

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ
ВОЛНОГРАФ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ
СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОЛЯ
МОРСКИХ ВЕТРОВЫХ ВОЛН**

В.Е. Смолов, А.С. Запевалов
Морской гидрофизический институт
НАУ Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: ocean@alpha.mhi.iuf.net

В настоящее время для измерения уклонов коротких поверхностных волн используются приборы двух типов: лазерные уклономеры [1,2] и дифференциальные волнографы (или разностные уклономеры) [3]. К достоинствам лазерных уклономеров относятся высокое быстродействие, высокая чувствительность и возможность оценивать уклоны малых (диаметром 2-3 мм) площадок. В тоже время в силу своих конструктивных особенностей лазерные уклономеры не могут работать при высоте доминантных волн более 1-1.5 м, что создает известные трудности при проведении измерений в морских условиях. Они также не могут быть использованы для исследования мелкомасштабной пространственно-временной структуры, при которых необходимо проводить измерения в нескольких достаточно близко расположенных точках волнового поля [4]. В целом же, характеризуя лазерные уклономеры, можно отметить, что по своим эксплуатационным характеристикам они ближе к лабораторным приборам, чем к морским.

В то же время существует необходимость в надежных измерителях уклонов, для изучения мелкомасштабной структуры поверхности морской поверхности. Уклономеры должны быть пригодны как для проведения сеансов измерений со свободно дрейфующих буе, так и для долговременных измерений со ста-

ционарных оснований. Подобный уклономер был разработан и изготовлен в отделе прикладной гидрофизики МГИ НАНУ.

Прототип дифференциального волнографа. В практике морских исследований широкое применение получили струнные резистивные волнографы, позволяющие измерять волны в широком диапазоне масштабов: от основных энергонесущих волн с длинами порядка 100 м, до волн раби с длиной несколько сантиметров [5]. Чувствительным элементом волнографов этого типа является отрезок вертикально натянутой неизолированной проволоки, пересекающий границу раздела воздуха. Разработанный в отделе прикладной гидрофизики МГИ НАНУ широкополосный струнный волнограф имеет следующие характеристики:

- частотный диапазон - 0.05 - 40 Гц.
- диапазон амплитуд - 0.5 - 6 м - в зависимости от применяемого типа резистивных первичных преобразователей.
- разрешающая способность - 0.5 - 2.5 мм - в зависимости от диаметра и применяемого типа резистивных первичных преобразователей.
- динамический диапазон - 75 - 80 дБ - в зависимости от уровня помех в точке измерения. Максимальный динамический диапазон достигается при измерении одним прибором, при одновременном использовании нескольких приборов с близко расположенными датчиками динамический диапазон соответственно снижается вследствие взаимных наводок.

На базе широкополосного струнного волнографа был создан дифференциальный волнограф, предназначенный для измерения уклонов морской поверхности. Он позволяет определять уклоны морской поверхности как разность уровней в двух точках волнового поля, отнесенную к расстоянию между этими точками.

Конструкция дифференциального волнографа. Прибор состоит из выносного и бортового блоков, связанных между собой кабельной линией или радиоканалом. В

свою очередь выносной блок включает электронную схему и датчики.

Чувствительным элементом (датчиком) являются две параллельных проволочных струны, пересекающие морскую поверхность в вертикальном направлении. Минимальное расстояние между струнами 1 см, в зависимости от решаемых задач это расстояние может увеличиваться. Как правило используются датчики диаметром 0,25 мм, изготовленные из хромоникелевого сплава и имеющие погонное сопротивление 34 Ом/м.

Струны включены в плечи резистивного моста, питаемого переменным током гармонической формы звуковой частоты. Сигнал разбаланса моста после усиления поступает на вход генератора гармонических колебаний с фазовым управлением частотой, с выхода которого и питается измерительный мост. В целом такой измеритель представляет собой узкополосный фильтр с полосой пропускания порядка единиц герц, практически не реагирующий на помехи, частота которых отличается от его собственной, что позволяет размещать пары струн двух и более уклономеров в непосредственной близости друг от друга при условии различия частот генераторов.

