

А.П. Ростов

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕЙ ВЕТРА И ТЕМПЕРАТУРЫ

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск

Поступила в редакцию 26.12.97 г.

Принята к печати 11.12.98 г.

Разработан ультразвуковой комплекс для исследования пространственно-временных характеристик полей ветра и температуры.

Ультразвуковые аномометры-термометры часто используются при исследовании турбулентных характеристик в приземном слое атмосферы, взаимодействия атмосферы и океана [1–5]. Отсутствие движущихся частей, относительно малая постоянная времени, селективная чувствительность к требуемой компоненте скорости, возможность измерений флуктуаций температуры [4] делают этот прибор чрезвычайно привлекательным при проведении исследований характеристик атмосферы.

Для исследования пространственно-временных характеристик температурных и ветровых полей в ИОА РАН создан на основе опыта нескольких предшествующих разработок ультразвуковой аппаратно-программный комплекс (рис. 1). Комплекс позволяет измерять средние и флуктуационные (турбулентные) характеристики компоненты скорости ветра, температуры (см. Ниже). В комплексе реализован фазовый способ измерения скорости ветра и температуры с многопараметрической обратной связью [6].

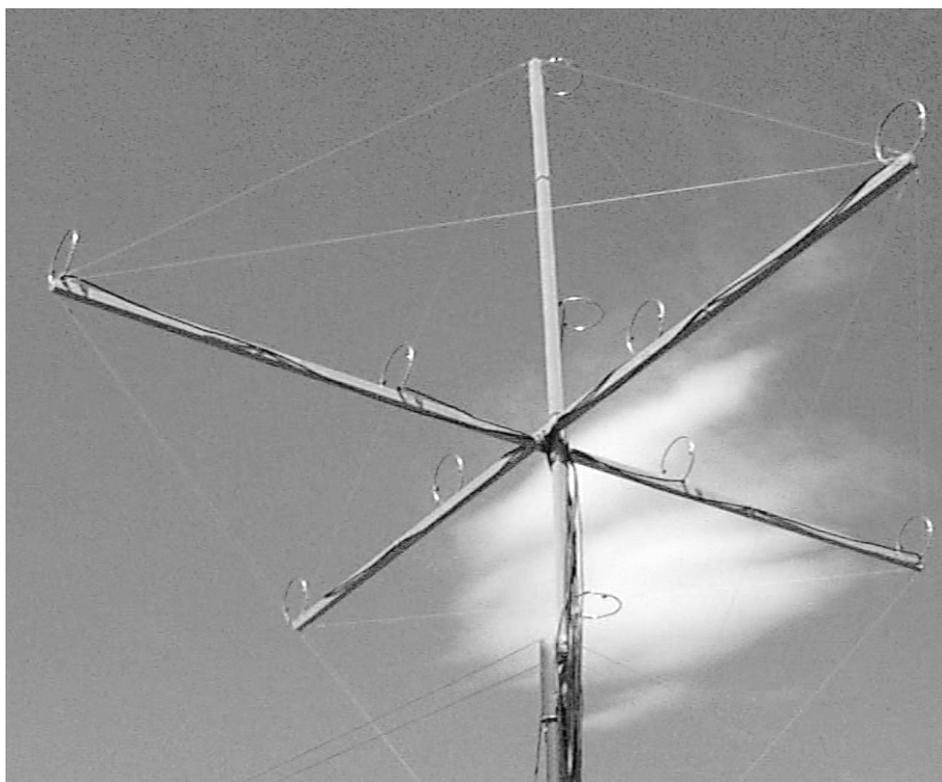


Рис. 1. Внешний вид ультразвукового комплекса

Диапазон измерения скорости ветра, м/с	0–20	Максимальная частота выдачи параметров, Гц	4
Цена младшего разряда скорости ветра, м/с	0,02	Число измеряемых параметров	24 (12 – ветер, 12 – температура)
Диапазон измерения температуры, °С	–10 – +50	Максимальная длина линии связи питания, м	300
Цена младшего разряда температуры, °С	0,019	Потребляемая мощность, Вт	не более 3
Внутренняя частота измерения параметров, Гц	38		

Конструктивно это жесткая конструкция в виде тетраэдра, на которой пространственно ортогонально расположены 12 ультразвуковых однонаправленных датчиков. Параметр L/D (L – длина измерительной базы, D – диаметр приемопередатчика) определяет уровень их затенения и равен 12, что соответствует среднему значению для приборов подобного класса [2, 4]. Датчики выполнены в виде разрезанного кольца с резьбовым соединением, необходимым для изменения размеров измерительной базы при их калибровке по температуре. В качестве приемопередатчиков используются ультразвуковые датчики МА40S3S японской фирмы «Murata». Работают они на частоте основного резонанса 40 кГц. Жесткость конструкции установки обеспечивается 12 растяжками из 1-мм капроновой нити, фиксирующими в пространстве концы осевых несущих реек.

