



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Факултет Електронна техника и технологии

Катедра Електронна техника

маг. инж. Диан Милчев Илиев

**ИЗСЛЕДВАНЕ, АНАЛИЗ И УСЪВЪРШЕНСТВАНЕ НА
СИСТЕМИ ЗА РЕГИСТРИРАНЕ И НАТРУПВАНЕ НА
ДАНИИ ПРИ ИЗМЕРВАНИЯ ПАРАМЕТРИ НА
ОКОЛНАТА СРЕДА**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.2 Електротехника, електроника и автоматика

Научна специалност: Електронизация

**Научни ръководители: доц. д-р инж. Емил Николов Димитров
доц. д-р инж. Митьо Георгиев Митев**

СОФИЯ, 2020 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Електронна техника“ към Факултет Електронна техника и технологии на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 13.01.2020 г..

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 11.05.2020 г. от 13.00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.2-21/ 24.01.2020 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. чл.-кор. проф. дтн инж. Георги Михов – председател
2. доц. д-р инж. Митьо Митев – научен секретар
3. проф. д-р инж. Никола Колев
4. проф. д-р инж. Стефан Табаков
5. доц. д-р Людмил Цанков

Рецензенти:

1. чл.-кор. проф. дтн инж. Георги Михов
2. проф. д-р инж. Никола Колев

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на факултет Електронна техника и технологии на ТУ-София, блок 1, кабинет № 1355.

Дисертантът е задочен докторант към катедра „Електронна техника“ на факултет Електронна техника и технологии. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Диан Илиев

Заглавие: Изследване, анализ и усъвършенстване на системи за регистриране и натрупване на данни при измервания параметри на околната среда

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

С цел изучаване на измененията на климата в глобален мащаб, нараства нуждата от проследяването на все по-голямо количество параметри, на все повече и по-трудно достъпни места по света. Това е от особено значение за изследване последиците от човешкото въздействие върху околната среда.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е изследване, анализ и усъвършенстване на методи, схемни решения и апаратури за измерване параметри на околната среда в необслужваеми зони и при екстремни условия, които допускат използване в реално време.

За постигането на тази цел, са формулирани следните задачи:

1. Изследване възможностите на сензори за налягане, влажност и температура и оптимизиране на схемните решения и процедури за обработка на данните с оглед понижаване на консумацията, подобряване на точността и обезпечаване надеждната работа на системата.
2. Проучване и изследване на нови възможности за дълговременно измерване на параметрите на вятъра при екстремни условия.
3. Създаване на методология и апаратура за дълговременно регистриране на основни параметри на околната среда в екстремни условия и с възможност за работа в реално време.
4. Проучване и анализ на възможностите за използване на техниките и методите на експертните системи при изграждането на адаптивни самоподдържащи се устройства.

Научна новост

Предложено е оригинално решение на система за измерване параметрите на вятъра при работа в екстремни условия, базирано на тензометрични сензори. Изследвани са теоретичните принципи, влиянието на параметрите на околната среда и е извършен анализ на характеристиките на предложеното решение.

Предложени и експериментирани са модели на адаптивни алгоритми за управление на работните режими, за управление темпа на натрупване на данни при дълговременни измервания, за самодиагностика и управление на грешките, които позволяват ефективно управление на системата.

Практическа приложимост

Разработени са схемни и програмни средства за регистриране параметрите на околната среда в екстремни условия, с възможност за динамична промяна на режима от работа в реално време към дълговременни измервания и обратно.

Създадената адаптивна измервателна система за климатични елементи е намерила добър прием в българската изследователска станция в Антарктида. Този комплекс може да се използва и в земеделието и околната среда за оценка на микроклимата с цел прецизно управление на технологичните процеси в селскостопанското поле.

Предложените електронна структура на метеорологична система и методики на изследване, както и подходите при метеорологичните изследвания могат да се използват за обучение на студентите по електроника в техническите университети.

Апробация

Изследванията по дисертацията са проведени в лабораториите на катедра Електронна техника на ТУ-София и представени на международни конференции.

Резултатите от изследванията и разработените средства са намерили приложение в научноизследователски проект по договор И02/11/2014 между Националния фонд "Научни изследвания" и Българска академия на науките – Национален институт по геофизика, геодезия и география, на тема „Създаване на информационна база за изследване на сеизмичността и структурата на о. Ливингстън и околностите чрез провеждане на комплексни проучвания в района на Българската антарктическа база“, София 2014.

Публикации

Основните постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в международни издания. Общият брой на статиите е седем, от които две самостоятелни. Четири от статиите са индексирани в Scopus.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 124 страници, като включва увод, 4 глави за решаване на формулираните основни задачи, заключение, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 103 литературни източника, като 100 са на латиница и 3 на кирилица. Работата включва общо 43 фигури и 2 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. Системи за измерване физични параметри на околната среда

Разгледани са основните типове сензори и методи за измерване на температура, налягане, влажност, осветеност, скорост и посока на вятъра като част от метеорологични системи. Посочени са техните предимства и недостатъци.