Устройство выносного измерительного блока и бортового приёмного блока одного измерительного канала приведены на рис.1. Здесь R1 и R3 - верхние плечи измерительного резистивного моста, R4 и R5 - резистивные эквиваленты струнных датчиков, а R6 - резистор, задающий калиброванный разбаланс измерительного моста в процессе калибровки измерительного канала. Резистор R2 предназначен для балансировки измерительного моста. Блок K1 представляет собой дифференциальный усилитель, который выделяет сиг-

нал разбаланса измерительного моста и усиливает его до получения требуемой чувствительности преобразователя. Усилитель K2 с резисторами R9, R10 является фазоинвертором сигнала разбаланса и введен в схему для расширения диапазона частот, устойчиво генерируемых схемой и для повышения общей чувствительности схемы. Усилитель K3 с резисторами R7, R8 и конденсаторами C1, C2 образует RC генератор с мостом Вина а блок АРУ предназначен для стабилизации амплитуды генерируемых колебаний. Трансляционный усилитель ТУ необходим для согласования выхода генератора с кабельной линией связи, а блок дистанционного управления калибратором ДУК позволяет включать режим калибровки измерительного тракта по команде оператора.

Бортовой блок. Выходные сигналы измерителей имеют гармоническую форму, с эффективным напряжение около 4.5 В, и рассчитаны на передачу по проводным линиям связи с волновыми сопротивлениями 50 - 300 ом, длиной до 1.5 км или по радиоканалу с полосой пропускания 2,5 - 18 кГц, в которой можно разместить до пяти сигналов выносных измерительных блоков. Для преобразования частотно-модулированных сигналов выносного измерительного блока в сигналы постоянного тока, пригодные для регистрации стандартными средствами, разработан бортовой приёмный блок, состоящий из соответствующего количества каналов обработки ЧМ сигналов. Каждый из каналов блока состоит из активного полосового фильтра, выделяющего сигнал соответствующего измерителя, формирователя, устраняющего паразитную амплитудную модуляцию и преобразователя частота-напряжение, выходной сигнал которого через буферный усилитель поступает на выход блока в виде напряжения амплитудой ± 5 вольт в полосе частот 0 - 25 Гц. Выходное сопротивление канала преобразования составляет 50 ом.

