

УДК 528.645

Гринь Г.А. ООО ПТФ «Возрождение», г. Сургут

Мурзинцев П.П. СГГА, Новосибирск

МНОГОЛУЧЕВОЙ ЭХОЛОТ КАК ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ ТРУБОПРОВОДОВ.

Геодезический контроль подводного перехода необходим для определения пространственного положения трубопровода относительно дна водной преграды и на основе этого, определения его технического состояния.

При производстве геодезического контроля переходов трубопроводов, не менее важным критерием, чем точность, является подробность съёмки, так как при недостаточной подробности данных, есть вероятность пропуска неисправных участков, требующих детального изучения.

При выявлении неисправных участков с использованием однолучевого эхолота, основным фактором увеличения подробности является сгущение сетки съёмочных галсов. Одиночные галсы позволяют обеспечить надёжное обнаружение только для таких объектов, размеры которых соизмеримы с размерами междугалсового расстояния. Для неисправных участков трубопроводов и прочих объектов поиска, имеющих размеры меньшие, чем шаг междугалсового расстояния, вероятность их обнаружения оказывается очень низкой [1].

Вероятность обнаружения неисправных участков трубопроводов в виде полностью оголённых частей, имеющих диаметр D , находящихся на дне, имеющем различный коэффициент расчлененности k , может быть рассчитана по формуле:

$$p_p = \frac{l}{L} + \frac{D}{k} \quad (1)$$

где l - длина неисправного участка трубопровода;

L – междугалсовое расстояние.

Таким образом, при геодезическом контроле подводных переходов, выполняемого при помощи однолучевого эхолота, вероятность обнаружения неисправного участка трубопровода напрямую зависит от диаметра искомого трубопровода, расчлененности рельефа и отношения длины дефектного участка к междугалсовому расстоянию.

Многолучевые эхолоты обладают способностью практически полного акустического освещения дна, что вносит огромный вклад в возможность более детального представления топографии дна, чем это было возможно при использовании однолучевых эхолотов. Кроме того, с помощью таких систем, возможно надежное обнаружение объектов на поверхности дна [4].

Имея в виду получение глубин, разрешение многолучевого эхолота будет зависеть от частоты, ширины излучаемых и принимаемых лучей, а также качества алгоритма, используемого для детектирования дна.

Разрешение при получении глубин является функцией длительности импульса и размеров пятна контакта. Пятно контакта для лучей близких к вертикальному достаточно мало, поэтому разрешение выше, чем у однолучевого эхолота. К примеру, у однолучевого эхолота, имеющего угол луча в 8 градусов, площадь пятна контакта на дне будет в 28 раз больше, чем у вертикального луча многолучевого эхолота Kongsberg Simrad EM3002 с углом 1.5 градуса [2].

Пятном контакта для многолучевого эхолота является область пересечения излученного и принятого луча, размер которой зависит от ширины лепестков диаграммы направленности на излучении и приёме, угла луча, глубины и среднего уклона дна. Пятно контакта может быть аппроксимировано эллипсом с осями a_x и a_y (рисунок 1).

