

ОБ УСИЛЕНИИ АНОМАЛЬНОЙ УПРУГОЙ ВОЛНЫ В ПОПЕРЕЧНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

А.А.Чабан

В [1] рассматривался вопрос о возникновении аномально медленной упругой волны в условиях, когда ультразвуковые колебания усиливаются дрейфом носителей [2]. Ниже будет показано, что аналогичный эффект должен наблюдаться и в том случае, когда дрейф носителей происходит перпендикулярно к фронту волны, т.е. усиление обычной волны не может иметь места.

Исследуем излучение в бесконечный слой $0 \leq z \leq \ell$ от некоторой однородной пластины, расположенной в плоскости $z=0$. Будем считать, что вдоль оси z в указанном выше слое происходит дрейф носителей со сверхзвуковой скоростью. Для простоты примем (ср. [1]), что вещество слоя изотропно и вследствие дрейфа носителей имеет большой постоянный коэффициент усиления α в некотором конусе направлений с углом раствора 2ψ и с осью симметрии z ; вне этого конуса звук сильно поглощается. Отраженными сигналами в дальнейшем будем пренебрегать, поскольку работа при усилении обычно ведется в импульсном режиме; кроме того, рассеяние на границах при высоких частотах может быть очень велико. Смещение в некоторой точке с координатами (x, y, z) при $z < \ell$, через которую могут проходить усиливаемые активной средой звуковые лучи от пластины, имеет вид [1] :

$$u(x, y, z) = Ax \int \exp[i(\omega t - k_x p) + \alpha z p] d\varphi dp, \quad (I)$$

где A - постоянная, ω - круговая частота колебаний пластины, $k = \omega/\delta$, δ - скорость звука, $p = \cos^{-1}\vartheta$, ϑ и ψ - полярный и азимутальный углы, под которыми виден излучающий элемент из точки приема. Интегрирование распространено на область значений ϑ и ψ , для которых угол γ между направлением распространения луча и осью x удовлетворяет условию $\gamma \leq \psi$. Естественно, что необходимо учи-

тывать и наличие границ у излучающей пластины. Простые геометрические соображения дают следующую связь:

$$\cos \gamma = \cos \Psi \sin \vartheta. \quad (2)$$

Рассмотрим, какие колебания будут приниматься пластиной, расположенной в плоскости $x = \ell$. Выберем такую геометрию, чтобы прямая, проведенная из любой точки принимающей пластины параллельно плоскости (x, z) под углом Ψ к оси x , пересекала бы излучающую пластину, причем полученная таким путем в плоскости $x = 0$ площадка нигде не достигала бы границ излучающей пластины. Пусть для точки принимающей пластины с координатами (x, y) величина $\vartheta_0(x, y)$ — тот полярный угол, при котором хотя бы один из усиливаемых активной средой лучей приходит уже с границы излучающей пластины ($\vartheta_0(x, y) > \Psi$). Тогда из условия $\gamma < \Psi$, используя (2), получаем, что принимается сигнал:

$$u(x, y, \ell) = 2A\ell \int_{\sin^{-1}\Psi}^{\cos^{-1}\vartheta_0(x, y)} \exp[i(\omega t - k\ell\rho) + \alpha\ell\rho] d\rho \cos\left(\frac{\rho \cos \Psi}{\sqrt{\rho^2 - 1}}\right) d\rho + \\ + A\ell \int' \exp[i(\omega t - k\ell\rho) + \alpha\ell\rho] d\varphi d\rho, \quad (3)$$

где интеграл со штрихом распространяется лишь на область значений $\vartheta > \vartheta_0(x, y)$. Если для простоты положить, что угол Ψ достаточно мал, так что $\sin \Psi \ll I$, то $\rho \geq \sin^{-1} \Psi \gg I$, откуда следует:

$$u(x, y, \ell) = -\frac{2iA\Psi}{k} \exp\left[i\left(\omega t - \frac{k\ell}{\sin \Psi}\right) + \frac{\alpha\ell}{\sin \Psi}\right] + \\ + \frac{2iA\Psi}{k} \exp\left[i\left(\omega t - \frac{k\ell}{\cos \vartheta_0(x, y)}\right) + \frac{\alpha\ell}{\cos \vartheta_0(x, y)}\right] + \\ + A\ell \int' \exp[i(\omega t - k\ell\rho) + \alpha\ell\rho] d\varphi d\rho. \quad (4)$$

Из (4) видно, что на приемную пластину приходит плоская аномально медленная звуковая волна, амплитуда которой может быть весьма велика. Эта волна, описываемая в (4) первым членом, аналогична рассмо-

тренной в [1]. Два последующих члена представляют собой сложную совокупность волн со скоростями распространения вдоль оси χ меньшими, чем $\lambda \cos \vartheta_m$ (ϑ_m - минимум всех значений ϑ_o), и связаны с излучением от границ пластины.

Пусть длительность излучаемого упругого сигнала много меньше величины $\lambda^{-1} \theta \sin^{-1} \psi$, электрическое же поле снимается через время $\lambda^{-1} \theta \sin^{-1} \psi$. Тогда сигналы, связанные со вторым и третьим членами в (4), будут много меньше аномальной волны, поскольку после снятия электрического поля сильное поглощение имеет место во всех направлениях.

Итак, наблюдение аномальной упругой волны при сверхзвуковом дрейфе носителей принципиально возможно и в том случае, когда фронт упругой волны перпендикулярен к направлению движения носителей. При этом аномальный сигнал может быть весьма велик, обычные же ультразвуковые волны усиливаться не могут вовсе.

Автор благодарен Ю.Л.Газаряну, М.А.Исаевичу, И.А.Чабан за интересное обсуждение.

Акустический институт
Москва

Поступило в редакцию
22 ноября 1965 г.

Литература

- [1] А.А.Чабан. Письма ЖЭТФ, 2, 234, 1965.
- [2] H.Kroger, E.W.Prohofsky, R.W.Damon. Phys. Rev. Lett., II, 246, 1963.