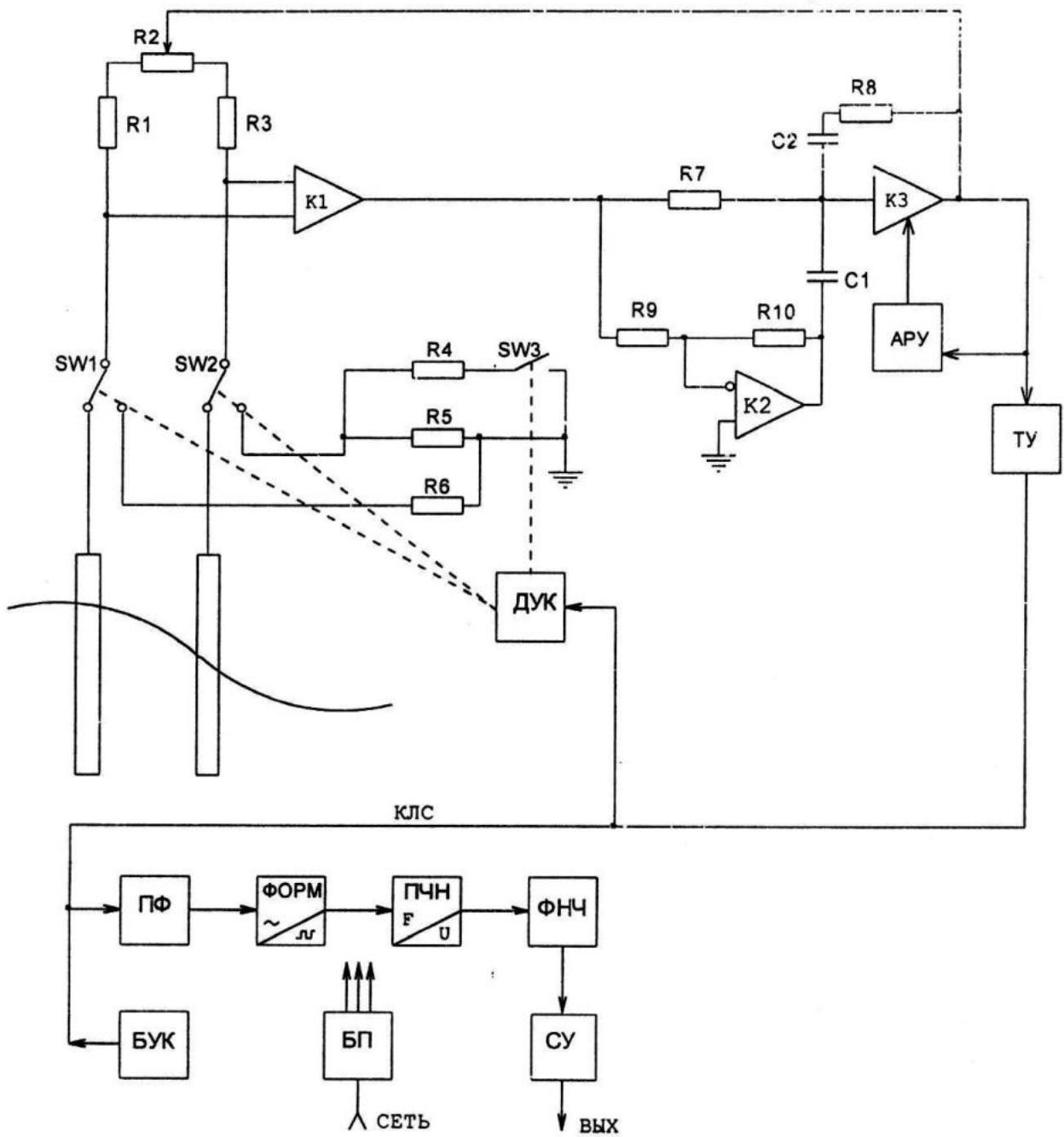


Рис. 1. Структурная схема дифференциального волнографа.

На входе бортового приёмного блока включён полосовой фильтр ПФ, который выделяет сигнал выносного измерительного блока и подавляет помехи, возникающие в кабельной линии связи КЛС из-за наличия паразитных ёмкостей между проводниками кабеля. Далее гармонический сигнал поступает на вход формирователя, построенного по схеме триггера Шмидта, преобразующий его в сигнал типа "мен-

андр" с крутыми фронтами, который запускает преобразователь частота - напряжение. Этот блок построен по схеме ждущего мультивибратора, со схемой фиксации уровней выходных импульсов. В целом такая схема позволяет получить сигнал, постоянная составляющая которого пропорциональна частоте входного сигнала. Выделение этой постоянной составляющей происходит в фильтре низкой час-

тоты ФНЧ, а согласующий усилитель СУ необходим для исключения влияния сопротивления нагрузки.

Блок управления калибратором БУК по команде оператора вырабатывает сигнал управления блоком ДУК. Блок питания БП обеспечивает необходимыми напряжениями все блоки, входящие в состав устройства.

Размещение струнных датчиков и особенности их применения. Для установки струнных датчиков дифференциального волнографа используется штанга, вертикально пересекающая морскую поверхность. На штанге крепятся два кронштейна, один из которых находится постоянно в воздухе, другой – под водой. Струна крепится таким образом, что она проходит через блочек, размещенный на нижнем кронштейне, и два ее конца фиксируются в зажимах верхнего кронштейна. Создается натяжение струны ~ 600 г, что обеспечивается пружинным креплением блочка на нижнем кронштейне. Это позволяет добиться равного натяжения струн, необходимого для сохранения параллельности последних при обтекании их водой. Максимальная длина струн не превышает 2 метров, что определяется допустимыми изгибами их потоком воды.

Основным фактором, ограничивающим разрешающую способность прибора, являются капиллярные эффекты смачивания струн, которые способны сместить точку электрического замыкания датчиков примерно на 2,5 мм от фактического положения поверхности воды. Однако близкое расположение струн позволяет скомпенсировать эти погрешности измерений до величины порядка 0,5 мм, что на базе 10 мм составляет угол уклона поверхности ~3°. На больших базах измерений погрешность соответственно уменьшается.

Калибровка. Для калибровки дифференциальных волнографов был разработан стенд. Он представляющий собой цилиндрическую кювету, заполняемую морской водой, глубиной 1,8 м, в которую погружался калибруемый измеритель. Критериями калибровки служили: подавление

синфазной составляющей сигнала (от вертикального перемещения) минимум на 65-68 дБ, и получение требуемой чувствительности при наклонах измерителя относительно поверхности воды.

