

А.Я. Богушевич

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТЕОСТАНЦИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск

Поступила в редакцию 30.10.98 г.

Принята к печати 30.11.98 г.

Описывается программное обеспечение для ультразвуковых метеостанций, функционирующее в операционной системе Windows, которое легко модифицируется на конкретную аппаратную реализацию устройства и требует, главным образом, возможности его подключения к компьютеру через один из стандартных портов COM1–COM4 или LPT1. Оно позволяет измерять мгновенные значения метеорологических величин и выполнять их обработку для целей исследования атмосферной турбулентности.

Ультразвуковые метеостанции по своим техническим характеристикам являются уникальным инструментом для исследования атмосферной турбулентности [1–7]. С их помощью оцениваются мгновенные значения температуры воздуха и трех компонент скорости ветра с постоянной времени порядка 10^{-3} с и с чувствительностью примерно 0,01–0,02 (°C или м/с), через интервалы времени в 0,1 с и больше. Используя эти данные и специальные алгоритмы, можно вычислять числовые характеристики атмосферной турбулентности.

Ниже дается описание разработанного нами программного обеспечения для ультразвуковых метеостанций. Его легко модифицировать на конкретную аппаратуру метеостанций и подключать к компьютеру через один из стандартных портов COM1–COM4 или LPT1. Данное программное обеспечение предназначено для работы в операционных средах Windows'3.1 или Windows'95 и реализовано в виде многооконного 16-битового приложения «МЕТЕО 2.0», занимающего память на жестком диске примерно 2 Мбайта. Отличительной чертой данного приложения является возможность с его помощью не только оценивать значения метеорологических величин, но и выполнять разнообразную вторичную обработку измеренных данных.

Приложение «МЕТЕО 2.0» решает следующие функциональные задачи:

- автоматического контроля за ошибками подключения внешнего устройства к компьютеру, а также за сбоями в работе устройства;
- организации измерений мгновенных значений температуры воздуха и трех компонент вектора скорости ветра, средних значений атмосферного давления и относительной влажности воздуха, включая возможность запуска круглосуточных автономных измерений;
- калибровки системы устройство–приложение (в автоматическом и ручном режимах) для достижения максимальной точности измерений;
- автоматической корректировки скоростей ветра на ориентацию измерительной системы на метеомачте (через измерения углов ее наклона в ортогональных плоскостях), а также на затенение ветровому потоку ультразвуковыми датчиками;

– автоматического сохранения в файле на жестком диске компьютера всех измеряемых данных с мгновенными значениями метеорологических величин;

– генерации специального файла отчета о проведенном сеансе измерений, включающем общую информацию о проведенных измерениях (дату, время, количество данных и т.п.), средних значениях измеряемых метеорологических величин и их статистических характеристиках, а также числовые значения ряда стандартных параметров атмосферной турбулентности (всего около 70 величин);

– прогнозирования на основе теории подобия Момина–Обухова и графического отображения на экране монитора средних высотных профилей температуры, скорости горизонтального ветра, структурных постоянных флуктуаций температуры C_T^2 и ветра C_V^2 , коэффициентов турбулентного обмена для тепла и скорости, скоростей диссипации турбулентной энергии для температуры и ветра, градиентного числа Ричардсона Ri и внешнего масштаба турбулентности;

– расчета и графического отображения на экране монитора структурных функций флуктуаций температуры D_T и скорости ветра (продольной D_{rr} и поперечной D_{tt} относительно направления среднего вектора скорости ветра);

– расчета и графического отображения на экране монитора вероятностных распределений (гистограмм плотности вероятности) флуктуаций температуры T' , модуля V'_h и направления F' горизонтального ветра, продольных u' и поперечных v' (относительно направления среднего горизонтального ветра), а также вертикальных w' флуктуаций скорости ветра;

– расчета и графического отображения на экране автокорреляционных и взаимных корреляционных функций турбулентных пульсаций T' , V'_h , F' , u' , v' и w' ;

– расчета и графического отображения на экране энергетических спектров турбулентных пульсаций T' , V'_h , F' , u' , v' и w' .

Приложение «МЕТЕО 2.0» обладает комфортностью для пользователя, характерной при работе в Windows. Оно имеет стандартный для Windows графический интерфейс, включающий развитое меню, контекстно-чувствительную справочную систему, широкие возможности работы с мышью, набор «горячих» клавиш и

кнопки быстрого доступа к командам меню (с пиктограммами). Реализованы гибкие возможности печати на принтере непосредственно из приложения как текстовых (числовых) данных, так и выводимых на экран графиков, а также сохранения любых расчетных данных в отдельных текстовых файлах.

