



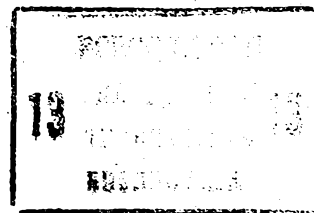
СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1140001** **A**

4(51) G 01 N 9/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ И АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- (21) 3578956/24-25
(22) 15.04.83
(46) 15.02.85. Бюл. № 6
(72) А.Т. Гопко, С.О. Колесов,
Ю.С. Белавин и В.Г. Кузнецов
(71) Морской гидрофизический инсти-
тут АН УССР
(53) 548.137(088.8)
(56) 1. Кивилис С.С. Плотномеры.
М., "Энергия", 1980, с. 243.
2. Авторское свидетельство СССР
№ 1038828, кл. G 01 N 9/00,
11.01.82 (прототип).

(54)(57) ПЛОТНОМЕР, содержащий чув-
ствительный элемент в виде струны
из высокоомного материала, возбужда-
ющую катушку, расположенную вблизи
чувствительного элемента, соединен-
ные последовательно предварительный
усилитель, амплитудный селектор и
усилитель мощности, выход которого
подключен к возбуждающей катушке,

преобразователь сопротивление - час-
тота, вход которого соединен с чув-
ствительным элементом, а выход - с
 входами регистратора и смесителя,
второй вход смесителя соединен с
вторым выходом предварительного
усилителя, выход смесителя подключен
к второму входу регистратора, о т-
л и ч а ю щ и й с я тем, что, с це-
лью уменьшения погрешности измерений
и упрощения конструкции устройства,
на чувствительном элементе в месте
расположения возбуждающей катушки
закреплено тело из ферромагнитного
материала, верхний конец чувствитель-
ного элемента прикреплен к упругой
пластине из диэлектрического матери-
ала, механически соединенной с пьезо-
элементом, причем дополнительно
введен фильтр низких частот, вход
которого подключен к выходу пьезо-
элемента, а выход - к входу предва-
рительного усилителя.

(19) **SU** (11) **1140001** **A**

Изобретение относится к океано-графическим измерениям и может быть использовано для определения профиля плотности морской воды вблизи границы раздела море-атмосфера в условиях морского волнения. Кроме того, оно применимо для измерения профиля плотности в устройствах технологического контроля плотности различных жидкостей.

Известен плотномер, содержащий вибрирующий чувствительный элемент, возбуждающие и приемные катушки, оси которых лежат в плоскости, перпендикулярной чувствительному элементу, расположенному вблизи катушек, предварительный усилитель и регистратор. Чувствительный элемент выполнен в виде цилиндрического резонатора. Цилиндр совершает радиальные колебания на резонансной частоте, которые возбуждаются и поддерживаются цепью положительной обратной связи, состоящей из приемника и возбуждающей катушки, соединенной со входом усилителя [1].

Достоинством данного плотномера является высокая точность и надежность, непосредственное преобразование измеряемой плотности в частный выходной сигнал, возможность применения при высоких давлениях для широкой номенклатуры контролируемых сред.

Однако известный плотномер не может быть применен для измерения на границе раздела двух сред.

Наиболее близким к предлагаемому по технической сущности является плотномер, содержащий чувствительный элемент в виде струны из ферромагнитного материала и закрепленной параллельно ей струны из высокоомного материала, возбуждающую катушку, расположенную вблизи чувствительного элемента, соединенные последовательно предварительный усилитель, амплитудный селектор и усилитель мощности, выход которого подключен к возбуждающей катушке, преобразователь сопротивления - частота, вход которого соединен с чувствительным элементом, а выход - со входами регистратора и смесителя, второй вход смесителя соединен со вторым входом предварительного усилителя, выход смесителя подключен ко второму входу регистратора. Вблизи вибри-

рующей струны установлены три индуктивные катушки, подключенные через сумматор к предварительному усилителю [2].

Достоинством данного плотномера является относительно высокая точность, чувствительность, надежность, возможность измерения профиля плотности воды вблизи границы раздела вода - воздух в условиях морского волнения.

