

УДК 551.466.446; 551.501.796

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ОТРАЖЕННОГО ПОДВОДНЫМ ОБЪЕКТОМ СИГНАЛА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ЭКВИВАЛЕНТНОГО РАДИУСА

© О.С. Голод, Ю.А. Гончар, С.И. Донченко, Г.А. Мартынюк, 2006

Научно-технический центр панорамных акустических систем НАН Украины, г. Запорожье

Наведено опис методики виміру відбитого підводними об'єктами сигналу та розрахунок еквівалентного радіусу об'єкта, надається схема, за допомогою якої проводяться виміри.

Приведено описание методики измерения отраженного подводными объектами сигнала и расчет эквивалентного радиуса объекта, дается схема, с помощью которой проводятся измерения.

The description of the measurement method of underwater objects returned signal and object equivalent radius evaluation as well the scheme for the measurements are given.

В уравнениях гидролокации сила цели (далее - СЦ) определяется соотношением

$$СЦ=10\lg \frac{I_r}{I_i} |_{r=1},$$

где I_r - интенсивность звука в эхо-сигнале, приведенная к единичному расстоянию от акустического "центра" объекта (цели);

I_i - интенсивность звука в падающей волне.

Акустическим центром цели принято называть фиктивную точку внутри или вне цели, из которой исходят эхо-сигналы в форме сферических волн.

Физический смысл "силы цели" можно увидеть, рассчитав эту величину для идеальной сферы большого волнового размера при условии, что сфера является изотропным отражателем, т.е. отражает эхо-сигнал равномерно во всех направлениях.

Предположим, что на такую сферу падает плоская звуковая волна интенсивностью

$$I_i = \frac{P_i^2}{\rho c},$$

где P_i - эффективное значение акустического давления в падающей плоской волне;

ρ - плотность среды, $\rho=10^3$ кг/м³;

$c = 1,5 \cdot 10^3$ м/с - скорость звука.

Если радиус сферы равен R , то принятая ею из падающей волны мощность равна $\pi R^2 I_i$.

Предполагая, как было оговорено ранее, что сфера радиуса R отражает эту мощность равномерно во всех направлениях, делаем заключение, что интенсивность отраженного сигнала I_r на расстоянии r от центра сферы определяется как частное от деления этой мощности на площадь сферы радиуса r , т.е.

$$I_r = \frac{\pi R^2 I_i}{4\pi r^2} = I_i \frac{R^2}{4r^2},$$

где I_r - интенсивность отраженного сигнала на расстоянии r , которое выбирается из условия дальнего поля.

Приведенное к единичному расстоянию $r=1$ отношение интенсивности отраженного сигнала I_r к интенсивности сигнала в падающей волне равно

$$\left. \frac{I_r}{I_i} \right|_{r=1} = \frac{R^2}{4}.$$

Сила цели такой сферы равна

$$СЦ = 10 \lg \left. \frac{I_r}{I_i} \right|_{r=1} = 10 \lg \frac{R^2}{4}.$$

Измерение интенсивности как в падающей, так и в отраженной звуковых волнах должно выполняться в дальнем поле, где сформировались плоские волны. В этом случае отношение интенсивностей отраженной и падающей волн можно представить как отношение квадратов соответствующих акустических давлений

$$\left. \frac{I_r}{I_i} \right|_{r=1} = \left. \frac{p_r^2}{p_i^2} \right|_{r=1} = \frac{R^2}{4}.$$

Отсюда очевидно

$$\frac{p_r}{p_i} = \frac{R}{2} \quad \text{и} \quad R = \frac{2p_r}{p_i}.$$

Эффективное значение акустического давления определяется соотношением

$$p_r = \frac{U_r}{\gamma_0},$$

где U_r – эффективное значение напряжения на выходе измерительного гидрофона, γ_0 – чувствительность гидрофона на частоте измеряемого сигнала.

Сфера известного радиуса R может служить в качестве контрольного эталона для измерения силы цели.

