

УДК 532.521

А. А. БЕСПАЛОВ, Н. Е. КУЗНЕЦОВ, В. В. НАУМОВА, В. Д. РУСИН

УСТАНОВКА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ

Излагается принцип действия и подробно описаны отдельные узлы установки, предназначенной для регистрации пространственно-временных характеристик поверхностного волнения. Установка состоит из девятиканального волнографа, позволяющего производить одновременную запись поверхностного волнения в девяти точках прибрежной зоны, и коррелятора, с помощью которого параллельно записи волнения регистрируется пространственная корреляция между двумя любыми датчиками.

В настоящее время известны многочисленные методы экспериментального исследования ветрового волнения в прибрежной зоне, которые используют электроконтактные вехи и струнные датчики [1—3]. Эти приборы служат для измерения высоты и периода волновых колебаний в фиксированной точке. По волнограммам, полученным в результате таких измерений, могут быть построены частотные энергетические спектры.

Однако для характеристики ветрового волнения, как пространственного процесса, представляют интерес такие волномерные установки, которые позволяют производить одновременную непрерывную регистрацию волновых колебаний в нескольких точках взволнованной поверхности.

Примером могут служить волномерные установки, фиксирующие колебания уровня в трех точках, расположенных в вершинах равностороннего или прямоугольного треугольников [4—7]. В результате такого подхода можно получить сведения о структуре двумерного энергетического спектра волнения в прибрежной зоне.

Описанная в данной работе волномерная установка дает возможность регистрации высоты и периода волновых колебаний в восьми фиксированных точках прибрежной зоны при одновременной регистрации пространственной корреляции в любых двух точках. С целью получения такого рода данных семь датчиков располагались вдоль прямой на различных расстояниях друг от друга. Восьмой датчик вынесен так, что вместе с двумя другими, расположенными вдоль прямой, образует равносторонний треугольник со стороной $a=20$ см. Так как общая длина базы равна 2,8 м, можно получить 14 значений пространственной

корреляции. Расстояние между датчиками волнографов можно задавать в любом порядке.

На основании оценки В. Ф. Цыплухина [8] можно утверждать, что данная волномерная установка может фиксировать уклоны волн, средняя длина которых $\lambda = 1,2-1,6$ м (при заданной точности в определении высоты волны, равной 10%). Используя эту оценку, можно выбрать соответствующие участки волнограмм для расчета уклонов взволнованной поверхности.

Блок-схема измерительной установки приведена на рис. 1.

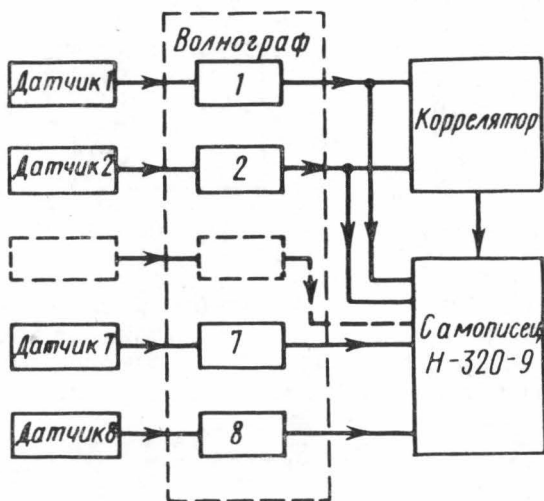


Рис. 1

Проволочные датчики преобразуют изменение уровня поверхности воды в электрические сигналы, которые по кабелю подаются на вход девятиканального волнографа. Сигналы с выходов волнографа непрерывно регистрируются самописцем типа Н-320-9. Кроме того, к каждой паре выходов волнографа может быть подключен коррелятор, выходной сигнал которого также регистрируется этим самописцем. Для визуального контроля работы коррелятора и всех девяти каналов волнографа имеются стрелочные индикаторы, которые также используются при калибровочных работах.

Рассмотрим подробнее принцип работы и особенности схемных решений волнографа и коррелятора.

В литературе [1—7] широко представлены волнографы, применяемые в основном для регистрации морского волнения. Поскольку проводимость пресной воды значительно меньше проводимости морской, необходимо увеличение чувствительности аппаратуры.

На рис. 2 представлена блок-схема одного канала волнографа. В качестве входного устройства использована мостовая измерительная схема. Датчик включен в плечо электрического моста. Для работы на линейном участке моста были использованы низкоомные (по сравнению с сопротивлением воды) датчики, сопротивление которых (R_g) было выбрано с учетом $R_g \gg \Delta R$, где ΔR — максимальный расбаланс моста.

Для обеспечения линейности изменения сопротивления датчика в зависимости от глубины погружения шаг намотки проволоки делался переменным.