На рис. 1 приведена структурная схема архитектуры приложения «МЕТЕО 2.0». Данное приложение включает главное окно с меню, отображаемое на экране монитора при загрузке программы и сохраняющееся до конца его функционирования, набор динамически создаваемых через команды меню диалоговых окон, где пользователь может изменять параметры выполнения текущей задачи, набор динамически загружаемых программных библиотек (DLL), содержащих процедуры и функции обработки данных устройства, и набор рабочих окон, предназна-

ченных для визуального контроля пользователем основных рабочих операций приложения.

Отметим, что в приложении «МЕТЕО 2.0» реализована возможность переключения на работу с различными вариантами аппаратуры ультразвуковых метеостанций. Имеется DLL-библиотека, содержащая драйверы внешних устройств. Она позволяет поддерживать различные протоколы коммуникационного обмена данными между компьютером и внешними устройствами, согласованные с их разработчиками. Указанное переключение осуществляется пользователем через диалоговое окно «Настройки». Также в этом окне можно запретить или разрешить программе выполнять опрос каждого из дополнительных датчиков, которые могут включаться в состав метеостанции (датчика атмосферного давления, влажности воздуха и углов наклона метеомачты).

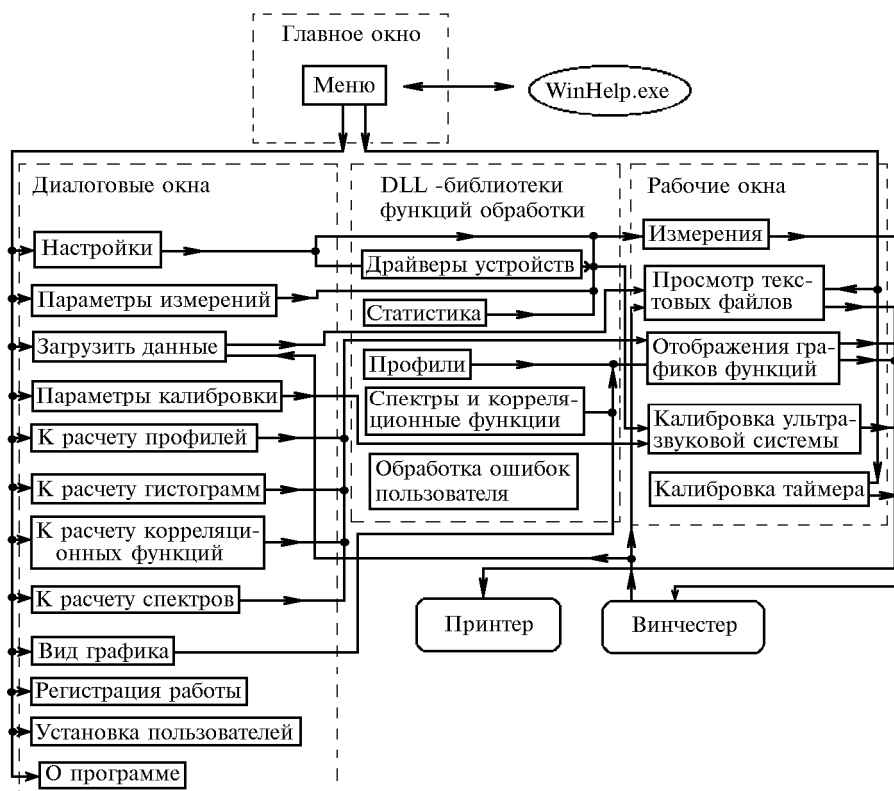


Рис. 1. Структурная схема Windows-приложения «МЕТЕО 2.0»

На рис. 2 показана система меню приложения «МЕТЕО 2.0». Здесь субменю «Измерения» содержит команды, предназначенные для организации метеорологических измерений, просмотра их результатов, а также настройки приложения и завершения его функционирования. В субменю «Калибровка» имеются команды контроля функционирования ультразвуковой системы, подключенной к компьютеру, а также автоматической калибровки этой системы и используемого программного таймера. Субменю «Анализ» включает множество команд для выполнения вторичной обработки измеренных данных. Наконец, субменю «Сервис» содержит вспомогательные служебные команды, а субменю «Справка» – команды доступа к справочной системе приложения.

