

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лексуткин А. Ф., Соколов И. М. О реакции рыб на завесу из пузырьков воздуха. — Сборник НТИ ВНИРО, 1963, вып. 6. 11 с.
2. Соколов И. М., Николаев В. А. О поведении рыб под влиянием воздушной завесы. — Труды ВНИРО, 1966, т. 61, с. 10.

SELECTIVE FISHING EXPERIMENTS ON CASPIAN HERRING WITH APPLICATION OF AIR BUBBLE CURTAINS

Inzhevatov A. V., Medvedev A. V

SUMMARY

The behaviour of Caspian herring in the zone affected with an air bubble curtain was studied in nets and trap nets as well as by comparing catches taken by marine beach seines and pound seines.

Good selective properties are found in the air bubble curtain with respect to Caspian herring. The extensive curtain intercepts and concentrates herring whereas sturgeon pass easily through it.

The experimental fishing for herring with beach seines in conjunction with air bubble curtains indicate that catches may be double for a control period of time and the bycatch of sturgeon does not increase.

УДК 639.2.051.7

РАССЕЯНИЕ ЗВУКА РЫБАМИ И ИМИТАТОРАМИ РЫБ

И. Л. Калихман

Для количественной оценки промысловых концентраций рыб необходимо знание акустических характеристик рассеяния рыб, образующих обследуемое скопление. Однако измерить эти характеристики непосредственно в море практически невозможно. Измерить заранее в лабораторных условиях акустические характеристики рассеяния рыб всех видов и размеров при различных длинах звуковых волн и всевозможных ориентациях рыбы относительно падающей волны, по-видимому, тоже нельзя. В связи с этим важна и актуальна разработка экспресс-метода расчета акустических характеристик рассеяния одиночной рыбы.

Очевидно, при любых реальных расстояниях от излучателя до рыбы звуковую волну, падающую на рыбу, в пределах размеров рыбы можно считать плоской. Установлено [3], что около 90% всей рассеиваемой рыбой звуковой энергии рассеивается ее плавательным пузырем. В связи с тем что форма пузыря близка к круговому цилиндру, возможна акустическая имитация рыбы цилиндром с размерами, равными размерам плавательного пузыря.

Будем считать, что каждый элемент объема неоднородности рассеивает падающую волну независимо от остальных, после чего элементарные рассеянные поля интерферируют, образуя результирующее рассеянное поле. Поскольку размеры элемента объема много меньше длины звуковой волны, он производит рэлеевское рассеяние энергии и каждое элементарное рассеянное поле может быть легко определено. Для того чтобы получить значение результирующего рассеянного поля в данной точке пространства, следует просуммировать элементарные поля с учетом фазового сдвига.

Интенсивность результирующего рассеянного поля $I(r, \Theta, \varphi)$ выра-
зится формулой

$$I(r, \Theta, \varphi) = \frac{I_0 \gamma k^4 V^2}{4\pi r^2} \cdot \frac{1 + \cos^2 Q}{2} F^2(\Theta, \varphi), \quad (1)$$

где r, Θ, φ — сферические координаты точки наблюдения, если за начало координат
принят центр объекта;

I_0 — интенсивность падающей волны;

γ — коэффициент отражения звука по мощности;

k — волновое число, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$;

λ — длина волны;

V — объем тела;

F — фазовая поправка к рэлеевскому закону рассеяния.

В соответствии с изложенным
выше

$$F(\Theta, \varphi) = \frac{1}{V} \int_V e^{i\psi} dV, \quad (2)$$

где ψ — фазовый сдвиг.

Определим $F(\Theta, \varphi)$ для слу-
чая падения плоской волны на
круговой цилиндр с произволь-
ного направления. На рис. 1в—
биссектриса угла между на-
правлением на заданную точку
пространства (направлением рас-
сеяния звука) и направлением,
обратным направлению падения
волны. Нетрудно показать, что

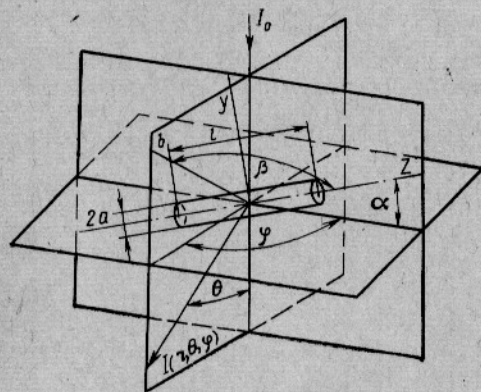


Рис. 1. Схема для расчета акустических
характеристик рассеяния цилиндра.