При проведении исследований в полевых условиях измерительный модуль установки крепится к 4-метровой метеомачте и может ориентироваться в трех плоскостях. Это дает возможность поочередно регистрировать пространственно-временные ряды данных для продольной, поперечной и вертикальной компоненты скорости ветра. Комплекс легко трансформируется из тетраэдра в линейку из 12 датчиков, как показано на рис. 2. Это позволяет измерять 12 точек пространственно-временных характеристик на базе 12 м.

Работа всего комплекса осуществляется под управлением трех микрокомпьютеров, разработанных автором на

основе однокристалльного микроконтроллера i80196KB фирмы «Intel» [7].

Для работы и управления они соединены в единую вычислительную сеть. Управление установкой и регистрация информации могут вестись с любого персонального компьютера (ПК), имеющего последовательный коммуникационный порт с интерфейсом RS-232. В нашем случае использовался портативный компьютер типа Note Book.

Электронная часть установки состоит из трех одинаковых модулей. В состав каждого входят три функциональных узла микроконтроллера, контроллеров ультразвуковых преобразователей и источника вторичного питания с модемом. Структурная схема модуля показана на рис. 3. Процессорные модули аналогичны модулю, описанному в [6]. Отличие только в программной части. Ниже поподробнее остановимся на этом.

Микроконтроллер 196 серии фирмы Intel по своим характеристикам более чем в 6 раз превосходит процессоры, используемые нами ранее для этих приборов. В частности, он имеет более развитую систему обслуживания прерываний. Это позволило организовать 3-задачный режим работы измерителя в реальном времени. Первая – основная задача – измерение ветра и температуры с четырех акустических датчиков. Следующие две задачи (прием и выдача информации) запускаются по прерываниям от приемника и передатчика микроконтроллера соответственно.



Рис. 2. Пример трансформации акустической части установки

Алгоритм работы этих программ такой, что они выполняются «прозрачно» для основной задачи. Суммарное отвлечение на реализацию этих задач не превышает 20 мкс при расчете на один полный цикл измерения времени распространения акустического импульса. Таким образом, за счет отсутствия пауз в измерении, что очень важно при фазовом способе измерения, удалось повысить устойчивость работы прибора при порывистом ветре и сильных флуктуациях температуры. Напомним, что прибор работает в режиме слежения за фазой акустических сигналов и минимизация периода измерения ее очень важна.

Все три микрокомпьютера работают в единой компьютерной сети. Каждый имеет свой индивиду-

альный сетевой номер и реагирует только на команды, адресованные ему. Исключение составляет общая для всех приборов команда «фиксировать данные». По этой команде все приборы, работающие в вычислительной сети, переписывают текущие значения в выходной буфер и продолжают измерительный процесс.

Затем, по очереди, после адресных команд «выдать данные» массивы передаются и запоминаются в оперативной памяти, а затем на жестком диске управляющего компьютера. Таким образом, одновременно фиксируется пространственное значение полей скорости ветра и температуры.

