



Диагностика подводных переходов. Однолучевые эхолоты.

Однолучевые эхолоты представляют собой устройства для определения глубины. Принцип действия эхолотов основан на измерении времени прохождения ультразвукового сигнала от приёмника–излучателя до поверхности дна и назад до приёмника–излучателя. Измеренная глубина находится как половина произведения времени прохождения сигнала до дна и обратно, на значение скорости звука в воде.

Подавляющее большинство всех эхолотов делится на три основных группы, в зависимости от решаемых ими задач:

- 1) Рыболовные;
- 2) Промерные;
- 3) Навигационные.

При выполнении инженерных задач, в частности, диагностики подводных переходов, необходимо использовать промерные эхолоты.

По методу фиксации и регистрации измеренных глубин промерные эхолоты можно подразделить на эхолоты с самописцами, в которых информация регистрируется в аналоговом виде на бумажном носителе–ленте эхограммы, и эхолоты с возможностью передачи значения глубины для регистрации на ПК. Современные промерные эхолоты оборудованы интерфейсом вывода информации о глубине на ПК в фиксированных форматах (DBT, DPT или DBS) протокола NMEA0183. Многие эхолоты, к примеру, Bathy 500MF фирмы SyQwest (рисунок 1), имеют возможность одновременной записи эхосигнала на бумажный носитель и вывода данных в цифровом виде на внешнее устройство. Некоторые эхолоты снабжены функцией вывода на ПК эхограммы в цифровом виде. Такой возможностью обладает эхолот EA400 компании Kongsberg Maritime AS (рисунок 1).



Рисунок 1 – Эхолоты Bathy 500MF (1) и Kongsberg Simrad EA400 (2)

Рабочая частота эхолота должна выбираться с учетом условий предполагаемого использования. В некоторых случаях желательно иметь возможность использовать один и тот же эхолот в нескольких глубинных диапазонах. Для такого случая эхолоты должны иметь возможность работы с разными частотами и комплектоваться разными антеннами для того, чтобы улучшить сбор данных и их качество. Антенны эхолота (трансдюсеры) могут быть как одночастотные, так и двухчастотные, работающие одновременно на высокой и низкой частотах. Высокая частота однолучевого промерного эхолота обычно близка к 200 кГц, низкая находится в диапазоне от 20 до 40 кГц. Высокая частота более эффективна на плотном и твердом грунте. В тех случаях, когда на дне имеются рыхлые илистые отложения или водоросли, предпочтительней низкая частота, которая пронизывает слой взвесей и отражается от более плотных слоев донного грунта. Кроме того, низкая частота позволяет работать на большей глубине, чем высокая. Рисунок 2 иллюстрирует результаты использования эхолота EA400 с двухчастотной (38/200 кГц) антенной, при съемке провисающего участка подводного перехода трубопровода на илистом участке дна. Толщина слоя илистых отложений около 0,05 м.

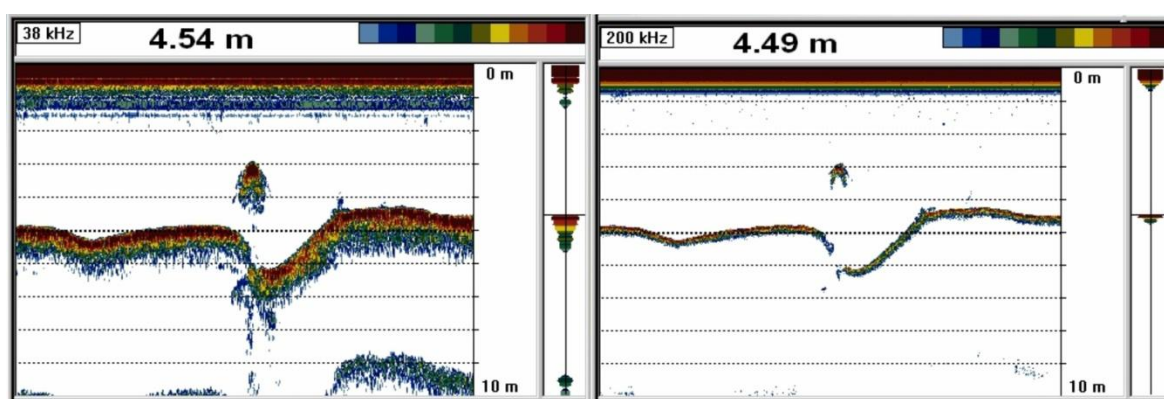


Рисунок 2 – Эхолограммы подводного перехода на низкой и высокой частотах

В промерном эхолоте могут регулироваться такие параметры как мощность и коэффициент усиления сигнала. Их значения должны быть подобраны оператором экспериментально, путем увеличения от минимального уровня до оптимального.

