

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ,
МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ

УДК 531.7

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛН МАЛОЙ АМПЛИТУДЫ
НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

© 2011 г. Б. В. Бошнятов, Ю. К. Левин, В. В. Попов, А. В. Семянный

Институт прикладной механики РАН
Россия, 119991, Москва, Ленинский просп., 32А

Поступила в редакцию 12.10.2010 г.

Описано устройство измерения уровня воды с использованием резистивного датчика. Точность измерения составляет ± 0.01 мм. Приведены характеристики устройства и пример его использования для измерения волн на поверхности воды.

При моделировании волн типа цунами в лабораторных условиях возникает необходимость измерения длинных волн малой (< 1 мм) амплитуды на водной поверхности [1]. Известные методы измерения не обеспечивают требуемой точности либо слишком сложны и дороги. Так, например, датчик емкостного типа АWP-24 [2] обеспечивает точность измерения ± 0.2 мм, а описанный в работе [1] и.к.-волнограф – ± 0.04 мм при измерении волны амплитудой 1 мм.

В данной статье описан метод, позволяющий в несколько раз увеличить точность измерения поверхностных волн малой амплитуды.

Принципиальная схема измерителя представлена на рис. 1. Суть метода заключается в следующем. На делитель, образованный сопротивлениями R_1 и R_d , с генератора G подается синусоидальный сигнал $U_g = U_0 \sin(2\pi f_0 t)$, $f_0 = 100$ кГц. С делителя напряжения R_1 , R_d ($R_d = R_0 + r(t)$, где R_0 – сопротивление датчика до прихода волны, т.е. при $r(0) = 0$) амплитудно-модулированный сигнал подается на диод D_7 , детектируется и поступает на фильтр нижних частот, образованный резистором R_2 и конденсатором C .

В результате на регистрирующий прибор (цифровой осциллограф O) поступает измеряемый сигнал $r(t)$, включающий постоянную составляющую делителя, которая существенно снижает точность измерения. Обычно эта проблема решается путем использования дифференциальных схем на основе операционных усилителей.

В представленной схеме прямая компенсация постоянной составляющей делителя осуществляется путем использования источника постоянной э.д.с. (гальванического элемента), как показано на рис. 1. При этом балансировка схемы на ноль осуществляется изменением амплитуды U_0 сигнала генератора G так, чтобы сигнал, поступающий

на регистрирующий осциллограф O , был равен нулю до прихода волны.

Оценим значения сопротивлений в схеме на рис. 1, при которых эффективность работы датчика максимальна. Сигнал генератора U_g после делителя, построенного на цепочке сопротивлений R_1 и $R_0 + r$, равен $U_{\text{вых}}$. Коэффициент передачи K указанного делителя определяется как

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_g} = \frac{R_0 + r(t)}{R_1 + R_0 + r(t)}$$

и имеет чувствительность P по параметру r , равную

$$P = \frac{dK}{dr} = \frac{R_1}{(R_1 + R_0 + r)^2}$$

Максимальное значение чувствительности, определяемое из условия $dP/dR_1 = 0$, достигается при выполнении соотношения $R_1 = R_0 + r(t)$. Отсюда следует, что сопротивление R_1 целесообразно

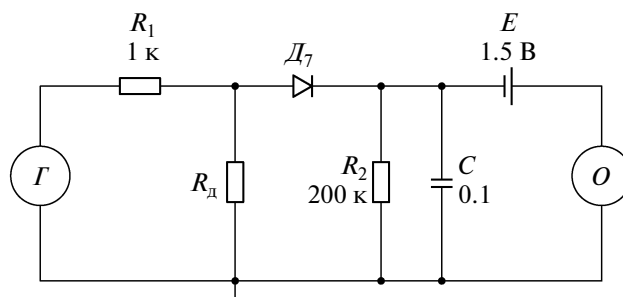


Рис. 1. Принципиальная схема измерителя уровня воды с использованием резистивного датчика. G – генератор сигналов; E – источник э.д.с. (гальванический элемент); O – цифровой осциллограф или а.ц.п.; R_d – сопротивление датчика.

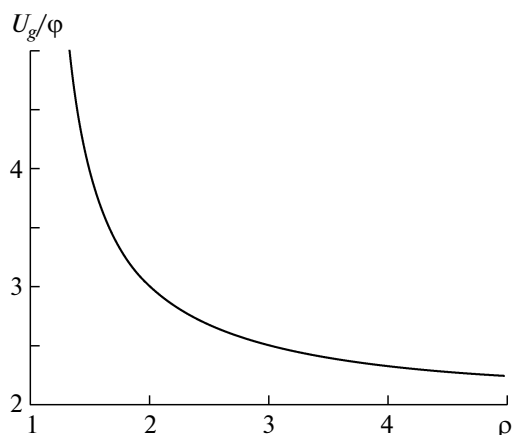


Рис. 2. Зависимость величины U_g/φ от параметра датчика $\rho = R_0/r_m$, определяющая линейную область работы измерителя уровня воды.

