

Интенсивность звука в идеальной жидкости

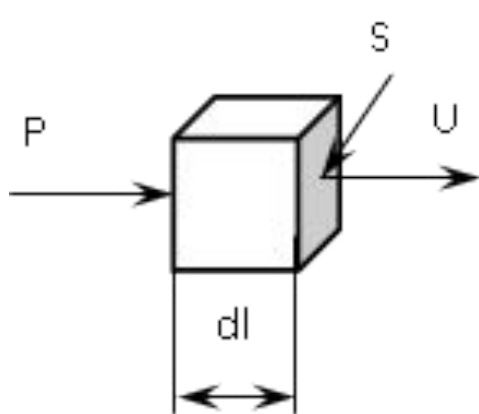
Интенсивность – это количество энергии, проходящей через единичную площадку в единицу времени в направлении, нормальном площадке.

$$J = \frac{A}{S \cdot T} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \text{с}} = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$$

где A – работа;

S - площадь поверхности, через которую проходят ЗВ;

T – время, в течении которого наблюдалось прохождение ЗВ.



$$\left. \begin{aligned} dA &= Fdl \\ F &= PS \\ dl &= Udt \end{aligned} \right\} dA = Fdl = PSdl = PSUdt$$

$$P = P_m \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right)$$

$$U = U_m \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right)$$

$$A_T = \int_0^T dA = P_m \cdot U_m \cdot S \int_0^T \cos^2 \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) dt = \frac{1}{2} P_m U_m S T$$

$$j = \frac{A}{ST} = \frac{P_m U_m S T}{2ST} = \frac{1}{2} P_m U_m$$

- интенсивность звуковой энергии для идеальной жидкости

$$\frac{P_m}{U_m} = \rho \cdot c$$

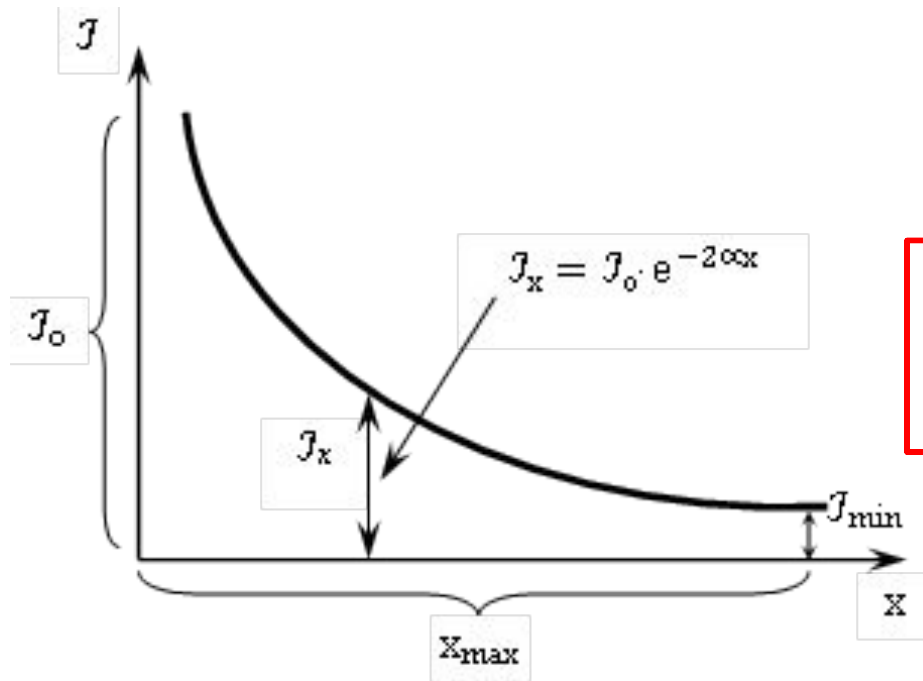
$\rho \cdot c$ – акустическое сопротивление жидкости

$$j = \frac{1}{2} \cdot \frac{P_m^2}{\rho \cdot c}$$

Интенсивность j (сила звука) пропорциональна квадрату звукового давления P_m и обратно пропорциональна акустическому сопротивлению $\rho \cdot c$.

