



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГКНТ СССР

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1

(21) 4724767/28

(22) 26.07.89

(46) 15.08.91. Бюл. № 30

(71) Морской гидрофизический институт
АН СССР

(72) В.И. Бабий и М.В. Бабий

(53) 620.179.16 (088.8)

(56) Серавин Г.Н. Измерение скорости звука
в океане. Л.: Гидрометеиздат, 1979, с. 136

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ
ЗВУКА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕ-
СТВЛЕНИЯ

2

(57) Изобретение относится к измеритель-
ной технике и может быть использовано для
определения скорости звука. Цель изобре-
тения – повышение точности за счет исклю-
чения погрешности от дифракции звука в
точке приема. В исследуемую среду излу-
чают звуковые импульсы излучателем, регист-
рируют время прохождения ими заданного
расстояния по моментам изменения фазы
световой волны сфокусированного на оси
излучателя когерентного излучения, пер-
пендикулярного направлению излучения,
по времени прохождения определяют ско-
рость звука в среде. 2 с.п.ф-лы, 1 ил.

Изобретение относится к акустическим
измерениям, а именно к прецизионным из-
мерениям абсолютных значений скорости
распространения звука в жидкостях, в част-
ности в морской воде, а также в газах.

Цель изобретения – повышение точно-
сти измерения скорости звука за счет исклю-
чения погрешностей от дифракции звука
в точке его приема.

На чертеже представлено устройство,
реализующее способ измерения.

Устройство состоит из измерительной
камеры 1, представляющей собой, напри-
мер, сосуд из коррозионностойкого матери-
ала, подвижного штока 2 с укрепленным на
нем отражателем звука 3 уплотнителей (на-
правляющих) 4, в которых перемещается
шток 2 и механизма 5 продольного переме-
щения штока 2, например, винтовой пары,
приводимой в движение электромотором
через редуктор. Шток 2 связан с измерите-
лем 6 продольного перемещения штока 2, в
качестве измерителя 6 может быть исполь-

зован, например, серийно выпускаемый ла-
зерный измеритель перемещений типа
ИПЛ-30К. В камере 1 установлен электро-
акустический излучатель 7, например, вы-
полненный в виде диска из пьезокерамики
типа ЦТС или пьезокварца. В состав устрой-
ства также входит оптический интерфери-
метр 8 Майкельсона с фотоэлектрической
регистрацией. Оптический интерферометр
8 в свою очередь состоит из источника 9
когерентного непрерывного монохромати-
ческого света (например, гелий-неонового
лазера с расширителем пучка), светоделе-
теля 10 (например, светоделительного куба с
полупрозрачным слоем ВВ), короткофокус-
ного объектива 11 (например, фотообъекти-
ва с фокусным расстоянием ~50 мм),
вогнутого сферического зеркала 12 (напри-
мер, с наружным покрытием) и с таким же
фокусным расстоянием и углом раскрытия,
как и у объектива 11, и зеркала 13, установ-
ленного в опорном плече. Для смещения
зеркала 13 служит блок 14, выполненный в

(19) SU (11) 1670425 A1

РПО

виде пьезоэлектрического или магнито-стрикционного столбика. Интерферометр 8 также содержит фотоэлектрический приемник 15 (например, фотодиод или ФЭУ), фильтры низких 16 и высоких 17 частот (например, RC-фильтры), усилитель 18 низких частот (операционный усилитель), усилитель-формирователь 19 (например, операционный усилитель с компаратором), измеритель 20 временного интервала (между импульсами, поступающими с выхода усилителя-формирователя 19) в цифровом коде.

В состав устройства входят вычислительный блок 21 и регистратор 22 (например, цифропечать или графопостроитель).