Точность измерений глубины является производной от нескольких факторов, самого эхолота и среды. В отличие, к примеру, от наземных оптических средств измерения – электронных тахеометров, являющихся сложными техническими устройствами, выполняющими измерения в относительно простой среде, которой является воздух, эхолот, по сути – относительно простое техническое устройство, выполняющее измерения в сложной среде, которой является вода. Поэтому, при производстве промерных работ, нельзя пренебрегать свойствами воды и учитывать ее при выполнении измерений.

Исходя из того, что эхолот является, по сути, прибором, измеряющим время между излучением и приёмом отражённого сигнала, в достаточно сложной среде, которой является вода, можно сформулировать три фактора, участвующие в вычислении глубины и влияющие на точность и достоверность получаемых данных:

1) Точность отсчёта времени – наиболее простой и поддающийся элементарной проверке фактор, за который несёт ответственность производитель оборудования. Принцип его работы настолько прост, что не вызывает никаких сомнений в корректности работы даже в достаточно простых и недорогих моделях. Технически проблема измерения времени решена с точностью, многократно превышающей необходимую.

2) Свойства среды. Скорость прохождения сигнала через поверхность воды на малых глубинах напрямую зависит в основном от температуры и солёности воды. Если пренебрегать степенью солёности, к примеру, при работах на внутренних водоёмах, то температуре различных слоёв толщи воды нужно уделять пристальное внимание. Значение погрешности измерений за неучтенную скорость звука в воде может достигать нескольких дециметров. По результатам измерений скорости звука на разных глубинах составляется общий профиль скорости звука на данном участке.

Профиль скорости звука можно получить несколькими способами:

– тарирование или калибровка эхолота с помощью тарировочного диска, устанавливаемого под излучатель на нескольких фиксированных глубинах с регистрацией величины систематической ошибки в виде разности между «истинной» глубиной до диска и глубиной, измеренной эхолотом. Данный метод приемлем для небольших глубин, как правило, до 20 – 30 м;

– использование зонда–измерителя профиля скорости звука. Это наиболее быстрый и точный метод.

– использование таблиц скоростей звука. Метод наименее точен, но всё же использование таблиц, лучше, чем полное игнорирование скорости звука при выполнении эхолотирования.

В случае правильного измерения профиля скорости звука, и ввода в управляющее ПО соответствующих поправок, относительная погрешность измерений не должна превышать 1% от глубины.

3) Фактор определения дна. Промерный эхолот может достаточно точно измерить время прохождения сигнала от момента излучения до момента приёма, параметры среды могут быть измерены и учтены, профили скорости звука составлены на конкретный объект и время производства работ, но вопрос, до какой поверхности проводились измерения и что действительно является истинным дном, может существенно влиять на результат проведённой работы.

Правильный подход к решению этой проблемы лежит в возможности настроек эхолота под определённые условия. Из-за объемной реверберации (уменьшения интенсивности сигнала, связанного с многократными отражениями), форма отраженного сигнала существенно изменяется, и на дне, имеющем неровную поверхность или на илистом дне, на котором присутствуют взвеси, обычно возникают проблемы. Современные модели цифровых эхолотов имеют функцию детектирования дна. Алгоритм работы детектора дна (bottom detector) состоит из трёх частей: фильтрация, распознавание образов и трэкинг. В основу фильтрации входит корреляционный анализ и статистика измеренных сигналов. Распознавание образов – это метод, построенный на анализе форм сигналов и выявлении ложных отражений. Трэкинг – важная часть, из области статистического прогноза. Алгоритм позволяет определить «коридор», в котором может появиться следующая глубина, и скептически относится к отскокам, особенно одиночным. Вычисление осуществляется с максимальной скоростью посылок для необходимого набора статистических данных.

Вертикальным разрешением эхолота называется способность различать эхосигналы от нескольких находящихся рядом объектов. Обычно, она выражается, как минимальная дистанция между двумя объектами, расположенными на разной глубине. Разрешающая способность эхолота зависит от следующих факторов:

1) Длительность импульса излучения. Два объекта будут зарегистрированы как одна цель, если они расположены между собой на расстоянии менее половины длительности импульса; они будут опознаны как отдельные эхосигналы, если они находятся на расстоянии большем, чем половина длительности импульса;

2) Чувствительность регистрирующей системы эхолота;

3) Ширина диаграммы направленности сигнала.

