

УДК 534.204.1

**ЭХОЛОКАТОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ МОРСКИХ ГРУНТОВ  
ECHOLOCATOR FOR DETERMINING THE PROPERTIES  
OF MARINE SOILS**

Р.В. Баршевич, Е.С. Малахвей, С.С. Мартиновский  
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель  
Белорусский национально технический университет, г. Минск  
R. Barshevich, E. Malakhvey, S. Martynovsky  
Scientific supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* в статье рассматривается работа эхолотаторов и области их применения.

*Abstract:* the article discusses the operation of echo sounders and their applications.

*Ключевые слова:* эхолотатор, пьезоэлектрический эффект, волны.

*Keywords:* sonar, piezoelectric effect, waves.

**Введение**

Гидролокатор (звуковая навигация и дальнометрия) – это способ, в котором используют распространение звуковых волн (обычно под водой) для навигации, измерения дальности, связи или обнаружения подводных объектов или над поверхностью воды, например другие корабли. Эти типы технологий имеют общее название "гидролокатор": пассивный гидролокатор, "прослушивает" звук, издаваемый судами; активный гидролокатор выпускает звуковые импульсы и прослушивает эхо. Гидролокатор может использоваться как акустическая локация и измерение эхо-характеристик "целей" в воде.

**Основная часть**

Эхолот по-английски "sonar". Этот термин является аббревиатурой для выражений "Звук" (sound), "Навигация" (navigation) и "Время до возвращения сигнала" (time until signal return). Эхолоты были разработаны в период Второй мировой войны для нахождения подводных лодок противника и слежения за ними. Transm – это передатчик, преобразователь, приемник и экран эхолота.

**История создания**

В 1826 году Даниэль Колладон измерил скорость звука в водах Женевского озера, Швейцария. Этот эксперимент был одним из многих шагов на пути к созданию сонара. Однако использование гидролокатора оставалось на экспериментальной стадии еще 90 лет, и моряки продолжали проводить свои измерения по старинке.

Первая мировая война изменила все это, когда Германия ввела подводные лодки в бой против кораблей союзников. У кораблей не было возможности увидеть приближающиеся подводные лодки. Военное министерство США спросило ученых, что можно сделать с этой проблемой. Результатом военных действий стало государственное финансирование исследований и противолодочная война, что привело к ускоренному развитию подводных технологий. Подводные лодки также воспользовались технологией echo, когда

на подводных лодках были установлены источники звука как для эхолокации, так и для азбуки Морзе.

После использования подводной звуковой технологии для измерения близости к берегу и другим судам исследователи вскоре поняли, что если звуковое устройство направить на морское дно, можно точно определить глубину. Ранние “эхолоты”, как их называли, имели очень плохую направленность и основывались на предположении, что эхо-сигналы исходят непосредственно из-под судна. Включенный угол (конус диаграммы направленности луча к нижней точке на 3 дБ) составлял около 60 градусов. Это было неверное предположение, если бы внизу было какое-либо очертание морского дна, но оно было проще, чем старый метод свинцовой линии, и могло быть выполнено на ходу (рисунок 1).