$P_m = P_o e^{-\alpha x}$ - для реальной жидкости
 α – коэффициент поглощения звука средой

$$\alpha = \frac{2}{3} \cdot \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{(2\pi)^2}{C^3} \cdot f^2 = \mu \cdot f^2 \quad \mu - \text{коэффициент динамической вязкости}$$



$$J_x = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho_o^2}{\rho \cdot C} \cdot e^{-\alpha x}$$

$$J_x = J_0 \cdot e^{-2\alpha x}$$

Интенсивность J_x
 на расстоянии x от
 истока
 (формула Стокса)

J_{\min} – минимальная воспринимаемая интенсивность.
 x_{\max} – максимальное расстояние распространения звука

Дальность распространения звука в вязкой жидкости

$$J_x = J_0 \cdot e^{-2\alpha x} \quad \text{Формула Стокса} \quad \ln J_x = \ln J_0 + \underbrace{\ln(e^{-2\alpha x})}_{-2\alpha x}$$

$$2\alpha x = \ln J_0 - \ln J_x = \ln \frac{J_0}{J_x}$$

$$x = \frac{1}{2\alpha} \ln \frac{J_0}{J_x} \quad \longrightarrow \quad x_{max} = \frac{\ln \frac{J_0}{J_{minx}}}{2\alpha}$$

где J_0 - начальное значение интенсивности при непосредственной близости к излучателю.

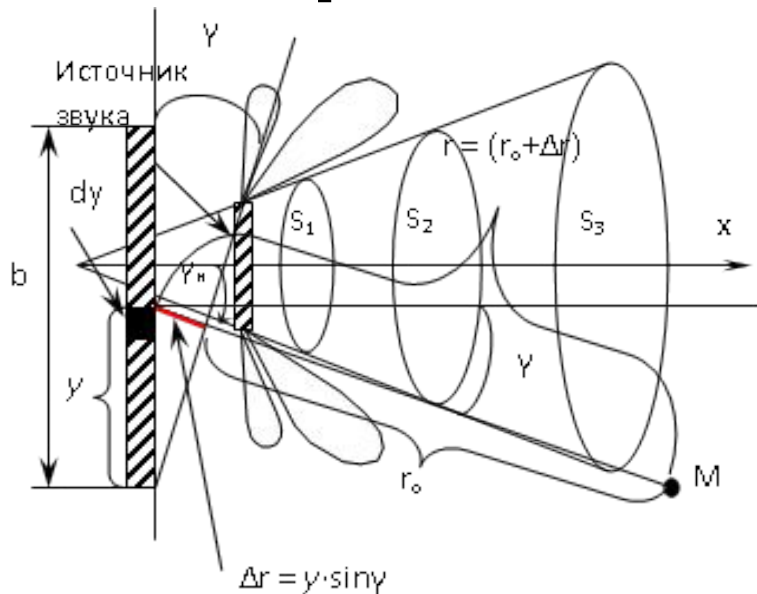
J_{minx} - минимальная интенсивность, которая воспринимается приемником.

α - коэффициент поглощения $\alpha = \mu f^2$

$$\beta \approx 2\alpha = \frac{\ln \frac{J_0}{J_{minx}}}{x_{max}}$$

коэффициент затухания

Направленное излучение звука



Каждый элемент излучателя dy в $(\cdot)M$ на расстоянии $r = (r_0 + \Delta r)$ создает звуковое давление:

$$P_i = P_0 \cdot \cos \omega \left(t - \frac{r}{c} \right)$$

b – размер излучателя

dy – элемент излучателя

$$P_y = \int_0^b P_0 \cdot \cos \omega \left(t - \frac{r}{c} \right) dy = \int_0^b P_0 \cdot \cos \omega \left(t - \frac{r_0 + \Delta r}{c} \right) dy = \int_0^b P_0 \cdot \cos \omega \left(t - \frac{r_0 + y \cdot \sin \gamma}{c} \right) dy =$$

$$= P_0 \frac{1}{\omega \cdot \sin \gamma} \left[\sin \omega \left(t - \frac{r_0 + y \cdot \sin \gamma}{c} \right) \right] A_0^b$$

$$A_o^b = \sin\omega \left(t - \frac{r_o + y \sin\gamma}{c} \right) - \sin\omega \left(t - \frac{r_o}{c} \right) = 2 \cos\omega \left(t - \frac{r_o}{c} - \frac{b \cdot \sin\gamma}{2c} \right) \sin \left(-\frac{\omega \cdot b \cdot \sin\gamma}{2c} \right)$$

