

Г. Е. КОНОНКОВА, В. В. КУЗНЕЦОВ

РЕГИСТРАЦИЯ НАКЛОНОВ ВЗВОЛНОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ

Предложен метод непосредственной регистрации колебаний наклонов взволнованной поверхности воды. Электрические сигналы с двух датчиков колебаний уровня, разнесенных на расстояние 40—50 см, подаются в схему вычитания. Разность сигналов регистрируется шлейфовым осциллографом. Методика опробована на Рыбинском водохранилище.

Знание пространственно-временных характеристик волнения является необходимым как для более полного понимания самого процесса волнения, так и связанных с ним процессов, например, рассеяния звуковых и радиоволн на взволнованной поверхности моря, ее микровзаимодействия с воздушным потоком и т. д.

Наиболее полной, но в настоящее время еще мало исследованной пространственно-временной характеристикой волнения является двумерный спектр. Натурным исследованиям двумерного спектра ветровых волн посвящено мало работ. Это объясняется сложностью необходимых измерений и огромным объемом вычислительных работ. Существенно сократить объем вычислительных работ позволяет метод Лонге-Хитгинса — Свешникова [1, 2], примененный в некоторых работах [3, 4].

Для вычисления двумерного спектра по этому методу необходимо знать автокорреляционные функции наклонов взволнованной поверхности в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В связи с этим возникла необходимость создания метода регистрации наклонов поверхности воды при волнении.

Впервые измерения наклонов поверхности моря произвел В. В. Шулейкин [5] с помощью разработанного им оптического метода, основанного на наблюдении лунных и солнечных бликов. Он нашел, что при небольших скоростях ветра преобладающие наклоны поверхности в прибрежной зоне составляют около 15° , а для мелких волн не более 30° .

Кокс и Мунк [6] проводили аэрофотосъемку солнечных бликов на поверхности моря. Измеряя плотность изображения на расфокусированных негативах, они нашли функции распределения наклонов и их средние квадратичные значения. Аналогичные исследования при небольших разгонах выполнил Скули [7].

Достоинство оптического метода позволяет определить наклон поверхности в точке. Однако для расчета двумерных спектров волнения

нужны методы, дающие синхронные регистрации наклонов поверхности в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Такая регистрация осуществлена с помощью волномерного буй Лонге-Хиггинсом и др. [3]. В. Ф. Цыплухин [4] рассчитал колебания наклонов поверхности по регистрациям колебаний уровня в трех близких точках поверхности моря электроконтактными волнографами. Обработка информации при такой методике измерения остается достаточно трудоемкой, поскольку из за-

