

УДК 639.2.081.7

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ РЫБОПОИСКОВЫХ ПРИБОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗВЕДКИ РЫБ

К. И. Юданов

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Эффективность гидроакустических рыбопоисковых приборов можно характеризовать предельной дальностью обнаружения скоплений рыбы, а также интенсивностью регистрации их приборами. В свою очередь предельная дальность обнаружения ($r_{\text{макс}}$) определяется чувствительностью гидроакустических приборов, т. е. той минимальной интенсивностью полезного эхосигнала ($I_{\text{мин}}$), при которой он может быть зарегистрирован приемным устройством на фоне акустических помех. В общем виде пороговая интенсивность полезного эхосигнала находится по известной формуле

$$I_{\text{мин}} = \frac{P_a \gamma S_э}{(4\pi)^2 r_{\text{макс}}^4 \cdot 10^{20}} \cdot 10^{-0,2 \delta r_{\text{макс}}},$$

откуда предельная дальность обнаружения равна

$$r_{\text{макс}} \cdot 10^{0,05 \delta r_{\text{макс}}} = \sqrt[4]{\frac{P_a \gamma S_э}{(4\pi)^2 10^{20} I_{\text{мин}}}}, \quad (1)$$

где P_a — акустическая мощность излучения;

γ — коэффициент концентрации акустической системы при излучении;

$S_э$ — эффективная площадь рассеяния регистрируемого объекта;

δ — коэффициент пространственного затухания акустической энергии в воде.

Как видно из приведенной формулы, увеличение дальности действия гидроакустических приборов при известных условиях распространения ультразвука в воде и определенных отражательных свойствах объекта может быть достигнуто за счет повышения интенсивности излучаемой акустической энергии и увеличения эффективности работы прибора по приемному тракту.

Повышение интенсивности излучаемой акустической энергии, как известно, осуществляется путем увеличения мощности генератора электрических импульсов, увеличения направленности излучателя, а также использования электроакустических преобразователей с более высоким к. п. д. Ограничивающими факторами при увеличении акустической мощности являются значительное усложнение конструкции рыбопоискового прибора и увеличение его габаритов.

Увеличение эффективности работы прибора по приемному тракту достигается повышением чувствительности отдельных его блоков: гидрофона, усилителя и регистратора. В этом отношении имеются значительные успехи. Однако эффективность приема определяется не только чувствительностью приемных устройств, она зависит еще от уровня акустических и электрических помех, на фоне которых происходит прием полезного сигнала.

Уменьшение уровня помех обычно достигается путем их подавления в местах возникновения. Так, для снижения гидродинамических помех, возникающих на поверхности акустического преобразователя при движении судна, преобразователь помещают в обтекатель. Уровень помех от вибраций корпуса судна снижают размещением акустических систем в местах с наименьшим уровнем помех. Электрические помехи от воздействия электромагнитных полей различных судовых электрических и радиотехнических устройств в значительной степени ликвидируются устранением искрения контактов, применения соответствующей экранировки монтажа и использования фильтрующих устройств.

Значительно труднее избавиться от акустических помех, распространяющихся в воде. Такого рода помехи возникают от работающих на судне механизмов и двигателей, вибрация и шум которых передаются в воду. Основным источником помех является гребной винт. Совпадая с рабочей частотой гидроакустической аппаратуры, эти помехи воспринимаются приемным трактом приборов. Особенно сильно сказываются акустические шумы судна на работу эхолота. Автором было установлено, что при небольших глубинах отраженные от дна шумы судна, попадая на приемный вибратор, регистрируются самописцем в виде многочисленных штрихов, разбросанных по всей шкале бумаги (рис. 1). С увеличением скорости хода судна помехи возрастают. На полном ходу и при большом усилении помехи от шумов судна становятся настолько велики, что мешают вести поиск рыбы.



Рис. 1. Запись акустических помех эхолотом на полном ходу судна.

Сильной помехой, маскирующей полезный эхосигнал, является реверберация. Возникает она в результате рассеяния звука различными неоднородностями морской среды: пузырьками газа, твердыми взвешенными частицами, термическими неоднородностями, планктоном, неровностями поверхности моря и дна. Реверберационные помехи отрицательно влияют на эффективность работы гидроакустических приборов горизонтального действия.

Уровень реверберационных помех, а также помех от шумов судна удается заметно уменьшить путем сужения полосы пропускания приемо-усилительного тракта и применения узконаправленных приемных систем. Уменьшение таких помех достигается также использованием так

называемых корреляционных приемных систем. При корреляционных методах приема полезные сигналы удается выделить из массы хаотических помех благодаря тому, что они имеют характерные особенности, определенным образом коррелированные (взаимосвязанные) между собой. Помехи, хаотически расположенные в пространстве и беспорядочно во времени, корреляционной связи не имеют, что позволяет отделять их от полезных сигналов. Однако этим методом бывает трудно избавиться от реверберационных помех, так как они оказываются коррелированными с эхосигналами. Дело в том, что реверберация порождается самим сигналом, тогда как, например, шумы судна по своей природе статистически не связаны с сигналом. Выделить полезный сигнал на фоне реверберационных помех не представляет трудности только при локации движущихся объектов. В этом случае возможна частотная селекция эхосигналов, так как благодаря эффекту Доплера эхосигнал будет изменяться по частоте иначе, чем реверберация.

Все перечисленные методы борьбы с помехами позволяют значительно уменьшить их уровень, повысить надежность наблюдений и эффективность работы гидроакустических приборов.

Возвращаясь к формуле (1), мы видим, что дальность действия гидроакустических приборов зависит не только от параметров самих приборов, но и от параметров окружающей среды (пространственного затухания звука), а также от отражательных свойств регистрируемого объекта. Остановимся на этом более подробно.

Отражательная способность рыб. С точки зрения гидроакустики рыбы и другие морские организмы представляют собой неоднородности, от которых происходит рассеяние звуковых волн во все стороны. Рассеяние акустической энергии на неоднородностях достаточно подробно изучено Релеем [3] применительно к мелким объектам, размеры которых значительно меньше длины волны. В этом случае действует установленный им закон распределения энергии по разным направлениям вокруг рассеивающего объекта:

$$I = I_0 \frac{9\pi^2 V^2}{\lambda^4 r^2} \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right) \left(\frac{1 + \cos^2 \varphi}{2} \right), \quad (2)$$

- где I_0 — интенсивность падающего излучения;
 V — объем рассеивающего объекта;
 λ — длина волны;
 r — расстояние от источника излучения до объекта;
 m — комплексный показатель преломления;
 φ — угол рассеяния.

Из релейского закона рассеяния следует, что отношение интенсивностей колебаний в рассеянном и падающем звуковых полях обратно пропорционально четвертой степени длины волны и прямо пропорционально квадрату объема объекта или шестой степени его радиуса. При увеличении радиуса объекта в 2 раза интенсивность рассеяния возрастает в 16 раз.

Если по указанной формуле построить полярную диаграмму зависимости интенсивности рассеянного звука от угла рассеяния при фиксированном направлении падающего звукового потока, то такая диаграмма будет иметь следующий вид (рис. 2).

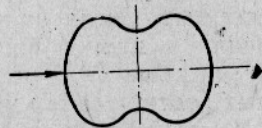


Рис. 2. Релеевская индикатриса рассеяния.

Эта кривая дает наглядное представление о пространственном распределении интенсивности рассеянных лучей. Такая кривая, графически показывающая распределение интенсивности рассеянного звука

по азимуту, называется индикатрисой рассеяния. Из индикатрисы релеевского рассеяния следует, что рассеяние вперед и назад одинаково; кроме того, оно в 2 раза больше, чем в перпендикулярных направлениях. Важным свойством релеевского рассеяния является то, что в зависимости от различных факторов изменяются только размеры индикатрисы рассеяния, а ее форма остается неизменной независимо от величины и формы малых объектов.

Приведенные выше закономерности обычно применимы к объектам, размеры которых значительно меньше длины волны. Однако явление релеевского рассеяния звуковых волн в водо-рыбной среде может наблюдаться и на более крупных объектах. Как показали эксперименты, релеевский закон рассеяния распространяется даже на рыб, размеры которых немалы по сравнению с длиной волны.

Если размеры рыб в направлении падающих лучей сравнимы с длиной волны, то теория рассеяния становится сложнее, так как приходится сталкиваться с дифракционными явлениями, происходящими на поверхности рыбы. Кроме того, нужно учитывать особенности внутреннего отражения звуковых волн в рыбе. Так как рыба для звука является полупрозрачным телом, то акустическая энергия, падая на ее поверхность, частично отражается, а частично проходит внутрь тела. Входящий внутрь рыбы звуковой поток делится на две части; одна — выходит из рыбы сразу в направлении падающего сигнала, а другая — после многократных внутренних отражений в разных направлениях.

Явления, происходящие при рассеянии звука рыбами, размеры которых соизмеримы с длиной волны, будут аналогичны тем, которые исследовались Ми в задачах по распространению световых волн в мутных средах [8]. Как следует из теории мутных сред, сложение эффектов многократного отражения и дифракции на рассеивающих объектах приводит к деформации индикатрисы рассеяния. Волны в боковых направ-

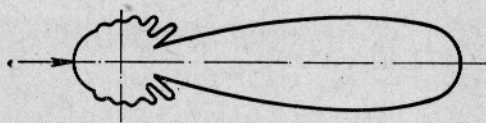


Рис. 3. Индикатриса для акустически жесткой сферы при $\frac{2\pi r}{\lambda} = 10$ (r — радиус сферы) по Штанцелю [4].

лениях и в направлении назад гасятся благодаря взаимной интерференции. С увеличением размеров объектов индикатриса рассеяния все более и более вытягивается вперед. Это вытягивание приводит к тому, что в случае больших рассеивающих объектов значительная часть рассеянной энергии посылается только вперед (рис. 3).

Аналогичными должны быть индикатрисы рассеяния звука от крупных рыб. Согласно теории Ми, при увеличении размеров рыб (по сравнению с длиной волны) интенсивность их рассеяния будет возрастать не так быстро, как при релеевском рассеянии. Однако при определенных соотношениях между размерами объектов и длиной волны, а также волновыми сопротивлениями объекта и среды происходит резкое резонансное возрастание рассеяния. Затем по мере увеличения размеров рыб степень влияния длины волны на интенсивность рассеяния постепенно понижается.

