

Метеорологический комплекс

В.В. Гломаздин¹, Е.В. Кривенко¹, В.И. Луценко¹, И. В. Луценко¹, А.И. Шубный¹

¹Институт Радиофизики и Электроники им. А. Я. Усикова НАНУ, 61085, Харьков, ул. Проскуры, 12, e-mail: lutsenko@ire.kharkov.ua, secretar@ire.kharkov.ua

Рассмотрена возможность использования современных датчиков атмосферных параметров для создания метеорологического комплекса, позволяющего осуществлять измерения температуры, давления, влажности с повышенной точностью и обладающего низкой погрешностью измерений.

The possibility of using modern sensors of atmospheric parameters to create a meteorological complex, which allows to measure temperature, pressure, humidity with high accuracy and has a low measurement error, is considered.

Введение

В настоящее время погрешности определения координат системами ГНСС лимитируются преимущественно условиями распространения радиоволн в атмосфере. Для их коррекции используются разнообразные модели, учитывающие региональное расположение потребителя и сезон измерений. В приемниках используются модели зенитной тропосферной задержки, которая учитывает широту расположения потребителя и день года, то есть сезонную зависимость рефракционных свойств, при этом совершенно не учитываются суточные изменения коэффициента преломления, имеющих место, а также индивидуальные особенности погодных условий в месте проведения измерений. Вместе с тем погодные условия достаточно динамичным объектом, зависит от многих факторов.

Следует отметить, что в настоящее время специализированные системы, которые имеют достаточно высокую точность измерения и в то же время небольшую цену отсутствуют на потребительском рынке. Оснащение приемников ГНСС высокоточными метеодатчиков, а также приборами для определения коэффициента преломления тропосферы значительно повысит потребительские характеристики ГНСС навигаторов, которые сейчас выпускаются массово. Особенно в тех случаях, когда требуется получение высокой точности измерений в RTK (Real time kinematic) формате. Кроме того существующие в настоящее время портативные метеостанции [1-6] (таки как Uniel, Oregon Scientific, KESTREL, Bresser Weather Center, La Crosse, PCE FWS-20, МК-26 и другие) имеют недостаточно высокие точности измерений (температура-0,1°C, влажность воздуха 1%, атмосферное тиск- 1.5 hPa) и предназначены для измерения и прогноза погоды в домашних условиях. Кроме того существующие метеостанции являются специализированными с выдачей данных на дисплей и не имеют возможности передачи данных на приемник глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). В докладе рассмотрена возможность создания малогабаритной недорогой метеостанции для использования совместно с приемниками ГНСС, приведены результаты ее испытаний и верификации, а также показан пример использования для получения значений коэффициента преломления тропосферы необходимых для коррекции результатов измерений приемников ГНСС.

1. Схемы и конструкция комплекса

На рынке бытовой техники существует достаточно большой выбор устройств, позволяющих с той либо иной точностью проводить измерения параметров окружающей среды, таких как давление, температура и относительная влажность

воздуха. Однако задача, поставленная перед нами, предполагала создание устройства, сочетающего в себе набор параметров несколько необычный именно для бытовой техники. Это – способ получения информации о результатах измерения в виде потока цифровых данных, широкий диапазон рабочих температур, высокая точность и скорость измерений. Кроме того условия применения устройства накладывали дополнительные условия, такие как минимальный вес и габариты, низкое энергопотребление и сравнительно невысокая стоимость готового изделия.

Анализируя имеющиеся у нас возможности подбора комплектующих изделий для реализации такого измерительного устройства, мы остановили свой выбор на датчике ВМЕ280, который производится известной фирмой «Bosch Sensortec» (рис. 1).