От направения преглед и анализ на методите и средствата за измерване параметрите на околната среда могат да се направят следните по-важни изводи:

1. Съществува голямо разнообразие от автоматични метеорологични станции с прецизни сензори за измерване основните параметри на околната среда. Повечето изискват обезпечаване с мрежово захранване и не допускат включването на допълнителен набор от сензори. Обикновено цената им е твърде висока.
2. Достъпни са сравнително евтини прибори позволяващи дълговременни измервания на различни параметри на околната среда при захранване от автономен източник. Точността на провежданите измервания обаче е ниска, а получените данни много често са повлияни от други съпътстващи параметри.
3. Разгледаните методи за измерване скоростта и посоката на вятъра се оказват практически неприложими, когато става дума за дълговременни измервания в необслужваеми зони и при екстремни условия.
4. При повечето прибори остава открит въпросът с въвеждането на коригиращите коефициенти след провеждане на калибровка с цел привързване на скалите им.
5. Изключителна актуалност придобива въпросът за дълговременно измерване и регистриране на нестандартни параметри на околната среда, отразяващи въздействието на човешката дейност в отдалечени райони. Добавянето на нестандартни сензори към съществуващите измервателни системи е силно затруднено поради затворения характер на системите.

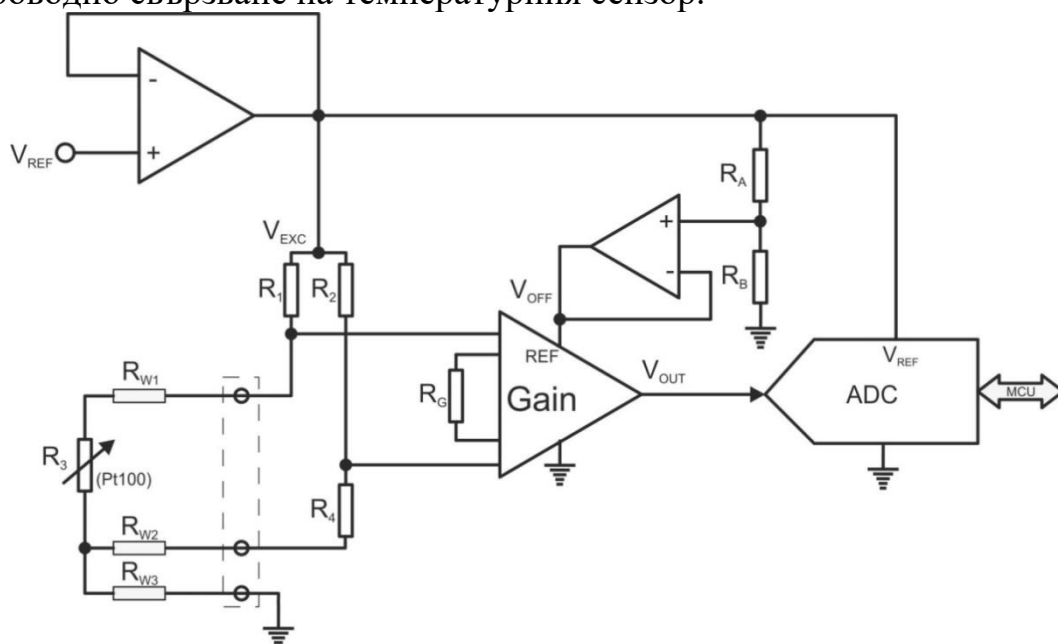
ГЛАВА 2. Измерване на метеорологични параметри

2.1 Измерване на температура с Pt100

2.1.1 Измервателен преобразувател

Измерването на температурата с помощта на платинен терморезистор се свежда до измерването на съпротивлението на сензора, за което има множество разработени схеми. Основен проблем при изграждането на такива схеми е температурната зависимост на свързващите проводници. За неутрализиране на тяхното влияние се използват трипроводни и четирипроводни схеми на свързване. Четирипроводните схеми на свързване имат предимство при измерване в по-широк температурен диапазон, докато трипроводните са по-подходящи за измерване в по-тесен диапазон.

Поради това, тук ще разгледаме само схема на трипроводно свързване. На фигура 1-1 е представена схемата на измервателния преобразувател с трипроводно свързване на температурния сензор.



фигура 1-1 – Схема за снемане на сигнал от Pt100

На фигурата всеки проводник е представен чрез съответстващото му съпротивление R_{W1} , R_{W2} и R_{W3} . Ако R_{W1} и R_{W2} са равни, както и токовете през тях, напрежителните падове върху тях ще се компенсират, защото са приложени в противоположни посоки на измервателния контур.

Използването на мостова схема за свързването на сензора дава възможност да се реши един съществен проблем на аналоговите измервателни схеми – нестабилността на опорното напрежение за аналогово-цифровия преобразувател.

Предавателната характеристика на резистивния мост от фигура 1-1 се дефинира, както следва:

$$(2-1) \quad V_O = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \times V_{EXC} - \frac{R_4}{R_2 + R_4} \times V_{EXC} = \left(\frac{R_2 \times R_3 - R_1 \times R_4}{(R_1 + R_3) \times (R_2 + R_4)} \right) \times V_{EXC}$$

Където V_{EXC} е захранването на моста, а V_O е изходното напрежение на моста. Последното се подава на входа на диференциален усилвател. При такъв тип измервания трябва да се обърне специално внимание на използваните усилватели.

Ако означим отношенията на съпротивленията в скобите от уравнение (2-1) с K_R , а коефициента на усилване на диференциалния усилвател с K_A , за изходното напрежение на усилвателя получаваме:

$$(2-2) \quad V_{OUT} = V_{EXC} \times K_R \times K_A + V_{OFF}$$

Напрежението V_{OFF} е офсетното напрежение с което е повдигнато изходното ниво на усилвателя. Повдигането на изходното ниво се налага поради характера на входящия сигнал, който може да приема както положителни така и отрицателни стойности. Удобно е то да бъде получено от захранването на моста чрез делител, от където следва:

$$(2-3) \quad V_{\text{OFF}} = V_{\text{EXC}} \times \frac{R_B}{R_B + R_A} = V_{\text{EXC}} \times K_{\text{OFF}}$$

Където K_{OFF} е коефициента на делителя.