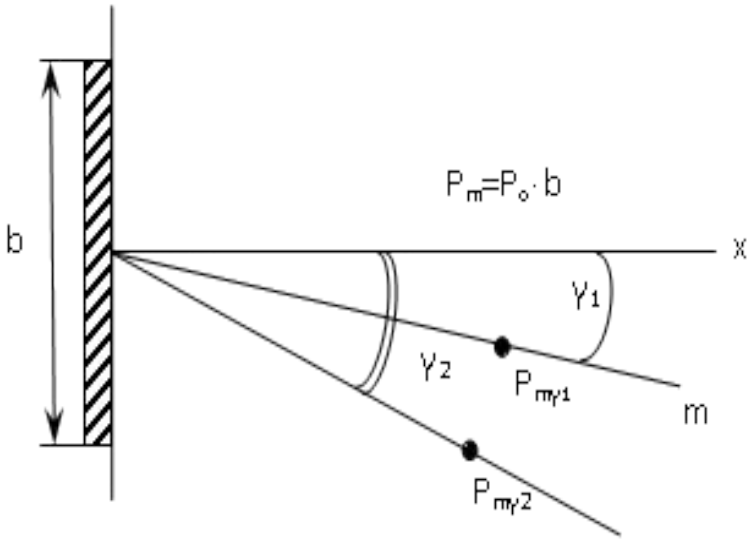
$$P_\gamma = \frac{2P_o \cdot \sin \frac{\omega \cdot b \cdot \sin\gamma}{2c}}{\frac{\omega \cdot \sin\gamma}{c}} \cos\omega \left(t - \frac{r_o}{c} - \frac{b \cdot \sin\gamma}{2c} \right)$$

$$P_{my} = P_o b \frac{\sin \frac{\omega \cdot b \cdot \sin\gamma}{2c}}{\frac{\omega \cdot b \cdot \sin\gamma}{2c}}$$

$P_m = P_o b$ - это амплитуда звукового давления в непосредственной близости от источника.
 P_o - амплитуда звукового давления вблизи элемента источника.

$$F_j = \frac{\sin \frac{\omega \cdot b \cdot \sin\gamma}{2c}}{\frac{\omega \cdot b \cdot \sin\gamma}{2c}}$$

- фактор направленности



Назначим $\gamma = 0$:

$$P_{m\gamma} = P_m \frac{\sin \frac{\omega \cdot b \cdot \sin 0}{2c}}{\frac{\omega \cdot b \cdot \sin 0}{2c}} = \frac{0}{0}$$

Неопределенность вида $\frac{0}{0}$
 решается по правилу Лапидала
 взятием производных

$$F'_j = \frac{\cos \frac{\omega \cdot b \cdot \sin \gamma}{2c} \cdot \frac{\omega \cdot b \cdot \sin \gamma}{2c}}{\frac{\omega \cdot b \cdot \sin \gamma}{2c}} = \cos \frac{\omega \cdot b \cdot \sin 0}{2c} = \cos 0 = 1$$

$P_{m\gamma} = P_m - \max$

При факторе направленности $F_j = 0$

$$\sin \frac{\omega \cdot b \cdot \sin \gamma}{2c} = 0 \quad \sin \gamma = 0 \quad \text{при } \gamma = \pi \cdot n, \quad \text{где } n = 1, 2, 3 \dots$$

При $n = 1$ $\frac{\omega \cdot b \cdot \sin \gamma_{01}}{2c} = \pi$

$(\omega = 2\pi f)$

$$\sin \gamma_{01} = \frac{c}{f \cdot b}$$

Эта формула позволяет рассчитать значение угла γ_{01} , т.е. определяет ширину звукового конуса, в котором имеется звуковая энергия.

$$\sin \gamma_{02} = \frac{2c}{f \cdot b}$$

Очевидно, существует несколько полос звука в зависимости от n .