Рис. 1. Измерительный датчик ВМЕ280

Этот уникальный датчик, объединяющий в себе датчики давления, влажности и температуры в одном корпусе, был разработан для поддержки широкого спектра высокопроизводительных решений в области навигации в помещениях, домашней автоматизации, персональных метеостанций. Функция точного измерения высоты, обеспечиваемая наличием высокоточного альтиметра, является ключевым требованием в таких приложениях как, например, навигация внутри помещений с отслеживанием этажа, где необходима исключительная точность, низкий температурный дрейф и высокое разрешение. Кроме того, ВМЕ280 имеет лучшее в своем классе время отклика в одну секунду для определения влажности, превосходно измеряет температуры окружающей среды и имеет низкое энергопотребление. Имея небольшие габаритные размеры $2,5 \times 2,5 \times 0,9$ мм и экономящий место LGA корпус, датчик ВМЕ280 обеспечивает высокую гибкость при проектировании и идеально подойдет для большого числа всевозможных приложений. Очень низкое потребление тока (всего около 3,5 мкА при напряжении питания от 1,71 В до 3,6 В и частоте опроса 1 Гц) делает ВМЕ280 идеальным датчиком для устройств с батарейным питанием. Основные технические характеристики датчика представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики датчика ВМЕ280

-Диапазон измеряемой относительной влажности:	от 0 до 100 % при температуре от -40 °С до +85 °С.
-Время отклика для измерения влажности:	1 с.
-Точность измерения влажности:	± 3 % относительной влажности
-Гистерезис:	≤ 2 % относительной влажности
-Диапазон измеряемого давления:	от 300 до 1100 гПа
-Точность абсолютного давления:	± 1 гПа
-Диапазон измеряемой температуры:	от -40 °С до +85 °С
-Точность абсолютной температуры:	$\pm 0,5$ °С при 25 °С

Датчик позволяет считывать результаты измерения с использованием интерфейса двух видов: I²C и SPI.

Немаловажным дополнительным аргументом в пользу выбора датчика BME280 является также его сравнительно невысокая стоимость, в пределах 10 \$.

Для считывания результатов измерений и записанных в памяти датчика калибровочных коэффициентов, участвующих в процедуре вычисления истинных значений относительной влажности, давления и температуры, а также передачи считанных значений в персональный компьютер (ПК) либо центральный процессор (ЦП), применяется микроконтроллер «АТmega 32А4U». Данный микроконтроллер представляет собой одну из последних моделей микроконтроллеров серии AVR фирмы «Analog devices», работающий с тактовой частотой до 32 МГц и имеющий в своём составе автомат по работе с периферийными устройствами с использованием интерфейсов I²C и SPI.

Обмен между контроллером и датчиком осуществляется с помощью двухпроводного интерфейса I²C (автомат TWI контроллера) с тактовой частотой 100 кГц. Связь контроллера с ПК осуществлялась на основе двухпроводного асинхронного интерфейса RS232 (автомат USART контроллера) со скоростью 9600 бит/с. (рис. 2) Скорость обмена была специально уменьшена для снижения влияния нестабильности тактового генератора контроллера в низких температурах и увеличения дальности связи.



Рис. 2. Общая схема потока данных

В данном случае контроллер выступал только в качестве ретранслятора данных с датчика на ПК, хотя его вычислительных возможностей достаточно для полной обработки показаний датчика. Это связано с тем, что объём исходных данных (до обработки с помощью калибровочных коэффициентов) существенно меньше конечных, и для контроллера сейчас они просто не нужны.

Для связи ПК с контроллером использовался специальный помехозащищённый протокол связи, позволяющий исключать повреждённые пакеты и предотвращать сбой потока данных при возможной кратковременной потере связи, сопровождаемой потерей отдельных битов или байтов.

Для работы с компьютерами, у которых отсутствует порт последовательной передачи данных с интерфейсом RS232, используется преобразователь интерфейсов «USB-COM».