Сложность явлений, происходящих при рассеянии звука рыбами, размеры которых соизмеримы с длиной волны, не позволяет пока получить теоретические закономерности для расчета интенсивности рассеяния. Поэтому в настоящее время важное значение приобретают экспериментальные методы исследования. В последнее десятилетие в ряде

стран были проведены экспериментальные исследования акустических свойств рыб в лабораторных и реальных условиях. В результате экспериментов было установлено, что коэффициент отражения от мяса рыбы равен 4,5%, от костей — 26% [9, 15]. Наибольшее отражение звука происходит от плавательного пузыря. И хотя плавательный пузырь занимает около 5% объема тела рыбы, он отражает до 50% амплитуды общего эхосигнала [13]. Измерения, выполненные Шишковой [9], на частотах 50—300 кгц показывают, что суммарный коэффициент отражения от беспузырных рыб составляет 7—19%, а от рыб с плавательным пузырем — 12—22%.

При определении отражательных свойств рыб исследователи были вынуждены ограничиваться только измерениями величин обратного рассеяния, так как снятие полных индикатрис рассеяния связано со значительными техническими трудностями. В результате экспериментальных измерений устанавливают условную эффективную площадь рассеяния или поперечное сечение рассеяния.

Эффективная площадь рассеяния представляет собой условную площадь, перпендикулярную к звуковому лучу и создающую рассеяние во все стороны, подобно реальному объекту. Наиболее просто эффективная площадь рассеяния рыб находится по методу замещения путем сопоставления эхосигналов от рыбы с отражением от эталонной сферы определенного радиуса. Так как расстояния от рыбы и эталонной сферы при измерениях часто неодинаковы, то при обработке записей эхосигналов для сравнения их приводят к одному расстоянию с учетом законов распространения звука в воде. Для пересчета пользуются формулой

$$S_p = S_c \frac{P_p}{P_c} \left(\frac{r_p}{r_c} \right)^4 10^{0,2\delta(r_p - r_c)}, \quad (3)$$

где $S_c = \pi R^2$ — эффективная площадь рассеяния сферы;

R — радиус сферы;

$\frac{P_p}{P_c}$ — отношение мощностей сигналов от рыбы и сферы;

r_p, r_c — расстояния от излучателя до рыбы и сферы.

Эффективная площадь рассеяния является важной характеристикой отражательных свойств рыб, она позволяет количественно оценить величину отражения и, следовательно, рассчитать дальность действия прибора по формуле (1).

При сопоставлении данных измерений эхосигналов от разных рыб и скоплений отражательную способность часто выражают через экспериментально определяемый радиус эквивалентной сферы, на поверхности которой не происходит поглощения. Благодаря полной симметрии сферы интенсивность отражаемых ею эхосигналов совершенно не зависит от ее ориентации, поэтому сфера является очень удобной моделью отражающего объекта.

В противоположность сфере отражательные свойства рыбы довольно сложным образом зависят от ее ориентации относительно направления облучения. Так как рыба имеет сложную конфигурацию, то падающая на нее энергия облучает все ее части одновременно и под разными углами. При изменении ориентации рыбы относительно звукового луча изменяется как амплитуда, так и разность фаз сигналов, отраженных от разных участков рыбы. Поэтому эффективная площадь рыбы при ее облучении под разными углами может изменяться в больших пределах. Зависимость величины рассеяния звуковых волн от ориентации рыбы определялась разными исследователями. На рис. 4 показаны

полярные диаграммы рассеяния, полученные Хаслетом [14] для рыб разных размеров. На этих диаграммах видны частые чередования больших максимумов и глубоких минимумов. При повышении рабочей частоты возрастает как величина максимумов, так и глубина минимумов; число лепестков увеличивается, а их ширина уменьшается.

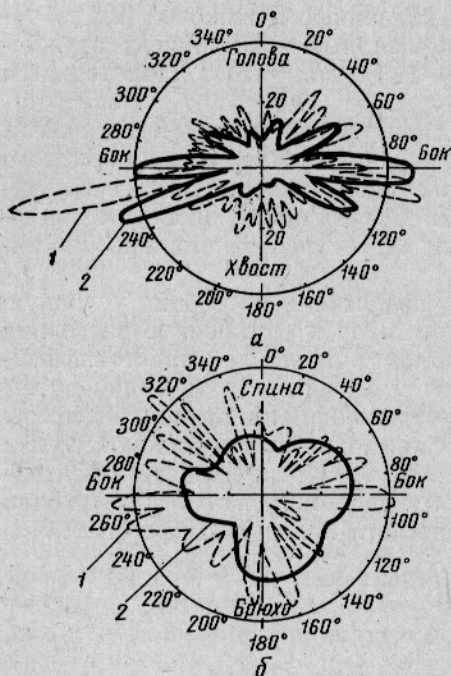


Рис. 4. Полярная диаграмма обратного рассеяния звука от рыб разных размеров:

1 — $L = 30,4$ (20 мВ соответствует $S = 1,73 \cdot 10^{-1} \text{ см}^2$); 2 — $L = 4,4 \lambda$ (20 мВ соответствует $S = 8,8 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$ при 1,48 мГц)

нимать площади рассеяния рыб под разными углами, приблизительно одинаковыми и равными площади рассеяния цели в главном вертикальном направлении. С достаточной для приближенных расчетов степенью точности можно считать, что эффективная площадь рассеяния для скопления рыб является суммой эффективных площадей отдельных рыб $S_{э_1}, S_{э_2}, \text{ т. е.}$

$$S_{э} = S_{э_1} + S_{э_2} + S_{э_3} + \dots + S_{э_n},$$

где n — число рыб, попадающих в ультразвуковой пучок прибора.

Считая, что рыбы в скоплении имеют одинаковый размер, получим

$$S_{э_{ск}} = nS_{э_1}. \quad (4)$$

Однако такой упрощенный способ определения эффективной площади рассеяния возможен только для разреженного скопления рыб. Для объемной плотной концентрации рыб расчет эффективной площади

Величины отраженных сигналов со стороны головы, хвоста и боков сильно различаются. Отражения от головы и хвоста отличаются в 2—3 раза, от боков отраженные сигналы примерно в 10 раз больше, чем от хвоста. Это обстоятельство необходимо иметь в виду при поиске рыбы. При ведении разведки рыбы гидролокатором нужно обязательно учитывать направление миграций рыбы и производить поиск перпендикулярно ходу рыбы, в то время как влияние ориентации рыбы на дальность ее обнаружения может быть использовано для определения направления движения рыбы.

При хаотической ориентации рыб, например на местах зимовки атлантической сельди, направление поиска гидролокатором не влияет на дальность обнаружения скоплений. В таких случаях нужно пользоваться усредненными статистическими величинами площади рассеяния как при горизонтальной, так и при вертикальной локации. При поиске рыбы эхолотом с узким пучком вполне допустимо при-

рассеяния сильно усложняется ввиду необходимости учета зоны действия прибора, а также явлений многократного рассеяния, затухания и т. д.

Экспериментальные исследования отражательных свойств разных рыб показывают, что эффективная площадь рассеяния в сильной степени зависит от размеров, формы и внутреннего строения рыб, а также от рабочей частоты гидроакустических приборов. По данным морских опытов Шишковой, Джонса, Хасимото и других, величина эффективной площади рассеяния растет прямо пропорционально длине рыбы. Установлена тенденция роста отражения от рыбы с частотой. Наиболее детальную зависимость величины рассеяния от частоты ультразвуковых волн и размеров рыб удалось получить английскому исследователю Хаслету [14]. Проведенные им эксперименты в аквариуме на мелких рыбках с применением высоких частот дали возможность подробно проследить за изменениями величины рассеяния (S_e) в зависимости от отношения размера рыбы к длине волны (L/λ). Было установлено, что при малых значениях отношения L/λ акустическое поперечное сечение рыбы растет пропорционально четвертой степени частоты (релеевское рассеяние). В этом случае отражение от мяса рыбы больше, чем от плавательного пузыря и позвоночника. При повышении частоты и постоянных размерах рыбы рост величины рассеяния замедляется. Суммарное эхо от рыбы складывается из эха от мяса, костей и плавательного пузыря. Энергия рассеяния оказывается пропорциональной квадрату частоты. Это подтверждается также экспериментальными измерениями Джонса и Хасимото [7, 13] на морских рыбах. При еще более высоких частотах сигнал от плавательного пузыря и позвоночника преобладает над отражением от мяса, и энергия рассеяния становится пропорциональной частоте.

На величину рассеяния от рыб влияют также интерференционные явления, которые возникают в результате сложения отражений от передней и задней поверхности рыбы. Это приводит к усилению или ослаблению общего рассеяния. Как видно из рис. 5, величина рассеяния быстро изменяется при малых значениях L/λ . Затем подъем кривой замедляется, достигая максимума. Далее кривая снижается до минимума, потом опять поднимается до максимума и т. д. Такое нарастание и спад энергии рассеяния по мере увеличения отношения L/λ хорошо согласуются с теорией рассеяния в мутных средах.

Наличие максимумов отражения при определенных отношениях размера рыбы к длине волны (L/λ) подтверждается также результатами работ Кушинга и Ричардсона с трехчастотным эхолотом [12]. Проведенные ими измерения эхосигналов от скоплений трески и сельди на 10; 14 и 30 кгц дали следующие соотношения амплитуд:

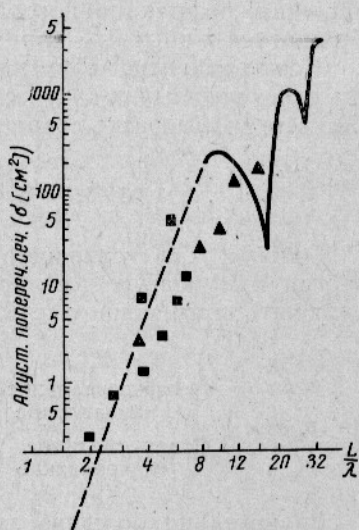


Рис. 5. Зависимость величины обратного рассеяния от отношения размеров рыб к длине волны:

■ — измерения Хасимото; ▲ — измерения Джонса и Пирса.

	10 кгц	14 кгц	30 кгц
Треска (90 см) . . .	1	5,4	0,6
Сельдь (22,5 см) . .	1	2,8	8,1

Значительное увеличение интенсивности эхосигналов при регистрации крупных рыб на низких частотах и мелких рыб на более высоких частотах наводит на мысль о наличии оптимальных рабочих частот для поиска разных пород рыб. Однако этот вопрос требует специальных исследований с учетом явлений затухания ультразвука в воде.

Затухание ультразвуковых сигналов. Интенсивность эхосигналов от объекта, как известно, уменьшается пропорционально расстоянию, проходимому звуком в воде, и некоторой величине, характеризующей ослабление звука на единицу пути, — так называемому коэффициенту пространственного затухания. Затухание обуславливается естественным поглощением среды за счет ее теплопроводности, вязкости и молекулярной структуры.