Напрежението V_{OUT} се явява входящо за аналогово-цифровия преобразувател, който го преобразува в число N . Това число е свързано с входното напрежение чрез следната зависимост:

$$(2-4) \quad N = \frac{V_{\text{IN}}}{V_{\text{REF}}} (2^n - 1)$$

Където:

- V_{IN} е входното напрежение на АЦП
- V_{REF} е опорното напрежение на АЦП
- n е разрядността на АЦП

От където за разглеждания пример на фигура 1- и при условията по-горе, за N получаваме:

$$(2-5) \quad N = \left(\frac{V_{\text{EXC}} \times K_R \times K_A}{V_{\text{REF}}} + \frac{V_{\text{EXC}} \times K_{\text{OFF}}}{V_{\text{REF}}} \right) (2^n - 1)$$

Ако напрежението, с което се захранва моста е и опорно за АЦП, то получаваме:

$$(2-6) \quad N = (K_R \times K_A + K_{\text{OFF}})(2^n - 1)$$

От полученото следва, че при такава конфигурация резултатът от преобразуването не зависи от опорното напрежение на АЦП и няма да се влияе от неговата нестабилност.

Като допълнение към горното, при изграждането на измервателния преобразувател се вземат предвид и изискванията за бързодействие и ниска консумация. Токът през платинения терморезистор също така е и основен източник на грешка причинена от самонагриване. Съгласно закона на Джаул-Ленц, отделеното количество топлина в даден проводник е произведението от квадрата на тока, съпротивлението на проводника и времето за протичане на тока:

$$(2-7) \quad Q = I^2 R t$$

Мостовата схема дава възможност да се подобрят и тези характеристики, ограничавайки тока през измервателния мост чрез подходящ подбор на стойностите на R_1 и R_2 . Ограничаването на времето за работа на схемата допълнително спомага за подобряване на тези характеристики.

2.1.2 Определяне на калибрационна характеристика

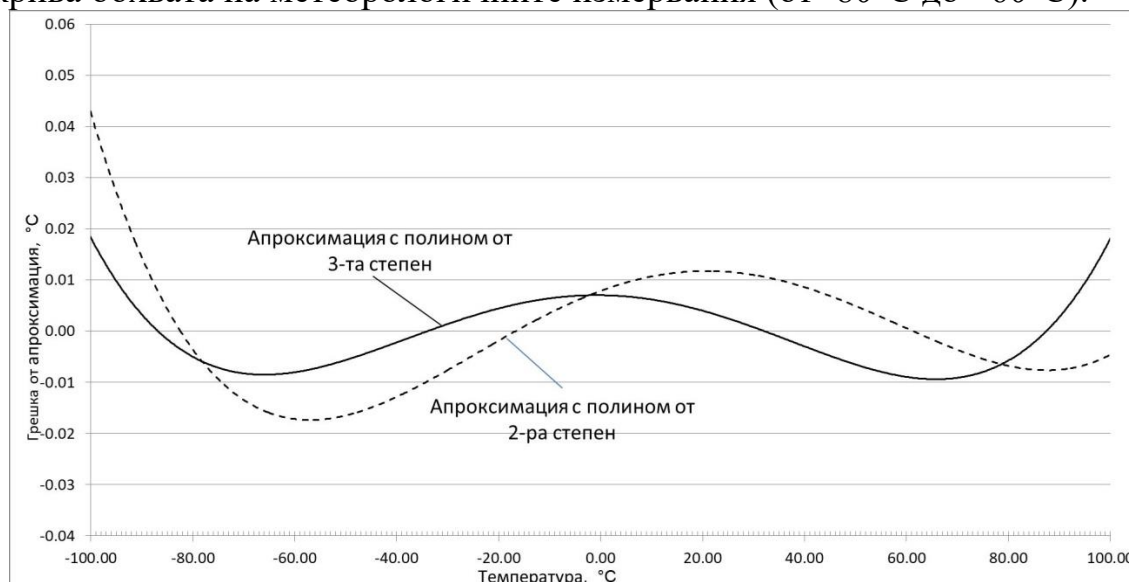
Платинените терморезистори позволяват да се постигне по-висока точност на измерване в сравнение с термодвойките и полупроводниковите сензори. Същността на този тип сензори налага прилагане на калибровъчна процедура за определяне характеристиката на преобразуване на измервателния канал.

Първата част от този процес включва теоретичното определяне на зависимостта на съпротивлението на сензора от температурата му – $t_{\text{Pt100}} = f(R_{\text{Pt100}})$. За тази цел се придържаме към стандарта, който предоставя в табличен или аналитичен вид зависимостта $R_{\text{Pt100}} = f(t_{\text{Pt100}})$. Чрез апроксимация (или друг аналитичен метод) се извежда необходимата за

калибрирането обратна функция. За температури под 0°C стандартът препоръчва използване на полином от 3-та степен, а за температури над 0°C – полином от 2-ра степен.

От практическа гледна точка е по-удобно използването на един полином за целия обхват, но трябва да се има предвид, че това води до увеличаване на грешката от апроксимация на реалната характеристика на сензора. Колкото по-тесен е температурният обхват, толкова по-малка е тази грешка. Добре е тя да бъде оценена според конкретния случай. Ако грешката не надхвърля зададена стойност, за опростяване може цялата характеристика да се апроксимира с един полином от по-ниска степен.