Для работы оператора ПК с датчиком на языке программирования «Pascal» в среде «Delphi-7» для операционной системы «Windows» версий от XP до Windows-10 была написана программа работы «Control BME280» Внешний вид датчика (температуры, давления, влажности) и платы управления с микроконтроллером приведен на рис.3а. Для снижения негативного влияния низких температур на микроконтроллер плата с ним была помещена в оболочку, выполненную из нескольких слоев вспененного полиэтилена. Датчик, для предотвращения механических повреждений, помещался в металлическую коробочку, имеющую отверстие связи с внешней средой - рис.3б. Для сбора и отображения данных использовался нетбук фирмы Хьюлет-Паккард -3, аккумуляторы которого позволяли работать в автономном режиме не менее 12 часов.. С компьютером 4 комплекс связан через адаптер 4 обеспечивающий переход от RS- 232 к USB. Длина кабеля связи между платой управления 1 и адаптером 4 около 3м. Питание датчиков и платы управления осуществлялось от РС через USB выход. Таким

образом, в PC было задействовано 2 USB выхода: первый для хода информации от датчиков, второй для подачи питания.

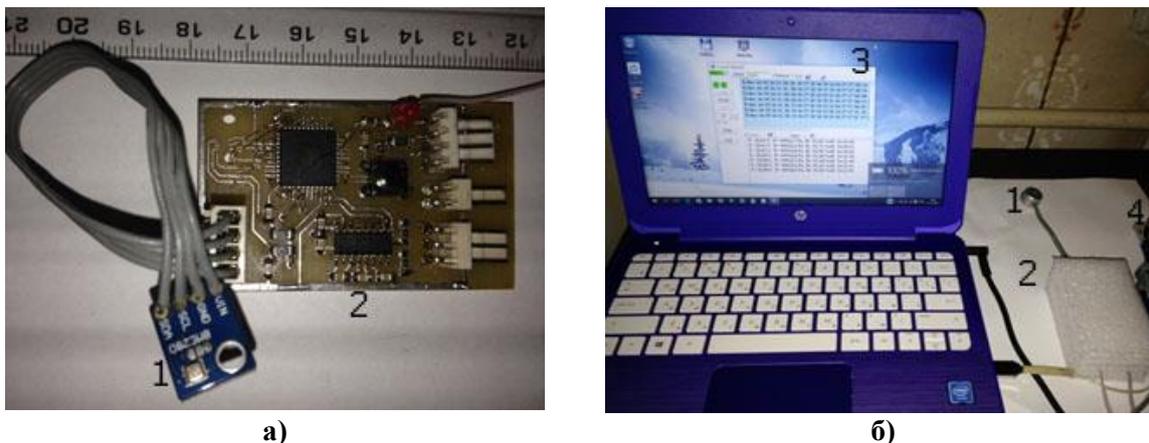


Рис. 3. Комплекс метеорологический KM-01: а- общий вид датчика и платы управления (1- метеодатчик, 2- плата с контролером управления); общий вид комплекса метеорологического KM-01 (б) (1- метеодатчик в корпусе; 2- контроллер с платой управления в термоупаковке; 3- PC отображения и хранения данных; 4- переход-адаптер от RS- 232 к USB)

2. Результаты предварительных испытаний

Испытания комплекса метеорологического производились с использованием камеры тепла-холода MC-71 Tabai и камеры влажности КРК-400 Пка – рис.5. Поскольку проведение испытаний планировалось в диапазоне температур от -60 до +70 град С , то была усилена термозащита платы управления с микроконтроллером. Она была дополнительно упакована в слой фольгоизола, который фиксировался скотчем - рис.4. В таком виде комплекс и использовался при проведении испытаний в камерах тепла-холода и влажности рис.5.

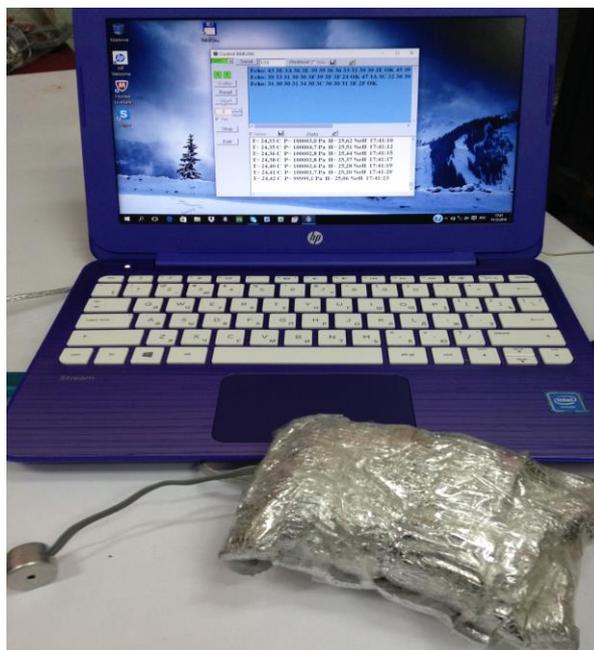


Рис. 4. Комплекс метеорологический с дополнительной термоизоляцией платы управления перед испытаниями в камере тепла-холода.