Учет естественного поглощения ультразвука средой и ослабления интенсивности с расстоянием (за счет расширения фронта волны) не дает полного представления об общем затухании ультразвуковых сигналов. Большую роль здесь играет рассеяние и поглощение звука неоднородностями воды, главным образом газовыми пузырьками, насыщающими воду. Невозможность аналитического расчета молекулярного поглощения, рефракционного рассеяния и других факторов заставляет обращаться к опытным данным.

Коэффициенты затухания звука в воде, замеренные в поверхностном слое, показывают, что с увеличением частоты затухание акустической энергии (δ) резко возрастает [5]:

кгц	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
δ , дб/км . . .	1,03	3,0	5,45	8,4	11,7	15,3	19,0	23,6	27,0	30,0

Однако, как установили японские исследователи [7], рост потерь энергии при повышении частоты оказался не настолько велик, чтобы исключить применение частот 200 кгц и более:

	кгц	100	200	300	400	1000
δ , дб/км	горизонтальное направление	30	43	—	120	530
	вертикальное направление	10	10	25	50	400

Значительно большее затухание в горизонтальном направлении объясняется тем, что в поверхностном слое моря наблюдается особенно высокая концентрация газовых пузырьков. Пузырьки в поверхностном слое моря образуются при выделении из воды растворенных в ней газов вследствие жизнедеятельности планктона и других организмов, а также в результате шторма. Значительное поглощение излучаемых звуковых сигналов получается из-за завихрений и пузырьков, образующихся под днищем судна при его движении.

Поглощение особенно возрастает, если частота излучаемых звуковых колебаний совпадает с собственной частотой колебаний пузырьков. Такое явление резонанса наступает, например, при рабочей частоте 33 кгц и радиусе пузырьков около 0,1 мм. Замеры поглощения ультразвуковых волн, проведенные Хасимото и Нисимура [6] в слое пузырьков радиусом 0,1—1,5 мм, показали, что ослабление звука на 28 кгц было 19 дб, на 400 кгц — 2,5 дб, а на 1 мгц поглощение от пузырьков вообще

отсутствовало. Значительно меньшее затухание на высоких частотах в насыщенном пузырьками слое воды подтверждается также наблюдениями автора в море. Так, при работе эхолотом «Нью Телевиграф» (50 и 200 кгц) выяснилось, что завеса из пузырьков воздуха от заднего хода судна в разной степени влияет на показания эхолота в режиме 50 и 200 кгц. Как видно из рис. 6, на 50 кгц затухание ультразвука от пузырьков настолько велико, что даже получают пропуски в записи дна, в то же время на 200 кгц завеса из пузырьков воздуха под вибраторами эхолота почти не влияет на показания прибора.

В процессе опробования высокочастотных эхолотов выяснилось также, что с увеличением частоты уменьшается влияние струй и пузырьков, возбуждаемых движением судна. Эксперименты в море показали, что на эхолот с рабочей частотой 200 кгц пузырьковый слой не оказывает влияния даже при 11 узлах хода. Для эхолота на 13 кгц при тех же условиях наблюдалось увеличение шума до 30 дб. Оказалось, что при таких условиях максимальная глубина морского дна, которую способен регистрировать эхолот, уменьшалась с 4000 м, когда судно стояло, до 400 м — на полном ходу.

Указанные преимущества высоких частот особенно ощутимы при работе с гидроакустическими приборами после шторма, когда поверхностные слои воды сильно насыщены пузырьками воздуха. Как показали наблюдения Ажажи [1], выполненные на подводной лодке «Северянка» в Северной Атлантике, большая концентрация пузырьков воздуха в верхних слоях моря во время шторма и в течение нескольких дней после него сильно ухудшает работу эхолотов на промысловых судах (рабочая частота эхолотов 20—30 кгц). При этом затухание бывает настолько велико, что эхолоты совершенно не отмечают сельдь, находящуюся даже на небольших глубинах. Несомненно, что применение в таких случаях высокочастотных эхолотов будет очень целесообразно.

ПОЛЯРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Для эффективного использования гидроакустических приборов в поисковой работе важно иметь ясное представление о величине зоны, просматриваемой прибором, знать дальность действия прибора в разных направлениях. Если от местоположения приемо-излучающей системы откладывать значения дальности под соответствующими углами, то получится пространственная характеристика изменения дальности действия прибора в разных направлениях. Однако расчеты и построение таких пространственных зон действия гидроакустических приборов дело довольно трудоемкое. Поэтому для удобства лучше пользоваться кривыми сечения этих зон в определенных направлениях — так называемыми плоскостными полярными характеристиками дальности действия.

Полярная характеристика дальности действия гидроакустического прибора представляет собой геометрическое место точек, отображающих положения заданной цели при условии, что величина эхосигнала

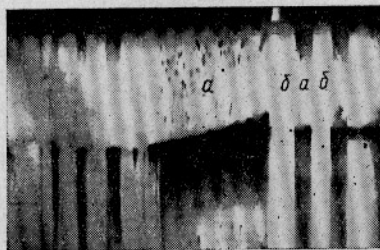


Рис. 6. Влияние воздушных пузырьков от заднего хода судна на работу эхолота «Нью Телевиграф»:

а — при рабочей частоте 200 кгц;
б — при 50 кгц.

от цели в указанных точках имеет одно и то же минимально необходимое для ее обнаружения значение. Полярная характеристика дальности определяется направленностью вибраторов, чувствительностью прибора и отражательными свойствами регистрируемого объекта. Поэтому характеристика дальности как бы объединяет свойства гидроакустического прибора и цели, полнее характеризует поисковые качества прибора.

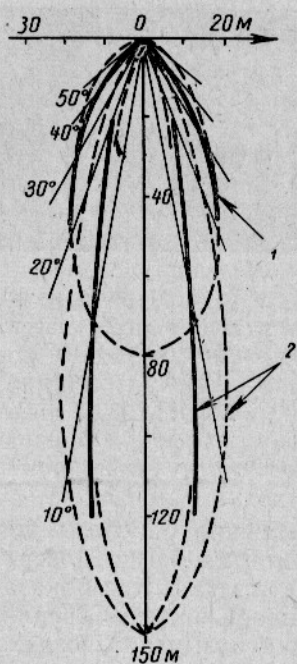


Рис. 7. Полярная характеристика дальности действия эхолотов для балтийской трески:

1 — НЭЛ-5Р; 2 — ЭГА-10 (в продольной и поперечной плоскости судна).

Рассмотрим, например, характеристики дальности эхолотов НЭЛ-5Р и ЭГА-10 для балтийской трески (рис. 7). Из характеристик видно, что величина зоны обнаружения эхолотов не возрастает линейно по мере увеличения глубины. Наоборот, достигнув известного размера, зона почти не меняется и ультразвуковой пучок скорее можно сравнить с цилиндром, чем с конусом. Зона обнаружения немецкого эхографа ЭГА-10 в стороны от судна намного меньше, чем у НЭЛ-5Р. Однако дальность эхографа в глубину значительно превышает дальность действия НЭЛ-5Р за счет концентрации энергии в узком пучке и большей чувствительности эхографа.

Приведенные характеристики были получены автором различными способами. Один из способов сводится к следующему. Из множества показаний одиночных рыб на ленте самописца выбираются для разных горизонтов серии записей с резко выраженными, симметрично свисающими концами. Затем по максимальным записям определяются зоны действия прибора для разных глубин и строится характеристика дальности. Такая методика была использована нами для определения характеристики дальности действия эхолотов применительно к одиночным рыбам и стаям разных пород [10].

Полярные характеристики дальности действия гидроакустических приборов можно вычислить также аналитическим способом. С

целью упрощения расчетов рассмотрим сначала условия ближней локации объектов, когда можно пренебречь поглощением акустических колебаний в воде и учитывать только потери от расширения фронта звуковой волны. В таких случаях при диффузном отражении от объекта звуковое давление эхосигналов будет обратно пропорционально квадрату расстояния до объекта, а дальность обнаружения в осевом направлении равна

$$r_{\text{макс}} = k p_0^2 \quad (5)$$

где p_0 — звуковое давление, излучаемое в осевом направлении;
 k — коэффициент пропорциональности.

Соответственно дальность обнаружения того же объекта при тех же условиях в направлении угла θ равна

$$r_{\theta} = k p_{\theta}^2 \quad (6)$$

Производя деление этих выражений почленно, получим

$$\frac{r_{\theta}}{r_{\max}} = \frac{P_{\theta}^2}{P_0^2} = G_{\theta}; \quad r_{\theta} = r_{\max} G_{\theta}, \quad (7)$$

где G — суммарный фактор направленности приемо-излучающей системы;

$$G_{\theta} = \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right)}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta} \right]^2,$$

здесь a — размер пакета вибратора;

λ — длина ультразвуковой волны в воде.

Таким образом, характеристика дальности гидроакустического прибора применительно к определенному отражающему объекту может быть построена по характеристике направленности, если известна предельная дальность обнаружения объекта в направлении максимума излучения. При условии соблюдения соответствующего масштаба характеристика дальности будет идентична характеристике направленности прибора.

Если максимальная дальность обнаружения объекта неизвестна, то полярная характеристика дальности может быть приближенно рассчитана по дальности в каком-либо определенном направлении. В этом случае нужно пользоваться методом сравнения. Остановимся вкратце на сущности этого метода, широко применяемого в радиолокации [2]. Пусть гидроакустический прибор обнаруживает объект с площадью рассеяния S_{θ} на расстоянии r под углом θ к главной оси пучка, а объект с площадью рассеяния S_{θ_1} — на расстоянии r_1 под углом θ_1 . Тогда, пользуясь формулой (7), можно записать

$$r = r_{\max} G_{\theta},$$

$$r_1 = r_{\max_1} G_{\theta_1},$$

где r_{\max} и r_{\max_1} — максимальные дальности обнаружения объектов с площадью рассеяния S_{θ} и S_{θ_1} ;

$$r_{\max} = \sqrt[4]{\frac{p_0 \gamma S_{\theta}}{(4\pi)^2 10^{20} I_{\min}}}.$$

Разделив r на r_1 , находим

$$\frac{r}{r_1} = \sqrt[4]{\frac{S_{\theta} G_{\theta}}{S_{\theta_1} G_{\theta_1}}}. \quad (8)$$

Полученная формула является основным уравнением метода сравнения. Пользуясь этим уравнением, можно рассчитать характеристику дальности эхолота для одного объекта ($S_{\theta} = S_{\theta_1}$), если известна характеристика направленности вибраторов и дальность обнаружения объектов под углом θ_1 на некоторой глубине. В этом случае уравнение (8) примет вид:

$$r = \frac{r_1}{G_{\theta_1}} G_{\theta}. \quad (9)$$

Сопоставляя формулы (7) и (9), замечаем, что максимальная дальность обнаружения объекта равна

$$r_{\text{макс}} = \frac{r_1}{G_{\theta_1}} \quad (10)$$

Таким образом, метод сравнения позволяет определять максимальную дальность обнаружения объекта по фактору направленности и координатам опорной точки ($r_1; \theta_1$), которую находят опытным путем. Зная максимальную дальность и характеристику направленности вибраторов, можно рассчитать и построить всю полярную характеристику дальности прибора. Результаты такого рода расчетов, выполненных нами применительно к эхолотам НЭЛ-5Р и ЭГА-10 для одиночной трески, даны в табл. 1.