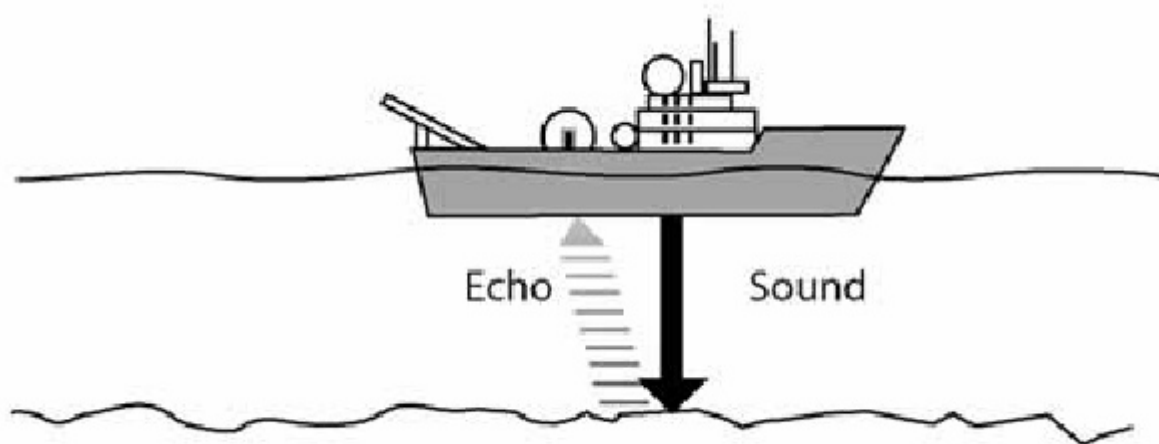


Рисунок 1 – Схема принципа работы эхолокатора

#### Сфера применения

Эхолоты полезны при поиске надежных мест для установки опор и мостов, участков заиленного дна рек, которое необходимо углубить. Определенные эхолотные модели позволяют точно изучить водохранилища, в том числе насыщенность фауны, структуру и плотность почвы, а также температуру воды.

Технология гидролокатора в основном используется для расчета глубины, дальности и направления присутствия объектов. Ниже приведены некоторые варианты использования технологии гидролокатора:

- Для подводной связи на кораблях и подводных лодках используются специальные гидролокаторы.
- Сонар используется в медицинской визуализации для обнаружения кист и раковых клеток, и этот процесс известен как сонограмма.
- Он используется военными для отслеживания вражеских военных кораблей и подводных лодок.
- Гидролокатор часто используется для мониторинга трубопроводов, по которым транспортируется нефть и газ, с целью обнаружения потенциальных повреждений.
- Он используется рыбаками для определения местоположения косяков рыб.

Как датчик определяет рыбу

Некоторые гидролокаторы специально разработаны для обнаружения рыбы. Эти системы используют тот же основной принцип, что и другие гидролокаторы – они передают звуковые импульсы, измеряют время, необходимое для возвращения эха, и вычисляют расстояние до объектов.

Гидролокаторы для обнаружения рыбы отправляют и принимают сигналы много раз в секунду. Они концентрируют звук в луч, который передается от преобразователя. Эти устройства включают в себя визуальные дисплеи, которые печатают эхо-сигналы. Нижняя часть отображается в виде непрерывной линии, проведенной поперек дисплея. Кроме того, также могут отображаться любые объекты, находящиеся в воде между поверхностью и дном.

Эхолоты обнаруживают присутствие рыбы главным образом по воздуху в их плавательных пузырях. Воздух, сохраненный в плавательном пузыре, изменяет траекторию звука и отражает энергию обратно. Эхолот обнаруживает эту отраженную энергию и преобразует ее в изображения рыб на экране.

Эхолоты работают на высоких частотах звука, примерно 20-200 кГц (20-200 000 циклов в секунду). Это помогает определить цели и даже может отображать двух рыб в виде двух отдельных эхо-сигналов или арок. Средние частоты (например, 50 кГц) могут проникать в более глубокие воды, но могут быть неспособны определять отдельные цели. Добавление большего количества энергии в импульс, посылаемый датчиком, увеличивает вероятность получения сигнала о возвращении в более глубоких водах.

Изображения формируются на визуальном дисплее в виде дуг из-за движения лодки или рыбы. Когда звук передается от преобразователя, он концентрируется в луч. Когда звук проникает в более глубокие воды, луч распространяется и охватывает более широкую область. Если бы передаваемый звук был нанесен на график, он выглядел бы как дорожный конус с заостренной вершиной и широким основанием.

Как датчик определяет состав дна

Всегда помните, что ваш датчик показывает только время, необходимое для возврата сигнала, а сила обратных сигналов гидролокатора показывает различную твердость дна. В этой палитре используется желтый цвет для отображения наиболее сильной отдачи сонара, поэтому более твердое дно отображается желтым, затем красным, а мягкое дно – синим.