За да се оцени ефективността на апроксимацията с полиноми от различни степени се извършва преизчисляване на температурата по табличните стойности на съпротивленията съответно чрез полином от 2-ра и от 3-та степен. На фигура 2-2 е показана грешката от апроксимация на характеристиката $t_{Pt100} = f(R_{Pt100})$, съответно с полином от 2-ра и 3-та степен за температурен интервал от -100°C до $+100^{\circ}\text{C}$. Обхватът е избран така, че да покрива обхвата на метеорологичните измервания (от -80°C до $+60^{\circ}\text{C}$).



фигура 2-2 – Грешка от апроксимация на характеристиката на Pt100

От графиката можем да заключим, че за избрания температурен диапазон няма съществени разлики между апроксимирането с полином от 2-ра и от 3-та степен. И в двата случая грешката от апроксимация е незначителна спрямо други фактори ограничаващи точността на измерването. Като заключение избираме апроксимиращ полином от 2-ра степен за целия обхват.

Калибрирането продължава, като на входа на измервателния канал се задават m на брой стойности R на съпротивления от измервателния обхват посредством еталонни резистори. Отчитат се n на брой показания на АЦП. Чрез вече избрания апроксимиращ полином се определят съответстващите температури на зададените съпротивления R . От получените точки се построява предавателната характеристика на измервателния канал – $t_{Pt100} = f(N_{ADC})$.

Чрез намиране на зависимостта $t_{Pt100} = f(N_{ADC})$ се отстраняват и грешки, присъщи на аналоговата измервателна система като: постояннотоково отместване, нелинейност на предавателната характеристика на измервателният мост, нелинейност на АЦП и др.

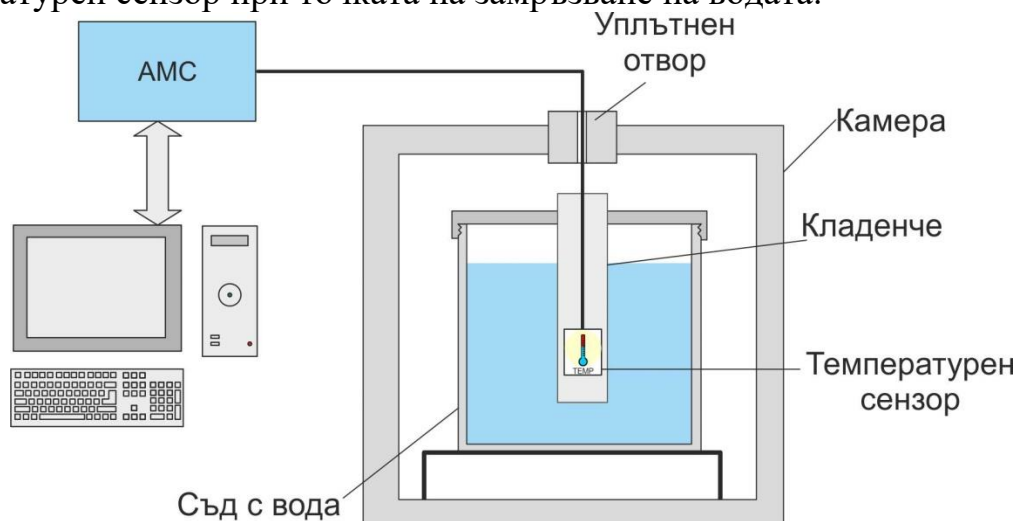
2.1.3 Калибриране по точка на замръзване на водата

Съгласно стандарта, толерансите на платинените сензори клас В са $\pm(0,3^{\circ}\text{C}+0,005|t|)$. Това означава, че при измерване на температура 50°C , неточността, дължаща се на сензора, може да достигне $0,55^{\circ}\text{C}$. Ако се направи калибриране в една контролна точка от измервателния обхват (например в 0°C), това би отстранило началната неточност на сензора от $0,3^{\circ}\text{C}$, а резултатът ще доведе до двойно намаляване на грешката в измервателния обхват.

За тази цел се извършват измервания в контролни точки с предварително известни температури. Най-удобни контролни точки са температурите на фазовите преходи и тройните точки на кристалните вещества, тъй като те са добре известни и остават постоянни по време на целия преход.

Международната система единици (SI) определя мащаба и единица за термодинамична температура с помощта на температура на тройната точка на водата като втора отправна точка. По исторически причини температура на тройната точка на водата се определя на $273,16\text{ K}$ или $0,01^{\circ}\text{C}$ при $611,657\text{ Pa}$. Постигането на толкова ниско налягане, без специална апаратура, е относително трудна задача. Значително по-лесно е измерването на температурата на замръзване на водата, която е определена като вторична контролна точка от ITS-90. Тя е определена на $273,15\text{ K}$ при стандартно атмосферно налягане ($101,325\text{ kPa}$). Удобството в случая се състои в това, че зависимостта ѝ от налягането е много слаба – от $611,657\text{ Pa}$ до $101,325\text{ kPa}$ температурата на замръзване се изменя със само $0,01\text{ K}$.

На фигура 2-4 е показана разработената постановка за калибриране на температурен сензор при точката на замръзване на водата.