Комплекс размещался последовательно в испытательных камерах тепла-холода и влажности. Температура в камере тепла-холода изменялась с шагом 10^0 С дискретно через время около 10 минут при повышении температуры и более 10 минут при понижении температуры.

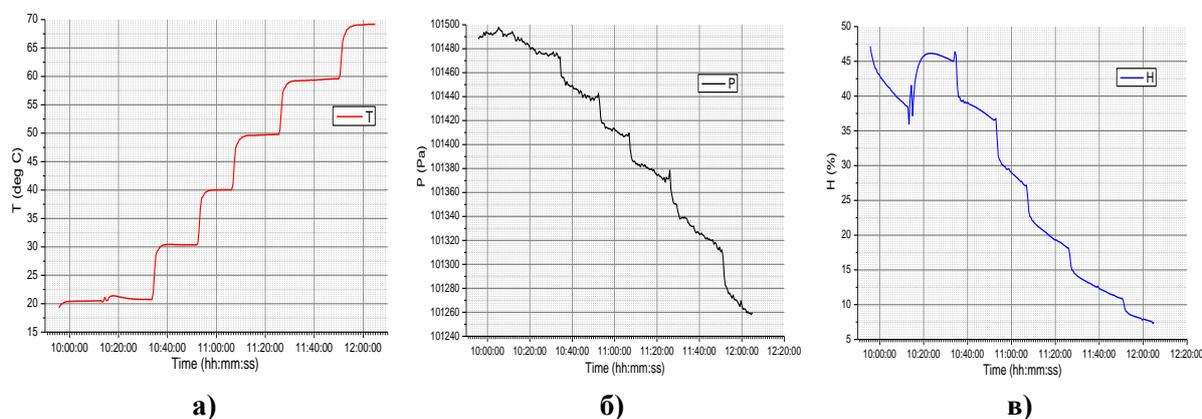


а)

б)

Рис. 5. Камеры тепла-холода MC-71 Tabai (а) и влажности RHR- 400 Шка – (б).

Происходящие при измерениях в камерах переходные процессы приведены на рис.6, 7. Следует отметить, что при ступенчатом изменении температуры от $+20^0$ С до примерно $+68^0$ С (рис.6) ожидаемо примерно на 220Па падает давление и на -40% влажность. Время переходного процесса по температуре, даже с учетом времени отработки камерой температурного режима, на перепаде температур $+10^0$ С не превышает 3 минут.



а)

б)

в)

Рис.6. Изменение температуры (а). давления (б). влажности (в) при изменении температурного режима в камере от $+20^0$ до $+68^0$

На рис. 7 показаны переходные процессы при плавном понижении температуры в камере от $+10^0$ С до -58^0 С.

Из приведенных данных видно, что при плавном понижении температуры от $+10^0$ С до -57^0 С происходит понижение в небольших пределах относительной влажности (менее чем на 15%) и давления-менее чем на 200Па. В то же время ступенчатое изменение температуры может приводить к существенно большим погрешностям в измерениях давления и влажности. На рис.7 показано изменение измеряемой температуры, давления и влажности при изменениях влажности в камере.