Зеленые стрелки указывают на то, что кажется твердым слоем под мягким дном. Гидролокатор не проникает ниже поверхности дна. Причина, по которой желтый цвет находится ниже красного, заключается в том, что он показывает более твердую область на краю конуса, для возврата звука требуется больше времени, поскольку он находится дальше от преобразователя, чем в центре конуса.

Гидролокатор показывает, как далеко находится цель от датчика, поэтому край конуса находится дальше от датчика.

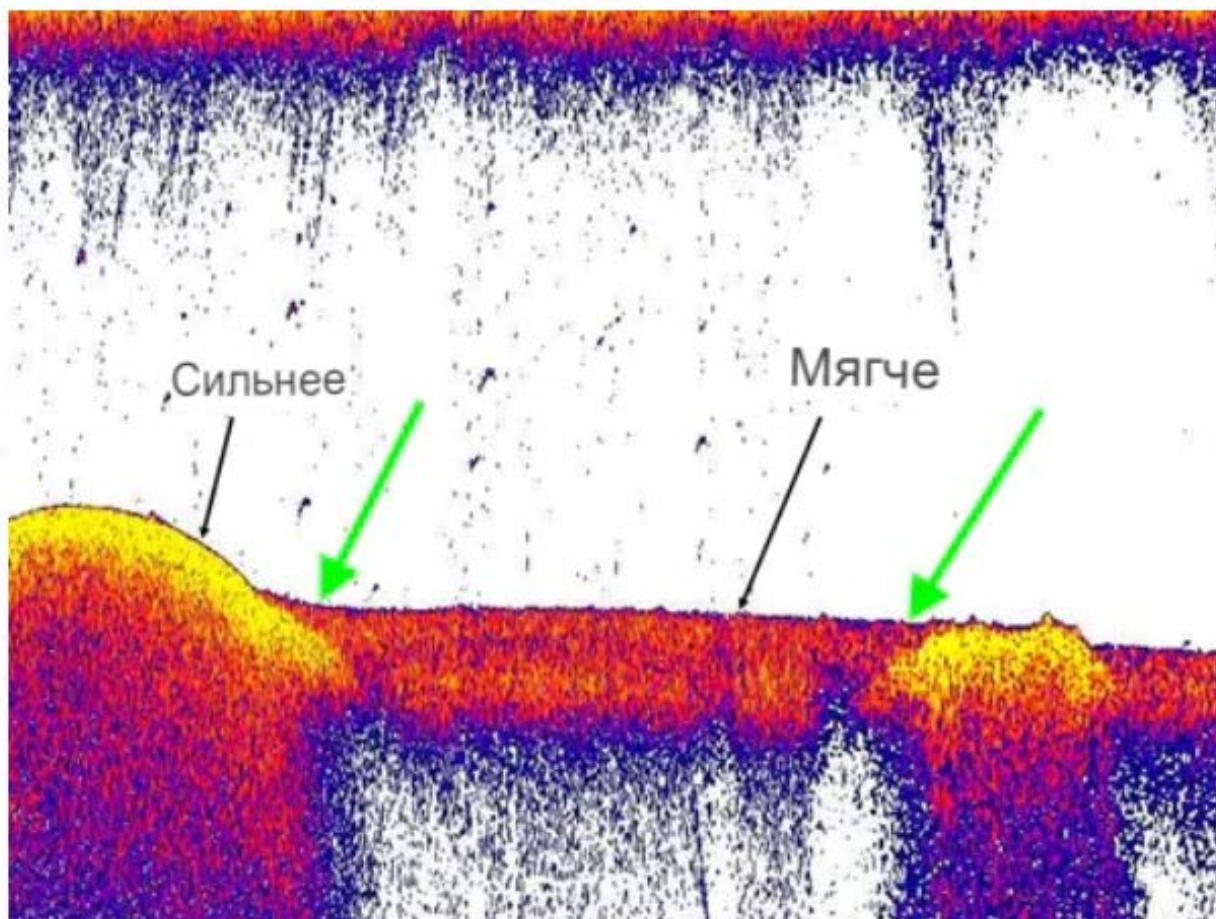


Рисунок 2 – Диаграмма дна

#### Как эхолот определяет глубину дна

Для измерения глубины может быть несколько методов, таких как использование измерительной ленты или измерительной палочки, но их достаточно только для измерения глубины на мелководье и они не применимы в море. Кроме того, судно обычно движется, и должен быть способ непрерывного мониторинга глубины. Это достигается за счет использования прибора, известного как эхолот, который описан в следующем пункте.