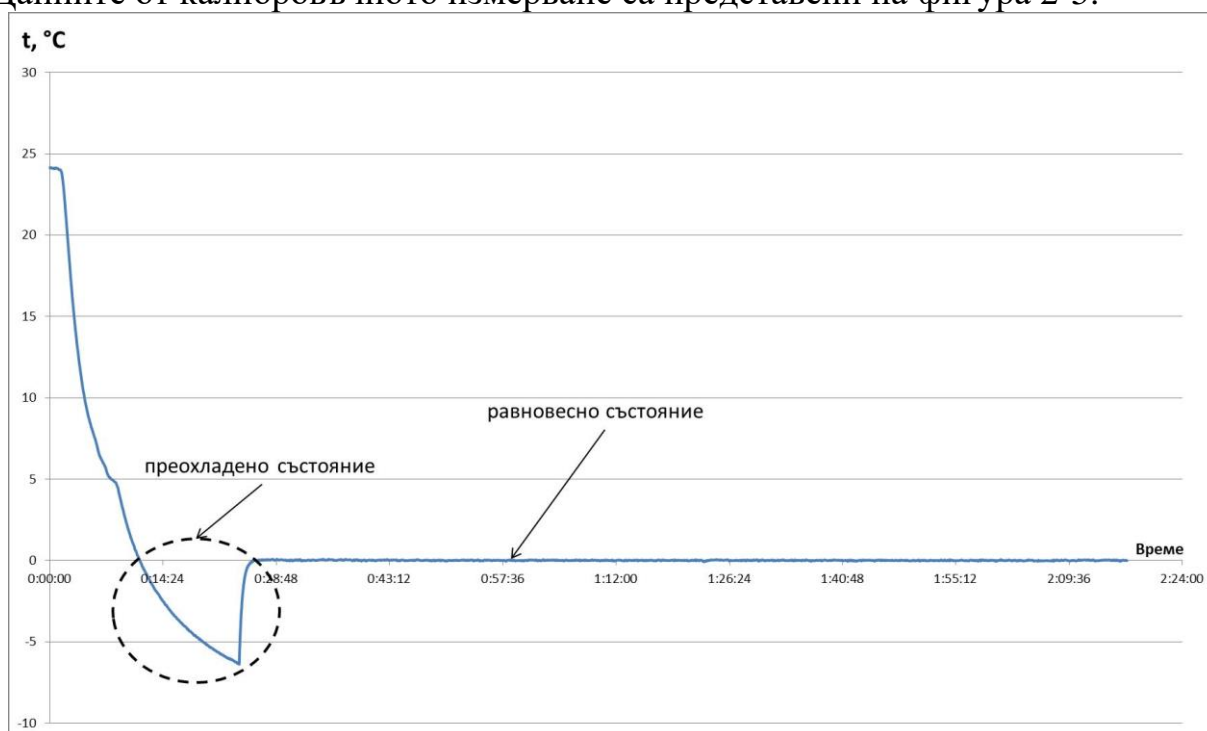


фигура 2-4 – Опитна постановка за калибриране при точката на замръзване на водата

Опитната постановка представлява температурна камера с възможност за поддържане на отрицателна температура. В нея е поставен херметически затворен съд с дестилирана вода, в която е потопен температурният сензор.

Температурата на водата преди поставянето ѝ в камерата е около 24°C. Започва равномерно охлаждане, което зависи от температурата в камерата, количеството вода, топлообменните свойства на съда и т.н. Характерно за процеса е, че температурата на водата пада под 0°C преди да започне да замръзва – водата е в преохладено състояние. При достигане на температурата на фазовия преход в обема на съда започват да се формират кристализационни центрове. Температурата се установява в равновесно състояние до заледяване на целия обем вода, след което при по-нататъшно охлаждане температурата на леда започва да се понижава.

Данните от калибровъчното измерване са представени на фигура 2-5.



фигура 2-5 – Резултати от калибрирането на Pt100

Температурата по време на процеса е изключително стабилна и чрез нея се определя началната неточност на температурния сензор. Отчетената неточност се залага като коефициент на корекция за конкретния температурен сензор.

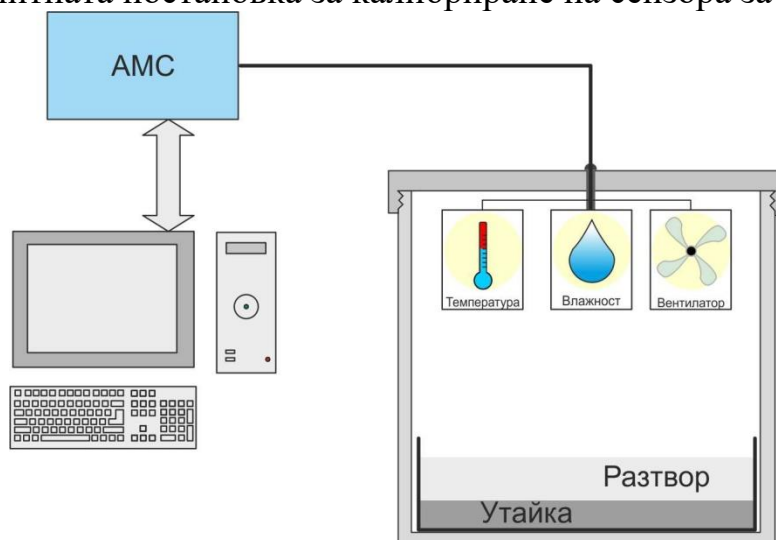
В заключение може да се отбележи, че описаният метод е относително лесен за прилагане и изключително надежден. Резултатът от направената калибровка е подобряване на точността на сензора с 0,19 °C.

2.3 Измерване влажност на въздуха със сензор HDC1080

HDC1080 е интегриран цифров сензор за относителна влажност с разделителна способност от 0,1%, 14 разряден АЦП и точност от $\pm 4\%$ за целия измервателен диапазон от 0% до 100% при работна температура от -20°C до +85°C.