Если установить излучатель, отражатель и гидрофон как показано на рис. 1,

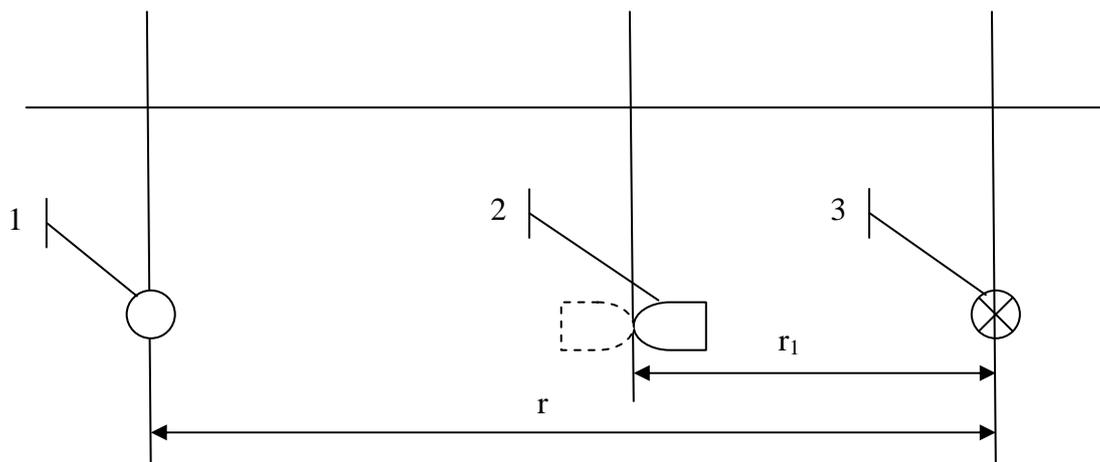


Рис.1. - Размещение гидрофона (1), излучателя (2) и отражателя (3)

то амплітуда сигналу в падаючій волні, виміряна гідрофоном 1 при напрямленні излучателя 2 на гідрофон і приведена до одиничного відстані визначається таким співвідношенням

$$U_i = \frac{U_{\text{п}}(r-r_1)}{r_1},$$

а ехо-сигнала, приведенного до одиничного відстані, - співвідношенням

$$U_r = U_0 r.$$

Чувствителісність гідрофона γ_0 для падаючої і отраженої волн, як правило, величина постійна. Поєтому радіус еталонної сфери можна визначити співвідношенням

$$R = 2 \frac{U_r}{U_i} = \frac{2U_0 r r_1}{U_{\text{п}}(r-r_1)},$$

где U_r - значення напруги на виході гідрофона при виміренні тиску (амплітуди сигналу) в отраженої волні;

U_i - значення напруги на виході гідрофона при виміренні тиску в падаючій волні;

U_0 - напруга на виході гідрофона для отраженої волни на відстані r від отражателя;

$U_{\text{п}}$ - напруга на виході гідрофона для падаючої волни при напрямленні излучателя на гідрофон (показано штрихами);

r - відстань від отражателя (центра) до гідрофона;

r_1 - відстань від излучателя до отражателя.

Відстані r і r_1 повинні відповідати умовам дальнього поля, визначаємым співвідношенням

$$r > \frac{2D^2}{\lambda},$$

где D – наибольший линейный размер плоской части активной поверхности излучателя (отражателя);

λ - длина волны излучаемого (отраженного) сигнала.

Рассмотрим условия размещения, подвески и ориентации излучателя, отражателя и гидрофона:

- *излучатель* должен крепиться к штанге поворотного устройства (далее - ПУ), которое обеспечивает круговое вращение с контролем угла поворота. Заглубление желательно выбирать приблизительно около половины глубины водоема, в котором проводятся такие измерения. Отклонение рабочей поверхности излучателя от вертикали не должно превышать 0,05 от ширины характеристики направленности излучателя на уровне минус 3 дБ от максимума. Существует особое требование к излучателю – это минимальная добротность, что позволяет достигать установившейся амплитуды излучаемого импульса при минимально допустимой его длительности τ_{\min} . Минимально допустимая длительность τ_{\min} выбирается исходя из необходимости облучения половины сферы (в случае сферического отражателя) плюс минимум пять периодов

$$\tau_{\min} > \frac{0,5d}{c} + 5T,$$

где d - диаметр отражателя,

c – скорость звука в воде,

T – период частоты заполнения эхо-сигнала;