Зная скорость волны и время возврата, можно рассчитать расстояние, пройденное волной используя простую математическую формулу:

$$s = v * t, \quad (1)$$

где  $s$  – расстояние;

$v$  – скорость;

$t$  – время прохождения сигнала.

Поскольку волна должна перемещаться вверх и вниз, фактическая глубина составляет почти половину расстояния, поэтому, если  $d$  – глубина, то

$$d = s / 2 = v * t / 2 \quad (2)$$

## Основные части эхолота

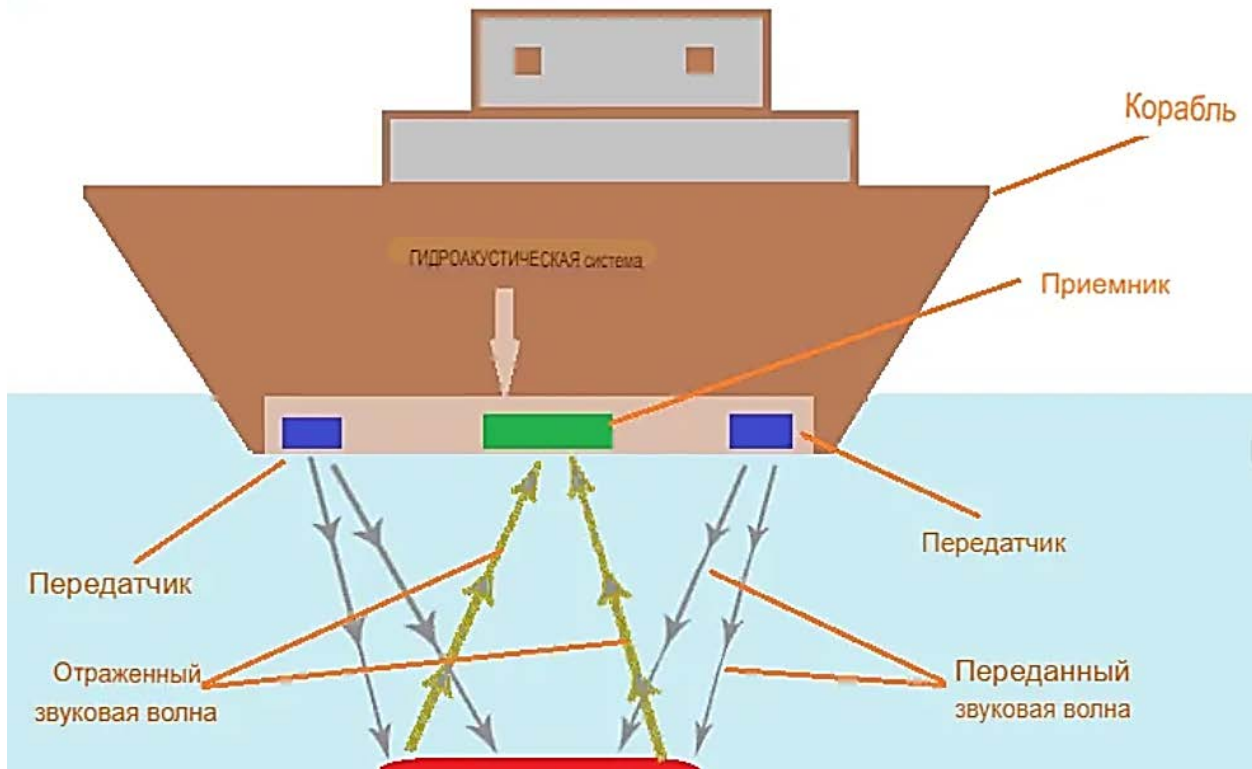


Рисунок 3 – Составляющие эхолота

В качестве передатчика выступает прибор, который называется вибратором. Существует два основных типа вибраторов:

