

УДК 639.2.081.7

ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ПРИДОННЫХ РЫБ
ГИДРОЛОКАТОРОМ

К. И. Юданов

Современные гидролокаторы имеют ограниченные возможности в отношении обнаружения придонных скоплений рыбы. Трудность обнаружения придонной рыбы гидролокатором объясняется в первую очередь тем, что зона действия прибора для дна значительно больше, чем для рыбы. Поэтому при обнаружении рыбы в непосредственной близости от дна гидролокатор регистрирует сначала эхо-сигналы от грунта, а уже потом от рыбы. Отделить показания рыбы от донных отражений в этих случаях бывает невозможно. Такая маскировка записи придонных скоплений рыбы имеет место при определенных соотношениях между углом падения ультразвукового пучка и высотой рыбных концентраций. Определим эти соотношения (рис. 1). Из рисунка видно, что сте-

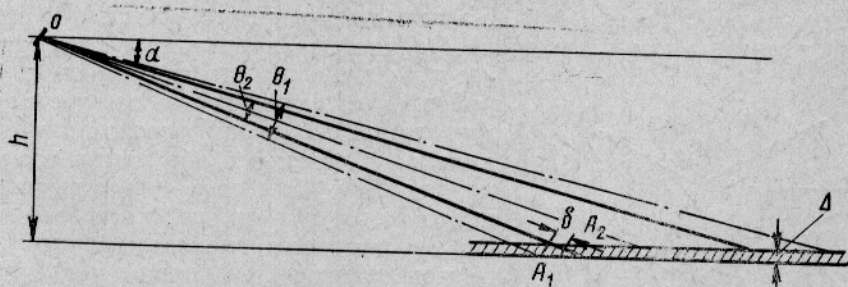


Рис. 1. Зоны действия гидролокатора при регистрации придонной рыбы.

пень запаздывания эхосигналов от придонной рыбы характеризуется разностью хода лучей OA_1 и OA_2 и может быть выражена следующей зависимостью:

$$\delta = OA_1 - OA_2 = \frac{h}{\sin\left(\alpha + \frac{\theta_1}{2}\right)} - \frac{h - \Delta}{\sin\left(\alpha + \frac{\theta_2}{2}\right)}, \quad (1)$$

где h — глубина места;
 Δ — толщина придонного слоя, в котором держится рыба;

α — угол наклона вибратора;

$\Theta_1; \Theta_2$ — эффективные углы направленности гидролокатора для дна и рыбы при данной дальности обнаружения.

Пользуясь этой формулой, можно установить, при каких условиях придонная рыба обнаруживается гидролокатором. Например, если $h=100$ м, $\Delta=10$ м, $\alpha=30^\circ$, $\Theta_1=20^\circ$; $\Theta_2=10^\circ$, то $\delta=2$ м и скопление рыбы прибором не регистрируется. Если $\Delta=20$ м, то $\delta=+16$ м — скопление может быть обнаружено. Таким образом, запаздывание эхосигналов от придонной рыбы, а значит и маскировка ее показаний, перестает сказываться только при значительном отрыве рыбы от грунта. Для того чтобы избавиться от такого рода маскировки придонных показаний, гидролокатор должен иметь узкий ультразвуковой пучок.

Применяемые в настоящее время гидролокаторы обладают довольно широким пучком ($\Theta=10 \div 20^\circ$), а потому и могут обнаруживать придонную рыбу на фоне эхосигналов от грунта только тогда, когда полезный сигнал от рыбы превалирует над донным. Такие случаи бывают при работе на грунтах со слабыми отражательными свойствами, например при регистрации рыбы вблизи илистого дна. Сильные эхосигналы, хорошо выделяющиеся на фоне донной реверберации, получаются от очень плотных концентраций рыбы, например при регистрации гидролокатором мощных придонных скоплений черноморской хамсы даже на мелководье. В таких случаях эхосигналы от рыбы легко обнаруживаются на слух и регистрируются самописцем, если сбавить усиление настолько, чтобы донные отражения не регистрировались.

Выделить эхосигналы от придонной рыбы можно также при наличии ровных и плоских грунтов. В местах, где поверхность дна ровная, наклонный луч гидролокатора отражается от грунта зеркально, т. е. в основном уходит в сторону, почти не возвращаясь назад. А так как отражения от скоплений рыбы имеют диффузный характер, то на ровных грунтах они должны регистрироваться прибором более четко, чем донная реверберация. Именно поэтому у берегов Африки (район Дакара) на ровных грунтах гидролокаторы хорошо регистрируют скопления сардины, находящиеся у самого дна.