Одним из критериев, характеризующих эхолот, является ширина диаграммы направленности. Эхолот с узкой диаграммой направленности более тщательно детектирует дно и объекты на нем. Ширина диаграммы направленности эхолота может составлять от нескольких единиц до нескольких десятков градусов. При работах с широкой диаграммой направленности (широким лучом) даже на относительно плоском рельефе, не говоря про расчленённый рельеф, в данные промеров входит погрешность измерения истинной глубины, в силу того, что измерение производится от ближайшей точки отражения сигнала (рисунок 3).

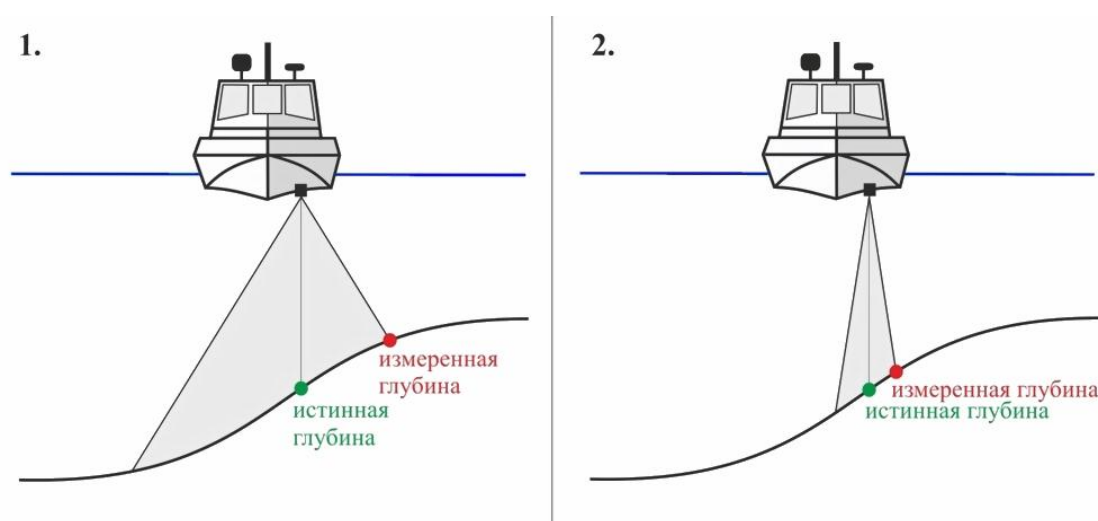


Рисунок 3 – Измерение глубины эхолотами с широким (1) и узким (2) лучами

Из рисунка 1 вытекает, что кроме увеличения высотной погрешности измерения, у эхолотов с широкой диаграммой направленности увеличивается ошибка планового определения точки на поверхности дна.

Это связано с тем, что покрытие дна, т.е. акустическое освещение дна однолучевым эхолотом представляет собой некую область в пределах луча, называемую пятном акустического контакта, или пятном контакта, по форме близким к окружности.

За измеренную глубину в каждой посылке принимается кратчайшее расстояние прохождения акустического сигнала, которое затем соотносится к центру пятна контакта, так как, по гидрографическим канонам наиболее важным является минимальное значение глубины. В случае, если размер пятна контакта больше, чем фиксируемый объект, то объект окажется растянутым на расстояние, равное радиусу пятна контакта, при условии, что кратчайшее расстояние будет меньше, чем истинная глубина.

В недорогих рыбопоисковых эхолотах за счёт малой величины излучателя, ширина диаграммы направленности достигает 60 градусов, в отличие от промерных эхолотов, где ширина луча от 2 до 6 градусов. Отсюда, промерные работы выполненные эхолотом с широкой диаграммой направленности заведомо грубее, особенно на расчленённом рельефе (рисунок 4)