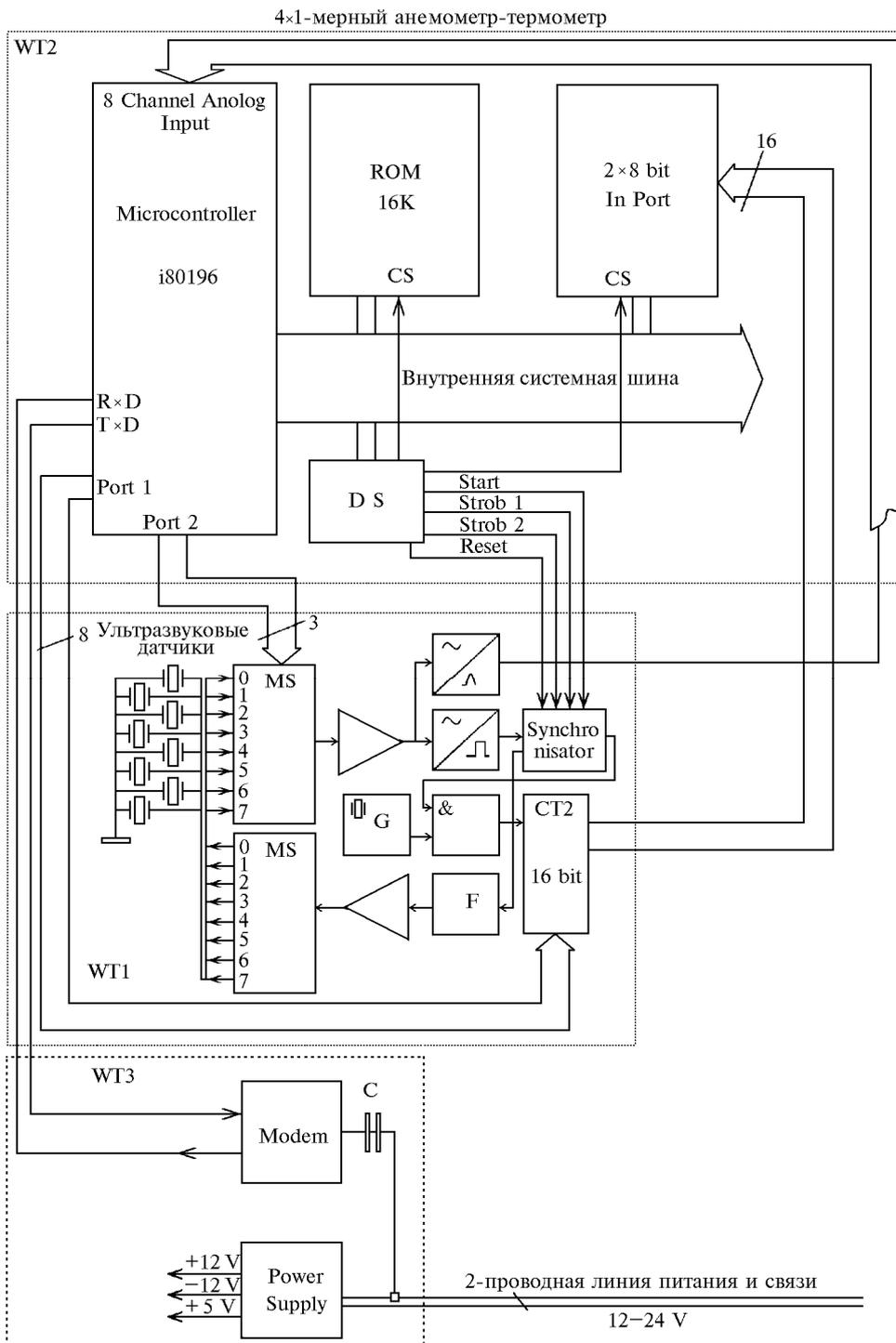


Рис. 3. Структурная схема электронного модуля установки

Контроллеры ультразвуковых датчиков разрабатывались специально. Поскольку они абсолютно идентичны, то рассмотрим один из них. Он состоит из преобразователя «время – код», синхронизатора, усилителей приемника и передатчика, двух мультиплексоров, компаратора, амплитудного детектора и генератора, стабилизированного кварцевым резонатором.

Преобразователь «время – код» выполнен на четырех синхронных счетчиках с параллельной записью кода на-

чального счета. Он обеспечивает синхронный счет квантов времени длительностью 20 нс. Разрядность преобразователя 16 бит.

Синхронизатор служит для синхронизации работы всего контроллера в целом при выполнении цикла измерений. Генератор формирует стабильные кванты времени длительностью 20 нс.

Два 8-канальных мультиплексора обеспечивают выбор рабочей ультразвуковой пары «приемник – передатчик».

Источники вторичного питания особенностей не имеют. При их разработке преследовалась цель снизить общую потребляемую мощность. Это очень важно для дистанционных измерительных приборов, получающих питание по линии связи в виде витой пары полевого кабеля. Для этого применялись «импульсные» источники вторичного питания фирмы Nimic-Lambda Inc. (Япония), КПД которых не менее 95%.

Так как все 12 измерительных каналов работают независимо, то достаточно рассмотреть алгоритм работы одного канала установки. Использование фазового метода измерения предполагает наличие начальных условий – температуры и скорости ветра. В предыдущих разработках [6, 7] для этого использовались отдельные датчики средних значений метеопараметров. В этой установке впервые удалось реализовать измерения начальных условий акустическим способом без привлечения дополнительных датчиков.

Для этого в сигнальный тракт приемника введен амплитудный детектор и программно организован алгоритм для определения начальных условий по временному методу. В устройстве отсутствуют скоростной АЦП и буферное ОЗУ, поэтому в алгоритме использован способ многократного зондирования с возрастающей временной задержкой. В качестве датчика временных задержек используется программный генератор с минимальным квантом времени 1,377 мкс.