Съгласно предоставената от производителя характеристика за измервателния диапазон от 20% до 60% неточността е $\pm 2\%$, за диапазон от 0% до 20% тя достига до $\pm 3\%$, а за диапазон от 60% до 100% достига $\pm 4\%$. Калибровъчната функция на сензора е предоставена от производителя, но за подобряване на характеристиките сензорът може да бъде калибриран по контролна точка, с което да се отстрани началната неточност и тази породена от ефектите на стареене на полимера.

Методът за калибриране на влажността се основава на факта, че изолирани от околната среда обеми въздух и наситени разтвори на соли постигат равновесие при точно дефинирана стойност на относителната влажност при зададена температура (контролна точка). На фигура 2-7 е показана схематично опитната постановка за калибриране на сензора за влажност.



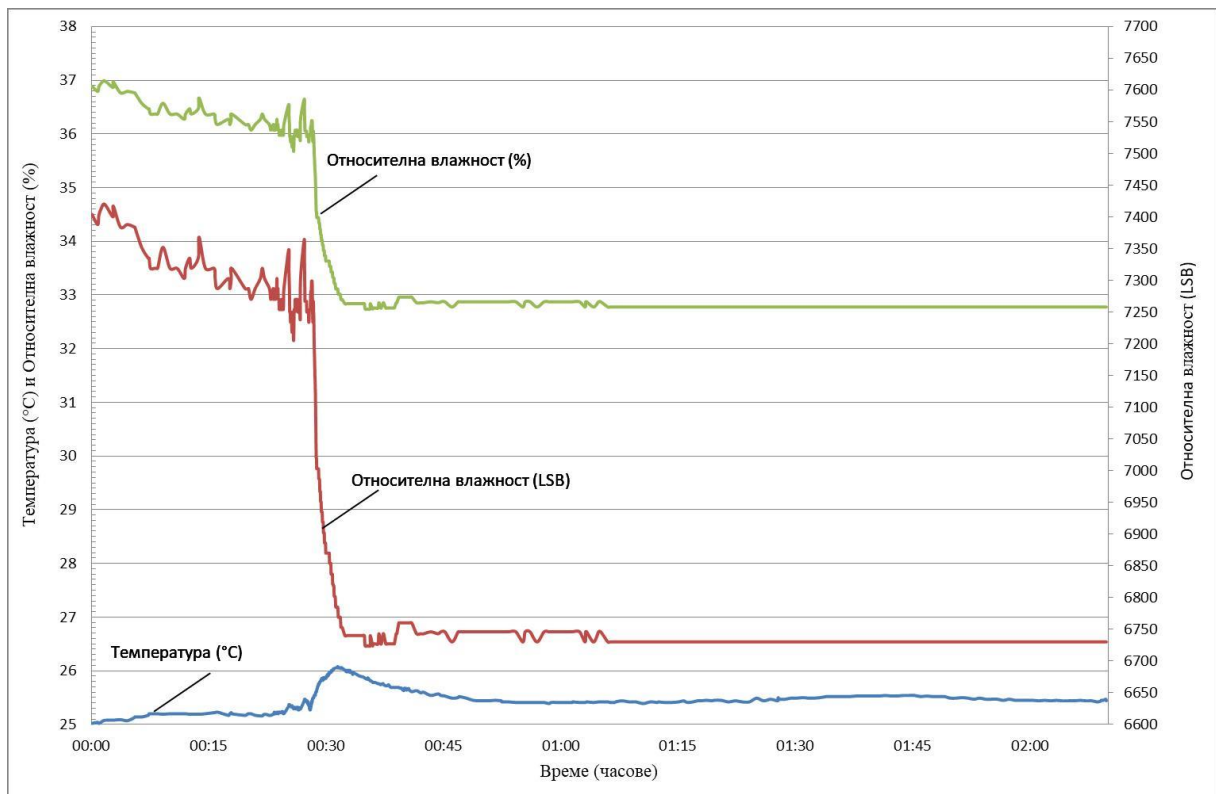
фигура 2-7 – Опитна постановка за калибриране на сензор за влажност

Стойността на контролната точка зависи силно от вида на солите и температурата при която се достига равновесното състояние на системата. Много подходящ за целта е магнезиевият хлорид (MgCl_2), чиято равновесна влажност е $32,8 \pm 0,2 \%$ при температура от 25°C).

Постановката най-общо представлява херметически затворена и изолирана от околната среда камера, с уплътнен отвор за кабелите. В нея е поставен съд с наситен разтвор на магнезиев хлорид, сензора за влажност и контролен термометър. Поставен е и малък вентилатор, който да подпомогне хомогенизирането на затворения въздух.

На фигура 2-8 са показани резултатите от калибрирането на сензора – стойностите получени от АЦП на дясната ос, а температурата и преизчислената стойност на относителната влажност, с включен коригиращ коефициент, са на лявата ос. Температурата по време на експеримента е поддържана между 25°C и 26°C . Равновесното състояние е достигнато при показание на АЦП от 6730 бита.

За привързване на показанията на сензора с контролната точка е използвана характеристиката предоставена от производителя, където по обратен ред е изчислен необходимият калибровъчен коефициент $K_h = -1360 \text{ LSB}$.



фигура 2-8 – Резултати от калибрирането на сензора за влажност

2.4 Измерване на атмосферно налягане с BMP180

BMP180 е цифров сензор за атмосферно налягане от пиезо-резистивен тип с резолюция от 0,01 hPa. Максималната грешка за целия измервателен диапазон от 300 до 1100 hPa, при работни температури от -20°C до 65°C , е $\pm 6,0$ hPa.