все точки плоскости, перпендикулярной биссектрисе, имеют одинако-
вый фазовый сдвиг ψ

$$\psi = 2kb \sin \frac{\Theta}{2}. \quad (3)$$

Поэтому целесообразно интегрировать по слоям тела, перпендикуляр-
ным биссектрисе

$$F(\Theta, \varphi) = \frac{1}{V} \int_V \text{Be}^{2ikb \sin \frac{\Theta}{2}} dB, \quad (4)$$

где B — площадь поверхности слоя;
 b — толщина слоя.

Для кругового цилиндра удобно перейти путем замены переменных
к интегрированию по круговым слоям, перпендикулярным оси цилин-
дра,

$$F(\Theta, \varphi) = \frac{1}{\pi a^2 l} \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} \int_{-a}^a 2 \sqrt{a^2 - y^2} e^{2ik \sin \frac{\Theta}{2} (y \sin \beta + z \cos \beta)} dy dz, \quad (5)$$

где a и l — соответственно радиус и длина цилиндра.

В результате интегрирования получим

$$F(\theta, \varphi) = \frac{2}{u} \sqrt{\frac{\pi}{2v}} I_1(u) I_{\frac{1}{2}}(v), \quad (6)$$

где I_1 и $I_{\frac{1}{2}}$ — функции Бесселя;

$$u = 2 \kappa a \sin \frac{\theta}{2} \sin \beta;$$

$$v = k l \sin \frac{\theta}{2} \cos \beta; \quad (7)$$

$$\cos \beta = \sin \alpha \sin \frac{\theta}{2} + \cos \alpha \cos \frac{\theta}{2} \cos \varphi. \quad (8)$$

Выражения (1), (6), (7) и (8) позволяют определить акустические характеристики рассеяния цилиндра — имитатора рыбы. Особый интерес для рыболокации представляет величина акустического поперечного сечения обратного рассеяния — площадь условной поверхности, расположенной в точке нахождения объекта, перпендикулярной звуковой оси и создающей рассеяние звука в обратном направлении подобно реальному объекту. Она определяется по формуле

$$\sigma = \frac{4\pi r^2 I(r, \pi, \varphi)}{I_0}. \quad (9)$$

Для цилиндра-имитатора получим

$$\sigma_{\text{ц}} = \frac{\pi^4 \gamma a^2 l}{\lambda \cos^2 \alpha \sin \alpha} I_1^2\left(\frac{4\pi a}{\lambda} \cos \alpha\right) I_{\frac{1}{2}}^2\left(\frac{2\pi l}{\lambda} \sin \alpha\right). \quad (10)$$

Характеристики обратного рассеяния различных цилиндров-имитаторов, рассчитанные по формуле (10) при $\lambda = 5$ см, приведены на рис. 2. Тонкими линиями показаны характеристики обратного рассеяния дюралюминиевых цилиндров-имитаторов ($\gamma = 0,5$), полученные экспериментально.

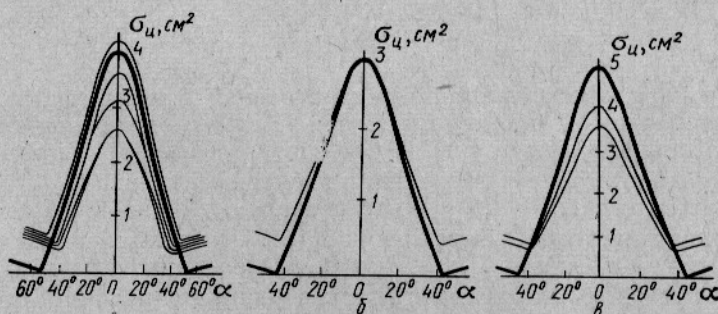


Рис. 2. Характеристики обратного рассеяния дюралюминиевых цилиндров-имитаторов при $\lambda = 5$ см:

a — $a = 0,5$ см, $l = 3,0$ см; b — $a = 0,41$ см, $l = 3,5$ см; v — $a = 0,5$ см, $l = 3,5$ см.

Длина и радиус плавательного пузыря связаны с длиной рыбы следующими соотношениями [4]:

$$\begin{aligned} l &= 0,24 L; \\ a &= 0,025 L, \end{aligned} \quad (11)$$

где L — длина рыбы.