Таблица 1
Полярная характеристика дальности для эхолотов ЭГА-10 и НЭЛ-5Р

Угол θ_1 , град	ЭГА-10 Диаметральная плоскость судна		ЭГА-10 Поперечная плоскость судна		НЭЛ-5Р	
	G_θ	r_θ , м	G_θ	r_θ , м	G_θ	r_θ , м
0	1,0	150	1,0	150	1,0	80
5	0,8	120	0,91	137	0,97	77
10	0,45	67	0,74	110	0,92	73
15	0,11	17	0,52	78	0,81	65
20	0,014	2	0,3	45	0,68	55
25	0,0	0	0,137	21	0,55	44
30	0,045	7	0,053	8	0,43	34
40	—	—	—	—	0,22	18
50	—	—	—	—	0,11	8,8

Построенные по этим данным характеристики дальности показаны на рис. 7 пунктиром. Для эхолота ЭГА-10 с прямоугольными вибраторами эти характеристики даны в двух плоскостях; для эхолота НЭЛ-5Р, вибраторы которого квадратные, характеристика дальности в обеих плоскостях будет одинаковой. Как видно из рисунка, рассчитанные характеристики хорошо совпадают с характеристиками, полученными по эхограммам (последние показаны на рисунке сплошными линиями).

В предыдущих расчетах мы до сих пор пренебрегали затуханием ультразвука в воде. Однако при больших дальностях обнаружения, в частности при работе с гидролокаторами или глубоководными эхолотами, этот фактор оказывает заметное влияние на полярную характеристику дальности и его нужно учитывать.

Аналитическое выражение для полярной характеристики дальности с учетом затухания ультразвука имеет вид:

$$r_\theta = r_{\text{макс}_0} G_\theta \cdot 10^{-0,2 \delta r_\theta} \quad (11)$$

где $r_{\text{макс}_0}$ — дальность действия гидроакустического прибора в свободном пространстве при отсутствии затухания.

А так как $r_{\text{макс}_0} = r_{\text{макс}} \cdot 10^{0,2 \delta r_{\text{макс}}}$, то уравнение (11) можно переписать так:

$$r_\theta = r_{\text{макс}} G_\theta \cdot 10^{0,2 \delta (r_{\text{макс}} - r_\theta)} \quad (12)$$

Логарифмируя обе части этого уравнения, найдем

$$\lg r_{\theta} = \lg r_{\max} G_{\theta} + 0,2 \delta r_{\max} - 0,2 \delta r_{\theta}. \quad (13)$$

Это уравнение легко решается относительно r_{θ} графически. Левая часть уравнения, выражающая зависимость $y = \lg x$, представляет собой кривую, показанную на рис. 8, тогда как правая часть уравнения при различных значениях r_{\max} и δ соответствует прямой. Искомая величина находится как точка пересечения этой кривой с соответствующей прямой.

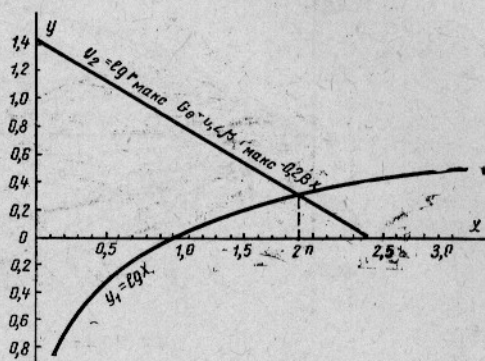


Рис. 8. График для расчетов дальности действия гидроакустических приборов.

Пользуясь таким графическим методом, нами были рассчитаны для рыболокатора «Палтус» дальности обнаружения в разных направлениях применительно к одиночной треске (режим вертикального поиска $\delta = 1$ дб/км, $r_{\max} = 400$ м) и к скоплениям сельди разной плотности (режим горизонтального поиска $\delta = 3$ дб/км, $r_{\max_1} = 1000$ м и $r_{\max_2} = 2000$ м)¹. Результаты этих расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Дальности обнаружения рыболокатора «Палтус»

Угол θ , град	Диаметральная плоскость судна				Поперечная плоскость судна			
	G_{θ}	r_{θ} , м			G_{θ}	r_{θ} , м		
		одиночная треска	скопления сельди	скопления сельди		одиночная треска	скопления сельди	скопления сельди
0	1,0	400	1000	2000	1,0	400	1000	2000
5	0,8	320	900	1860	0,94	370	980	1960
10	0,45	190	700	1560	0,74	320	840	1800
15	0,11	40	280	950	0,45	190	700	1560
20	0,014	6	40	280	0,23	95	480	1250
25	—	—	—	—	0,1	40	260	880

Построенные по расчетным данным характеристики дальности рыболокатора «Палтус» для одиночной трески и скоплений сельди разной плотности даны на рис. 9. Эти характеристики наглядно показывают, насколько сильно может изменяться зона действия прибора в зависимости от вида регистрируемых рыб и плотности их концентрации.

Зона действия гидролокаторов и эхолотов также в значительной мере зависит от их общей чувствительности, в частности от коэффициен-

¹ Большое затухание при горизонтальной локации объясняется значительным поглощением ультразвука в насыщенном пузырьками поверхностном слое моря.

та усиления приборов. Следует отметить, что все рассмотренные нами полярные характеристики дальности действия приборов были получены при максимальном усилении. При пониженном усилении происходит уменьшение дальности действия приборов во всех направлениях, полярная характеристика становится уже. Таким образом, изменяя усиление, можно регулировать не только максимальную дальность действия при-

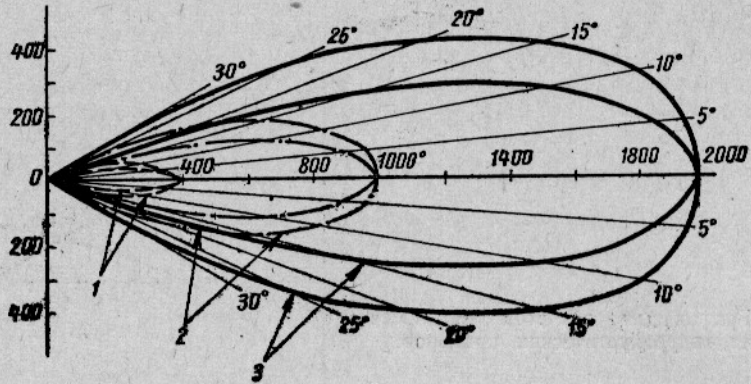


Рис. 9. Полярные характеристики дальности действия гидролокатора «Палтус» (в продольной и поперечной плоскости):
1 — для одиночной трески; 2 и 3 — для скоплений сельди.

боров, но и ширину просматриваемой зоны. Это свойство необходимо учитывать в поисковой работе.

РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Разрешающая способность гидроакустических приборов определяется тем наименьшим расстоянием между двумя объектами, при котором эти объекты могут быть отмечены отдельно электронным индикатором или самописцем.

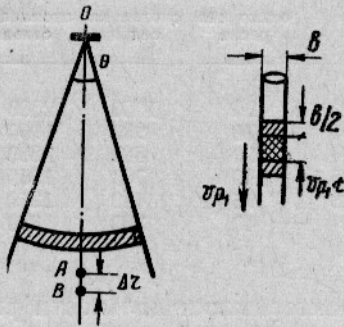


Рис. 10. Разрешающая способность гидроакустических приборов по дальности.

Рассмотрим условия, при которых происходит раздельная регистрация лоцируемых объектов. Пусть в точке O (рис. 10) помещена приемно-излучающая система гидроакустического прибора. Выпущенный из точки зондирующий импульс длительностью τ перемещается в толще воды со скоростью звука. В некоторый определенный момент времени передний фронт импульса достигнет объекта A , который будет облучаться и, следовательно, отражать ультразвуковую энергию. Затем импульс достигает объекта B , который также дает отраженный сигнал.

Очевидно, что следующие один за другим сигналы от объектов A и B будут раздельно отмечаться регистрирующим прибором в том случае, если до начала приема сигнала от дальнего объекта B успеет за-

кончиться воздействие сигнала ближнего объекта A , т. е. должно выполняться следующее неравенство:

$$t \leq \frac{2\Delta r}{c}; \quad \Delta r = \frac{ct}{2}, \quad (14)$$

где c — скорость звука в воде;

t — время регистрации эхосигнала от одного объекта;

Δr — эхорасстояние между объектами.

Это расстояние называется разрешающей способностью прибора по дальности (для гидролокатора) или по глубине (для эхолота).

Время регистрации эхосигнала от объекта складывается из времени его воздействия на приемный вибратор и длительности спада сигнала от влияния переходных процессов в цепях приемного устройства и регистрирующего прибора.

В свою очередь время воздействия эхосигнала на приемник, например, от скопления рыб определяется разностью моментов времени, соответствующих приходу переднего фронта импульса, отраженного от ближайшей точки объекта, и заднего фронта, отраженного от наиболее удаленной точки, т. е.

$$t_1 = \tau + \frac{2(H + \Delta)}{c}, \quad (15)$$

где τ — длительность излучаемого импульса;

c — скорость звука в воде;

H — протяженность объекта в направлении падающего луча;

Δ — растяжка эхосигнала за счет отражений, поступающих на приемный вибратор с периферий ультразвукового пучка от разных точек объекта, лежащих в пределах конуса излучения.

Как видно из рис. 10, растяжка эхосигнала от периферийных отражений равна

$$\Delta = r(\sec \Theta - 1), \quad (16)$$

где r — глубина погружения регистрируемого объекта;

Θ — эффективный угол характеристики дальности.¹

Следовательно, время, в течение которого происходит отражение от скопления рыб, равно

$$t_1 = \tau + \frac{2r}{c}(\sec \Theta - 1) + \frac{2H}{c}. \quad (17)$$

Некоторая растяжка эхосигнала получается также в регистрирующем приборе из-за расплывания отметки. Точечная отметка эхосигнала на регистрирующем приборе имеет вид пятна с расплывчатыми краями, поэтому для получения отдельной регистрации изображение дальнего объекта должно успеть переместиться на величину диаметра пятна относительно края изображения ближнего объекта. Время такого перемещения равно

$$t_2 = \frac{b}{v_{p1}}, \quad (18)$$

где b — диаметр пятна точечной отметки;

v_{p1} — скорость развертки.