- *отражатель* любой формы должен быть полым и герметичным (попадание воды внутрь отражателя должно быть исключено). При этом отражатель, как правило, обладает положительной плавучестью, поэтому к его нижней части крепится соответствующий груз на некотором удалении от него, что позволяет разделить отраженные эхо-сигналы, приходящие как от груза, так и от отражателя. Крепление отражателя к поворотному устройству и груза к отражателю выполняется с помощью тонкой проволоки или лески, что обеспечивает исключение отражений от нее. Отражатель с грузом подвешивается к поворотному устройству с круговым вращением и контролем угла поворота;

- *гидрофон* должен крепиться к поворотному устройству, которое обеспечивает настройку его как по глубине, так и по азимуту с контролем угла поворота. Гидрофон ориентируется контрольной меткой на излучатель и отражатель, которые располагаются на одной линии и одинаковой глубине. Размещение и ориентация излучателя, отражателя и гидрофона должно быть таким, чтобы исключить наложение отраженных от границ водоема сигналов на эхо-сигнал от цели.

Непосредственно измерения выполняются по схеме, приведенной на рис. 2

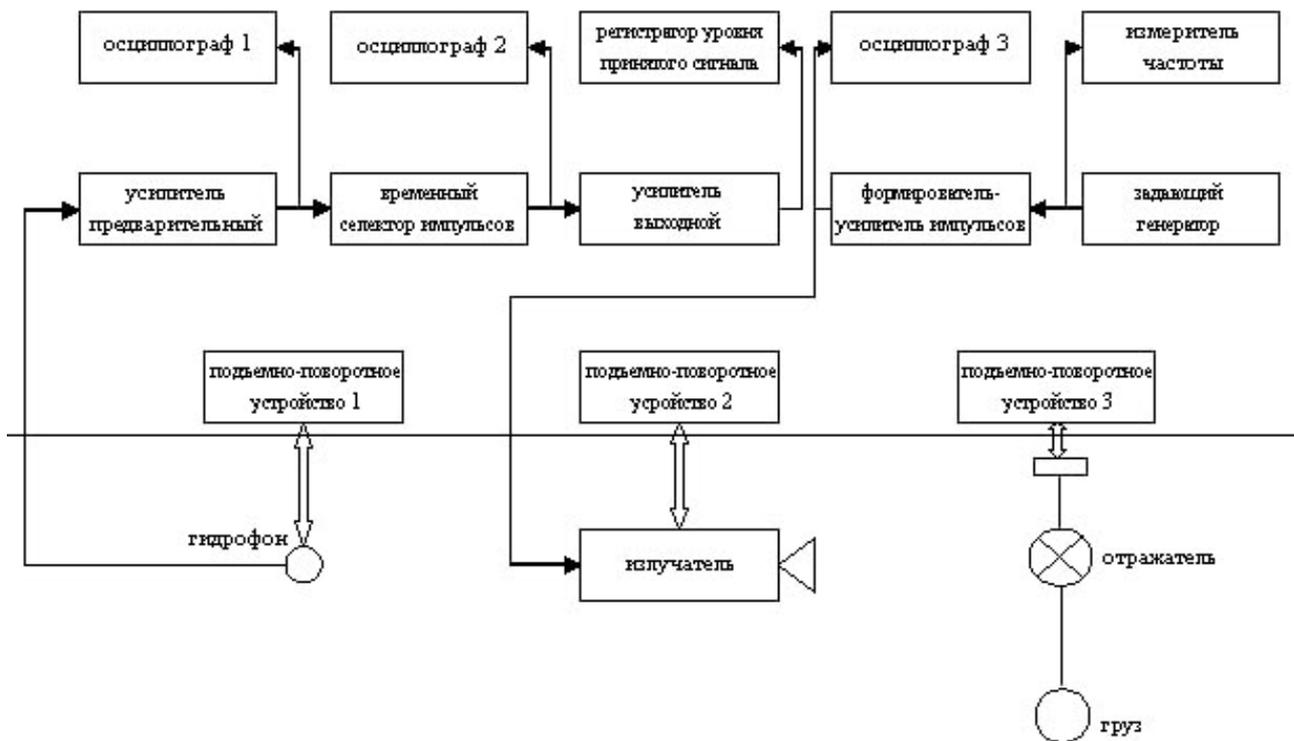


Рис. 2. - Схема выполнения измерений

С помощью задающего генератора подается сигнал рабочей частоты f на вход формирователя-усилителя импульсов; сформированный и усиленный импульс, с которого контролируется с помощью осциллографа 3 и поступает на вход гидроакустического излучателя. Направляя и настраивая излучатель на отражатель, необходимо добиться максимального значения отраженного эхо-сигнала на гидрофоне, что достигается как настройкой направления излучателя на отражатель, так и настройкой приемного тракта (предварительного усилителя с контролем осциллографом 1, а также юстировкой гидрофона по глубине $\pm 0,1$ м). При этом установившийся радиоимпульс на входе излучателя поддерживается постоянным.