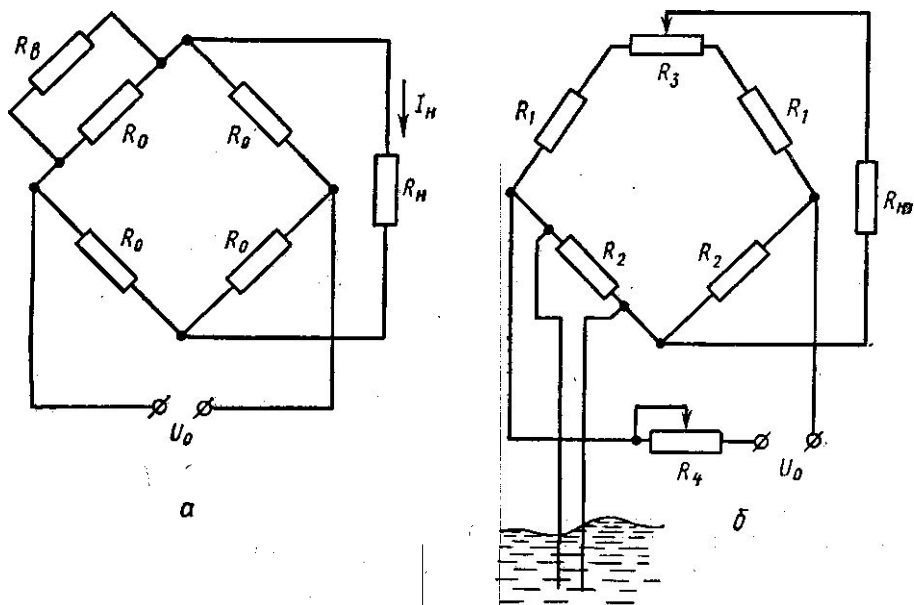


Рис. 1. Мостовая схема измерений колебаний поверхности воды

писей ординат взволнованной поверхности необходимо вычислять мгновенные уклоны в двух взаимно перпендикулярных направлениях через фиксированные интервалы времени в количестве, достаточном для статистической обработки.

В настоящей работе приводится описание установки для непосредственной записи уклонов и ординат взволнованной поверхности жидкости. Прибор рассчитан на работу в пресной воде, но его можно переоборудовать для работы в соленой воде.

При помощи этой аппаратуры проводились записи параметров волн во время двух экспедиций на Рыбинском водохранилище. Аппаратура показала себя надежной в работе и достаточно точной в определении параметров ветрового волнения. Прибор позволяет одновременно записывать ординаты взволнованной поверхности и уклоны волн в двух взаимно перпендикулярных направлениях, или ординаты в трех точках.

Основным элементом при регистрации уровня поверхности воды является струнный волнограф, струны которого натянуты параллельно друг другу; как известно, сопротивление такого волнографа в электролите равно

$$R_b = k_1 \frac{1}{l}, \quad (1)$$

где $k_1 = \text{const}$ — величина, зависящая от свойств электролита, диаметра струн и расстояния между струнами, l — глубина погружения струн воль-

нографа в электролит. Собственное сопротивление струн R_0 считается малым по сравнению с R_B .

В приборе использовалась мостовая схема измерений (рис. 1). Из рис. 1, а и соотношения (1) следует, что ток I_H , протекающий через сопротивление нагрузки, будет пропорционален глубине погружения струнного волнографа

$$I_H \approx k_2 \frac{R_0^2}{R_B} = k_3 l \quad (2)$$

при $R_0/R_B \ll 1$ на любом рабочем участке волнографа. Соотношение (2) верно для переменного тока, когда вкладом реактивных сопротивлений можно пренебречь.

На рис. 1, б приведена рабочая схема моста. Сопротивления R_1 , R_2 и R_3 подбираются исходя из условия (2).

На рис. 2 представлена блок-схема канала записи уклонов или ординат поверхности воды.

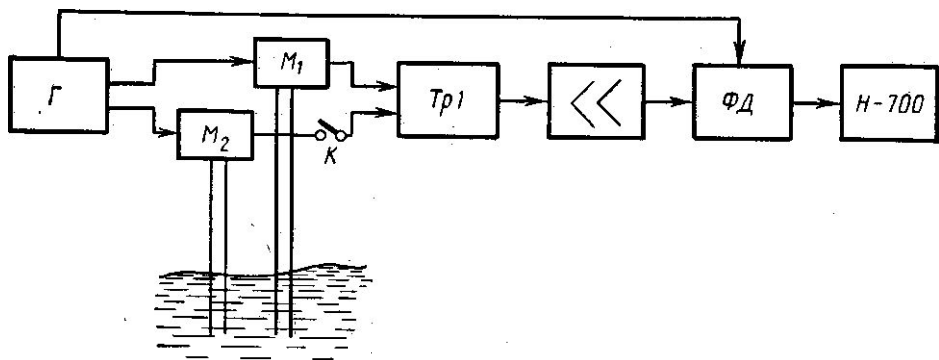
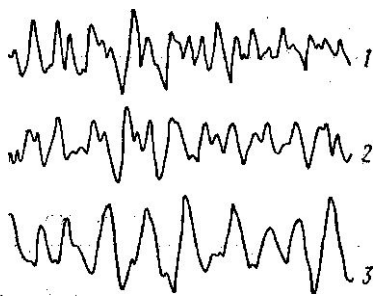