При проведении измерений в морских условиях калибровка электрической части волнографа осуществлялась с помощью дистанционно включаемого калибратора, встроенного в выносной измерительный блок уклонометра. При включении режима калибровки вместо чувствительных элементов к входам измерительного моста подключались резистивные эквиваленты струн, которым с периодом порядка 1 секунды задавался калиброванный разбаланс путем параллельного присоединения образцового резистора. На выходе бортового приемного блока при этом появлялся сигнал прямоугольной формы, размах которого и являлся эталоном для сравнения с текущими значениями измеряемых уклонов.

Волнографический комплекс и его применение. Для исследований изменчивости тонкой структуры морской поверхности были созданы волнографические комплексы, включающие в свой состав один широкополосный и два дифференциальных волнографа. Три прибора размещались в одном контейнере, сигналы с которого по кабельной линии поступали в бортовой блок. Суммарная потребляемая мощность такого комплекса 5 Вт. Контейнеры выполнены в форме цилиндров диаметром 80 мм и длиной 600 мм, и имеют массу 6 кг. Полная герметичность контейнеров позволяет размещать их вблизи границы раздела вода-воздух, что, в свою очередь, позволяет использовать короткие линии связи между струнными датчиками и электронными преобразователями.

Одним из основных достоинств разработанного волнографического комплекса является возможность его применения в экспериментах, проводимых в открытом море, с помощью специальных буев, не вносящих заметных искажений в поле короткопериодных поверхностных волн. Волнографические комплексы использовались при измерениях с притопленной гра-

диентной станции, выполненной по типу вехи Фруда и с отслеживающим доминантные волны буя "Дельта" [6]. Буй "Дельта" состоит из трех размещенных по углам равностороннего треугольника и жестко скрепленных между собой поплавков. В центре треугольника находится штанга для установки датчиков, шарнирно связанная с рамой буя и стабилизированная в вертикальном положении.

С помощью струнных волнографов был также проведен цикл экспериментов с медленно движущегося судна [7]. Датчики крепились на вертикально ориентированной штанге, вынесенной вперед перед форштевнем судна. Измерения проводились при скоростях судна 1-2 м/с. Этот диапазон скоростей является оптимальным. При больших скоростях возрастают динамические нагрузки на нижний, погруженный в воду конец штанги, и начинает сильно вибрировать оснастка. Кроме того, при больших скоростях за струнными датчиками возникает кавитация, существенно искажающая измерения уклонов. При меньших скоростях возмущения, генерируемые корпусом судна, достигают датчиков.

Авторы благодарят Г.Н. Христофорова, под руководством которого проводились разработки контактной волноизмерительной аппаратуры для исследования тонкой топографической структуры морской поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Palm C.S., Anderson R.S., Reese A.M. Laser probe for measuring 2-D wave slope spectra of ocean capillary waves // J. Appl. Optics.-1977.- V.46.-№ 4.-P.1074-1081.
2. Tober G., Anderson R.S., Shemdin O.H. Laser instrument for detecting water ripple slopes // J. Appl. Optics.-1973.-№ Т-4.-P.788-794.
3. Запевалов А.С., Христофоров Г.Н. Передаточная функция дифференциального волнографа // Морской гидрофизический журнал.-1991.-№2.-С.14-21.
4. Христофоров Г.Н., Запевалов А.С., Смолов В.Е. Измерения продольной когерентности в короткоперiodных ветровых морских волнах // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана.-1989.-Т.25.-№6.-С. 636-643.
5. Христофоров Г.Н., Запевалов А.С., Шутов А.П., Смолов В.Е. Опыт измерения широкополосного спектра ветровых волн в открытом океане // Морской гидрофизический журнал. 1986.-№ 6.-С. 28-32.
6. Мищенчук Ю.А., Запевалов А.С., Христофоров Г.Н., Смолов В.Е. Устройство для измерения характеристик морских ветровых волн // А.с. N1305874.-Бюл. №15.-23.04.87
7. Христофоров Г.Н., Запевалов А.С., Смолов В.Е., Мищенчук Ю.А. Методика инструментального определения с движущегося судна эффектов, создаваемых внутренними волнами в приповерхностном слое моря // В кн: "Внутренние волны и турбулентность".-Севастополь.-МГИ АН УССР.-1984.-С. 166-177.