Сбалансированный мост соответствует спокойному состоянию водной поверхности. При изменении уровня воды на выходе измерительного моста появляется напряжение, пропорциональное высоте волны. Питание моста осуществляется генератором прямоугольных импульсов с частотой повторения $f=1,5$ кГц. Выходное напряжение моста уси-

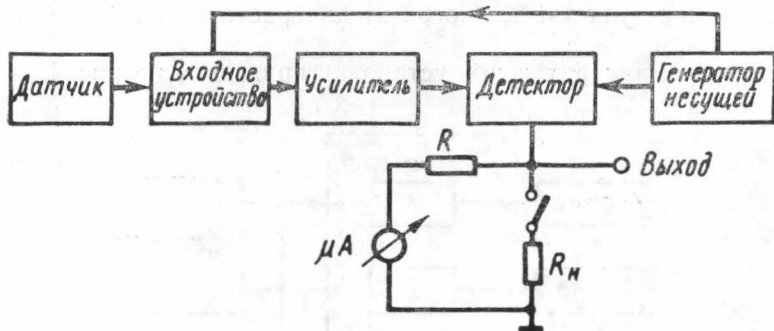


Рис. 2

вается транзисторным усилителем, чтобы обеспечить нормальную работу регистрирующего прибора и коррелятора. В качестве выходного усилителя был применен диодный двухполупериодный синхронный детектор (кольцевой синхронный детектор).

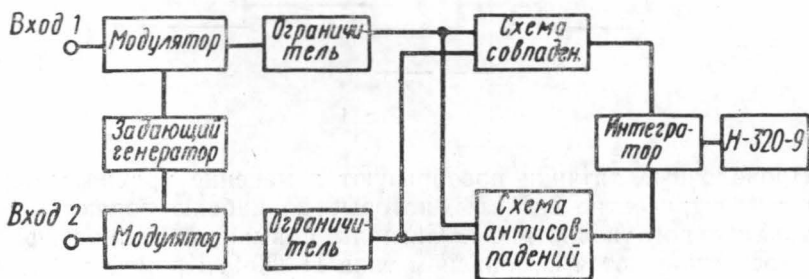


Рис. 3

Волнограф имеет три масштаба измерения волны: от 0 до 10, от 0 до 25 и от 0 до 50 см. При переключении масштаба записи изменяется напряжение питания моста, которое равно 80 мВ для первого диапазона, 160 мВ для второго и 320 мВ для третьего. Точность измерения высоты волны составляет $\pm 5\%$.

Для записи пространственной корреляции ветрового поверхностного волнения был изготовлен специальный коррелятор, работающий в диапазоне 0,01—30 Гц на принципе знаковосаждения [9].

Выходное напряжение волнографа, поступающее на вход коррелятора, имеет вид медленно меняющегося напряжения с периодом $T_b \sim 0,2-2$ сек. В этом случае принцип прямого преобразования входного сигнала с помощью амплитудных ограничителей в «телеграфный сигнал» вызывает большие затруднения. Поэтому в излагаемой схеме было применено синфазное преобразование входных медленно меняющихся напряжений в последовательность фаз манипулированных прямоугольных импульсов с частотой повторения $f=2000$ Гц. Блок-схема коррелятора приведена на рис. 3.

Сигналы с выхода волнографа через разделительные емкости ($\tau_{\text{разд}} = 10 \text{ сек}$) поступали на вход диодных модуляторов. Отделение сигнала от постоянной составляющей исключает влияние неточности установки нулевых отметок датчика волнографа относительно уровня водохранилища. Таким образом, осуществляется выбор средней плоскости взволнованной поверхности водохранилища.

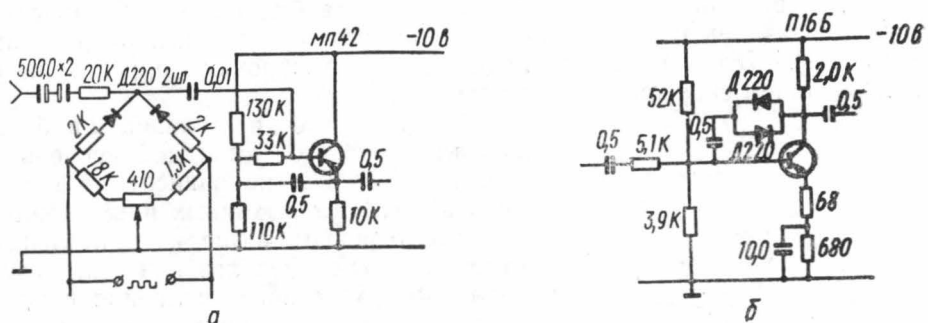


Рис. 4

В связи с тем что выходной сигнал волнографа имеет сравнительно большую величину порядка $0,5-1 \text{ в}$, модуляторы входного сигнала были собраны по схеме (рис. 4, а) на кремниевых диодах типа Д-220. Питание модуляторов осуществляется от общего генератора несущей.

Преобразованные сигналы поступают на входы трехкаскадных усилителей ограничителей для усиления крутизны момента перехода входного сигнала через нуль. Принципиальная схема одного каскада ограничителей приведена на рис. 4, б. Двухстороннее ограничение по амплитуде осуществляется с помощью диодов, включенных в цепь обратной связи.

Прямоугольные импульсы, усиленные до величины, превышающей порог срабатывания схемы совпадений, поступают на диодные схемы «совпадений» и «антисовпадений» знаков.