но выбирать близким к номинальной величине сопротивления датчика R_0 :

$$R_1 \approx R_0, \quad (1)$$

что в условиях нашего эксперимента составляет 3–5 кОм.

Выберем амплитуду сигнала задающего генератора U_g достаточной для обеспечения работы диода на линейном участке вольт-амперной характеристики (в.а.х.), что выражается следующим условием:

$$U_{\text{вых}} = U_g \frac{R_0 - r_m}{R_1 + R_0 - r_m} > \varphi, \quad (2)$$

где φ – ширина начального участка в.а.х. диода; r_m – максимальное значение измеряемого сигнала. С учетом ранее полученного условия (1) выражение (2) удобно представить в виде:

$$\frac{U_g}{\varphi} > 1 + \frac{\rho}{\rho - 1}, \quad (3)$$

где $\rho = R_0/r_m$ – безразмерный параметр датчика. Таким образом, исходя из зависимости (3), представленной графиком на рис. 2, уровень нелинейных искажений измеряемого сигнала можно снизить путем соответствующего выбора амплитуды сигнала генератора и параметра датчика ρ . Область рабочих значений параметров расположена выше кривой на рис. 2.

Данный метод измерения использовался при проведении экспериментов по изучению длинных волн типа цунами в гидрлотке ИПРИМ РАН. В экспериментах регистрировался уровень водной поверхности $h(t)$ при прохождении волны. Датчики уровня воды представляли собой два параллельных стальных электрода диаметром 1 мм, расположенные на расстоянии 10 мм друг от друга

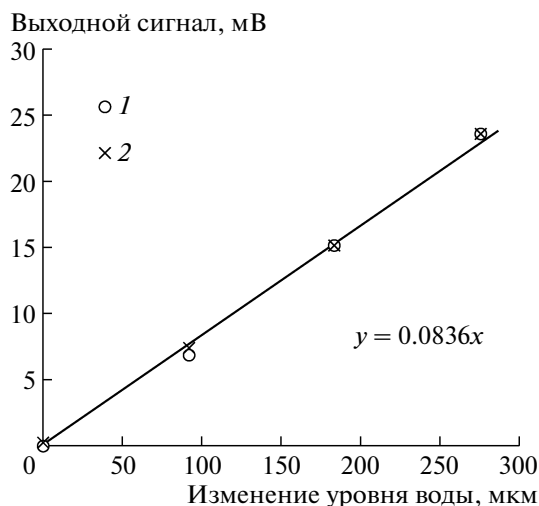


Рис. 3. Градуировочный график измерителя уровня воды для повышения уровня воды (1) и его понижения (2) при тарировке измерителя.

и погруженные в воду на глубину H_0 , однозначно связанную с сопротивлением R_0 , задаваемым соотношением (3).

Во время движения волны межэлектродное сопротивление датчика $R_d = R_0 + r(t)$ изменяется в соответствии с глубиной погружения электродов $H_0 + h(t)$. Это изменение фиксируется измерительной схемой на рис. 1. На рис. 3 и 4 приведены соответственно типичный градуировочный график одного из датчиков и осциллограмма регистрации волн типа цунами двумя датчиками, расположенными в одном сечении.

Эксперименты показали, что данный метод измерения в сочетании с вышеописанными датчиками уровня позволяет надежно фиксировать

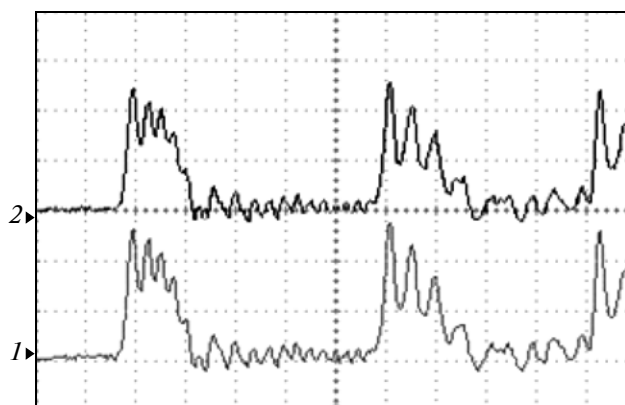


Рис. 4. Осциллограмма регистрации волн типа цунами (падающей и отраженной) двумя датчиками (1, 2) уровня, расположенными в одном и том же сечении гидрлотка. Временная развертка 2.5 с/деление.

изменения уровня воды с чувствительностью не хуже чем ± 0.01 мм.

Представленный метод измерения волн малой амплитуды на водной поверхности сочетает высокую точность (± 0.01 мм) измерения уровня воды с простотой аппаратной реализации, а также обеспечивает максимальное использование динамического диапазона измерительного канала

за счет компенсации постоянной составляющей напряжения на входе анализирующего прибора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Левин Б.В., Носов М.А.* Физика цунами и родственных явлений в океане. М.: Янус-К, 2005. С. 78.
2. [http:// www.akamina.com](http://www.akamina.com)