При запуске приложения на выполнение измерений на экране монитора появляется диалоговое окно «Пара-

метры измерений», в котором пользователь может изменять значения длительности T_n одного непрерывного цикла измерений, временного интервала Δt между отсчетами мгновенных значений метеорологических величин ($0,1 \text{ с} \leq \Delta t \leq 10 \text{ мин}$), азимутальной ориентации ультразвуковой системы относительно севера, задавать учитываемый тип подстилающей поверхности (выбирая из списка модельных), записывать или не записывать на жесткий диск файл с мгновенными значениями метеорологических величин, а также файл отчета с итоговыми результатами измерений. Максимальная величина T_n в приложении искусственно ограничена возможностью накопления им в оперативной памяти компьютера только до 16382 отчета мгновенных значений каждой из 8 измеряемых метеорологических величин (512 кбайт данных), после чего измерения приостанавливаются и накопленные данные сбрасы-

ваются на жесткий диск. Например, при максимальной скорости съема данных $F_d = 1/\Delta t = 10$ Гц задаваемое пользователем значение T_n не может превышать 27 мин. В окне «Параметры измерений» также выполняется включение режима автоматической круглосуточной работы ультра-

звуковой метеостанции, начиная с задаваемого момента времени и через определенные промежутки времени. Именно записываемых файлов в этом случае формируются самой программой из чисел даты и времени начала текущего цикла измерений.

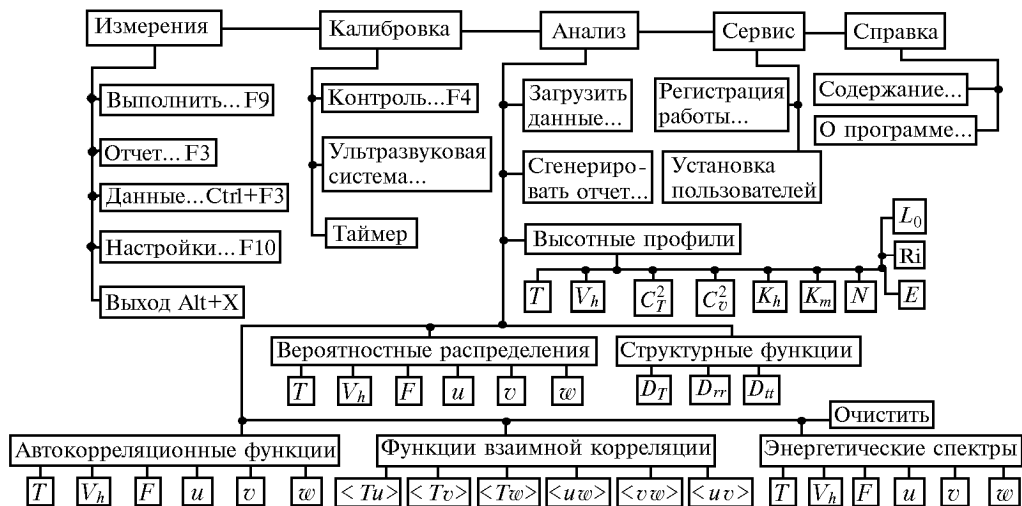


Рис. 2. Система меню Windows-приложения «METEO 2.0»