К недостаткам данного устройства относят наличие погрешностей, связанных, во-первых, с тем, что высота волны резистивным и вибрирующим чувствительными элементами определяется в разных точках взволнованной поверхности, поскольку эти элементы находятся на некотором расстоянии друг от друга, во-вторых, с наличием паразитной вибрации корпуса, вызванной ударами о него волны, в третьих, с наличием электромагнитных наводок в блоке приемных катушек от возбуждающей катушки. Кроме того, наличие двух струн и трех приемных индуктивных катушек усложняет устройство.

Цель изобретения - снижение погрешности измерения и упрощение устройства.

Поставленная цель достигается тем, что в плотномере, содержащем чувствительный элемент в виде струны из высокоомного материала, возбуждающую катушку, расположенную вблизи чувствительного элемента, соединенные последовательно предварительный усилитель, амплитудный селектор и усилитель мощности, выход которого подключен к возбуждающей катушке, преобразователь сопротивления - частота, вход которого соединен с чувствительным элементом, а выход - со входами регистратора и смесителя, второй вход смесителя соединен со вторым выходом предварительного усилителя, вход смесителя подключен ко второму входу регистратора, на чувствительном элементе в месте расположения возбуждающей катушки закреплено тело из ферромагнитного материала, верхний конец чувствительного элемента прикреплен к упругой пластине из диэлектрического материала, механически соединенной с пьезоэлементом, причем в устройство дополнительно введен фильтр низких

частот, вход которого подключен к выходу пьезоэлемента, а выход — ко входу предварительного усилителя.

Выполнение резистивного чувствительного элемента с ферромагнитным телом, закрепленным в месте расположения возбуждающей катушки, позволяет использовать его в качестве вибрирующего чувствительного элемента. Прикрепление к нему пьезоэлемента (через упругую крепежную диэлектрическую пластину) и включение пьезоэлемента на вход предварительного усилителя (через фильтр низких частот) обеспечивает возможность измерения плотности исследуемой среды по схеме, аналогичной прототипу, но с одним и тем же чувствительным элементом. Использование одного чувствительного элемента вместо двух обуславливает упрощение устройства и исключение погрешности измерения, вызываемой тем, что струны в прототипе погружены в воду на разную высоту.

Введение в устройство пьезоэлемента, механически соединено с чувствительным элементом, позволяет осуществлять съем сигналов с резистивной струны, при этом упростить устройство и исключить погрешности измерения, вызываемые в прототипе взаимным влиянием возбуждающей и приемных катушек.

Наличие упругой диэлектрической пластины между чувствительным элементом и пьезоэлементом создает возможность укрепить верхний конец чувствительного элемента и передать механические колебания чувствительного элемента на пьезоэлемент с минимальными искажениями.

Введение в плотномер фильтра низких частот между выходом пьезоэлемента и входом предварительного усилителя позволяет выделить основную гармонику колебаний чувствительного элемента, исключив искажения, вносимые упругой диэлектрической пластиной, и тем самым снизить погрешность измерения.

На фиг. 1 изображен один из возможных вариантов выполнения предложенного плотномера; на фиг. 2 — структурная схема плотномера; на фиг. 3 — чувствительные элементы прототипа, погруженные во взволнованную жидкость.

Плотномер содержит (фиг. 1) корпус 1 в виде отрезка трубы, герметично закрытого накидными гайками 2. Корпус заполнен демпфирующей жидкостью. На верхнем и нижнем концах корпуса и между ними закреплены втулки 3. К средней втулке жестко прикреплена возбуждающая катушка 4, а к верхней и нижней втулкам прикреплены кронштейны 5. На нижнем кронштейне имеется диэлектрическая деталь 6 с отверстием, в котором закреплен нижний конец чувствительного элемента 7 с помощью болта 8. На верхнем кронштейне 5 в стакане 9 жестко закреплена упругая пластина 10, в отверстии которой закреплен верхний конец чувствительного элемента 7, на наружной стороне пластины 10 приклеен пьезоэлемент 11. Упругая пластина 10 выполнена из диэлектрика.