¹ Эффективным углом характеристики дальности условимся считать предельный угол падения ультразвукового пучка, при котором возвратившийся от цели эхосигнал еще регистрируется прибором.

Ко всему этому нужно добавить еще время спада принятого эхосигнала от влияния переходных процессов в приемных цепях. Это время обратно пропорционально полосе пропускания усилителя (ΔF) и равно

$$t_3 = \frac{a}{\Delta F}, \quad (19)$$

где a — коэффициент пропорциональности. (Для рыбопоисковых приборов $a=0,95 \div 1$).

В результате общее время регистрации отметки эхосигнала от скопления рыб равно

$$t = \tau + \frac{a}{\Delta F} + \frac{b}{v_{p1}} + \frac{2r}{c} \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right) + \frac{2H}{c}. \quad (20)$$

За это время звуковые волны проходят в воде путь, равный разрешающей способности прибора по дальности:

$$\Delta r = \frac{ct}{2} = \left(\tau + \frac{a}{\Delta F} \right) \frac{c}{2} + \frac{b}{v_{p1}} \frac{c}{2} + r \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right) + H. \quad (21)$$

При регистрации одиночных рыб растяжка эхосигналов от периферийных отражений практически отсутствует, а время пробега звука на расстояние, равное толщине объекта, мало по сравнению с длительностью посылки. Поэтому разрешающую способность прибора для одиночных рыб можно считать равной:

$$\Delta r = \left(\tau + \frac{a}{\Delta F} \right) \frac{c}{2} + \frac{b}{v_{p1}} \frac{c}{2}. \quad (22)$$

В приведенных выше рассуждениях мы предполагали, что эхосигнал имеет прямоугольную форму и что яркость изображения точечной отметки в пределах ее площади постоянна. Однако практически форма излучаемых гидроакустическими приборами импульсов обычно сильно отличается от прямоугольной. Особенно это относится к эхолотам с генераторами ударного возбуждения. Излучаемые ими импульсы имеют резко выраженный затухающий экспоненциальный характер. В эхолотах с экспоненциальными импульсами концы эхосигналов бывают настолько слабы, что не регистрируются приборами. Причем чем слабее отраженный импульс, тем большая часть его не регистрируется. Этим, в частности, объясняется уменьшение толщины записи единичных рыб с увеличением глубины их погружения. Толщина записи объекта сильно зависит от его положения относительно вибраторов. Наибольшая толщина записи получается, когда рыба оказывается в центральной части ультразвукового пучка эхолота. Чем дальше от центра пучка находится рыба, тем слабее она регистрируется. Толщина записи зависит также от степени усиления эхосигналов, типа эхолотной бумаги, толщины наконечника пера, скорости развертки регистрирующего прибора.

При строгом анализе разрешающей способности гидроакустических приборов следовало бы также учитывать реальную форму характеристики дальности приборов, форму эхосигналов, распределение энергии по сечению пучка, чувствительность прибора и т. д. Однако учет перечисленных факторов весьма сложен. Поэтому будет целесообразнее ограничиться приближенным рассмотрением вопроса, позволяющим оценить порядок величин разрешающей способности различных типов гидроакустических приборов.

Пользуясь формулами (21) и (22), можно определять разрешающую способность различных гидроакустических приборов. Определим,

например, разрешающую способность эхолота НЭЛ-5Р. Этот прибор имеет длительность импульсов $\tau = 1$ мсек, полосу пропускания в усилителе $\Delta F = 1,2$ кГц, скорость движения пера при работе на 60-метровом диапазоне $v_{p1} = 1,9$ м/сек, размер точечной отметки $b = 1$ мм, коэффициент $a = 1$. Подставляя все перечисленные значения в формулу для разрешающей способности прибора по дальности, получим

$$\Delta r = \left(1 + \frac{1}{1,2}\right) \frac{1500 \cdot 10^{-3}}{2} + \frac{1 \cdot 1500 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1,9} = 1,4 + 0,4 = 1,8 \text{ м.}$$

При работе на 300-метровом диапазоне ($v_{p1} = 0,38$ м/сек) разрешающая способность эхолота НЭЛ-5Р будет соответственно меньше и равна $\Delta r = 3,3$ м.

Полученные величины разрешающей способности самописца НЭЛ-5Р по дальности применимы только к небольшому глубинам регистрации. С увеличением глубины погружения объектов действующее значение длительности импульса (τ) и величины точечной отметки (b) уменьшается, а потому разрешающая способность прибора становится лучше. В результате разрешающая способность существующих эхолотов для разных глубин регистрации рыбы может колебаться в пределах 0,5—3,5 м.

Несколько лучшую разрешающую способность имеют эхолоты с фишлупой за счет большой скорости развертки фишлупы, острой фокусировки светового пучка и возможности некоторого перекрытия эхосигналов. Практика показывает, что различать отражения от двух объектов по фишлупе можно при $(0,6-0,7)\Delta r$. Например, в случае работы на 15-метровом диапазоне фишлупы ХАГ-240 разрешающая способность прибора равна $\Delta r_{\phi} = 1,1 \div 1,3$ м.

Более высокая разрешающая способность фишлупы позволяет пользоваться ею при расшифровке сомнительных записей самописца, в частности при обнаружении придонной рыбы. При регистрации придонных скоплений с помощью самописца разрешающая способность прибора оказывается несравнимо ниже, чем при работе с фишлупой. Пользуясь формулой (21), определим, например, разрешающую способность эхолота НЭЛ-5Р применительно к скоплению рыб толщиной $H = 5$ м, находящемуся на глубине $r = 100$ м и при $\theta/2 = 20^\circ$:

$$\Delta r = 1,8 + 100(\sec 20^\circ - 1) + 5 = 13,2 \text{ м.}$$

Вычисленное значение разрешающей способности показывает, что самописец эхолота будет регистрировать скопления рыб слитно с записью грунта даже тогда, когда они держатся от дна на довольно значительном расстоянии (в нашем случае на $13,2 - 5 = 8,2$ м).

Таким образом, при низкой разрешающей способности создается неверное представление о распределении придонных скоплений, а это может отрицательно сказываться при поиске и промысле рыбы. Обращаясь к формуле (21), видим, что улучшение разрешающей способности может быть достигнуто за счет сужения ультразвукового пучка прибора, уменьшения длительности излучаемого импульса, сокращения полосы пропускания усилителя, увеличения скорости развертки и уменьшения расплывания показаний в регистрирующем приборе.

Однако при регистрации придонной рыбы самописцем перечисленные меры не могут дать полного эффекта. Дело в том, что из-за ограниченного количества оттенков эхолотных бумаг запись придонных скоплений рыб может сливаться с донными сигналами. В таких случаях тре-

буется применение дополнительных средств. Особенно хорошие результаты в этом отношении дает применение устройства, называемого обычно «белой линией». В усилителе применяется пороговая импульсная схема, порог срабатывания которой соответствует уровню донного эха. В момент приема донного эха такая схема формирует короткий импульс, который регистрируется в виде темной точки. Затем вход усилителя на

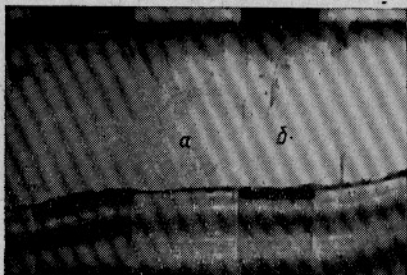


Рис. 11. Запись дна и рыбы эхолотом «Нью Телевиграф»: а — «белая линия» включена; б — «белая линия» выключена.

мгновение закрывается. В результате профиль дна записывается узкой черной линией, под которой отмечается белая полоса. Такая полоса под линией дна хорошо отделяет придонную рыбу от записи грунта (рис. 11). Применение этого устройства в эхолотах особенно эффективно при регистрации плотных придонных концентраций рыбы.

По сравнению с эхолотами гидролокаторы обладают значительно худшей разрешающей способностью, так как они имеют большую длительность излучаемых импульсов и мелкий масштаб регистрации. Так, при работе на 1200-метровом диапазоне ($v_{р1} = 0,1$ м/сек) и $\tau = 10$ мсек

разрешающая способность гидролокатора по дальности равна 15 м. Особенно плохие условия регистрации показаний гидролокатора получаются при приеме эхосигналов на слух. Как известно, человеческое ухо в состоянии различать эхосигналы отдельно, если интервал между ними не менее 60 м/сек, что соответствует расстоянию между объектами в 45 м. Учитывая это, общая разрешающая способность гидролокатора при приеме эхосигналов на слух составляет больше 50 м (при $\tau = 10$ мсек).

Разрешающая способность гидроакустических приборов по углу.

Два объекта могут регистрироваться раздельно, если они находятся один от другого на расстоянии, меньшем разрешающей способности прибора по дальности, или даже на одинаковом эхорасстоянии, но по разные стороны зоны облучения, т. е. за пределами действующего угла прибора.

Для гидролокатора, у которого электронный отметчик имеет секторную развертку, а также для станций кругового обзора разрешающая способность по азимуту определяется тем минимальным углом, при котором два равноудаленных объекта еще могут быть видны на экране электроннолучевой трубки раздельно. При шаговом поиске гидролокатора (рис. 12) этот угол равен:

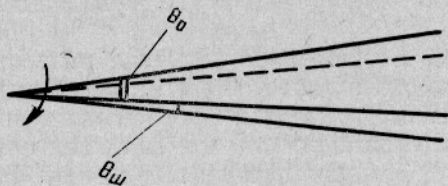


Рис. 12. Разрешающая способность гидролокатора по углу.

$$\Delta \varphi = \theta_0 + \theta_{ш} + \Delta \theta, \quad (23)$$

где θ_0 — эффективный угол ультразвукового пучка прибора в горизонтальной плоскости;

$\theta_{ш}$ — шаг поиска;

$\Delta\Theta = \frac{b}{R}$ — угловая разрешающая способность экрана индикатора;
 здесь b — диаметр пятна точечной отметки на экране;
 R — радиус экрана электроннолучевой трубки.

Отметим, однако, что при шаговом поиске разрешающая способность экрана ($\Delta\Theta$) практически не влияет на общую разрешающую способность прибора даже при малом удалении отметки от центра экрана, поэтому величину $\Delta\Theta$ можно не учитывать.