Позицией 23 показан схематически акустический импульс, распространяющийся от преобразователя 7 до отражателя 3 и обратно. Позицией U_0 обозначено опорное напряжение смещения усилителя 18. Позицией L обозначено продольное перемещение штока 2. Позицией 24 обозначена исследуемая среда — газ или жидкость, например морская вода. Позицией F обозначен фокус (фокальное пятно) в рабочем плече оптического интерферометра, образованном объективом 11 и зеркалом 12. Генератор 25 подключен к излучателю 7. Позициями а и б обозначены крайние положения отражателя 3 звука.

Фотоэлектрический приемник 15 соединен с входами фильтров 16, 17, выход фильтра 16 соединен с входом усилителя 18, выход усилителя 18 соединен с блоком 14, а выход фильтра 17 соединен с входом усилителя 19, выход усилителя 19 соединен с входом блока 20, выход блока 20 подключен к вычислительному блоку 21.

Измерительное плечо оптического интерферометра 8 размещено в исследуемой среде 24 в камере 1 между преобразователем 7 и отражателем звука 3 и образовано лежащими на одной оптической оси один против другого короткофокусным объективом 11 и вогнутым сферическим зеркалом 12 так, что фокусы объектива 11 и зеркала совмещены, этот их общий фокус F размещен на оси акустического пучка, а оптическая ось этого плеча интерферометра 8 ориентирована нормально оси акустического пучка, при этом ширина акустического пучка не превышает расстояние между объективом и сферическим зеркалом для устранения отражений.

Позицией "Сброс" обозначена цепь, соединяющая первый вход усилителя 18 с "землей", т.е. "обнуляющая" его потенциал по сигналу с выхода вычислителя 21. Она выполнена в виде ключа управляющий вход

которого соединен с отдельным выходом вычислителя 21.

Способ осуществляют следующим образом.

В исследуемую среду излучают акустические импульсы и регистрируют время прохождения или заданного расстояния по моментам изменения фазы световой волны, сфокусированного на оси акустического излучения когерентного излучения, перпендикулярного направлению акустического излучения.

Устройство работает следующим образом.

Источник 9 излучает параллельный пучок когерентного монохроматического света длиной волны λ_0 в вакууме. Этот пучок света направляется на светоделитель 10, где делится на две части. Одна часть проходит через светоделитель 10 прямо к короткофокусному объективу 11, посредством которого пучком фокусируется в исследуемой среде в точке F на акустической оси преобразователя 7. Пройдя фокус F в рабочем измерительном плече оптического интерферометра 8, пучок света попадает на поверхность сферического зеркала 12, отразившись от которой он снова собирается в фокусе F, проходит в обратном направлении через объектив 11 и возвращается в светоделитель 10, где отразившись от полупрозрачного слоя ВВ, направляется в фотоприемник 15. Другая часть светового пучка от источника 9 направляется светоделителем 10 на зеркало 13, установленное в опорном плече интерферометра. Отраженный от зеркала 13 опорный пучок света направляется обратно через светоделитель 10 в фотоприемник 15. В плоскости фотоприемника 15 опорное оптическое излучение интерферирует с пучком света, поступившим из рабочего плеча. Фотоприемник 15 преобразует интенсивность света в электрический сигнал, который поступает на вход фильтра 16 низкой частоты с полосой пропускания, например 0–1 кГц. С выхода фильтра 16 электрический сигнал поступает на один из входов операционного усилителя 18, на другой вход которого подается опорное напряжение U_0 . Выходное напряжение усилителя 18 посредством устройства 14 управляет положением зеркала 13 в опорном плече интерферометра, образуя оптико-электрическую цепь отрицательной обратной связи. Напряжение U_0 устанавливают такой величины, чтобы при замкнутом контакте "Сброс" перед началом цикла измерений средняя интенсивность I света, регистрируемая фотоприемником 15, соот-

ветствовала середине линейного участка интерференционной картины, т.е. $0,5 (I_{\max} + I_{\min})$, что соответствует случаю, когда интерферирующие опорный и рабочий световые пучки находятся в квадратуре (сдвиг по фазе $\pi/2$ или 90°). Таким образом, эта оптико-электрическая цепь отрицательной обратной связи автоматически компенсирует медленные изменения разности оптических длин рабочего и опорного плеч интерферометра, поддерживая ее постоянной на уровне $\pi/2$.