Акустическое поперечное сечение обратного рассеяния рыбы определяется подстановкой соотношений (11) в формулу (10). Плавательный пузырь рыбы заполнен воздухом; коэффициент отражения при падении звука на границу водной и воздушной сред $\gamma=1$. В результате

$$\sigma_p = 0,0137 \cdot \frac{L^3}{\lambda} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha \sin \alpha} I_1^2 \left(0,31 \cdot \frac{L}{\lambda} \cos \alpha \right) I_{\frac{1}{2}}^2 \left(1,57 \cdot \frac{L}{\lambda} \sin \alpha \right). \quad (12)$$

Плавательные пузыри рыб, как правило, наклонены относительно оси рыбы, что необходимо учитывать при расчете акустических характеристик рассеяния различных видов рыб. Тогда выражение (12) запишется в виде

$$\sigma_p = 0,137 \cdot \frac{L^3}{\lambda} \cdot \frac{1}{\cos^2 (\alpha - \alpha_n) \sin (\alpha - \alpha_n)} I_1^2 \left[0,31 \cdot \frac{L}{\lambda} \cos (\alpha - \alpha_n) \right] \times \\ \times I_{\frac{1}{2}}^2 \left[1,57 \cdot \frac{L}{\lambda} \sin (\alpha - \alpha_n) \right], \quad (13)$$

где α_n — угол наклона плавательного пузыря относительно оси рыбы.

Плоские характеристики обратного рассеяния рыб различной длины, рассчитанные по формуле (13) при $\lambda=5$ см, приведены на рис. 3. Тонкими линиями показаны соответствующие результаты экспериментальных измерений для сельди (рис. 3, а и б) и трески (рис. 3, в) [1].

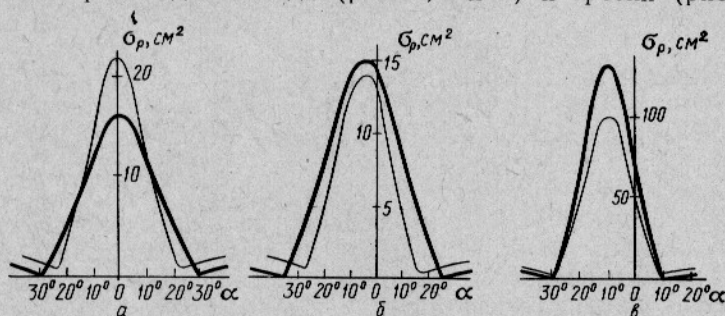


Рис. 3. Плоские характеристики обратного рассеяния одиночной рыбы при $\lambda=5$ см:

а — $L=18,0$ см, $\alpha_n=0$; б — $L=18,5$ см, $\alpha_n=5^\circ$; в — $L=30,0$ см, $\alpha_n=10^\circ$.

На рис. 4, а изображена пространственная характеристика обратного рассеяния рыбы длиной 27 см при $\lambda=5$ см, рассчитанная по формуле (13) при $\alpha_n=5^\circ$, на рис. 4, б — соответствующая характеристика для сельди длиной 27 см, полученная экспериментально [2].

Выражения (1), (6), (7) и (8) позволяют также определить пространственные индикатрисы рассеяния рыб и цилиндров-имитаторов. Индикатриса рассеяния — это условная поверхность, характеризующая относительную интенсивность рассеянного поля по различным направлениям. Из анализа выражений (1), (6), (7) и (8) следует, что рассеянное звуковое поле имеет максимальную интенсивность в направлении падения волны, т. е. при $\Theta=0$

$$I(r, 0, \varphi) = \frac{I_0 \gamma k^4 V^2}{4\pi r^2}. \quad (14)$$

Следовательно, индикатриса рассеяния

$$\frac{I(r, \theta, \varphi)}{I(r, 0, \varphi)} = \frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \cdot \frac{2\pi}{u^2 v} I_1^2(u) I_{\frac{1}{2}}^2(v), \quad (15)$$

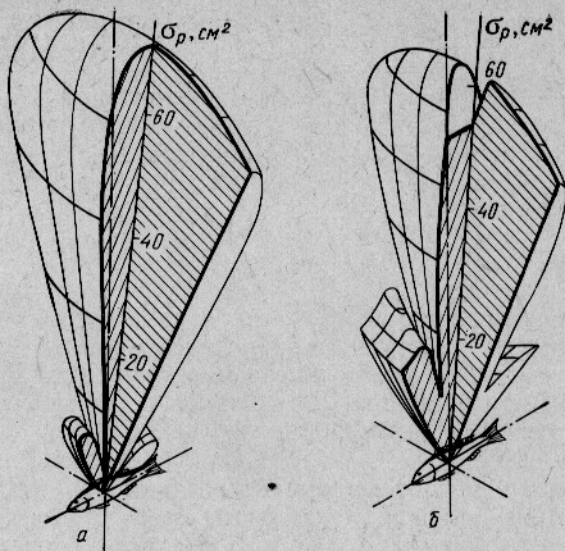


Рис. 4. Пространственные характеристики обратного рассеяния одиночной рыбы при $\lambda=5$ см, $L=27$ см, $\alpha_{\text{п}}=5^\circ$:
a — теоретическая; *б* — экспериментальная.