Принимая во внимание, что в рыболокации приходится иметь дело в основном с объектами большой угловой протяженности (стаи, скопления), разрешающую способность прибора по углу удобнее выражать не в градусах, а в единицах дальности. При этом говорят о тангенциальной разрешающей способности гидроакустического прибора. Для крупных объектов тангенциальная разрешающая способность гидролокатора может быть выражена следующим соотношением:

$$\Delta l = r \Delta \varphi + L = r(\Theta_0 + \Theta_{\text{ш}}) + L, \quad (24)$$

где r — дистанция до регистрируемого объекта;
 $\Delta\varphi$ — разрешающая способность прибора по углу;
 L — линейный размер объекта.

Например, при $r=500$ м, $L=50$ м, $\Theta_0=25^\circ$, $\Theta_{\text{ш}}=5^\circ$ угловая разрешающая способность гидролокатора равна: $\Delta\varphi=30^\circ=0,52$ рад и, следовательно, $\Delta l=500 \cdot 0,52+50=260+50=310$ м.

Примерно такую разрешающую способность по углу имеют гидролокаторы «Палтус», «Лодар». Естественно, что при столь низкой разрешающей способности гидролокаторов бывает трудно выходить точно на рыбу. Широкая характеристика направленности существующих гидролокаторов приводит даже к тому, что отдельные близко расположенные стаи отмечаются прибором как одно целое и в результате при выходе на середину показаний прибора можно пройти между стаями.

Рассмотрим далее разрешающую способность эхолота по углу. Как следует из рис. 13, выражение для тангенциальной разрешающей способности эхолота можно написать так:

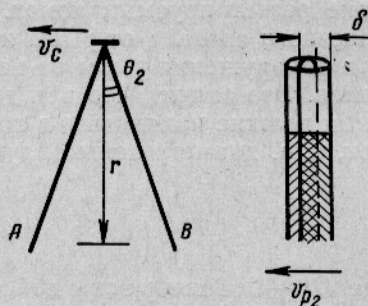


Рис. 13. Разрешающая способность эхолота по углу.

$$\Delta l = 2r \operatorname{tg} \frac{\Theta}{2} + \frac{bv_c}{v_{p_2}} + L, \quad (25)$$

где r — глубина погружения регистрируемого объекта;
 Θ — эффективный угол ультразвукового пучка эхолота;
 L — протяженность объекта по ходу судна;
 b — диаметр пятна точечной отметки;
 v_c — скорость движения судна;
 v_{p_2} — скорость развертки индикатора.

Применительно к регистрации одиночных рыб эту формулу можно несколько упростить

$$\Delta l = 2r \operatorname{tg} \frac{\Theta}{2} + \frac{bv_c}{v_p} . \quad (26)$$

Пользуясь этой формулой, определим тангенциальную разрешающую способность эхолота НЭЛ-5Р. При $v_c = 92,6$ м/мин (3 узла), $v_p = 25$ мм/мин (60-метровый диапазон), $b = 0,5$ мм, $r = 10$ м и $\Theta/2 = 28^\circ$ (для балтийской салаки) $\Delta l = 12,5$ м.

Разрешающая способность эхолота по углу в значительной степени зависит от скорости судна (v_c) и скорости протяжки бумаги (v_p). При медленной протяжке бумаги отметки эхосигналов регистрируются близко один от другого и яркие штрихи перекрывают слабые. Это приводит к увеличению расплывания краев записи, к возрастанию b . Аналогичное явление получается при увеличении скорости движения судна. Так, при скорости судна 10 узлов ($v_c = 308,7$ м/мин) $b = 1$ мм и $\Delta l = 23$ м.

Такие большие значения тангенциальной разрешающей способности имеет не только эхолот НЭЛ-5Р, но и подавляющее большинство применяемых на промысловом флоте рыбопоисковых эхолотов. Этим обстоятельством объясняется, в частности, тот факт, что отдельные рыбы регистрируются приборами слитно даже тогда, когда они находятся на значительных расстояниях друг от друга (10—20 м и больше), причем концентрации малой плотности отмечаются на ленте эхолота как монолитные скопления.

Улучшение тангенциальной разрешающей способности эхолотов может быть достигнуто прежде всего за счет применения узкой характеристики направленности вибраторов. Однако при этом нужно обязательно учитывать возможность обнаружения рыбных показаний на фоне регистрируемых помех. При установлении условия выделения полезного сигнала от рыбы на фоне помех можно исходить из того, что для обнаружения рыбы от нее должно приходиться не менее трех эхосигналов. Это значит, что при движении судна со скоростью v_c одиночная рыба должна находиться в зоне облучения прибора в течение трех посылок, т. е. диаметр зоны облучения прибора должен быть равен

$$D = \frac{3v_c}{v_1} , \quad (27)$$

где D — диаметр зоны действия прибора;
 v_c — поисковая скорость судна, м/мин;
 v_1 — частота следования посылок, имп/мин.

Выражая зону действия прибора через эффективный угол направленности (Θ) и глубину (r), после преобразований получим

$$\operatorname{tg} \frac{\Theta}{2} = \frac{3v_c}{2r v_1} . \quad (28)$$

Пользуясь этой формулой, можно определить минимально допустимый угол направленности вибраторов для регистрации разреженной рыбы. Так, например, при $r = 50$ м, $v_1 = 150$ имп/мин и $v_c = 308,7$ м/мин (10 узлов) эффективный угол направленности будет равен $\Theta = 7^\circ$.

Если в эхолотах применять вибраторы с таким узким ультразвуковым пучком только в диаметральной плоскости судна, то поисковые возможности приборов от этого не пострадают, так как зона обзора их останется прежней. В то же время применение узкого пучка в диаметральной плоскости будет вполне оправдано как с точки зрения повышения разрешающей способности прибора, так и в отношении большей концентрации акустической энергии в пучке.

РАССЕИВАЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ ПРОСТРАНСТВА

При рассмотрении разрешающей способности гидроакустических приборов мы установили, что рыбы регистрируются отдельно друг от друга лишь при наличии очень разреженных концентраций, когда в шаровой слой воды, занимаемый пакетом звукового импульса, попадает не более одной рыбы.

Разберем теперь случай отражения ультразвуковой энергии от плотных концентраций рыб. Выпущенная из точки O (рис. 14) серия ультразвуковых колебаний длительностью τ занимает в пространстве шаровой слой толщиной $c\tau$ (c — скорость звука в воде). Такой шаровой слой звуковых волн перемещается в воде со скоростью звука. Если пакет волн встречает на своем пути плотное скопление рыб, то он пронизывает это скопление. В шаровой слой звуковых волн попадает сразу несколько штук или десятков рыб и от всех рыб будут отражения, причем сначала отразятся волны переднего фронта слоя, затем середины и конца его. Допустим, что в некоторый момент времени $t/2$ после посылки шаровой слой имеет внутренний радиус $r_1 = \frac{ct}{2}$ и внешний радиус $r_2 = r_1 + c\tau$. Спустя время t после окончания ультразвуковой посылки в точку приема придет суммарное отражение от рыб, находящихся в шаровом слое с внутренним радиусом r_1 и внешним радиусом $r_0 = r_1 + \frac{c\tau}{2}$.

Следовательно, толщина слоя скопления рыб, от которого отраженные волны приходят в точку приема одновременно, равна $\frac{c\tau}{2}$.

Таким образом, мгновенная амплитуда эхосигнала от скопления представляет собой сумму отражений, приходящих в точку приема от всех

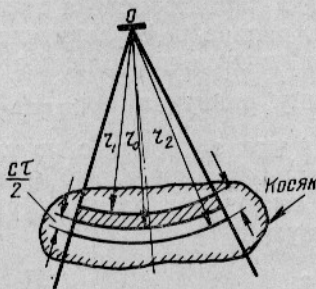


Рис. 14. Рассеивающий элемент пространства при регистрации скопления рыб.

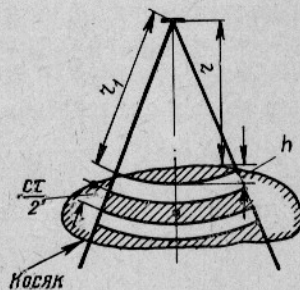


Рис. 15. Изменения величины рассеивающего элемента в толще скопления.

рыб и находящихся в шаровом слое воды, вертикальная протяженность которого равна $\frac{c\tau}{2}$. Объем такого слоя, занятого скоплением рыб или другими рассеивателями, принято называть рассеивающим элементом пространства.

По мере проникновения ультразвуковых волн в толщу скопления рыб величина рассеивающего элемента пространства не остается постоянной. Как видно из рис. 15, сначала шаровой слой волн соприкасается со скоплением небольшим участком своего переднего фронта и суммарный эхосигнал приходит только от рыб, находящихся в небольшом ша-

ровом сегменте в центре зоны облучения. Объем этого шарового сегмента можно выразить формулой

$$V_{\text{ш}_1} = \frac{1}{3} \pi h^2 (3r_1 - h).$$

Подставляя в эту формулу уже принятые нами обозначения

$$h = \frac{c\tau}{2}; \quad r_1 = r + \frac{c\tau}{2},$$

получим

$$V_{\text{ш}_1} = \frac{\pi}{3} \left(\frac{c\tau}{2} \right)^2 (3r + c\tau).$$

А так как $r \gg c\tau$, то

$$V_{\text{ш}_1} = \frac{\pi}{4} (c\tau)^2 r.$$

Проникнув в глубь скопления, пакет волн расширяется и объемы последующих рассеивающих элементов становятся больше. Их величины могут быть вычислены как разность объемов, вложенных один в другой шаровых сегментов, т. е.

$$V_{\text{ш}_2} = \pi (c\tau)^2 r - \frac{\pi}{4} (c\tau)^2 r = \frac{3}{4} \pi (c\tau)^2 r,$$

$$V_{\text{ш}_n} = \frac{(2n-1)\pi}{4} (c\tau)^2 r.$$

Затем наступает такой момент, когда характеристика направленности вибраторов начинает ограничивать дальнейшее увеличение объема рассеивающего элемента. Это происходит в момент проникновения пакета звуковых волн в скопление на глубину, равную $r \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right)$. Если в этом случае принять ультразвуковой пучок за конус с круглым сечением, то рассеивающий элемент в толще скопления рыб можно определить из расчета разности шаровых секторов с разными радиусами. Выражая объем шарового сектора формулой

$$V = \frac{2}{3} \pi r_1^2 h$$

и обозначая $r_1 = r \sec \frac{\theta}{2}$; $h = r \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right)$, получим

$$V = \frac{2}{3} \pi r^3 \sec^2 \frac{\theta}{2} \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right),$$

$$V_2 = V_2 - V_1 = \frac{2}{3} \pi (r_2^3 - r_1^3) \sec^2 \frac{\theta}{2} \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right).$$

Подставляя $r_1 = r_2 - \frac{c\tau}{2}$, после преобразований получим

$$V_2 = \frac{2}{3} \pi \left[3r_2^2 \frac{c\tau}{2} - 3r_2 \left(\frac{c\tau}{2} \right)^2 + \left(\frac{c\tau}{2} \right)^3 \right] \sec^2 \frac{\theta}{2} \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right).$$