Рис. 2. Блок-схема канала записи уклонов взволнованной поверхности воды

В приборе использовался генератор Г прямоугольных импульсов с частотой следования $f \approx 500$ гц и скважностью $Q=2$. По конструкции генератор мало чем отличается от генератора, описанного в работе [8]. Усилитель с коэффициентом усиления $k_p \approx 30$ db собран на транзисторах. В нем предусмотрена плавная регулировка коэффициента усиления в небольших пределах. Конструкция и методика расчета усилителя ничем не отличается от известных схем усилителей низкой частоты [9]. Фазовый детектор собран по хорошо известной схеме балансового фазового детектора с трансформаторным входом. Для записи параметров волнения использовался шлейфовый осциллограф Н-700.

На первичные обмотки трансформатора Тр. 1 (рис. 2) при включенном ключе К подаются переменные напряжения ($f=500$ гц), снимаемые с двух мостов M_1 и M_2 в противофазе, так что в усилитель поступает сигнал, соответствующий разности подаваемых напряжений. Прибор настраивается так, что при одинаковом погружении двух волнографов независимо от глубины погружения величина тока, поступающего на шлейфовый осциллограф, равна нулю. При разном затлублении струнных волнографов на шлейфовый осциллограф с фазового детектора подается ток, величина которого пропорциональна разности погружений волнографов. Фазовый детектор позволяет получить правильную информацию о величине и знаке уклона.

Устанавливая два волнографа на некотором расстоянии a_0 и зная чувствительность прибора, мы тем самым можем измерить уклоны в направлении осей координат x (2) и y (1) и ординат (3) взволнованной поверхности



$$a_0 = \frac{\lambda_{\min}}{4}, \quad (3)$$

Рис. 3. Образец записи колебаний наклонов поверхности воды в направлении осей координат x (2) и y (1) и ординат (3) взволнованной поверхности

где λ_{\min} — минимальная длина волны, для которой измерение уклонов имеет смысл. Обычно λ_{\min} определяется из условия, что вклад в суммарную энергию волн волнами с $\lambda < \lambda_{\min}$ мал по сравнению с суммарной энергией волн.

При разомкнутом ключе K происходит запись ординат взволнованной поверхности. При записи ординат взволнованной поверхности прибор зарождающиеся волны с периодами $T=0,5-0,3$ сек, так и развитое ветровое волнение со значительно большими периодами колебаний. Проведено сравнение статической и дина-

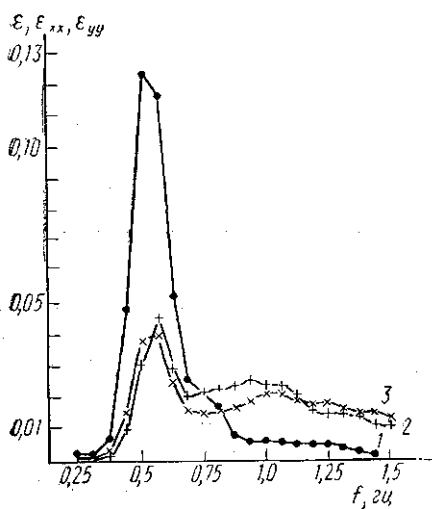


Рис. 4. Нормированные спектры уклонов и ординат взволнованной поверхности: 1— $\epsilon(f)$, 2 — $\epsilon_{xx}(f)$, 3— $\epsilon_{yy}(f)$