Точность измерения этим способом невелика и составляет $\pm 0,7$ м/с для ветра и $\pm 1,9^\circ$ для температуры, но этого вполне достаточно для запуска фазового способа измерения, поскольку один период рабочей частоты

(40 кГц) соответствует $\pm 19^\circ$ и 12 м/с на измерительной базе 120 мм.

Основной алгоритм измерения параметров производится по следующему сценарию. В синхронный счетчик записывается код, обратный коду времени прохождения акустическим импульсом расстояния между противоположными датчиками минус время, равное 180° фазы акустического импульса. Далее одним из датчиков излучается акустический импульс и разрешается счет времени синхронному счетчику. При переполнении счетчика из состояния по сигналу переноса разрешается прохождение сигнала от компаратора приемника на триггер остановки счета.

При переходе уровня сигнала с компаратора из «единицы» в «ноль», а это соответствует фазе акустического сигнала 0° , выдается запрет на выдачу тактовой частоты счетчику. Код времени, установившийся в нем, соответствует приращению времени распространения акустического импульса. Он может иметь разный знак и используется далее как поправка при последующем измерении.

В электронном модуле применяются современные скоростные цифровые микросхемы КМОП-структуры фирмы «National Semiconductor». В качестве усилителей и компаратора используются микросхемы фирм «Siliconics, Inc.» и «Maxim Integrated Products, Inc.».

В мае 1998 г. было проведено испытание установки в полевых условиях. Ультразвуковой измерительный модуль был расположен так, что ось X была направлена вдоль ветра, Y – поперек, а Z – вертикально. Очевидно, что регистрировалась продольная компонента ветра. Фрагменты полученных временных рядов ветра и температуры представлены на рис. 4.

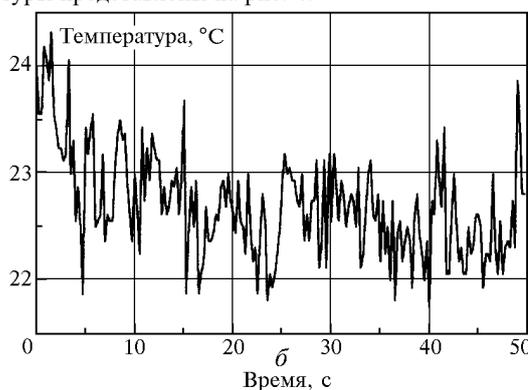
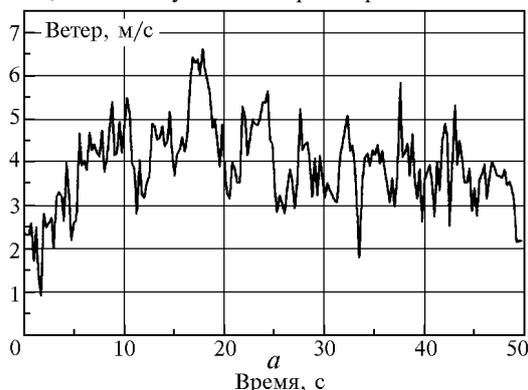


Рис. 4. Временные ряды: а – скорости ветра, б – температуры датчика X1

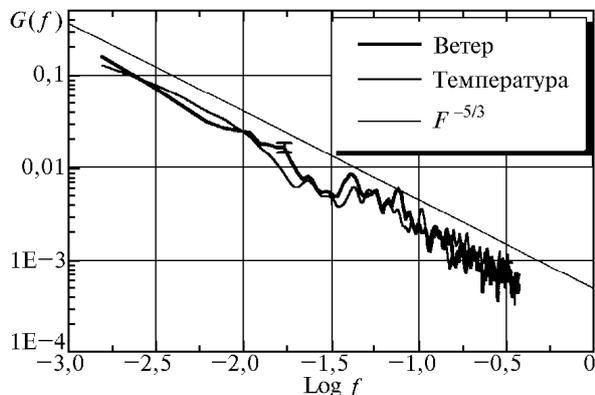


Рис. 5. Спектры флуктуаций скорости ветра и температуры датчика X1

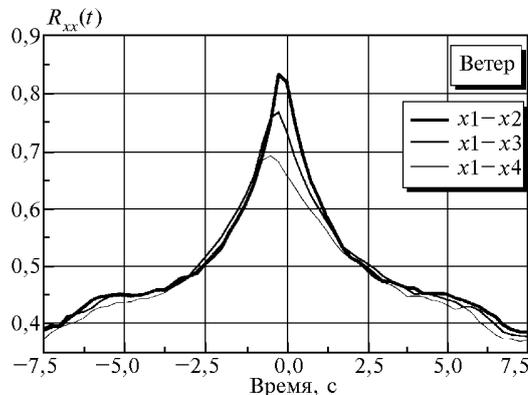


Рис. 6. Временные корреляционные функции скорости ветра по оси X

На рис. 5 показаны автоспектры мощности флуктуаций температуры и скорости ветра одного из датчиков, расположенного на оси X. Хорошо видно, что у установки практически отсутствуют шумы (нет характерного загиба высокочастотной области спектра) и наклон соответствует «Колмагоровскому» $-5/3$.