Учитывая, что $3r_2^2 \frac{c\tau}{2} \gg 3r_2 \left(\frac{c\tau}{2}\right)^2 \gg \left(\frac{c\tau}{2}\right)^3$, получаем следующее окончательное выражение:

$$V_9 = \pi c \tau r_2^2 \sec^2 \frac{\theta}{2} \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right).$$

После того, как звуковые волны достигнут нижней кромки скопления, они также постепенно выходят из него: сначала границу скопления покидает центральная часть пакета волн, а затем и его периферийные участки. При этом происходит уменьшение объема рассеивающего элемента, и его величина определяется как разность объемов шарового слоя V_{91} и шарового сегмента, вышедшего за нижнюю кромку скопления V_9 , т. е.

$$V'_{91} = V_9 - V_{91} = \pi c \tau r^2 \sec^2 \frac{\theta}{2} \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right) - \frac{\pi}{4} (c\tau)^2 r,$$

$$V'_{9n} = V_9 - V_{9n} = \pi c \tau r^2 \sec^2 \frac{\theta}{2} \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right) - \frac{(2n-1)\pi}{4} (c\tau)^2 r.$$

Таким образом, определение величины объема рассеивающих элементов на разных стадиях проникновения звуковых волн в толщу скопления рыб может быть произведено по следующим формулам:

$$V_{9n} = \frac{(2n-1)\pi}{4} (c\tau)^2 r; \quad (29)$$

$$V_9 = \pi c \tau r^2 \sec^2 \frac{\theta}{2} \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right); \quad (30)$$

$$V'_{9n} = V_9 - V_{9n}. \quad (31)$$

Рассмотрим в качестве примера, как изменяется величина рассеивающего элемента применительно к эхолоту НЭЛ-5Р и скоплениям рыб, находящимся на глубинах 50 м ($\frac{\theta}{2} = 22^\circ$) и 100 м ($\frac{\theta}{2} = 13^\circ$).

Предполагается, что оба скопления имеют толщину 4,5 м, большую горизонтальную протяженность и одинаковую плотность. Результаты расчетов объема рассеивающего элемента по формулам (29, 30, 31) приводятся ниже.

$r = 50 \text{ м}$ $\theta/2 = 22^\circ$	$r = 100 \text{ м}$ $\theta/2 = 13^\circ$	$r = 50 \text{ м}$ $\theta/2 = 22^\circ$	$r = 100 \text{ м}$ $\theta/2 = 13^\circ$
88	177	794	1183
265	530	617	830
442	885	440	475
618	1320	264	40
882	1360	0	0
882	1360		

Рис. 16 позволяет судить о том, какие резкие изменения претерпевает величина рассеивающего элемента в толще скопления. Вследствие такой изменчивости объема рассеивающего элемента мы вправе ожидать, что форма эхоимпульсов будет сильно отличаться от излучаемых посылок. Степень нарастания и спада величины рассеивающего элемента (а значит, и форма огибающей эхоимпульса) зависит от длительности излучаемых импульсов, характеристики направленности вибраторов, размеров рыбных концентраций и глубины их погружения. На том же рисунке показано, как резко могут отличаться кривые изменения

величины рассеивающего элемента в одном и том же скоплении, но на разных глубинах. Естественно, что огибающие эхоимпульсов от одного скопления могут также принимать разные формы; это обстоятельство нужно всегда иметь в виду при расшифровке эхосигналов.

Величина эхосигнала зависит от того, насколько полно концентрация рыбы или любой другой отражающий объект укладывается в шаровой слой воды, излучаемый гидроакустическим прибором. Чем меньше размеры отражающего объекта по сравнению с размерами пакета

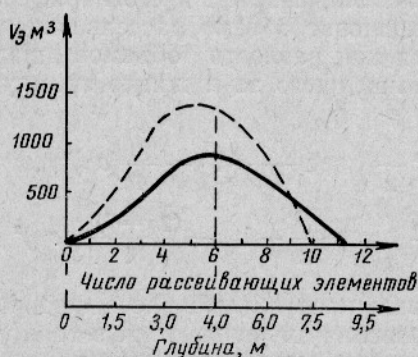


Рис. 16 Кривые изменения объема рассеивающего элемента в толще скопления.

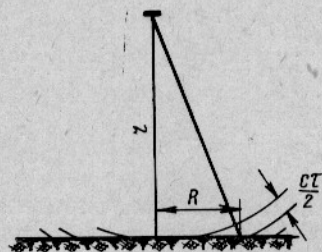


Рис. 17. Рассеивающий элемент пространства при регистрации дна.

излучаемых волн, тем меньшая часть энергии ультразвукового пучка падает на объект, а значит, меньше отражение от него. Наибольшей величина отраженного сигнала будет в том случае, если размеры объекта больше или равны размерам пакета излучаемых волн. Если, например, эхолот с широким ультразвуковым пучком регистрирует мелкие стаи рыб, то можно ожидать неполное использование акустической мощности прибора в основном из-за малой по сравнению с поперечником ультразвукового пучка горизонтальной протяженности стай. Заниженный эхосигнал имеет место также при малой вертикальной протяженности стай и скоплений.

При регистрации плотных объектов, которые плохо пропускают через себя излучаемые импульсы (морское дно, корпус судна), суммарная амплитуда эхосигнала складывается в основном из отражений от поверхности объекта. В таких случаях рассеивающий элемент будет представлять собой поверхность, с которой отраженные волны приходят в точку приема одновременно. Из рис. 17 следует, что для плоского грунта при вертикальной локации величина первого рассеивающего элемента определяется площадью круга, радиус которого равен

$$R = \sqrt{\left(r + \frac{c\tau}{2}\right)^2 - r^2} \approx \sqrt{c\tau r},$$

откуда

$$S_1 = \pi R^2 = \pi c\tau r.$$

Последующие рассеивающие элементы представляют собой кольца, площади которых равны также

$$S_n = \pi c\tau r.$$

Принимая во внимание, что максимум отраженного от грунта эхосигнала получается от первого рассеивающего элемента, определим условие наиболее полного использования акустической мощности прибора, которое может быть выражено следующим соотношением [5]:

$$\sec \frac{\theta_1}{2} = \frac{r + \frac{c\tau}{2}}{r},$$

откуда

$$\tau_{\max} = \frac{2r}{c} \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right), \quad (32)$$

где τ_{\max} — максимальная длительность импульса;

r — глубина моря;

c — скорость звука в воде;

θ — эффективный угол ультразвукового пучка.

Таким образом, при регистрации дна эхолотом увеличение длительности излучаемого импульса дает эффект только до указанного предела, после которого уже не происходит увеличения эхосигнала за счет суммирования отражений боковых лучей.

Совершенно другие результаты дает изменение длительности излучаемых импульсов при регистрации рыбных концентраций. Так, при работе на скоплениях рыб большой протяженности увеличение длительности импульсов приводит к увеличению объема рассеивающего элемента; возрастает количество рыбы в нем, больше становится величина эхосигналов. Такое нарастание эхосигналов будет ограничиваться только затуханием звука внутри скоплений. И, наоборот, увеличение длительности импульса практически не влияет на величину эхосигналов при регистрации разреженной рыбы, когда в зону облучения прибора попадают одиночные объекты. В этом случае целесообразно применять максимально короткие импульсы. Короткие импульсы нужны также при регистрации придонной рыбы, при расшифровке показаний и т. д.

О ТРЕБОВАНИЯХ К ПАРАМЕТРАМ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Как показывает приведенный выше краткий анализ основных явлений, возникающих в процессе гидролокации рыбных скоплений, требования к поисковой аппаратуре должны предъявляться с учетом условий распределения рыб и их отражательных свойств. А так как разные виды рыб имеют различные отражательные свойства, глубину и характер распределения, то требования к параметрам гидроакустических приборов могут сильно отличаться даже в пределах небольшого промыслового района, не говоря уже о разных водоемах.

Особенно различны требования, предъявляемые к приборам в отношении их дальности действия. Развитие океанического рыболовства показывает, что большие промысловые концентрации рыб наблюдаются не только в прибрежных участках моря, но и в глубоководных частях Мирового океана. Уже сейчас промысел атлантической сельди ведется на глубинах до 500 м, трески и окуня — до 600 м (в отдельных районах даже на глубине 1000 м). Несомненно, что это не предел. Для обнаружения рыбы на таких глубинах требуется высокочувствительная гидроакустическая аппаратура, обладающая большой дальностью действия, в то время как для прибрежного промысла, а также для работы в неглубоких морях достаточно иметь гидроакустические приборы с

небольшой дальностью действия. Например, для поиска трески в Балтийском море достаточно, чтобы эхолоты имели дальность действия до глубин 150 м. Естественно, что мощность установок для обнаружения балтийской трески может быть во много раз меньше, чем при поиске трески на глубинах до 600 м в районе Ньюфаундленда. Разница в мощностях эхолотов K для указанных двух районов может быть определена из известного соотношения

$$K = \left(1 + \frac{\Delta r}{r}\right)^4 10^{0,2\delta\Delta r}, \quad (33)$$

где Δr — разница в дальности действия сравниваемых приборов;
 r — наибольшая дальность.

При $f=20$ кГц, $\delta=1$ дБ/км, $\Delta r=0,6-0,15=0,45$ км, $K=10$.

Таким образом, требования к эхолотам в отношении их мощности излучения при поиске ньюфаундлендской и балтийской трески отличаются в 10 раз. Еще большая разница по чувствительности может быть у приборов, предназначенных для поиска разных пород рыб.

Для получения наибольшей эффективности гидроакустических приборов при минимальной излучаемой мощности и неизменных прочих параметрах аппаратуры большое значение имеет правильный выбор рабочей частоты. Как уже отмечалось выше, при вертикальной локации небольших глубин, когда поглощение на низких ультразвуковых частотах в насыщенном пузырьками и другими неоднородностями верхнем слое воды составляет основную часть общего затухания, наиболее эффективным является применение в эхолотах высоких частот порядка 200 кГц. Большая эффективность высокочастотных эхолотов объясняется также их высокой направленностью, меньшим уровнем различных шумов при приеме. Как показала практика, эхолоты на 200 кГц дают хорошие результаты при поиске рыбы до глубин 150—200 м.

Для получения больших дальностей действия высокие частоты оказываются непригодны, так как их применение приводит к большому объемному поглощению излучаемой энергии. При выборе рабочей частоты для поиска рыбы на больших глубинах приходится сталкиваться с взаимно противоположными требованиями. Рациональная частота может быть компромиссом между низкими частотами, распространяющимися с меньшими потерями, и высокими частотами, выгодными с точки зрения направленности. При этом необходимо также учитывать зависимость отражательных свойств разных рыб от частоты.