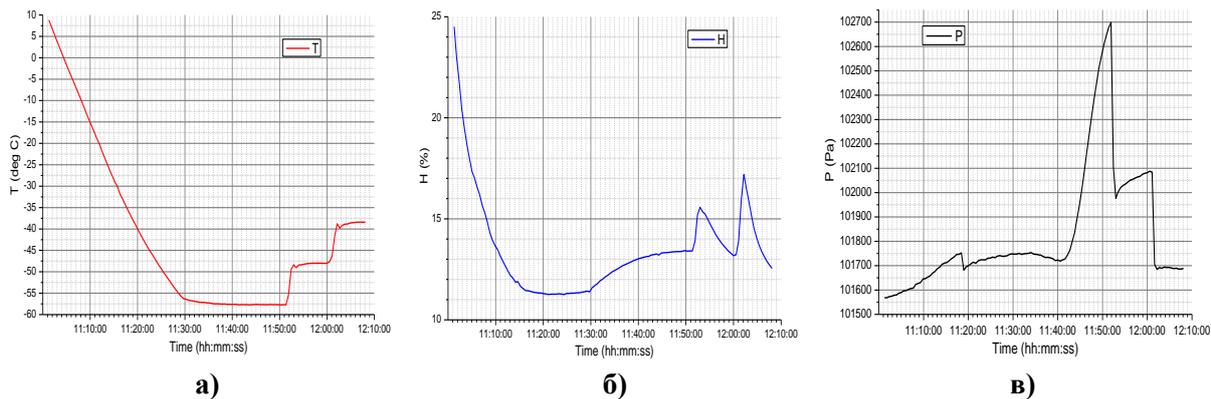


Рис.7. Переходные процессы при плавном снижении температуры и ступенчатом повышении ее: а- температуры; б- влажности; в- давления

На рис. 8 представлены результаты натурных испытаний метеостанции, проведенные на побережье Черного моря в г. Черноморск.