Чувствительный элемент 7 представляет собой струну из высокоомного материала, расположенную вблизи возбуждающей катушки 4 так, что она перпендикулярна оси возбуждающей катушки 4. В месте пересечения чувствительного элемента (струны 7) осью возбуждающей катушки 4 на чувствительном элементе 7 закреплено ферромагнитное тело 12, например, в виде шарика.

Для уменьшения вредных вибраций и ослабления натяжения чувствительного элемента 7 между втулками 3 и корпусом 1 выполнены резиновые кольца 13, которые уплотнены прижимными крышками 14 посредством винтов.

Плотномер содержит (фиг. 2) фильтр низких частот 15, предварительный усилитель 16, смеситель 17, амплитудный селектор 18, усилитель мощности 19, преобразователь сопротивление-частота 20, регистратор 21. Ко входу фильтра низких частот подсоединен выход пьезоэлемента 11. Выход фильтра 15 подключен к соединенным последовательно предварительному усилителю 16, амплитудному селектору 18, усилителю мощности 19. Выход усилителя мощности 19 подсоединен к катушке возбуждения 4. Ко входу преобразователя сопротивление — частота 20 подключен верхний конец чувствительного элемента 7, а выходы преобразователя 20 подключены ко входам смесителя 17 и регистратора 21. Ко второму входу смесителя 17 подсоединен

второй выход предварительного усилителя 16, а выход смесителя 17 соединен ко второму входу регистратора 21.

Механическая часть чувствительного элемента 7 с пьезоэлементом 11 (через упругую пластину 10) и связь чувствительного элемента 7 с возбуждающей катушкой 4 через электромагнитное поле возбуждающей катушки показана на фиг. 2 прерывистыми линиями.

Плотномер устанавливают на поверхности исследуемой жидкости так, чтобы чувствительный элемент 7 занимал вертикальное положение.

Плотномер работает следующим образом.

При подаче питания на измерительную схему плотномера срабатывает возбуждающая катушка 4, которая, воздействуя на ферромагнитное тело (шарик 11), притягивает чувствительный элемент 7. Питание катушки 4 отключается, но чувствительный элемент (струна 7) совершает колебания, которые передаются через упругую диэлектрическую пластину 10 пьезоэлементу 11. Пьезоэлемент 11 преобразовывает механические колебания чувствительного элемента 7 и пластины 10 в электрические сигналы, которые передаются на фильтр низких частот 15. Фильтр 15 отсекает высокочастотную составляющую сигнала и передает его на предварительный усилитель 16. После усиления сигнал поступает на первый вход смесителя 17 и на вход амплитудного селектора 18.

Собственная частота колебаний чувствительного элемента 7 в воздухе определяется по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\ell} \sqrt{T_0 / \rho_0} \quad (1)$$

где ℓ — длина чувствительного элемента (струны);

T_0 — сила натяжения чувствительного элемента (струны);

ρ_0 — линейная плотность материала чувствительного элемента (струны).

Собственную частоту малых колебаний чувствительного элемента, (струны) полностью погруженного в жидкость, можно рассчитать по формуле

$$f_1 = \frac{1}{2\ell} \sqrt{\left(\frac{\pi}{\ell}\right)^2 \frac{T_0}{\rho_0} - c \rho^2 \ell^2 g^2} \quad (2)$$

где ρ — плотность жидкости;

S — площадь продольного разреза чувствительного элемента (струны) (миделево сечение);

C — положительный коэффициент, зависящий от свойств жидкости;

ℓ — длина чувствительного элемента (струны).

В формуле (2) первое слагаемое под корнем определяет собственную частоту колебаний чувствительного элемента (струны) в воздухе, а второе слагаемое дает поправку, учитывающую влияние сопротивления жидкости на собственную частоту колебаний чувствительного элемента (струны). Причем, как видно из формулы (2), эта поправка всегда отрицательна, т.е. при полном погружении чувствительного элемента (струны) в жидкость ее собственная частота уменьшается ($f_0 - f_1 = \Delta f > 0$).

Если чувствительный элемент (струну) поместить на границе раздела жидкость — воздух так, что часть его находится в воздухе, и периодически возбуждать собственные колебания, то частота колебаний определяется каждый момент времени плотностью жидкости и высотой волны [2]. Поскольку чувствительный элемент (вибрирующая струна) изготовлена из высокоомного провода, то волна, шунтируя часть его, изменяет омическое сопротивление чувствительного элемента по закону изменения высоты волны, и по изменению этого сопротивления можно определять высоту волны.