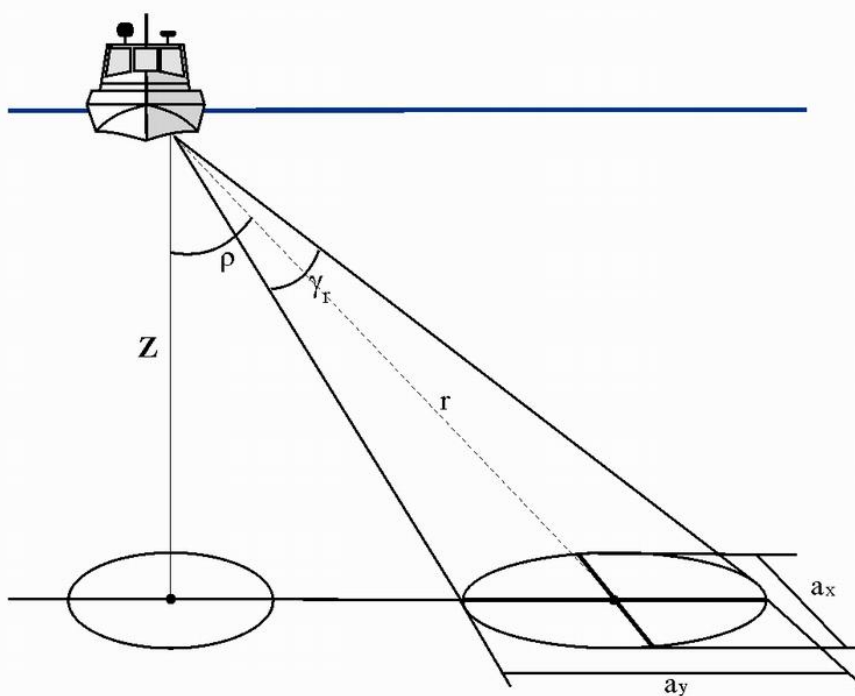


Рисунок 1 - Покрывание дна одной посылкой многолучевого эхолота.

Для плоского и ровного участка дна, длина оси a_y в направлении поперек судна может быть рассчитана по формуле[5]:

$$a_y = \frac{2Z}{\cos^2 \rho} \tan \frac{\gamma_r}{2} \quad (2)$$

где Z – глубина;

ρ – угол наклона луча.

γ_r - угловая ширина луча на приёме в направлении поперёк судна.

Для участка дна, имеющего коэффициент расчлененности k , ось a_y может быть аппроксимирована формулой вида:

$$a_y = \frac{2Z}{\cos \rho \cos(\rho-k)} \tan \frac{\gamma_r}{2} \quad (3)$$

Размер оси a_x , направление которой совпадает с направлением движения, при условии ровного дна может быть рассчитан по следующей формуле [5]:

$$a_x = \frac{2Z}{\cos \rho} \tan \frac{\gamma_t}{2} \quad (4)$$

где γ_t – угловая ширина луча на излучении.

Рассчитаем размеры осей a_x и a_y пятен контактов для ровного участка дна с глубиной 10 метров и различными углами наклона луча в таблице 1.

Для глубины 20 метров данные размеры увеличиваются 2 раза соответственно.

Таблица 1 - Расчет размеров полуосей a_x и a_y пятен контакта многолучевого эхолота Kongsberg Simrad EM3002 для глубины 10 метров.

Угол наклона луча	a_x (м)	a_y (м)
0°	0,26	0,26
15°	0,26	0,27
30°	0,30	0,35
45°	0,37	0,52
65°	0,61	1,45

Отсюда, пятно контакта, полученное по центральным лучам, близко к значению 2,5% от глубины и достигает величины 1 м на глубине 40 м.

Из таблицы 1 также следует, что эффективная область использования многолучевого эхолота, лежит в пределах от 0° до 45°, что дает в сумме угол раскрытия 90°. Отсюда, делаем вывод, что при детализированной съёмке, предназначенной для определения точных размеров неисправных участков трубопровода, общая ширина раскрытия лучей не должна превышать 90°.

Рассмотрим зависимость ширины покрытия от глубины. Ширина полосы покрытия или ширина полосы обзора на плоском дне может быть рассчитана по формуле [5]:

$$S_w = 2 Z \tan\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right) \quad (5)$$

где $\Delta\theta$ – угловое расстояние между внешними лучами.

Обычно, ширина полосы покрытия многолучевого эхолота составляет в среднем около 4-5 значений глубины. В таблице 2 представлена зависимость ширины полосы покрытия от глубины до дна Z .

Таблица 2 - Зависимость ширины полосы покрытия многолучевого эхолота от глубины

Глубина (м)	$\Delta\theta$				
	30°	60°	90°	110°	130°
	S_w (м)				
5	2,67	5,77	10	14,28	21,44
10	5,36	11,54	20	28,56	42,89
15	8,04	17,31	30	42,84	64,33
20	10,72	23,08	40	57,12	85,78
25	13,40	28,85	50	71,40	107,22
50	26,80	57,70	100	142,80	214,45

Покрытие дна является функцией размера пятен контакта, угловых расстояний между лучами в направлении поперек движения, частоты посылок, скорости судна, а также величин углов рыскания, крена и дифферента. Для того, чтобы достигнуть полного покрытия дна необходимо, чтобы освещаемые области последовательных посылок перекрывались так, чтобы каждая точка дна освещалась хотя бы одним акустическим импульсом.

Сопоставив размер пятна контакта и количество лучей с шириной полосы покрытия, очевидно, что при использовании многолучевого эхолота, имеем полное покрытие дна акустическими импульсами в направлении поперек движения судна, в отличие от однолучевого эхолота, где имеем высокую плотность покрытия вдоль галса, и низкую – поперек.