Пусть в начале цикла измерений скорости звука в исследуемой жидкости 24, например воде, механизм 5 перемещает шток 2 в направляющих 4 и устанавливает отражатель звука 3 в исходное положение а, например верхнее. После этого возбуждается излучатель 7, от излучающей поверхности которого в исследуемой среде 24 распространяется в сторону отражателя 3 короткий акустический импульс 23, например, биимпульс длительность $t_{\text{и}} \approx 1$ мкс. Распространяясь в среде 24 от излучателя 7 в сторону отражателя звука 3 в прямом направлении, звуковой импульс 23 пересекает объем, занимаемый сфокусированным световым пучком в рабочем плече интерферометра (обозначен штриховыми линиями).

При прохождении звуковым импульсом фокальной области F изменяется показатель преломления Δn света в исследуемой среде за счет воздействия на нее звукового давления. Это изменение описывается соотношением

$$\Delta n = \left(\frac{\partial n}{\partial P} \right) \cdot \Delta P,$$

где частная производная $\left(\frac{\partial n}{\partial P} \right) \approx 1,4 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$ для воды;

ΔP — амплитуда звукового давления в акустическом импульсе

Приращение фазы $\Delta \varphi$ световой волны в рабочей плече оптического интерферометра определяется выражением

$$\Delta \varphi = \frac{2 l_{\text{эфф}}}{\lambda_0} \Delta n = \frac{2 l_{\text{эфф}}}{\lambda_0} \left(\frac{\partial n}{\partial P} \right) \Delta P,$$

где $l_{\text{эфф}}$ — эффективная длина взаимодействия звука и света в рабочем плече интерферометра;

порядок величины $l_{\text{эфф}} \approx 10^{-3} \text{ м}$

Пусть интенсивность звукового импульса $G = 10^4 \text{ Вт/м}^2$, тогда в воде, где плотность $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ и скорость звука $C = 1,5 \cdot 10^3 \text{ м/с}$ амплитуда звукового давления будет

$$P = \sqrt{2 \rho C \cdot G} = \sqrt{2 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cdot 10^4} \approx$$

$$\approx 1,7 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Если используем гелий-неоновый лазер с длиной световой волны $\lambda_0 = 0,63 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, то для $l_{\text{эфф}} = 10 \text{ м}$ получим

$$\Delta \varphi = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,4 \cdot 10^{-10} \cdot 1,7 \cdot 10^5}{0,63 \cdot 10^{-6}} \approx 7,5 \cdot 10^{-2}$$

долей периода (или долей интерференционной полосы).

Переводя $\Delta \varphi$ в радианы и угловые градусы, получим $\Delta \varphi = 7,5 \cdot 10^{-2} \cdot 360^\circ \text{ угл.} \approx 26^\circ \text{ угл.}$ или $\Delta \varphi = 7,5 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \pi \text{ рад.} \approx 0,5 \text{ рад.}$, что может быть легко зарегистрировано.

Если поперечный размер фокального пятна света $d \ll \Delta$, где Δ — пространственная протяженность звукового импульса в среде, то приращение фазы $\Delta \varphi$ оптического интерферометра повторяет форму и длительность звукового импульса. При длительности звукового импульса $t_{\text{и}} \approx 1 \text{ мкс}$, $\Delta = c \cdot t_{\text{и}} \approx 1,5 \text{ мм}$. Размер фокального пятна света $d \approx 0,61 \lambda \frac{E}{R}$, где $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$ — длина волны света в воде; n — показатель преломления света в воде; E — фокусное расстояние объектива (в воде), R — радиус отверстия (зрачка) объектива. При $n = 1,33$; $\lambda_0 = 0,63 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$, $E = 50 \text{ мм}$; $R = 10 \text{ мм}$ получим

$$d \approx 0,61 \cdot \frac{0,63 \cdot 10^{-3}}{1,33} \cdot \frac{50}{10} \approx 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

Таким образом, условие $d \ll \Delta$ хорошо выполняется.