На рис. 6 представлены взаимные временные корреляционные функции скорости ветра при различных расстояниях между датчиками по оси X.

На рис. 7 показаны пространственные корреляционные функции по оси X (вдоль ветра).

Хорошо видна пространственная анизотропия флуктуаций скорости ветра и температуры, что подтверждает высокую разрешающую способность прибора.

В этом году планируем провести серию экспериментов с этой установкой на акустической метеостанции, нацеленных на детальное исследование пространственно-временных и взаимных характеристик вертикальных и горизонтальных компонент полей скорости ветра и температуры.

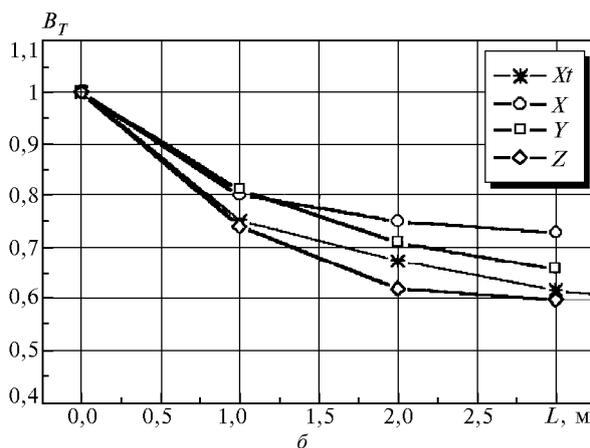
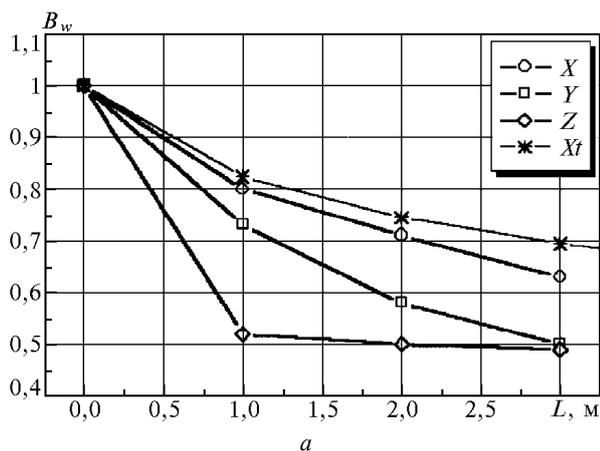


Рис. 7. Пространственные корреляционные функции; a – ветра; b – температуры. Звездочками обозначены функции, рассчитанные из временной корреляции и скорости ветра

1. Hanafusa T., Fujitany T., Kobori Y., Matsuta Y. // Paper Meteorol. Geophys. 1982. V. 33. N 1. P. 1–19.
2. Tsukamoto O., Ohtaci E., Horiguchi M., Mitsuto Y. // J. Meteorolog. Society. Japan. 1990. V. 68. N 2. P. 203–211.
3. Fairall C., Edson J. // J. Atmosph. and Ocean. Technology. 1990. V. 7. N 3. P. 425–453.
4. Larsen S., Edson J. // J. Atmosph. and Ocean. Technology. 1993. V. 10. N 3. P. 345–354.

5. Mc Aneny K., Baille A., Sappe G. // Boundary-Layer Meteorology. 1988. V. 42. N 2. P. 153–166.
6. Патрушев Г.Я., Ростов А.П., Иванов А.П. Автоматизированный ультразвуковой анемометр-термометр для измерения турбулентных характеристик в приземном слое атмосферы // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. № 11–12. С. 1636–1638.
7. Козаченко В.Ф. Микроконтроллеры: руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров Intel MCS-196/296 во встроенных системах управления. М.: ЭКОМ, 1997. 688 с.

A.P. Rostov. Ultrasonic System for Investigation of Spatial-Temporal Characteristics of Wind and Temperature Fields.

The ultrasonic system for research of spatial-temporal characteristics of wind and temperature fields is developed.