Кроме того, расчет глубины в пятне контакта многолучевого эхолота чрезвычайно сложнее, чем у однолучевого эхолота и включает в себя несколько сотен итераций, что обуславливает более тщательное детектирование подводных объектов. К тому же, количество полученных значений глубин у многолучевого эхолота больше, чем количество физических лучей и позволяет получать несколько значений глубины от одного пятна контакта.

Важное значение при определении геометрических параметров подводных объектов имеет разрешающая способность эхолота. Разрешающая

способность характеризует инструментальную точность эхолота. Она дает возможность фиксировать на поверхности дна разность точек, полученных в смежных пятнах контакта, для однолучевого эхолота, и внутри одного пятна контакта, для многолучевого, так как одно пятно контакта многолучевого эхолота несёт несколько значений глубины [2].

Вертикальная разрешающая способность эхолота зависит от длительности импульса и ширины диаграммы направленности. Более длинные импульсы имеют меньшее разрешение. Два объекта будут регистрироваться как одна цель, если расстояние между ними менее половины длительности импульса, и будут зарегистрированы как разные объекты, если находятся на расстоянии большем, чем половина длительности импульса, т.е. для фиксирования эхолотом двух мелких объектов как отдельных, должно выполняться условие:

$$\Delta z > \frac{\tau}{2} \quad (6)$$

где Δz – вертикальное расстояние между объектами;

τ – длина импульса.

В связи с высокой плотностью данных, коэффициент расчлененности рельефа k не оказывает существенного влияния на вероятность обнаружения трубопровода с помощью многолучевого эхолота.

Плотность данных, полученных многолучевым эхолотом, достаточна для выявления неисправных участков и формирования единой 3-D геопространственной модели подводной части объекта, без дополнительных устройств, ведущих к увеличению времени производства работ и удорожанию приборного комплекса.

Плотность данных, полученных однолучевым эхолотом, недостаточна для выявления следующих неисправных участков трубопроводов:

- малых по протяженности, в связи с ограничениями междугалсового расстояния;
- имеющих небольшую степень неисправности, особенно на расчлененном рельефе, что связано с двухмерным представлением данных (рисунок 2а), обусловленных низкой дискретностью измерений поперек линии движения судна;
- находящихся на большой глубине, что связано с большим размером пятен акустического контакта и «размазыванием» объекта съемки.

Данные однолучевого эхолота не могут служить основой для построения полной геопространственной модели объекта, и пригодны лишь для основы формирования общей картины ситуации, основанной на данных, полученных по линиям промерных галсов.

Также, для первичного выявления или подтверждения неисправных участков, и выявления деталей, относящихся к трубопроводу, таких как

наличие и вид балластировки, а также наличие посторонних предметов на дне, требуется дополнительное устройство – гидролокатор бокового обзора, что увеличивает время производства работ и приводит к удорожанию комплекса.

Отсюда, однолучевой эхолот целесообразно использовать на объектах:

- имеющих малую площадь;
- имеющих небольшие глубины (до 10 метров);
- имеющих пологий рельеф, с минимальным коэффициентом k ;
- с трубопроводами, имеющими большие диаметры (более 1 м);
- с трубопроводами, имеющими высокую степень неисправности.

При этом, однолучевой эхолот должен иметь узкую диаграмму направленности (менее 10°) и быть снабжен датчиком пространственной ориентации для компенсации углов крена и дифферента.