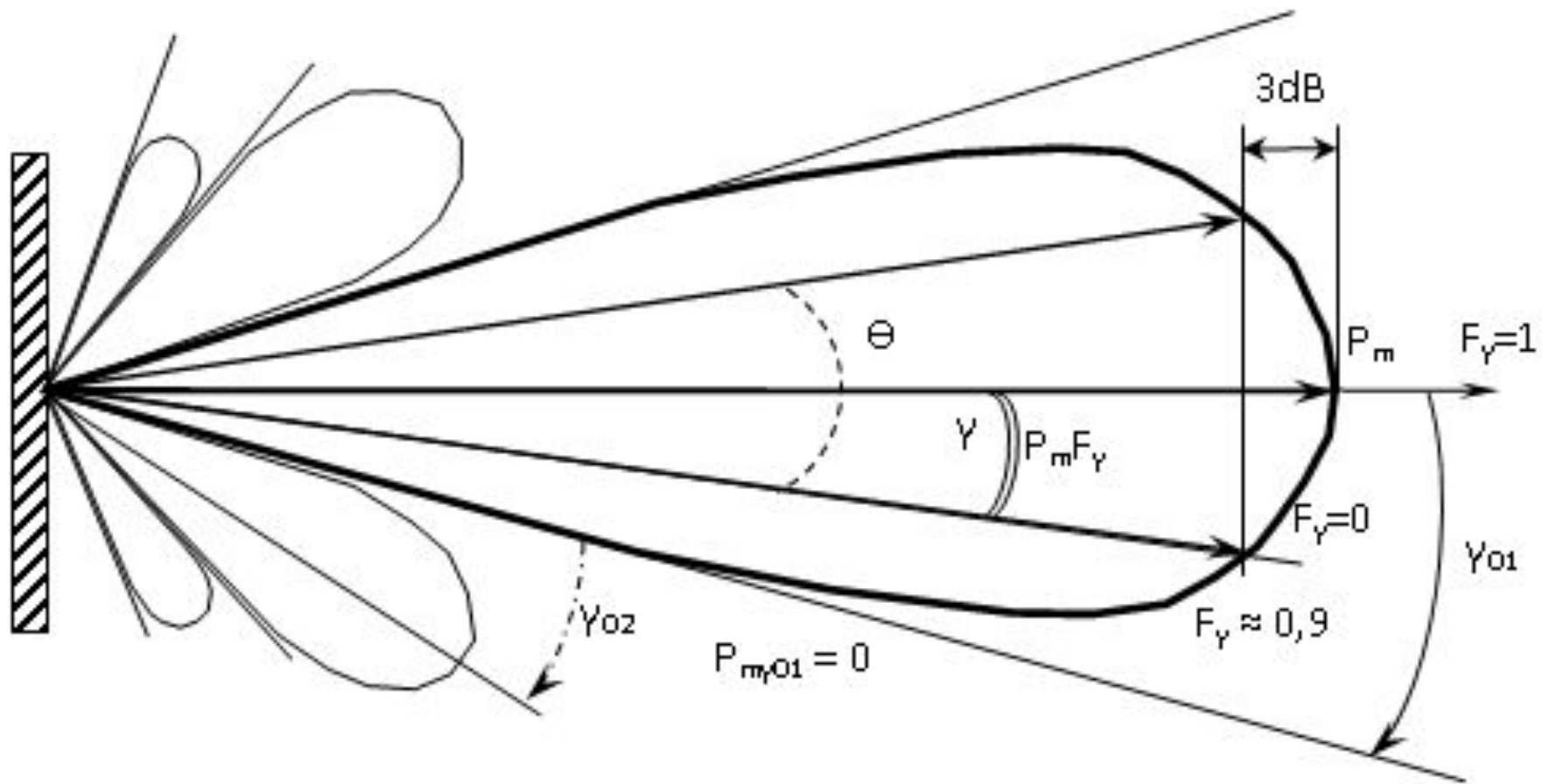


Диаграмма направленности акустической антенны

Диаграмма направленности (антенны) — графическое представление зависимости коэффициента усиления антенны или коэффициента направленного действия антенны от направления антенны в заданной плоскости.