Практически поверхность дна редко бывает очень ровной и плоской на значительном расстоянии. Однако при неровностях дна, размеры которых малы по сравнению с длиной волны излучаемого акустического импульса, отражение происходит зеркально, т. е. как от абсолютно гладкой поверхности. Для того чтобы выяснить, когда же будет наблюдаться зеркальное отражение от дна, необходимо установить критерий степени неровности. Предположим, что Δ — высота неровности, а α — угол падения волны (рис. 2). Падающая волна отражается от высшей точки неровности и от впадины. Из рисунка следует, что максимальная разница хода лучей, отразившихся от выступа и впадины неровности, равна

$$l = l_1 - l_2 = 2 \Delta \sin \alpha.$$

Разработанная Релеем теория показывает, что для того чтобы неровная поверхность дна давала зеркальное отражение, разность хода лучей должна быть меньше одной трети длины волны, т. е.

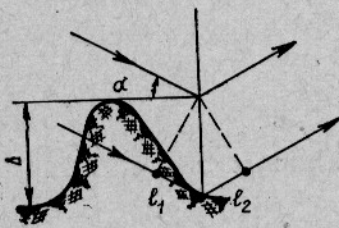


Рис. 2. Отражение акустических волн от неровностей дна.

$$2 \Delta \sin \alpha \leq \frac{\lambda}{3}.$$

Перепиывая это выражение в виде

$$\Delta \leq \frac{\lambda}{6 \sin \alpha}, \quad (2)$$

получаем условие, которое можно считать критерием степени неровности поверхности дна.

Пользуясь этим соотношением, рассчитаем допустимые неровности дна при разных углах зеркального отражения. Например, при $\alpha=5^\circ$ и $f=20$ кгц ($\lambda=7,5$ см) $\Delta = \frac{7,5}{6 \sin 5^\circ} = 14,4$ см, при $\alpha=5^\circ$ и $f=30$ кгц ($\lambda=5$ см) $\Delta=9,6$ см.

Результаты аналогичных расчетов для разных предельных углов зеркального отражения приведены в табл. 1.

Таблица 1
Допустимые неровности дна (в см) при различных углах зеркального отражения

	$\alpha = 5^\circ$	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 15^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 25^\circ$	$\alpha = 30^\circ$
$f = 20$ кгц, $\lambda = 7,5$ см	14,4	7,2	4,8	3,7	3,0	2,5
$f = 30$ кгц, $\lambda = 5$ см	9,6	4,8	3,2	2,4	2,0	1,7

Как видно из табл. 1, требования в отношении неровности дна при зеркальном отражении очень высоки. С увеличением рабочей частоты и наклона вибратора эти требования еще более возрастают. Опытным путем установлено, что при работе гидролокатором на ровных грунтах донная реверберация незначительна, когда луч падает на дно под углом меньше 20° . Этот критический угол зависит от рабочей частоты и состава грунта. Дно из гравия причиняет больше неприятностей, чем песчаное или глинистое. Очень трудно, а часто и невозможно отличить эхо от стаи рыбы у дна от эха от группы валунов на дне.

Найдем теперь, какими дальностями действия должен обладать гидролокатор для получения зеркального отражения от сравнительно ровного дна.

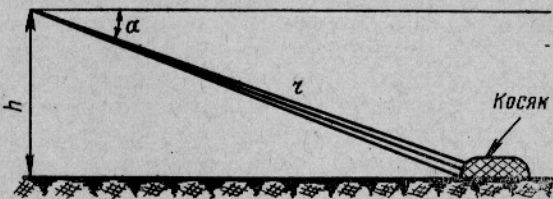


Рис. 3. Поиск придонной рыбы наклонным лучом гидролокатора.

Как следует из соотношения (2), предельный угол зеркального отражения определяется выражением

$$\sin \alpha_{\text{пр}} = \frac{\lambda}{6 \Delta}.$$

Угол наклона луча гидролокатора (рис. 3) равен

$$\sin \alpha = \frac{h}{r},$$

где h — глубина места;
 r — расстояние до дна.