Если из высоты волны, полученной по изменению собственной частоты колебаний, которая также зависит и от плотности жидкости, вычесть высоту волны, полученную по изменению омического сопротивления, которая от плотности не зависит, то получим значение плотности жидкости.

Таким образом, возникновение колебаний чувствительного элемента (струны 7) вследствие присутствия воды являются затухающими. Как только амплитуда колебаний чувствительного элемента (струны), преобразованная пьезоэлементом 11 в электрический сигнал, станет равной порогу чувствительности амплитудного селектора 18, через фильтр 15 и пред-

варительный усилитель 16 срабатывает амплитудный селектор 18. Сигнал с амплитудного селектора 18 поступает на усилитель мощности 19 и далее на возбуждающую катушку 4. Процесс повторяется, т.е. после действия каждого очередного импульса амплитуда колебаний чувствительного элемента (струны) возрастает, а затем постепенно затухает, срабатывает амплитудный селектор 18 и т.д.

Сигнал, пропорциональный высоте волны и определяемый омическим сопротивлением части резистивной струны, запунтированной жидкостью, поступает на вход преобразователя сопротивления - частота 20 и далее на смеситель 17. Одновременно из смесителя 17 поступает сигнал с выхода предварительного усилителя 16. Результирующий сигнал, длительность импульса которого пропорциональна плотности морской воды, с выхода смесителя 17 поступает на регистратор (частотомер) 21, где одновременно регистрируется частота с выхода преобразователя сопротивления - частота 20, несущая информацию о высоте морской волны.

Длительность импульса результирующего сигнала, поступающего со смесителя 17 на регистратор 21, пропорциональна только плотности морской волны, поскольку в смесителе 17 происходит вычитание сигналов двух частот: сигнала с выхода предварительного усилителя 16 (частота которого зависит как от высоты волны, так и от плотности морской воды) и сигнала с выхода преобразователя 20 (частота которого зависит от высоты волны).

По сравнению с прототипом точность измерений в предлагаемом плотномере повышается вследствие замены двух струн одной струной.

Кроме того, точность увеличивается за счет устранения погрешностей,

связанных с наличием вибрации корпуса, электромагнитных наводок в блоке приемных катушек, а также исключения высших гармоник в спектре колебаний струны и упругой пластины.

Резистивный чувствительный элемент обеспечивает измерение высоты морской волны с погрешностью ± 1 мм. Однако в прототипе [2] при измерении высоты волны возникает методическая погрешность, связанная с тем, что вибрационный и резистивный чувствительные элементы находятся на некотором расстоянии d друг от друга (фиг. 3). Из фиг. 3 видно, что