С выходов схемы совпадений и антисовпадений импульсы поступают на суммирующее устройство (постоянная времени усреднения $T = 12 \text{ сек}$). В зависимости от соотношения знаков совпадений выходное напряжение коррелятора на нагрузке $3,3 \text{ ком}$ изменяется от -2 в до $+2 \text{ в}$.

Определим основные параметры схем. Ширина диаграммы Н-320-9 равна 50 мм , толщина линии записи $\approx 0,5 \text{ мм}$. Тогда чувствительность самописца при записи коэффициента корреляции ρ равна $S^0 \approx 4^\circ$ или $S' \approx 0,04 \rho$.

Уровень выходного сигнала волнографа с помощью переключателя масштаба равен $\approx 1 \text{ в}$, и отклонение от этого уровня в процессе измерений обычно не превышает $\pm 0,5 \text{ в}$. Учитывая, что порог срабатывания схемы совпадений $E_0 = 1 \text{ в}$, необходимый коэффициент усиления ограничителей для обеспечения регистрации момента перехода через нуль $k \approx 10^4$. Принято считать [10], что дрейф нуля простейших модуляторов на кремниевых диодах составляет $\pm 50 \text{ мкв/час}$ и не превышает $\pm 0,2 \text{ мкв/сутки}$. Эта погрешность на порядок меньше чувствительности прибора.

Частота генератора несущей выбирается из условия $f_2 \gg 2\pi/S^0 T_B$ ($f_0 \gg 180 \text{ гц}$), где T_B — наименьший период поверхностного волнения. В нашем случае частота повторения задающего генератора была равна $f = 2000 \text{ гц}$. Взаимная корреляционная функция для двух

гармонических колебаний одинаковой частоты имеет вид

$$\Psi_{12}(\tau) = \frac{A_1 A_2}{2} \cos[\omega\tau - (\varphi_1 - \varphi_2)].$$

Если гармонические сигналы преобразованы в периодическую последовательность прямоугольных импульсов постоянной амплитуды такой же частоты, то выходное напряжение коррелятора будет линейно зависеть от сдвига фаз между входными гармоническими сигналами в пределах $0-180^\circ$ [11]. Это позволяет производить калибровку коррелятора с использованием синусоидальных сигналов.

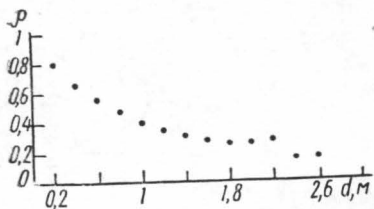


Рис. 5

Лабораторные испытания прибора показали, что его выходной уровень в пределах $0,1-3$ в не зависит от изменения амплитуды выходных напряжений.

Рассмотренная выше измерительная установка была использована для изучения поверхностного волнения в прибрежной зоне водохранилища. Рама с датчиками волнографа устанавливалась на дно водохранилища и легко могла быть переставлена в любую точку изу-

чаемой зоны. Вертикальные направляющие, расположенные на торцах рамы, давали возможность производить параллельный перенос датчиков. Это необходимо для того, чтобы при изменении глубины постановки рамы можно было выставлять нулевую отметку датчиков по средней плоскости взволнованной поверхности. Кроме параллельного переноса всей рамы вдоль трассы производилась также ее переориентация относительно генерального направления распространения волнения, которое определялось визуально.

Приведенная на рис. 5 кривая пространственной корреляции построена для следующих условий: скорость ветра $v_b \approx 8$ м/сек, направление ветра СВ-В, угол между генеральным направлением распространения волнения и базой с волнографами $\theta = 90^\circ$.

В заключение авторы выражают благодарность С. Н. Ржевкину и Л. Н. Захарову за полезные советы и постоянное внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жемчужин Н. П. Новая конструкция электроконтактной вехи волнографа. Тр. Союзморниипроект, № 4. М., 1964.
2. Ибрагимов А. М., Агаларов Э. С., Мамедов М. Д. Электроконтактный волнограф. Бюллетень изобретений, № 23, 1962.
3. Морозов В. М., Дрейер А. А. «Океанология», 8, 1, 1968.
4. Кокулин П. П., Семенов Е. Ф. Методика и результаты наблюдений за выполнением на Цимлянском водохранилище за 1953—1955 гг. Сб. работ Цимлянской гидрометеобсерватории. Л., 1958.
5. Шайтан В. С. Исследование ветровых волн на водохранилище. Труды гидравлической лаборатории ин-та ВОДГЕО, № 9. М., 1962.
6. Цыплухин В. Ф., Сергеев В. А. Опыт инструментального исследования поверхностных волн в прибрежной зоне моря. Тезисы докладов Первой конференции молодых научных работников. М., 1965.
7. Longuet-Higgins M. S. Proc. Roy. Soc., 265, 1962.
8. Цыплухин В. Ф. «Изв. АН СССР», физика атмосферы и океана, 2, № 1, 1966.
9. Гершман С. Г., Фейнберг Е. Л. «Акустический журнал», № 4, 1955.
10. Полонников Д. Е. Электронные усилители автоматических компенсаторов. М., 1960.
11. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. М., 1966.

Поступила в редакцию
8.6 1972 г.

Кафедра
физики моря и вод суши