Сопоставляя обе формулы, получим

$$r = \frac{6 h \Delta}{\lambda}. \quad (3)$$

Формула (3) позволяет определить дальность действия гидролокатора, необходимую для получения зеркального отражения от грунтов с разной степенью неровности и разных глубин. Результаты расчетов для разных глубин и неровностей дна представлены в табл. 2.

Таблица 2
 Дальности действия гидролокатора (в м), необходимые для получения зеркального отражения от дна (при $f = 20$ кгц)

Глубина, м	Неровность дна, м				
	10	20	30	40	50
50	400	800	1200	1600	2000
100	800	1600	2400	3200	4000
200	1600	3200	4800	6400	8000
300	2400	4800	7200	9600	12000

Из таблицы следует, что зеркальное отражение от довольно ровного дна возможно только при больших дальностях действия гидролокатора. Приведенные в таблице значения в большинстве случаев, особенно для больших глубин, значительно превышают предельные дальности действия современных гидролокаторов (около 2000 м). Поэтому на практике зеркальное отражение от сравнительно ровного дна может применяться только при поиске рыбы гидролокатором на небольших глубинах.

При неровной поверхности грунта наряду с зеркальным отражением происходит диффузное рассеяние, и отражение от дна будет иметь сложную характеристику направленности (так называемые спектральные пучки). Направление спектральных пучков и их амплитуда зависят от степени неровности, направления падающей звуковой волны и ее длины. Если неровности не слишком велики, то характеристика направленности отраженных от дна сигналов имеет максимум, который отвечает геометрическому отражению. Так что и для неровных грунтов пологое падение луча приводит к меньшему обратному отражению. Учитывая это, при поиске придонной рыбы необходимо стремиться к тому, чтобы луч гидролокатора встречался с грунтом под возможно меньшим углом. В частности, на отлогих склонах нужно стараться вести поиск рыбы в сторону больших глубин.

Существующие гидролокаторы в большинстве случаев не в состоянии регистрировать скопления придонной рыбы еще и потому, что они имеют большие длительности посылок (10—20 м/сек) и мелкий масштаб записи (3,5—13 м/мм). Поэтому записи придонных скоплений рыб на эхограмме самописца гидролокатора, как правило, сливаются с записью дна. Тем более невозможно обнаружить эхосигналы от придонной рыбы на слух. При наличии рыбы у дна, промежуток времени меж-

ду эхосигналами гидролокатора от рыбы и грунта обычно оказывается настолько малым, что человеческое ухо не в состоянии выделить полезный сигнал от рыбы на фоне донной реверберации.

Из всего сказанного следует, что для эффективной работы гидролокатор должен иметь очень узкий ультразвуковой пучок и примерно такую же разрешающую способность по дальности, как поисковые эхолоты, т. е. длительность излучаемых импульсов 1—2 м/сек и масштаб записи 0,8—1,0 м/мм.

В настоящее время уже предпринимаются попытки создания такого рода гидролокаторов. Так, французский гидролокатор «Эксплоратор» имеет угол направленности по вертикали около 2°. Испытание такого гидролокатора на траловом промысле придонных концентраций трески и пикши дало обнадеживающие результаты.

С применением узконаправленных систем особенно остро встает вопрос о влиянии качки судна на эффективность работы гидролокаторов. Для уменьшения влияния качки предлагается создать пространственную стабилизацию вибраторов, при которой направление ультразвукового луча оставалось бы практически постоянным независимо от положения судна при качке. Имеются различные системы механической и гироскопической стабилизации. Однако такие системы еще недостаточно совершенны. Некоторые успехи достигнуты в создании автоматической стабилизации луча без механического смещения вибратора. При электронной стабилизации смещение оси луча вибратора в такт качке достигается фазированием напряжения эхосигналов, принятых от разных секций вибратора.

ВЫВОД

Для того чтобы гидролокатор мог регистрировать рыбу, находящуюся вблизи дна, он должен иметь очень узкий, наклонный и стабилизированный в пространстве ультразвуковой пучок, малую длительность посылок, крупный масштаб регистрации и высокую общую чувствительность.

ЛИТЕРАТУРА

- Релей. Теория звука. Гостехиздат, 1955.
Физические основы подводной акустики. Изд-во «Советское радио». М., 1955.
Asdic de pêche type «Explorator». Compagnie Générale de Télégraphie Sans Fil (CSF). Paris.
Tucker D. G. Some new possibilities in civil underwater echo-ranging. J. Brit. Inst. Radio Eng. 20, 1960, № 4.
-