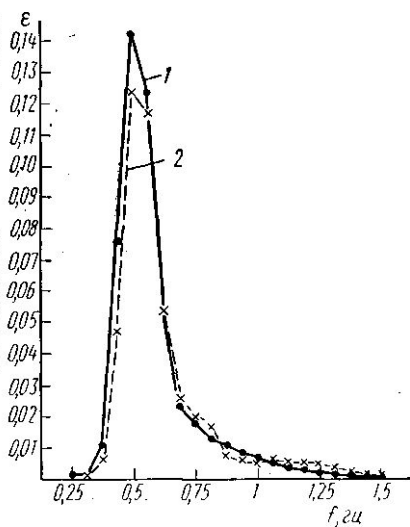


Рис. 5. Нормированный частотный спектр, рассчитанный по одновременной записи уклонов (1) и ординат (2)

мической тарировок прибора показало хорошее совпадение. Динамическая тарировка проводилась при помощи киносъемки в гидроканале на частоте $f=2,2$ гц. Описываемый прибор имел четыре канала, два из которых могли быть использованы для записи уклонов.

Для регистрации параметров волнения в прибрежной зоне Рыбинского водохранилища устанавливались вежи, на каждой из которых крепились три струнных волнографа, установленных по углам равнобедренного прямоугольного треугольника. Три канала прибора использовались для записи уклонов в двух взаимно перпендикулярных направле-

ниях и ординат взволнованной поверхности, а четвертый мог быть использован для непрерывной записи с эталонного волнографа. Возможность влияния всех четырех мостов друг на друга в приборе исключена при любом режиме работы. Перед записью и после проводилась статическая градуировка, которая показала хорошую стабильность работы прибора в экспериментальных условиях.

На рис. 3 приведен образец записи уклонов в двух взаимно перпендикулярных направлениях и ординат взволнованной поверхности. Из рисунка видно, что частоты колебаний уклонов и ординат для данного отрезка записи не совпадают. На рис. 4 представлены безразмерные спектры, полученные по одновременной записи ординат и уклонов взволнованной поверхности. Спектры рассчитывались через корреляционные функции по известным формулам.

На рис. 5 представлены результаты обработки одной из записей, полученной в экспедиции на Рыбинском водохранилище.

Как известно [4], частотный спектр волнения связан с частотным спектром уклонов соотношением

$$E(\omega) = \frac{1}{k^2} [E_{xx}(\omega) + E_{yy}(\omega)], \quad (4)$$

где $E(\omega)$ — спектр волнения, $E_{xx}(\omega)$ — спектр уклонов в направлении оси x , E_{yy} — спектр уклонов в направлении оси y , k — волновое число при данной глубине водоема.

Кривая 1 рис. 5 соответствует частотному спектру $E(\omega)$, полученному в результате обработки записи ординат взволнованной поверхности. Кривая 2 — спектру $E(\omega)$, рассчитанному через спектры уклонов по формуле (4). Оба спектра близки друг к другу, т. е. экспериментальные данные подтверждают справедливость теории Лонге-Хиггинса — Свешникова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свешников А. А. «Изв. АН СССР», механика и машиностроение, № 3, 1959.
2. Лонге-Хиггинс М. С. Сб. «Ветровые волны». М., ИЛ, 1962.
3. Longuet-Higgins M. S., Cartwright D. E., Smith N. D. Observations of the directional spectrum of sea waves using the motion of a floating buoy, Ocean wave spectra, Proc. of a conference, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall Inc., 1963.
4. Цыплухин В. Ф. Труды Союзморпроект, вып. 8 (14). М., «Транспорт», 1965.
5. Шулейкин В. В. Оптический метод изучения морских волн. «Труды Плавучего морского научн. ин-та», 3, 1923.
6. Cox C., Munk W. J. Marine Res., 13, 2, 1954.
7. Schooley A. H. J. Opt. Soc. Am., 44, 37—40, 1954.
8. Дрейер А. А. Труды ГОИН, вып. 93, 1968.
9. Цыкина А. В. Проектирование транзисторных усилителей низкой частоты. М., «Связь», 1968.

Поступила в редакцию
22.4 1970 г.

Кафедра
физики моря и вод суши