, вып. 2(8), с. 595–600.
2. Зоммерфельд А. Оптика. М.: Изд-во иностр. лит., 1953.
3. Болотовский Б. М., Бурцев А. К. Излучение заряда, пролетающего над дифракционной решеткой.— Оптика и спектроскопия. 1965, т. 19, вып. 4, с. 469–472.

Московский государственный  
педагогический институт  
им. В. И. Ленина

Поступила в редакцию  
19.VIII.1981  
после исправления  
27.IX.1982