Калибрирането на сензор за налягане изисква използване на скъпа и сложна апаратура, което предвид целта на използване и оставащата неточност на сензора, е неоправдано. Вместо това би било по-подходящо използването на по-прост метод за калибриране, който значително да намали първоначалната грешка, макар и да не я премахва напълно. За целта е удобно да се използват фиксирани точки от равновесните криви на кристални вещества, като например температурата на кипене на водата.

Температурата на кипене на водата зависи силно от налягането. Това предлага възможност за калибриране на сензора за налягане посредством измерване на температурата на кипене на водата при атмосферно налягане. За да установим налягането на кипене на водата при конкретна температура използваме уравнението на Клепейрон-Клаузиус:

$$(2-12) \quad \frac{dP}{dT} = \frac{L}{T\Delta v}$$

Където L е специфичната топлина на изпарение, T е температурата, P е налягането, а Δv е промяната в специфичния обем по време на фазовия преход.

При температури и налягане много по-ниски от критичната температура на веществото (критичната температура на водата е 373,946°C при налягане от 22,064 MPa), може да се приеме че:

- Специфичният обем на газовата фаза е значително по-голям от този на течната ($v_g \gg v_c$)
- Газовата фаза може да се разглежда като идеален газ ($v_g = RT/P$)

Следователно:

$$(2-13) \quad \Delta v = v_g \left(1 - \frac{v_c}{v_g} \right) \approx v_g = \frac{RT}{P}$$

От където при заместване в (2-12) и преобразуване получаваме:

$$(2-14) \quad \frac{dP}{dT} = \frac{PL}{T^2 R} \rightarrow \frac{dP}{P} = \frac{L}{R} \frac{dT}{T^2}$$

Ако приемем че за малки температурни интервали специфичната топлина на изпарение е константа, тогава интегрирането на (2-14) следва да бъде:

$$(2-15) \quad \int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{P} = \frac{L}{R} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T^2} \rightarrow \ln \frac{P_2}{P_1} \cong \frac{L}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

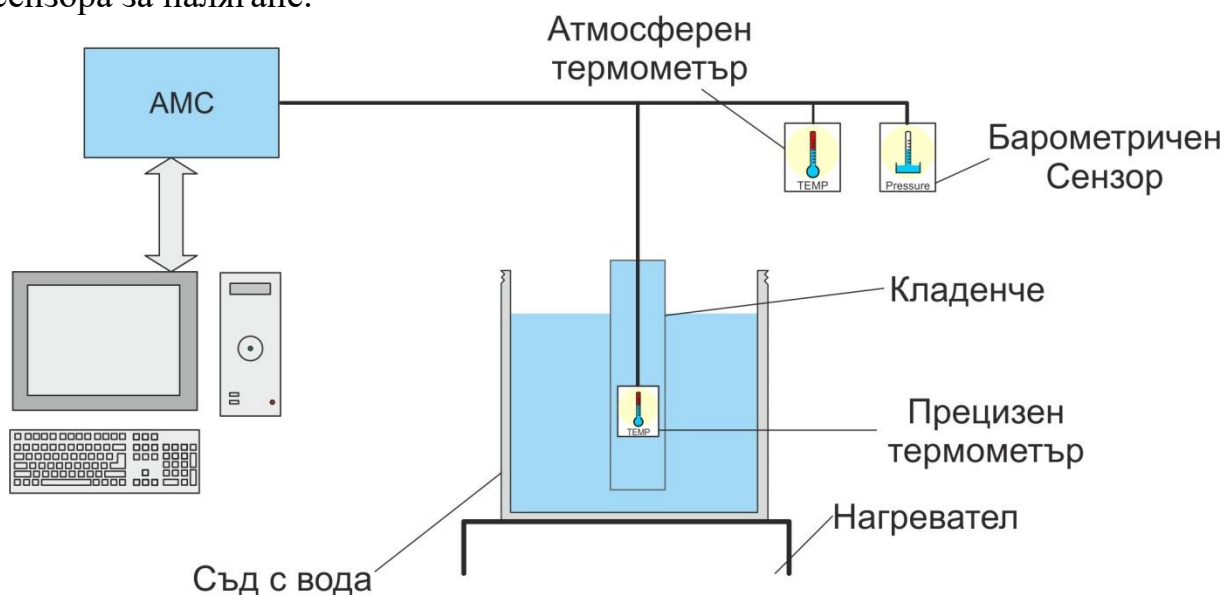
От където можем да определим налягането на кипене на водата при дадена температура както следва:

$$(2-16) \quad P_1 = \frac{P_2}{e^{\frac{L}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}}$$

Където:

- Специфичната топлина на изпарение е $L = 40660 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Универсалната газова константа е $R = 8,314472 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Нормалното налягане $P_2 = 1013,25 \text{ hPa}$
- Температурата на кипене на водата при P_2 е $T_2 = 100^\circ\text{C}$
- Температурата при извършване на експеримента е $T_1, ^\circ\text{C}$

На фигура 2-9 е показана схематично опитната постановка за калибриране на сензора за налягане.



фигура 2-9 – Опитна постановка за калибриране на сензор за налягане

Опитната постановка най-общо представлява отворен съд с дестилирана вода, която се нагрява от нагревател. В него е поставен прецизен термометър

за измерване на температурата на кипене на водата, който е свързан към измервателна система. Барометричният сензор се оставя свободно към атмосферния въздух, така че да не се влияе от температурата на нагревателя. Към системата е включен още и термометър за измерване на атмосферната температура, поставен в непосредствена близост до барометричния сензор. Данните от този термометър се използват за температурна компенсация на барометричния сензор.