- Пьезокерамические – использующие свойство некоторых материалов изменять свои геометрические размеры под воздействием электрического напряжения.
- Магнитоstrictionные – работающие на эффекте магнитоstrictionии.

Принцип работы пьезокерамических вибраторов

Пьезоэлектрики, а именно пьезокерамика, которая зачастую применяется в эхолотах, имеет то свойство, что под действием внешних механических деформаций на поверхности пьезокирамики возникают электрические заряды.

Пьезоэлектричество было открыто двумя братьями учеными, Жаком и Пьером Кюри, в 1880 году. Они узнали о пьезоэлектричестве после того, как впервые поняли, что давление, приложенное к кварцу или даже некоторым определенным кристаллам, создает электрический заряд в этом определенном материале. Позже они назвали это странное и научное явление пьезоэлектрическим эффектом.

Братья Кюри вскоре обнаружили обратный пьезоэлектрический эффект. Это было после того, как они убедились, что, когда электрическое поле воздействовало на кристаллические выводы, это приводило к деформации или нарушению кристаллического вывода – теперь это называется обратным пьезоэлектрическим эффектом.

Термин пьезоэлектричество происходит от греческого слова *piezo*, означающего сжимать или давить. Интересно, что слово электрический, в

перевод с греческого означает янтарный. Янтарь также оказался источником электрического заряда.

Многие электронные устройства сегодня используют пьезоэлектричество. Например, когда вы используете какое-либо программное обеспечение для распознавания голоса или даже Siri на своем смартфоне, микрофон, в который вы говорите, использует пьезоэлектричество. Этот пьезокристалл преобразует звуковую энергию в ваш голос и преобразует ее в электрические сигналы для интерпретации вашим компьютером или телефоном. Все это становится возможным благодаря пьезоэлектричеству.

Создание различных более совершенных технологий можно проследить до открытия пьезоэлектричества. Например, мощные чувствительные микрофоны sonar “sonobuoy” и керамический преобразователь звукового тона стали возможными благодаря пьезоэлектричеству. Сегодня мы наблюдаем развитие все большего количества пьезоэлектрических материалов и устройств.

Некоторые из этих устройств, такие как электронная зубная щетка, используют пьезоэлектричество для создания физических вибраций, что заставляет зубную щетку вибрировать и облегчает чистку зубов. То же самое с микрофоном в смартфоне, который преобразует звук голоса человека в электронные сигналы, которые могут быть считаны встроенным процессором для взаимодействия с определенными приложениями и функциями.

Пьезоэлектричество может использоваться различными способами, включая измерение изменения давления, силы и температуры. Выработка электричества путем преобразования движения в энергию, создание ультразвуковых волн, управление акустикой в динамиках и даже генерация электрических сигналов в кардиостимуляторах – это всего лишь несколько примеров того, как можно использовать пьезоэлектричество.