При достижении оптимального сигнала на выходе предварительного усилителя он подается на вход временного селектора импульсов, который необходимо настроить так, чтобы на осциллографе 2 наблюдался только прямой эхо-сигнал от цели (отражателя) и подавлялись все иные. Таким способом удается реализовать условия свободного поля в реальном водоеме.

Если мощности этого эхо-сигнала недостаточно для регистрации уровня принятого сигнала, его необходимо усилить с помощью выходного усилителя и подать на вход регистратора уровня принятого сигнала для записи круговой характеристики рассеяния отражателя.

Для пересчета уровней эхо-сигнала в децибелах в напряжения на выходе гидрофона U_0 необходимо записать регистратором уровня принятого сигнала уровень в децибелах достаточной величины, после чего выход гидрофона подать на более чувствительный вход

осциллографа и замерить истинное значение U_o , соответствующее этому уровню в децибелах. Если чувствительность осциллографа не позволяет выполнить эту операцию, тогда следует произвести калибровку предварительного усилителя и вычислить U_o с учетом этого усиления.

При записи круговой характеристики направленности отражателя регистратор уровня принятого сигнала включается после установившегося вращения отражателя с учетом закручивания проволоки, на которой подвешен отражатель с грузом. После записи круговой характеристики рассеяния отражателя и калибровки опорного уровня L_o , которому соответствует истинное значение напряжения на выходе гидрофона U_o , производится измерение амплитуды сигнала в падающей волне U_{Π} . Для этого излучатель поворачивается на 180° и настраивается на гидрофон. Производится измерение напряжения на выходе гидрофона. Это и будет амплитуда сигнала в падающей волне U_{Π} в области расположения гидрофона.

Оценка радиуса сферы или эквивалентного радиуса произвольного отражателя выполняется после приведения измеренных амплитуд U_o и U_{Π} к единичному расстоянию. Исходя из схемы расположения излучателя, отражателя и гидрофона (рис. 1), амплитуда сигнала в падающей волне для данного гидрофона равна

$$U_i = \frac{U_{\Pi} (r - r_1)}{r_1},$$

а в отраженной волне

$$U_r = U_o r.$$

Отсюда опорному уровню эхо-сигнала L_o отвечает опорное значение эквивалентного радиуса

$$R_{\text{эо}} = \frac{2U_o r r_1}{U_{\Pi} (r - r_1)}.$$

По записанной круговой характеристике рассеяния можно определить $R_{\text{эi}}$ в любой ее точке

$$R_{\text{эi}} = R_{\text{эо}} \times 10^{\frac{(L_i - L_o)}{20}}.$$

По результатам записи круговой характеристики рассеяния можно вычислить среднее значение $\overline{R_{\text{э}}}$ и среднеквадратическое отклонение σ_R . Если круговую характеристику рассеяния условно разделить на n примерно равных интервалов с учетом характерных точек, то среднее значение эквивалентного радиуса определим по формуле

$$\overline{R_{\text{э}}} = \frac{R_{\text{эо}}}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\left(\frac{L_i - L_o}{20}\right)},$$

а среднеквадратичное отклонение

$$\sigma_R = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{\text{Э}i} - \overline{R_{\text{Э}i}})^2 \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Литература

1. Клей К., Медвин Г. Акустическая океанография: Пер с англ. - М.: Мир, 1980. – 580 с.
2. Тюлин В.Н. Введение в теорию излучения и рассеяния звука. – М.: Наука, 1976.
3. Урик Роберт Дж. Основы гидроакустики. Л.: Судостроение, 1978. – 440 с.
4. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. Киев: Техніка, 1977. – 768 с.