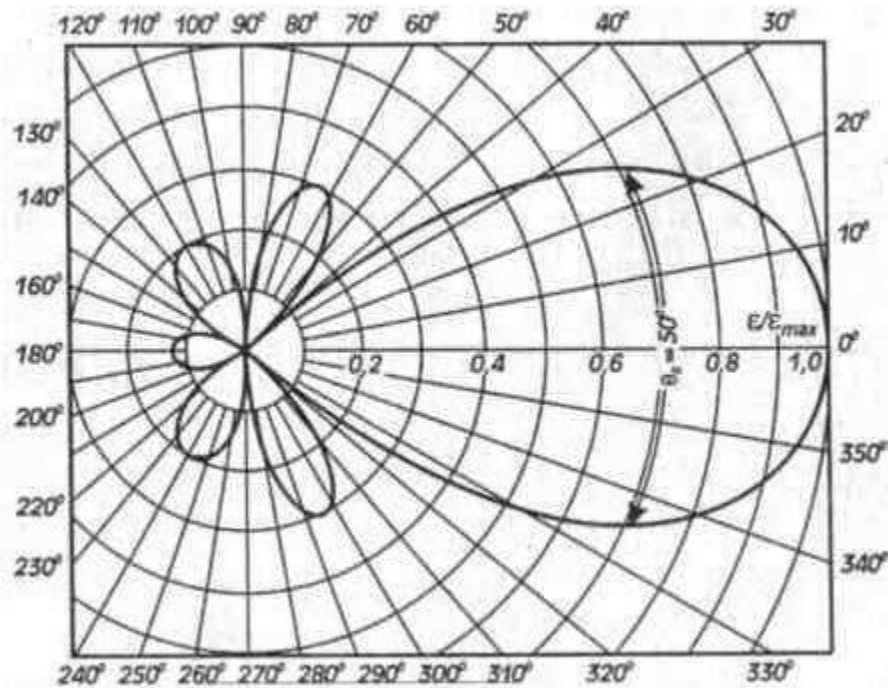


Диаграмма направленности антенны в полярной системе координат

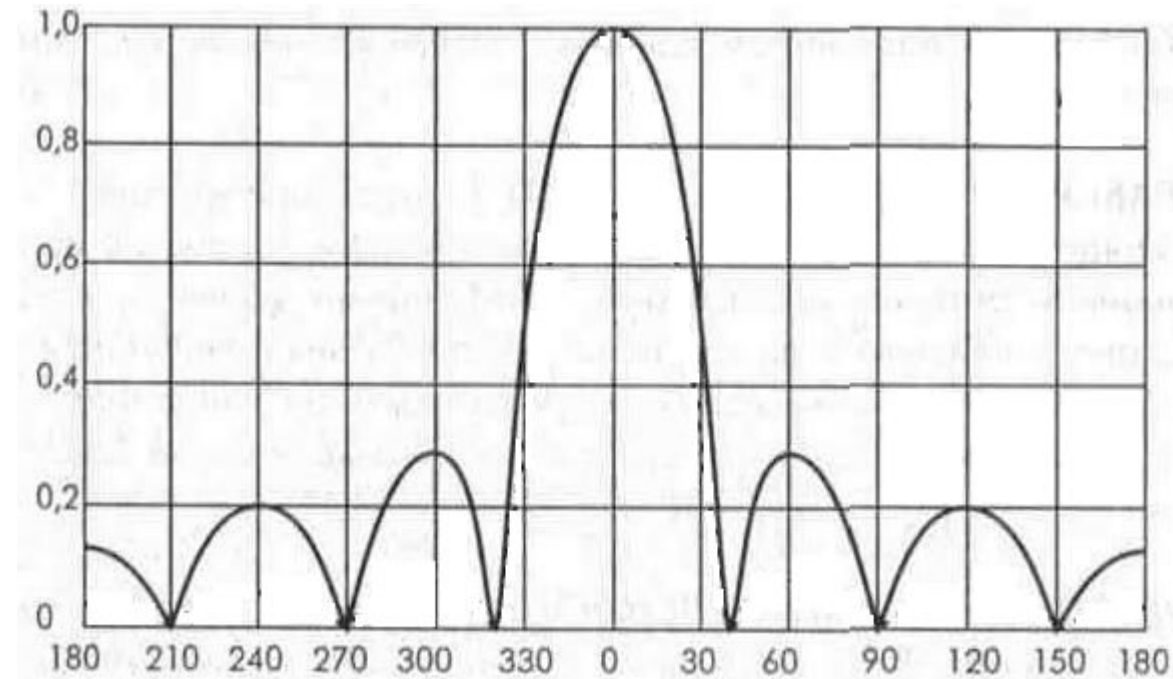
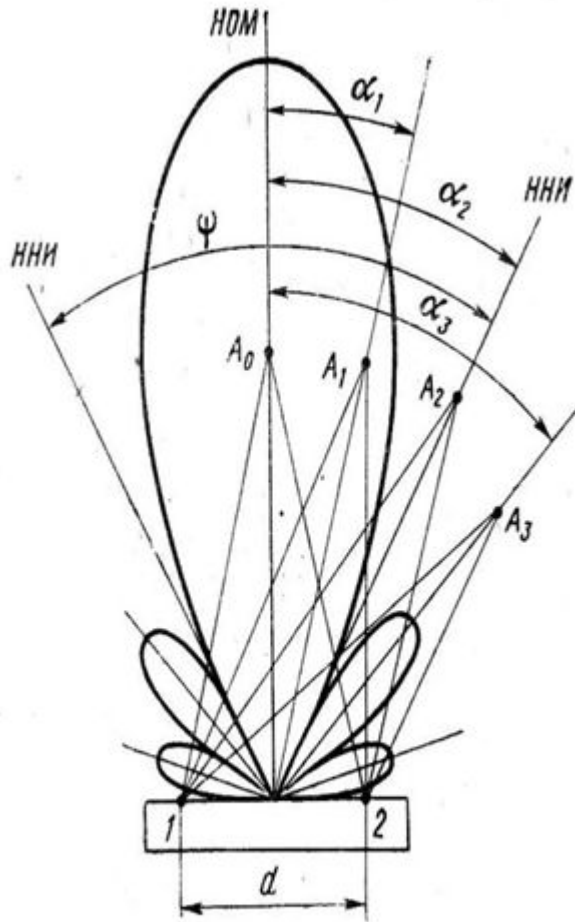


Диаграмма направленности антенны в декартовой системе координат

Направленность действия вибратора



Полярная диаграмма направленности излучателя

Направленное излучение характеризуется концентрацией энергии ультразвукового импульса в определенном телесном угле ψ .

Направленность приема ультразвуковых колебаний проявляется в том, что выходной сигнал приемника зависит от направления на источник

Явление направленности возникает вследствие **интерференции звуковых волн** и объяснимо с позиций **принципа Гюйгенса - Френеля**

Результат интерференции зависит от **соотношения разности хода лучей $\Delta\ell = \ell_1 - \ell_2$** и **длины волны λ** ($\Delta\ell = d \sin\alpha$).

Если разность хода лучей равна **нулю** или на ней укладывается **четное число полуволн**, то колебания приходят в выбранную точку в фазе и амплитуда результирующих колебаний **возрастает**.