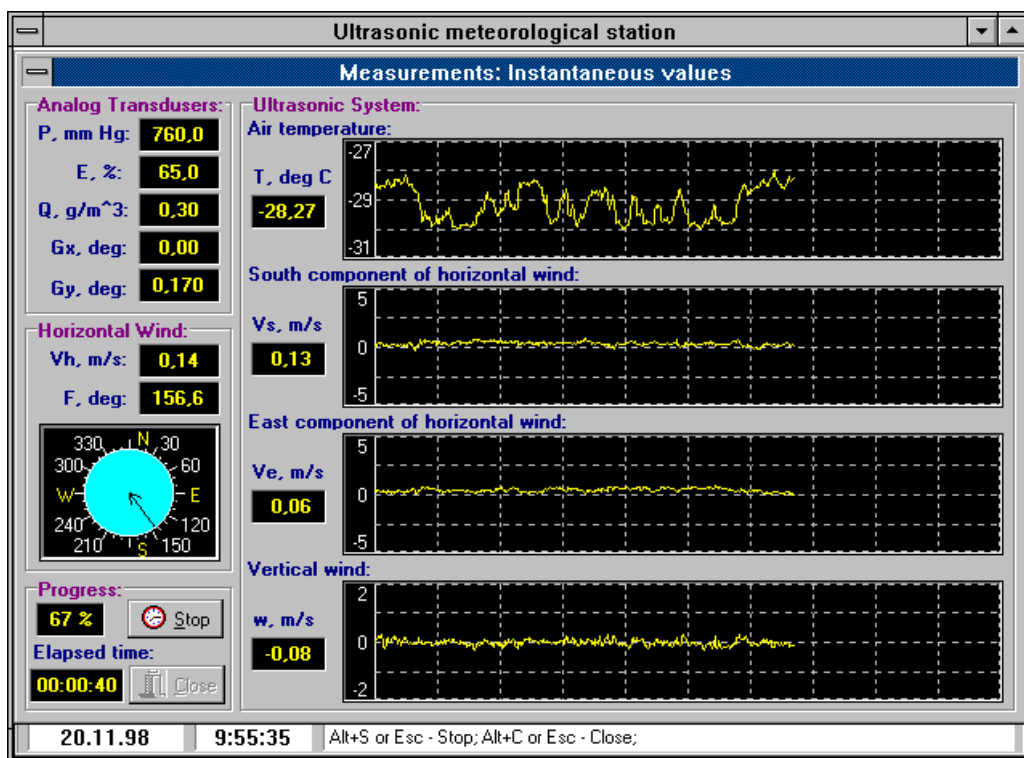


Рис. 3. Windows-приложение «METEO 2.0»: окно отображения текущих данных при выполнении измерений

При выполнении измерений открывается специальное окно (рис. 3), в котором в реальном масштабе времени отображаются как в числовой форме, так и графически мгновенные значения температуры и трех ортогональных компонент скорости ветра (южной, восточной и вертикальной). Здесь же выводятся текущие значения атмосферного давления, относительной и абсолютной влажности

воздуха, углов наклона метеомачты, а также скорости и направления горизонтального ветра. По завершении каждого цикла измерений из накопленных данных рассчитываются и выводятся на экран средние значения этих же метеорологических величин.

Калибровка ультразвуковой системы, выполняемая в приложении, заключается в определении точных значений

расстояний между ультразвуковыми датчиками. В этом случае приложение вначале запрашивает у пользователя истинное значение температуры воздуха, измеренное контрольным термометром, а затем с учетом ее величины организует измерения указанных расстояний. При этом ультразвуковая система используется как акустический измеритель расстояний. Результаты калибровки сохраняются в файле инициализации приложения *meteo2.ini*.

Для точной оценки параметров атмосферной турбулентности важно измерять мгновенные значения метеорологических величин через строго синхронизированные промежутки времени Δt . В то же время минимальный интервал времени, который позволяет контролировать Windows, равен только 1 мс. Поэтому в приложении «МЕТЕО 2.0» применяется перепрограммирование таймера компьютера, позволяющее выполнять синхронизацию временных процессов с разрешением 1 мкс.

При вторичной обработке данных приложение работает с файлами, содержащими мгновенные значения метеорологических величин. Пользователь имеет воз-

можность выбрать на жестком диске один из этих файлов и из его данных сформировать в оперативной памяти компьютера выборки мгновенных значений температуры, вертикальной, продольной и поперечной компонент ветра (относительно направления среднего горизонтального ветра) с задаваемыми началом отсчета и числом точек. После этого указанные выборки могут подвергаться обработке различными методами через соответствующие команды меню. Числовые результаты обработки данных отображаются графически в отдельных окнах (рис. 4). Данные окна отличаются только вложенными в них данными, сохраняя идентичность по внешнему виду и средствам управления. Пользователь может просмотреть здесь числовые данные непосредственно по точкам графика, сканируя его с помощью курсора мыши, записать их в отдельный файл, изменить вид графика и распечатать его. Количество одновременно открываемых окон этого типа практически не ограничено и определяется только доступными для Windows ресурсами компьютера.