где для цилиндров-имитаторов

$$u = \frac{4\pi a}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2} \sin \beta, \quad (16)$$

$$v = \frac{2\pi l}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2} \cos \beta.$$

Пространственная индикатриса рассеяния рыбы определяется формулой (15) и выражениями (16) при подстановке в них соотношений (11):

$$u = 0,31 \cdot \frac{L}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2} \sin \beta, \quad (17)$$

$$v = 1,57 \cdot \frac{L}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2} \cos \beta.$$

Пространственные индикатрисы рассеяния рыбы, рассчитанные по формулам (15), (17) и (8) при $\frac{L}{\lambda}=3$ и различных углах наклона тела рыбы относительно направления падения волны, приведены на рис. 5. Пунктиром на рис. 5*a* изображена плоская индикатриса рас-

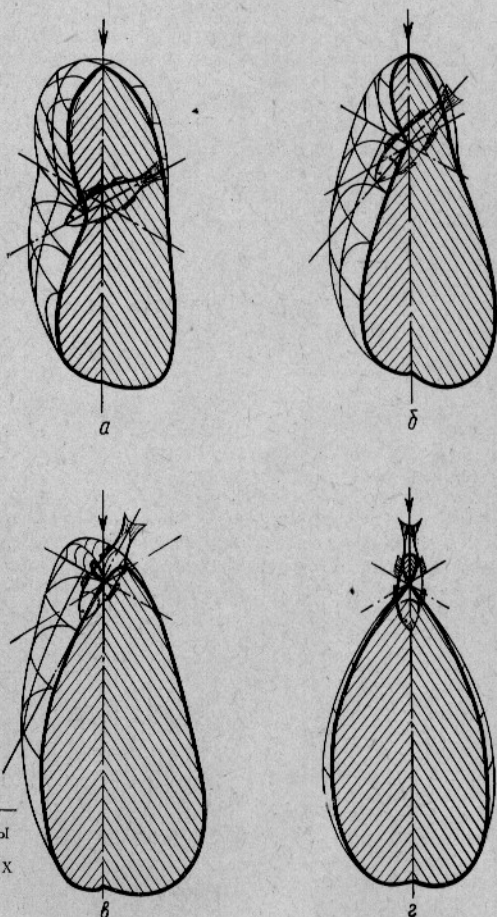


Рис. 5. Пространственные индикатрисы рассеяния рыбы при $\frac{L}{\lambda}=3$ и различных углах наклона тела рыбы:

a — $\alpha=0^\circ$; *б* — $\alpha=23^\circ$; *в* — $\alpha=45^\circ$; *г* — $\alpha=90^\circ$.

сеяния ставриды длиной 15 см ($\lambda=5$ см), полученная экспериментально.

Полученные результаты могут быть использованы при исследовании рассеяния и затухания звука в промысловых концентрациях рыб методом моделирования; кроме того, они могут найти применение при количественной и видовой расшифровке показаний гидроакустических рыбопоисковых приборов.

Выводы

1. Разработан экспресс-метод расчета акустических характеристик рассеяния одиночных рыб и цилиндров-имитаторов.

2. Получены аналитические выражения, описывающие пространственную индикатрису рассеяния и акустическое поперечное сечение обратного рассеяния рыб и цилиндров-имитаторов при их произвольной ориентации относительно падающей звуковой волны.

3. Рассчитаны и построены характеристики обратного рассеяния и пространственные индикатрисы рассеяния различных рыб и цилиндров-имитаторов; результаты теоретических расчетов сопоставлены с экспериментальными данными.

4. Исследованы закономерности рассеяния звука одиночными рыбами и цилиндрами-имитаторами, а также некоторые вопросы, связанные с многократным рассеянием звуковых волн в скоплениях рыб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юданов К. И., Ганьков А. А., Шатоба О. Е. Отражательная способность промысловых рыб Северного бассейна.—Рыбное хозяйство, 1966, № 12, с. 57.
2. Юданов К. И., Ганьков А. А., Шатоба О. Е. Характеристики обратного рассеяния промысловых рыб.—Рыбное хозяйство, 1967, № 8, с. 48.
3. Mc Cartwey, B. S., A. R. Stubbs. Measurements of the acoustic target strengths of fish in dorsal aspect, including swimbladder resonance. I. of Sound and Vibration, 1971, 15, N 3, 397.
4. Haslett, R. W. G. Physics applied to echo sounding for fish. Ultrasonics, 1964, N 2, 21.

SOUND SCATTERING BY FISH AND IMITATORS OF FISH

Kalikhman I. L

SUMMARY

Regularities of sound wave scattering by individual specimens of fish and imitating cylinders are discussed. The analytical expressions obtained describe acoustic scattering characteristics of fish and imitating cylinders at a random direction of irradiation. Characteristics of back scattering and scattering indicatrixes of various species of fish and imitators are determined and plotted. The results of theoretical estimations are compared with experimental data.