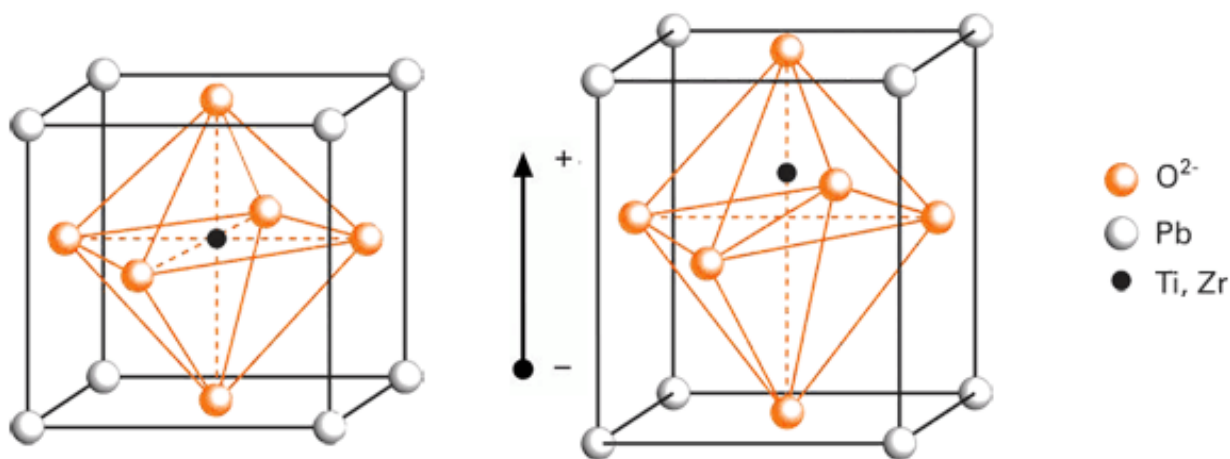


Рисунок 4 – Элементарная ячейка цирконата титоната свинца (ЦТС) при температуре выше точки Кюри (слева) и при температуре ниже точки Кюри (справа)

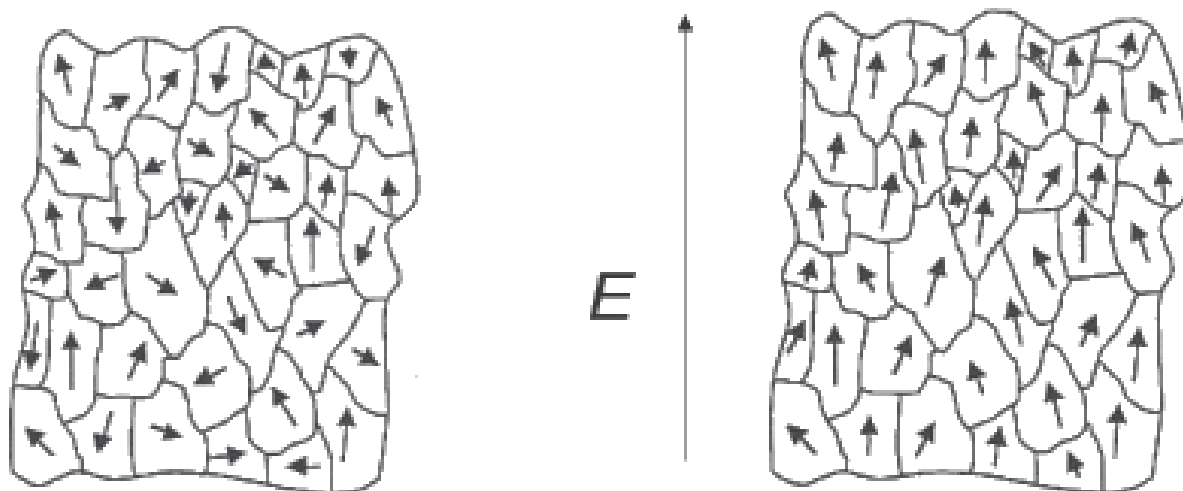


Рисунок 5 – Неупорядоченная поляризация (слева) и упорядоченная поляризация доменов при наложении сильного электрического поля (справа)

### Заключение

Эхолоты, которые работают на основании пьезоэлектрического эффекта, являются очень важными устройствами в современном мире. Они обеспечивают безопасность судоходства, выявляя опасные участки на пути. Служат для определения устойчивых мест для установки мостов, т.к. эхолот может определять плотность морского или речного дна.

### Литература

1. Эхолоты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/26471-echo-sounder-how-deep-is-the-sea/> – Дата доступа: 07.10.2022
2. Пьезоэлектрический эффект [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/piezoelectric-effect> – Дата доступа: 07.10.2022