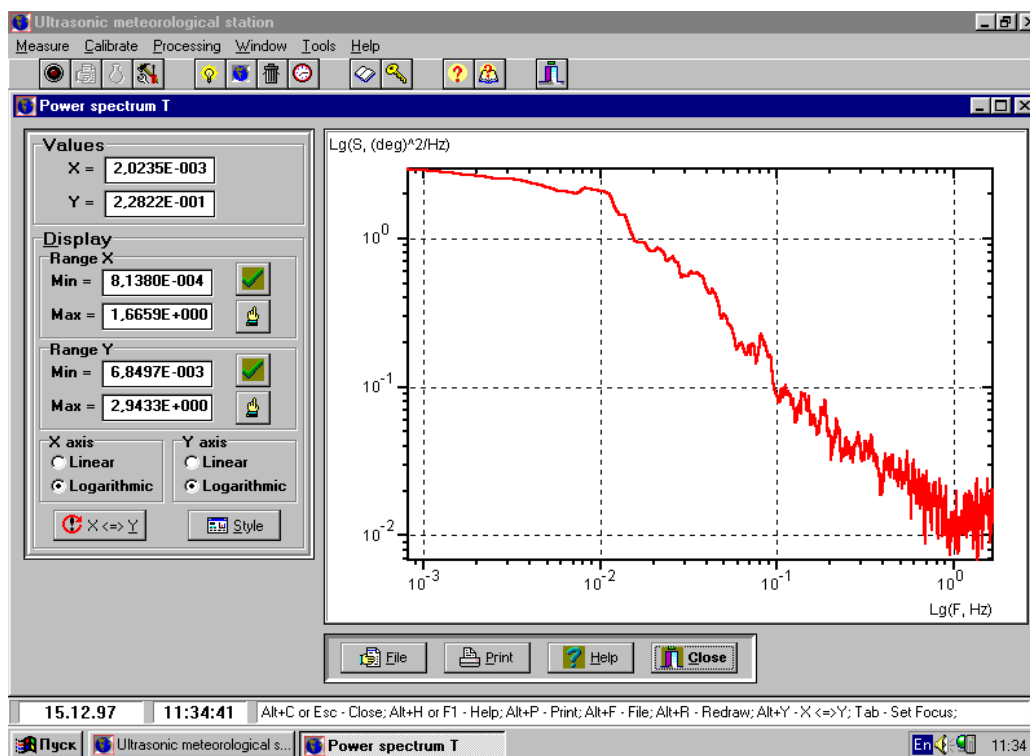


Рис. 4. Windows-приложение «МЕТЕО 2.0»: окно отображения графических данных при вторичной обработке результатов измерений (приведен энергетический спектр турбулентных флуктуаций температуры)

В заключение отметим, что архитектура построения приложения «МЕТЕО 2.0» позволяет с минимальными затратами выполнять дальнейшее расширение его функциональных возможностей. При необходимости можно дополнять библиотеку драйверов, увеличивая список типов устройств, подключаемых к компьютеру и работающих совместно с данным приложением, а также внедрять новые алгоритмы вторичной обработки измеряемых данных. Для достижения оптимальной производительности приложения «МЕТЕО 2.0» требуется компьютер класса не ниже 486DX2 с оперативной памятью (ОЗУ) не менее 8 Мбайт. В среде Windows'3.1 оно также может функционировать на компьютерах класса 386 с ОЗУ емкостью 4 Мбайта. Однако в по-

следнем случае невозможно достигнуть максимальной скорости получения метеорологических данных. Она ограничена здесь $F_d \approx 3 - 4$ Гц.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, код проекта №98-05-03177.

1. Kaimal J.C., Wyngard J.C., Haugen D.A. // J. Appl. Meteorol. 1968. V. 5. N 10. P. 827–837.
2. Kaimal J.C. // Radio Sci. 1969. V. 4. P. 1147–1153.
3. Hanafusa T., Fujitani T., Kobo Y., Mitsuta Y. // Pap. Meteorol. Geophys. 1982. V. 33. P. 1–19.
4. Анисимов М.В., Монастырский Е.А., Патрушев Г.Я., Ростов А.П. // Приборы и техника эксперимента. 1988. №4. С. 196–199.

5. Патрушев Г.Я., Ростов А.П. // 1-й Межреспубл. симп. «Оптика атмосферы и океана»: Тезисы докл. ч. 2. Томск, ИОА СО РАН. 1994. С. 152–153.
Азбукин А.А., Богушевич А.Я., Бурков В.В. и др. // 3-й

Межреспубл. симп. «Оптика атмосферы и океана»: Тезисы докл. Томск, ИОА СО РАН. 1996. С. 160.

6. Богушевич А.Я., Красненко Н.П. // 3-й Межреспубл. симп. «Оптика атмосферы и океана»: Тезисы докл. Томск, ИОА СО РАН, 1996. С. 167.

A.Ya. Bogushevich. Software of the Sonic Anemometer-Thermometer for Investigations of the Atmospheric Turbulence.

The software for sonic anemometer-thermometer is described that operates in the operation system «Windows». It is easily modified for particular device realization connected with computer by ports COM1–COM4 or LPT1. The described software makes possible measurements of instantaneous values of the meteorological parameters and their processing for investigations of the atmospheric turbulence.