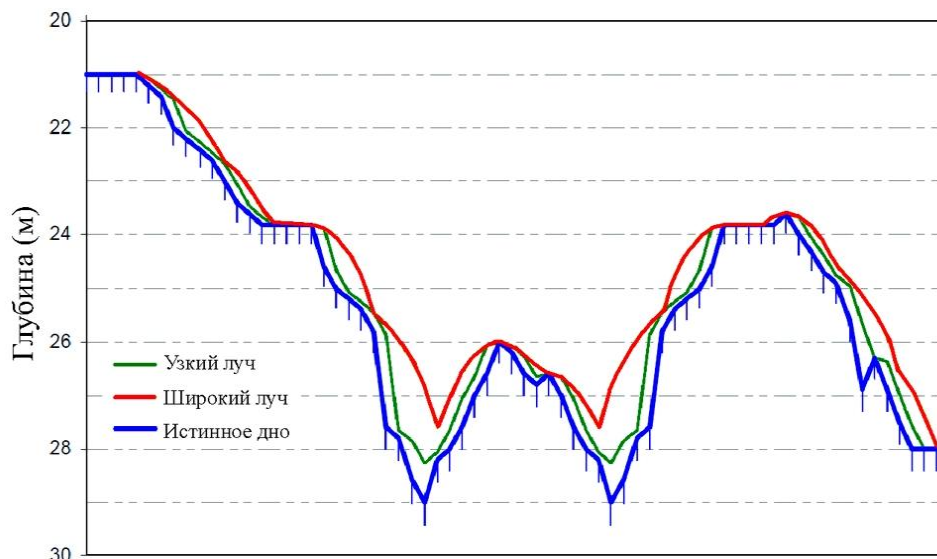


Рисунок 4 – Результат измерения глубины эхолотами с различной шириной луча

Расчет диаметра пятен контакта для распространенных углов диаграмм направленности приведен в таблице 1. Расчет произведен для ровного участка дна на глубинах 5, 10 и 20 метров.

Таблица 1 – Расчет диаметра пятна контакта для эхолотов с различными углами диаграмм направленности

Угол диаграммы направленности	Глубина		
	5 м	10 м	20 м
3°	0,26	0,52	1,05
7°	0,61	1,22	2,45
18°	1,58	3,17	6,33
30°	2,68	5,35	10,71
60°	5,77	11,55	23,09

Площадь пятна контакта на дне пропорциональна значению ширины диаграммы направленности и квадрату глубины.

Существует прямая зависимость между шириной диаграммы направленности и величиной излучателя (трансдюсера) – чем больше излучающая поверхность, тем уже угловая ширина луча и ниже частота.

Кроме этого существуют множество причин, не позволяющих использовать непрофессиональные эхолоты для решения инженерных задач – отсутствие функции детектирования дна, отсутствие возможностей тарирования и ввода значения скорости звука, отсутствие интерфейса для подключения необходимых внешних устройств и т. д.

Но и у промерных узколучевых эхолотов существует один большой недостаток – при работах в условиях ветра, волнения и других факторов, влияющих на стабильность судна, и непосредственно трансдюсера, узкий луч, отклоняясь от вертикали, измеряет отличную от вертикали дальность и даёт неверное значение глубины. Чем больше глубина и расчленённость рельефа, тем больше величина этой погрешности. Проблема решается лишь с помощью дополнительно подключаемого к системе датчика динамических

перемещений судна, который в режиме реального времени получает данные о крене, дифференте и вертикальных перемещениях судна и позволяет учитывать эти характеристики при записи данных или последующей обработке.

Для фиксации положения открытых участков подводных трубопроводов, при выполнении работ по диагностике подводных переходов, необходимо использовать эхолоты с достаточно узкой диаграммой направленности. Эхолоты с диаграммой направленности $30^\circ - 60^\circ$, абсолютно не подходят для решения данной задачи и могут служить лишь для съемки рельефа, причем с незначительным коэффициентом расчлененности.

Допустимая погрешность определения верхней образующей подводного трубопровода в плане не должна превышать его диаметра, ограничениями должны служить глубина, диаметр трубопровода и ширина диаграммы направленности эхолота. Допустимая погрешность определения верхней образующей трубопровода по глубине не должна превышать 1% от значения глубины, что соответствует требованиям «Особой категории» Стандарта на гидрографические съемки SP-44 Международной гидрографической организации (МГО). Фиксацию поверхности открытого трубопровода на каждом галсе необходимо осуществлять не менее чем тремя акустическими контактами.

Необходимым условием для поиска и фиксации открытых участков подводных трубопроводов с помощью однолучевого эхолота, является использование гидролокатора бокового обзора, позволяющего визуально оценивать ситуацию на поверхности дна и контролировать ложные эхосигналы, случайно зарегистрированные эхолотом, которые могут быть впоследствии по ошибке интерпретированы, как верные глубины.

Дополнительными устройствами, позволяющими определить «коридор» поиска и косвенно судить о наличии открытых участков трубопровода, являются трассопоисковые системы.

Автор статьи:

Гринь Григорий Анатольевич, заместитель директора ПТФ «Возрождение»

Список источников:

Баландин, В.Н. Средства и методы топографической съемки шельфа / В.Н. Баландин, Л.А. Борисов, Р.Д. Володарский. – М.: Недра, 1979. – 295 с.

Глумов, В.П. Топографическая съемка акваторий / В.П. Глумов, П.А. Шилкин // Итоги науки и техники: Геодезия и аэрофотосъемка. – М.: ВИНТИ, 1988.– Т.26.–С. 3–75.

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

ИНО Standards for Hydrographic Survey. Special Publication SP-44, 5th Edition. Monaco, 2008. – 28 pp.

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