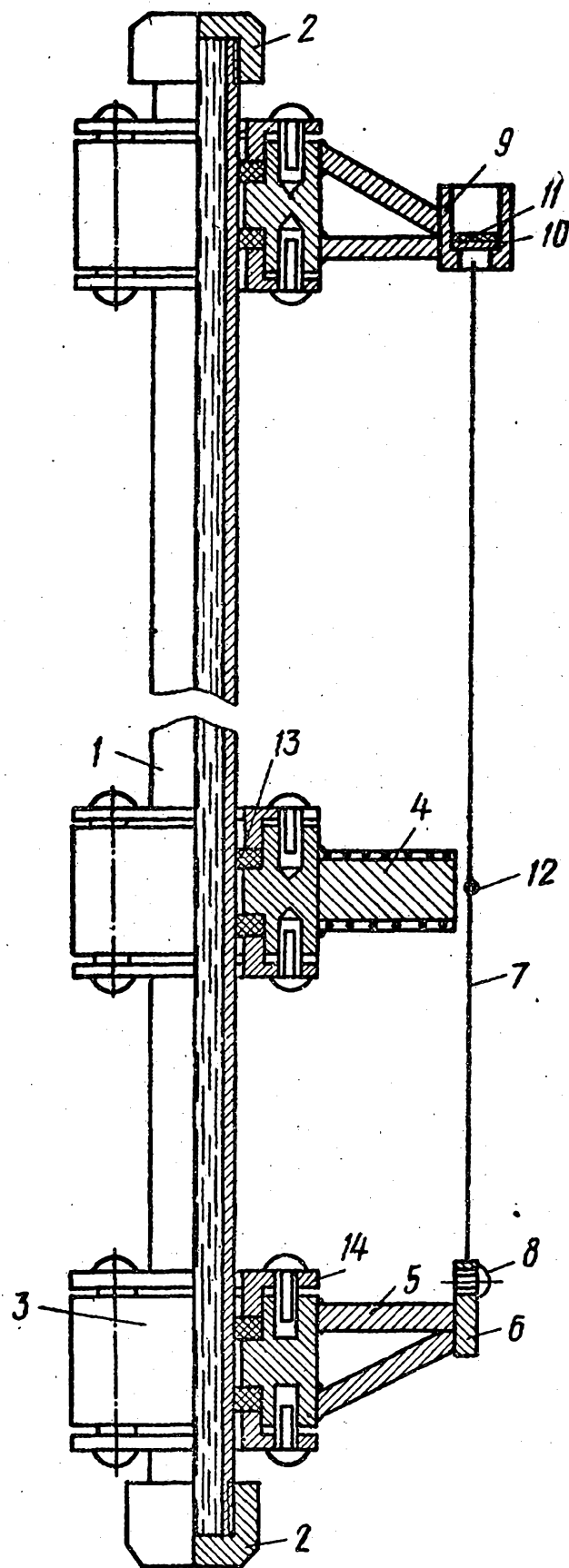
$$\Delta X \approx d \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

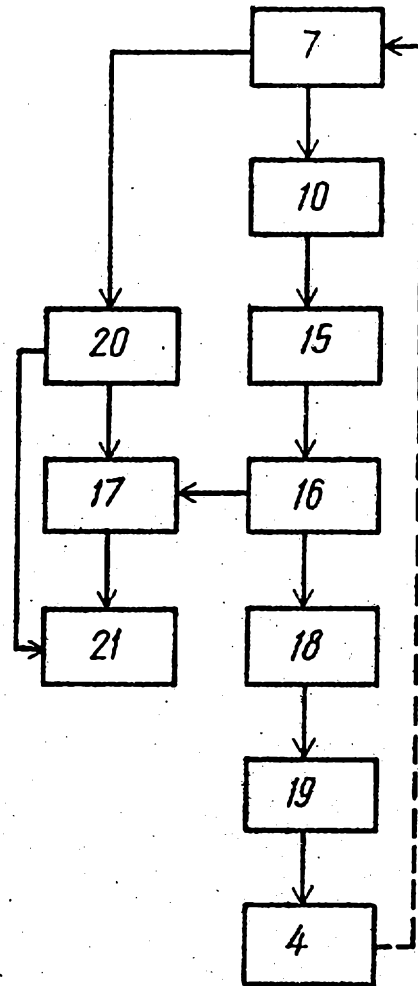
где ΔX - разность глубин погружения двух струн в морскую воду;
 d - расстояние между струнами (резистивным и вибрирующим чувствительными элементами);

$\operatorname{tg} \alpha$ - крутизна морской волны.

При реальном морском волнении крутизна волны может доходить до величины $\operatorname{tg} \alpha \approx 1$ и потому $\Delta X \approx d$. Для уменьшения этой погрешности желательно выбирать d как можно меньше. Однако, как показывает опыт работы с плотномером [2], минимальное значение d равно 3 мм, так как амплитуда вибрирующей струны равна 2 мм и зазор между вибрирующей и резистивной струнами должен быть не менее 1 мм. Таким образом, $\Delta X \approx 3$ мм, в результате чего возрастает погрешность собственно резистивного чувствительного элемента. В предлагаемом приборе эта методическая погрешность отсутствует.

В предлагаемом плотномере погрешность определения профиля плотности жидкости на границе раздела не превышает 0,25%, следовательно измерение профиля плотности жидкости на границе раздела предлагаемым устройством повышает точность в два раза по сравнению с базовым устройством.

 $\Phi_{\text{из.1}}$



Фиг. 2