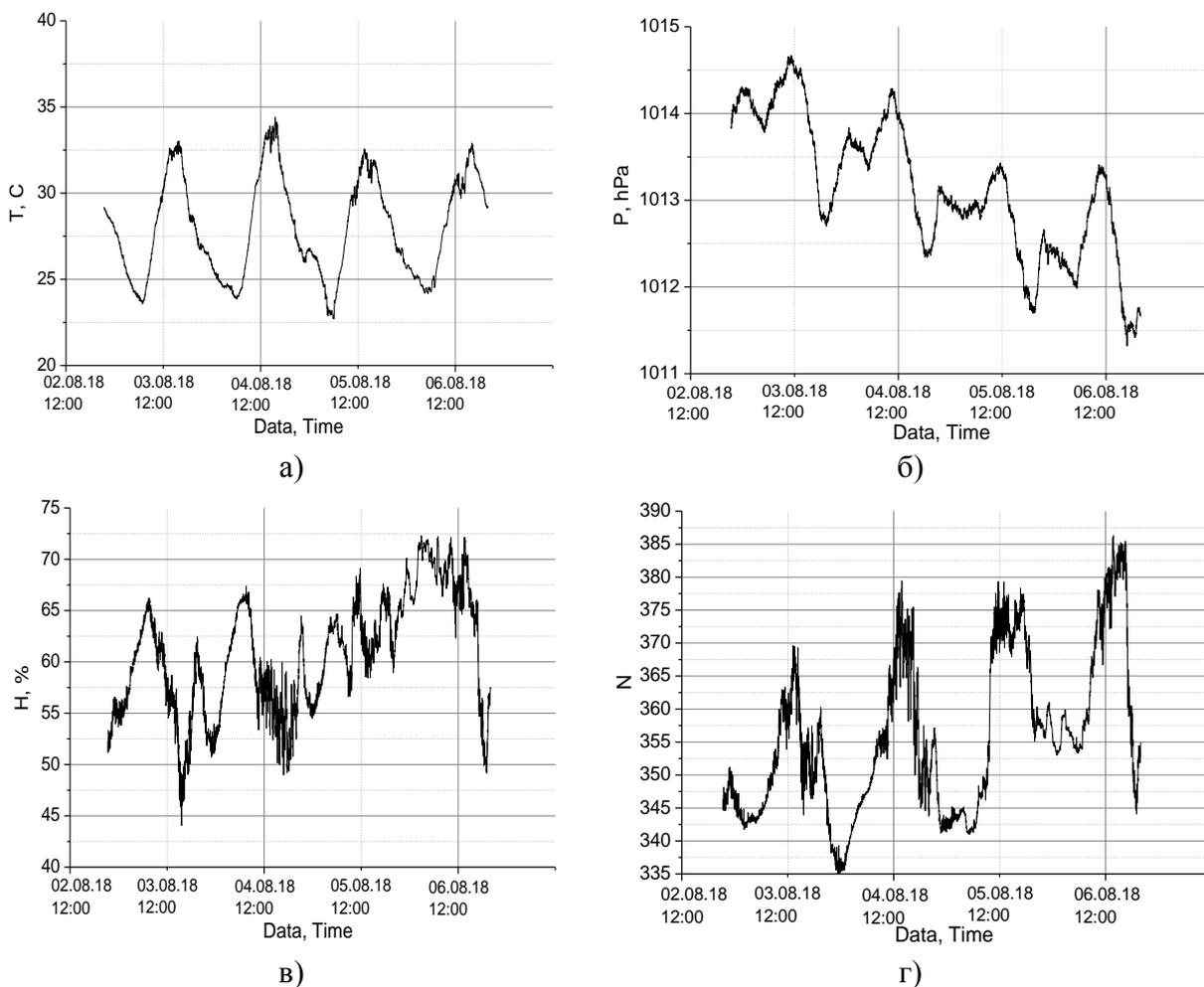


Рис.8 Суточные изменения температуры (а), давления (б), влажности (в) и коэффициента преломления (г) на северо-западном берегу Черного моря в г. Черноморске (Украина) 2...6 августа 2018г..

Метеопараметры пересчитаны в коэффициенты преломления (рис. 8г) и показывают, что реализуемые метеостанцией точности измерения достаточны для получения оценок коэффициента преломления тропосферы необходимых для введения поправок в приемную аппаратуру ГНСС.

Заключение

1. Разработанный и апробированный экземпляр комплекса метеорологического КМ-01 подтвердил свою работоспособность в диапазоне температур $-60^{\circ}\dots+70^{\circ}$ С, влажностей от 10% до 100% и возможность измерения температуры, давления и влажности в установившемся режиме с погрешностями, не превышающими требований ТЗ.

2. Во время переходных процессов погрешности измерения температуры, Давления, влажности могут существенно возрастать. Особенно при ступенчатом изменении параметра. При плавных изменениях температуры, давления, влажности погрешности существенно ниже. Это обстоятельство требует дополнительного исследования для отработки применения комплекса метеорологического на привязных или свободно запускаемых шарах-зондах.

3. Требуется дополнительных исследований и набора статистики погрешностей измерения параметров, как в установившемся режиме, так и переходных процессов на дополнительных образцах комплекса.

4. Требуется экспериментального уточнения ограничений на допустимое время работы комплекса при максимально низких и высоких температурах и влажностях для отработки методики его применения.

5. Необходимо проведение дополнительных исследований в барокамере влияния пониженных давлений на ошибки измерения, а также совокупности факторов (температуры, давления, влажности).

Литература

1. PCE FWS-20 автономная метеостанция / Электронный ресурс // <http://pragmatic.com.ua/pce-fws-20-avtonomnaya-metiostanciya.html>.
2. Комплекс метеорологический малый / Электронный ресурс // МК-26 <http://www.hydro-meteo.ru/doc/mmk.htm>
3. Oregon Scientific. Complete Home Weather Station with Color Screen WMR86NS/ Электронный ресурс // <https://store.oregonscientific.com/us/wmr86ns.html>
4. Метеостанция Kestrel 5700 Weather Meter 2016/ Электронный ресурс // <https://sportzone.com.ua/anemometr/meteostantsiya-kestrel-5800-weather-meter-2016>
5. Bresser Weather Center 5-in-1/ Электронный ресурс // <http://meteostantsiya.com.ua/meteostantsii/bresser-weather-center-5-in-1-detail>
6. La Crosse WS9251 IT-BLA-S Метеостанция/ Электронный ресурс // <http://meteostantsiya.com.ua/meteostantsii/la-crosse-ws9251-detail>