Следовательно, при прохождении звуковым импульсом фокальной области F рабочего измерительного плеча оптического интерферометра 8 на выходе фотоэлектрического приемника 15 возникает электрический импульс, по форме и длительности повторяющий акустический импульс. Этот короткий электрический импульс поступает на вход фильтра 17 высоких частот с полосой пропускания, например 0,1–10 мГц, после которого он усиливается в усилителе-формирователе 19, на выходе которого в момент перехода сигнала через "ноль" (в случае биимпульса) компаратор вырабатывает "стартовый" импульс, который поступает в измеритель 20. Прошедший фокальную область звуковой импульс 23 достигает поверхности отражателя 3 звука, от которой он отражается, снова проходит фокальную область в обратном направлении, в результате чего на выходе усилителя-формирователя 19 вырабатывается "стоповый" импульс, который поступает в измеритель 20. Он преобразует временной интервал τ между "стартовым" и "стоповым" импульсами в

цифровой код, который поступает в вычислительный блок 21, где он записывается в запоминающее устройство.

После этого вырабатывается команда, по которой механизм 5 перемещает шток 2 с отражателем 3 в нижнее положение 6 (штриховые линии) на величину L . Перемещение L измеряется измерителем 6 и в цифровом виде поступает в вычислительный блок 21, где записывается в запоминающее устройство.

Затем вырабатывается сигнал запуска генератора 25 и в исследуемой среде от излучателя 7 в сторону отражателя 3, находящегося в нижнем положении, начинает распространяться звуковой импульс. В результате пересечения им фокальной области F в прямом и обратном направлении на выходе усилителя-формирователя 19 вырабатываются "стартовый" и "стоповый" импульсы с временным интервалом t_2 между ними. Преобразованный измерителем 20 временной интервал t_2 в цифровом коде поступает в блок 21 и записывается в его запоминающем устройстве. После этого рассчитывается скорость звука по формуле $C = 2L / (t_1 - t_2)$, а результаты расчета отображают на регистраторе 22.