На перпендикуляре к центру излучающей линии результирующая амплитуда звукового давления максимальна т.е. в точках, лежащих на оси излучателя ($\alpha = 0$), существует **максимум звукового давления**.

$$\sin\alpha_{max} = \frac{2n\frac{\lambda}{2}}{d} = n\frac{\lambda}{d}$$

Если же на разности хода лучей, укладывается **нечетное число полуволн**, колебания суммируются в противофазе и амплитуда результирующей волны становится **минимальной**.

При равенстве амплитуд составляющих волн колебания «гасятся»

При разности хода лучей равной **$0,5\lambda$** (в точке A_2), результирующая амплитуда обращается в **нуль**. По данному направлению акустическая энергия не распространяется.

$$\sin\alpha_{min} = \frac{(2n+1)\frac{\lambda}{2}}{d} = \left(\frac{2n+1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{d}$$



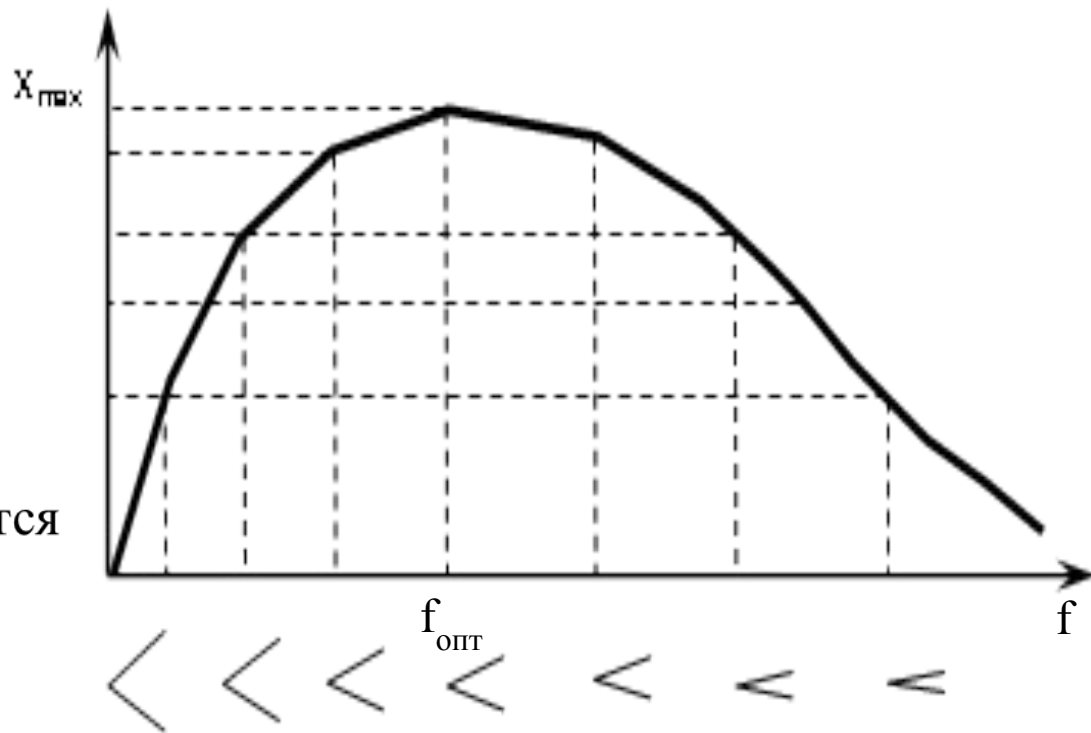
Направленность действия вибратора зависит от соотношения между длиной излучаемой волны λ и линейными размерами вибратора d .

Выбор оптимальной частоты f для гидроакустического прибора

$$x_{max} = \frac{\ln \frac{J_0}{J_{minx}}}{2 \alpha} \quad (1)$$

$$\alpha = \mu f^2$$

С увеличением f дальность распространения ЗЭ уменьшается и наоборот, $f \downarrow \implies$ дальность распространения ЗЭ \uparrow



Но!!!

$$\sin \gamma_{01} = \frac{c}{f \cdot b} \quad (2)$$

Увеличение частоты f влечёт за собой уменьшение угла γ , \implies увеличивается концентрация энергии в луче \implies дальность распространения ЗЭ возрастает.