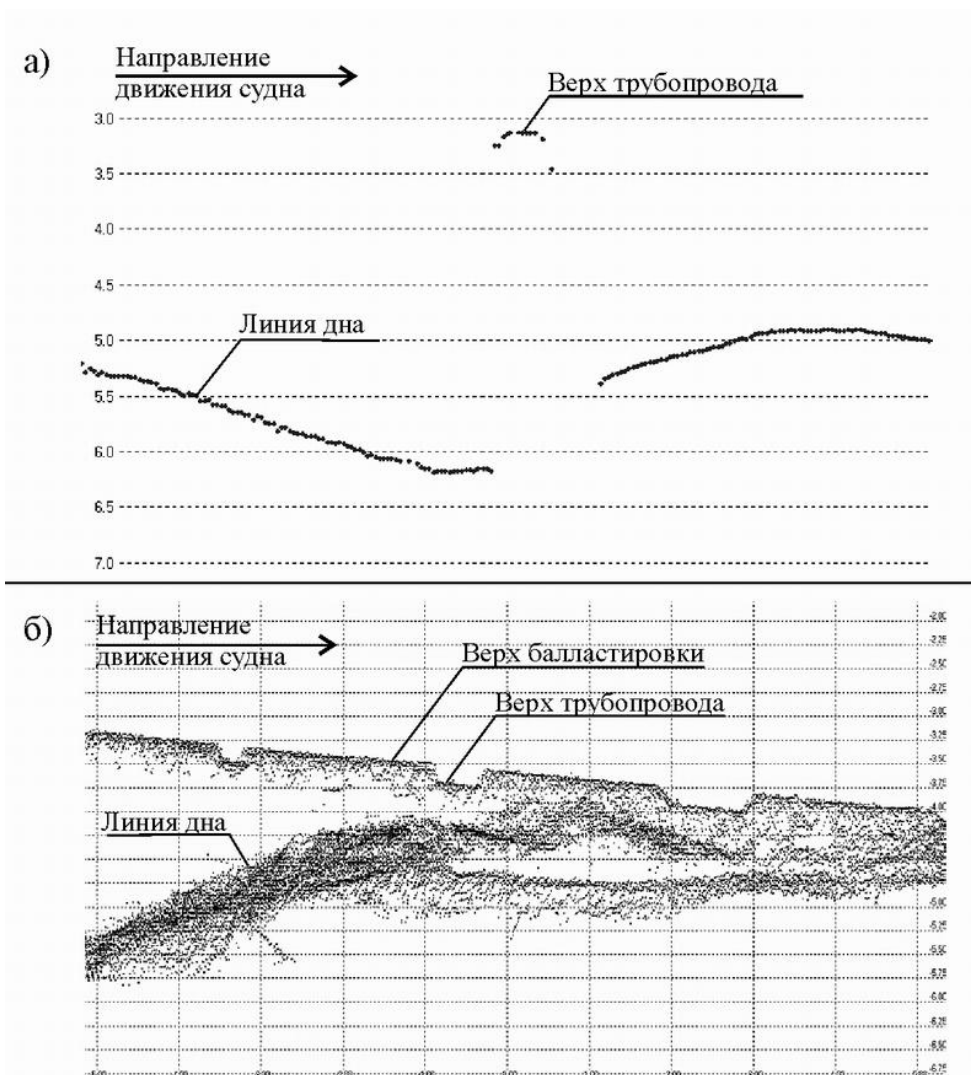


Рисунок 2 - Иллюстрация данных, получаемых однолучевым (а) и многолучевым (б) эхолотами на неисправных участках трубопровода.

Узкие лучи идеальны для установления целей, достаточно больших по сравнению с размером пятна контакта, однако они неспособны различать цели, значительно более мелкие, чем размер пятна контакта [3].

Поскольку, размер пятна контакта зависит напрямую от глубины, величина глубины имеет существенное значение при определении возможностей системы обнаруживать на дне цели с небольшими размерами. Однако, если цель обнаруживается, определение её формы с помощью многолучевого эхолота осуществляется значительно лучше, чем с помощью однолучевого эхолота. Это связано с высокой плотностью данных получаемых в двух направлениях – вдоль оси движения судна и поперек.

Отсюда, при выполнении подводных съёмки инженерных объектов, к которым относятся подводные переходы, эхолотами, целесообразно регламентировать минимальные размеры объектов, которые должны быть выявлены на поверхности дна. Это требование, также, должно относиться к посторонним объектам, требующим обнаружения, находящихся на дне водной преграды в зонах подводных переходов.

Список использованных источников.

1 Амельченко, С.Г. Сравнение поисковых сетей, применяемых для обнаружения подводных объектов [Текст] // Сборник тезисов докладов научно-технической конференции ППС ГМА им. адм. С.О. Макарова. – СПб., 2008. – С.242-243.

2 Фирсов, Ю.Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров [Текст] / Ю.Г. Фирсов. – СПб.: Нестор-История, 2010. – 303 с.

3 Erik Hammerstad. EM Technical Note. Multibeam Echo Sounder Accuracy. [Текст] / Kongsberg Maritime AS. - 2001.

4 Freddy Pøhner. Improved Object Detection with new Generation of Multibeam Echo Sounders [Текст] / Kongsberg Maritime AS. - 2004.

5 ИНО Manual on Hydrography [Текст] / International Hydrographic Bureau, Publication M-13, 1-st Edition Monaco, 2005. - 511 pp.