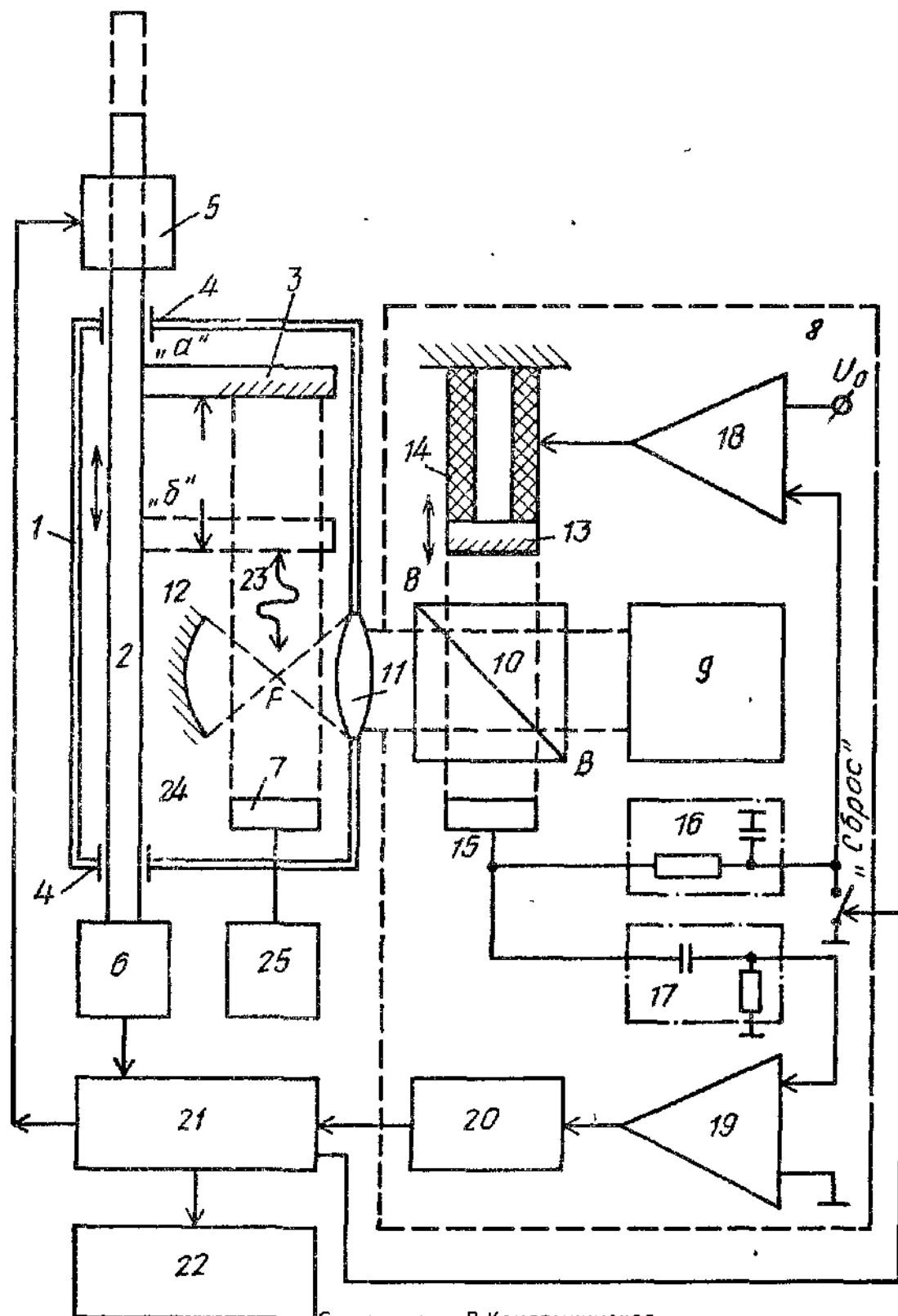
Преимущество предложенных способа и устройства по сравнению с прототипом заключается в повышении точности измерений. Это обусловлено тем, что обеспечивается измерение скорости распространения

звука в режиме бегущих волн без возмущения акустического поля в точке приема

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

1 Способ измерения скорости звука, заключающийся в том, что излучают акустические импульсы в исследуемую среду и регистрируют время прохождения ими заданного расстояния, по которому определяют скорость звука, отличающийся тем, что, с целью повышения точности, регистрацию времени прохождения акустических импульсов осуществляют по моментам изменения фазы световой волны сфокусированного когерентного излучения, перпендикулярного направлению акустического излучения

2 Устройство для измерения скорости звука, содержащее измерительную камеру, установленные в ней электроакустический излучатель и отражатель звука и последовательно соединенные измеритель временного интервала, вычислительный блок и регистратор, отличающееся тем, что оно снабжено оптическим интерферометром Майкельсона и подключенным к выходу его фотоприемника фильтром верхних частот, выход которого связан с входом измерителя временных интервалов, а измерительное плечо интерферометра Майкельсона выполнено из короткофокусного объектива и вогнутого сферического зеркала, имеющих общий фокус и установленных на одной оптической оси, перпендикулярной к оси электроакустического излучателя



Редактор А Долинч

Составитель Л Кондрыкинская
Техред М Моргентал

Корректор С Черни

Заказ 2739

Тираж 306

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР
113035 Москва, Ж-35, Раушская наб, 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина, 101