Различное распределение рыбы в водоемах вынуждает предъявлять разные требования к приборам в отношении их разрешающей способности. Так, разведка придонных концентраций рыбы должна осуществляться приборами с возможно более высокой разрешающей способностью, т. е. необходим узкий ультразвуковой пучок и короткие посылки. Наоборот, при поиске пелагических скоплений, особенно когда рыба держится разреженно, для обнаружения рыбных показаний на фоне регистрируемых помех в эхолотах целесообразно применять довольно широкий ультразвуковой пучок. А так как распределение большинства промысловых рыб может за короткое время претерпевать значительные изменения (пелагические скопления могут превращаться в придонные и наоборот, изменяется плотность концентрации), то соответственно и поисковые приборы должны обладать различной разрешающей способностью. В связи с этим для эффективного поиска промысловых концентраций рыб необходимо применять многопараметровые приборы, позволяющие по выбору пользоваться разными длительностями посылок и углами направленности.

Разные требования к параметрам поисковых приборов не должны исключать их стабильности. Это в первую очередь относится к чувствительности гидроакустических приборов. Как известно, чувствительность приборов в значительной степени зависит от их технического состояния. В результате расстройки контуров в приемном тракте, старения радиоламп и т. д. чувствительность гидроакустического прибора может иметь значительные отклонения от оптимальных значений, а это влечет за собой соответствующие изменения поисковых качеств прибора. Так, при спаде чувствительности гидроакустическая аппаратура плохо регистрирует даже плотные скопления рыб. И, наоборот, при повышении чувствительности прибор в состоянии обнаруживать даже слабые, непромысловые концентрации. Так как промысловики в процессе эксплуатации привыкают оценивать показания при определенной настройке прибора, то всякое изменение чувствительности создает неверное представление о плотности регистрируемых скоплений рыб.

Высокая стабильность чувствительности аппаратуры требуется при сравнении показаний приборов на разных судах. Такая сравнительная оценка показаний бывает очень важна для выяснения промысловой обстановки при обследовании больших районов моря, например при групповом поиске сельди в Северной Атлантике. Повышенные требования стабильности должны предъявляться к гидроакустическим приборам при определении плотности регистрируемых скоплений по показаниям электронных индикаторов. Как известно, величина эхосигналов на экране фишлупы довольно точно характеризует относительную плотность обнаруженных скоплений рыб и позволяет предвидеть возможный улов. Однако даже небольшие отклонения величины чувствительности прибора от заданной могут внести значительную ошибку при определении относительной плотности скоплений.

Таким образом, стабильность чувствительности рыбопоисковых приборов имеет большое значение в поисковой работе. К сожалению, до настоящего времени чувствительность гидроакустических приборов на промысловых судах определяется на глазок. Это приводит к тому, что в зависимости от технического состояния даже однотипные приборы отличаются большим разбросом параметров. В результате нередко имеет место такое положение, когда в одном промысловом районе показания одинаковых приборов на соседних судах бывают самыми различными. Отсутствие жестких требований к основным параметрам гидроакустических приборов, кроме того, отрицательно сказывается на качестве их эксплуатации и ремонта, порождает неуверенность обслуживающего персонала в исправности аппаратуры.

Все это говорит о том, что назрела острая необходимость в точном контроле за качеством и стабильностью работы гидроакустической аппаратуры. Рыбопоисковые эхолоты и гидролокаторы должны иметь устройства для проверки их технического состояния и настройки чувствительности на единый стандарт. Необходимо, чтобы система контроля охватывала все блоки приемного и излучающего трактов рыбопоискового прибора. Кроме того, контрольное устройство должно быть максимально простым, так как добавление к гидроакустическому прибору сложных дополнительных приставок усложнило бы систему контроля.

В качестве примера такого рода контрольного устройства на рис. 18 показана простая схема контроля чувствительности эхолота ХАГ-240, разработанная автором совместно с работниками УЭЛа Латвийской ССР З. Я. Гатавинь и А. А. Налимовым [11].

Система контроля решена следующим образом: в качестве калибровочного сигнала берется часть посылочного импульса, которая через

конденсатор отводится от цепи излучающего вибратора. Этот калибровочный сигнал подается на вход приемного эхолота и после усиления контролируется на экране фишлупы. Система настраивается так, чтобы калибровочный импульс укладывался точно на ширину контрольной отметки, которая специально для этой цели наносится на экран электроннолучевой трубки. В схеме имеется переключатель на два положения

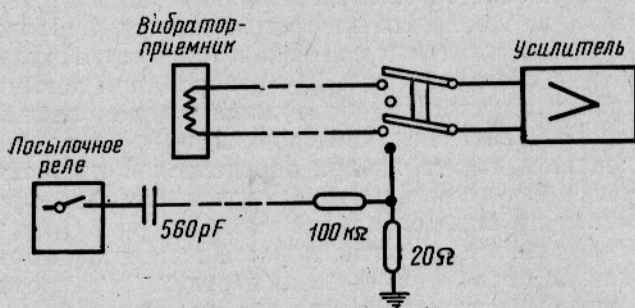


Рис. 18. Блок-схема контроля чувствительности эхолота ХАГ-240.

ния: рабочее и контрольное. При установке переключателя в положение «работа» к входу усилителя подсоединяется приемный вибратор и эхолот включается по обычной схеме для регистрации глубины и поиска рыбы. В положении переключателя «контроль» производится проверка работы фишлупы и реле посылок. Если чувствительность фишлупы не соответствует норме, то доведение величины калибровочного импульса на экране до контрольной отметки осуществляется подстройкой контура или изменением смещения ламп усилителя.

После проверки и настройки фишлупы производится контроль чувствительности самописца. Требования в отношении стабильности чувствительности самописца значительно ниже, чем для фишлупы. Поэтому контроль самописца может быть приближенным, например, по яркости записи. В нашей схеме контроль чувствительности самописца осуществляется при установке переключателя в положение «работа». Положение регулятора усиления самописца выбирается так, чтобы на ленте эхографа появилась слабая запись дна. Регулятор усиления фишлупы устанавливается в контрольное положение*. В этом случае при нормальном техническом состоянии прибора эхосигнал от дна должен укладываться на экране фишлупы на ширину контрольной отметки. Если эхосигналы от дна больше контрольной отметки на экране, то это указывает на заниженную чувствительность самописца. Причиной низкой чувствительности может быть неисправность в цепи оконечных каскадов усилителя или низкое качество эхолотной бумаги.

Контроль за чувствительностью эхолота нужно производить всякий раз, когда возникает хотя бы малейшее сомнение в нормальной работе прибора. Это дает возможность своевременно обнаруживать скрытые неисправности и устранять их.

Такого рода контрольные устройства могут быть осуществлены и в других типах эхолотов, а также в гидролокаторах. Важность применения системы контроля за гидроакустической аппаратурой на промысло-

* Для калибровки и замера эхосигналов к регулятору усиления фишлупы ХАГ-240 крепится цифровая шкала, разбитая на 12 делений, причем третье деление является контрольной отметкой.

вых судах очевидна. Необходимо, чтобы выпускаемые нашей промышленностью рыбопоисковые приборы обязательно имели контрольные устройства.

ВЫВОДЫ

1. Для эффективного использования гидроакустических приборов при поиске рыбы важное значение имеет правильный выбор основных характеристик аппаратуры с учетом параметров среды и регистрируемых объектов. В частности при выборе оптимальной рабочей частоты большую роль играет учет затухания ультразвука в водной среде, а также резонансного рассеяния акустических волн на рыбах. Результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что при вертикальной локации небольших глубин наиболее эффективным является применение высоких частот. По мере увеличения дальности действия поисковых приборов более целесообразным становится применение низких частот.

2. Расчеты полярных характеристик дальности действия существующих эхолотов и гидролокаторов показывают, что эффективные углы рыбопоисковых приборов достигают больших значений. Этим и объясняется недостаточная точность выхода на рыбу при прицельном лове и ограниченные возможности при поиске рыбы у дна.

3. Анализ условий, при которых происходит раздельная регистрация лоцируемых объектов, показывает, что разрешающая способность по дальности для рыбопоисковых эхолотов колеблется от 0,5 до 3,5 м, для гидролокаторов она достигает 15 м и больше. Тангенциальная (угловая) разрешающая способность большинства эхолотов изменяется на разных глубинах в пределах 10—30 м и больше, для гидролокаторов она исчисляется сотнями метров. Такая низкая разрешающая способность существующих гидроакустических приборов затрудняет получение точной информации о распределении регистрируемой рыбы.

4. Учитывая особенности эксплуатации эхолотов и гидролокаторов на промысле рыбы, необходимо осуществлять постоянный контроль за стабильностью работы поисковой аппаратуры, например, при групповом поиске рыбы, расшифровке показаний и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. А ж а ж а В. Г. Северянка уходит в океан, М., Географгиз, 1961.
2. Мищенко Ю. А. Зоны обнаружения, М., Воениздат, 1963.
3. Релей. Теория звука, М., Гостехиздат, 1955.
4. Скучик Е. Основы акустики, Т. 1, М., ИЛ, 1958.
5. Федоров И. И. Эхолоты и другие гидроакустические средства, Л., «Морской транспорт», 1960.
6. Хасимото Т., Нисимура. Влияние пузырьков на поглощение ультразвуковой волны (перевод с японского), ВИНТИ. Реферативный журнал «Физика», 1959, № 11.
7. Хасимото Т. Изучение особенностей горизонтального распространения ультразвуковых волн в воде (перевод с японского), Токио, 1955.
8. Шифрин К. С. Рассеяние света в мутной среде, М.—Л., Гостехиздат, 1951.
9. Шифрина Е. В. Физические основы рыболокации, М., Пищепромиздат, 1963.
10. Юданов К. И. Ультразвуковой пучок эхолота и связанные с ним искажения в записи рыбы и дна, «Рыбное хозяйство», 1956, № 12.
11. Юданов К. И. Контроль чувствительности гидроакустических приборов, «Рыбное хозяйство», 1963, № 5.

12. Cushing D. H. A. triple frequency echo sounder Richardson I. D. Fish. Invest. Lond. S. 2, 20 (1), 1955.
 13. Harden Jons F. R. Acoustic reflexion experiments with perch to determine the proportion of the echo returned by the swimbladder. I. Experim. Biol. V. 35, 1958, № 2.
 14. Haslett R. W. G. Determination of the acoustic back-scattering patterns and cross sections of fish.
 15. Haslett R. W. G. The back-scattering of acoustic waves in water solids using small specimens. Proc. Phys. Soc. V. 79, 1962, № 3.
-