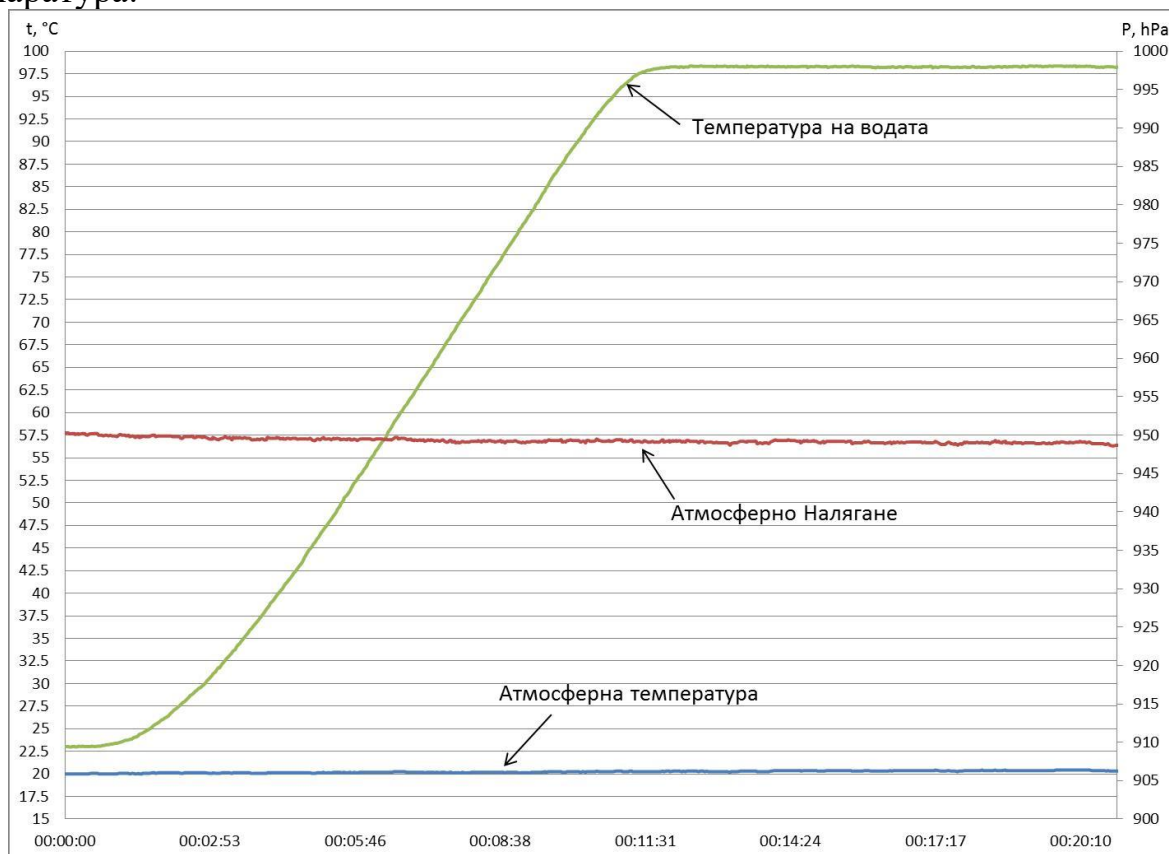
Водата в съда се нагрява от стайна температура до кипване. Когато се достигне температурата на кипене на водата, данните от сензорите се снемат и се извършват съответните преобразувания.

Отчетената температура при извършване на експеримента е $T_1 = 98,28^\circ\text{C}$. При решаване на (2-16), за атмосферно налягане при експерименталните условия получаваме $P_1 = 953,48 \text{ hPa}$.

Данните от калибровъчното измерване са представени на фигура 2-10.

Отчетеното налягане по време на експеримента е $P_1 = 949,1 \text{ hPa}$, което предполага използването на коригиращ коефициент $K_P = 4,38 \text{ hPa}$.

От уравнението се вижда, че резултатът е в много силна зависимост от температурата, което предполага внасянето на грешка в зависимост от точността на използвания термометър. Така при измерване на температурата с грешка от $\pm 0,05^\circ\text{C}$, грешката за отчетеното налягане ще е $\pm 1,7 \text{ hPa}$. Този резултат е значително подобрене на началната грешка на сензора, а предложеният метод е изключително прост и не изисква специализирана апаратура.



фигура 2-10 – Резултати от калибрирането на BMP180

ГЛАВА 3. Измерване параметрите на вятъра

2.1 Аеродинамични сили

За целите на изследването можем да разглеждаме вятъра като вискозен флуид обтичащ неподвижно твърдо тяло с определена скорост и посока. Следователно флуидът ще въздейства на тялото с аеродинамична сила, чиято големина зависи от формата на тялото и скоростта на флуида.

При подбор на подходяща форма на тялото може да се елиминира появата на подемна сила, оставяйки тялото на влиянието единствено на челното съпротивление. Ако тялото е в състояние да измери тези сили, то ще можем да определим еднозначно скоростта и посоката на вятъра.

За целите на изследването можем да разгледаме вятъра като турбулентен поток, а силата върху тялото ще се определи от уравнението за аеродинамичния натиск:

$$(3-2) \quad \vec{F} = \frac{1}{2} C_p S \vec{v}^2$$

Където:

- ρ – е плътността на въздуха;
- S – площта от напречната проекция на тялото.
- C – коефициент на челното аеродинамично съпротивление;
- v – скоростта на обекта спрямо флуида.

Другите сили на съпротивление при движение, като например повърхностното триене, ще са значително по-малки и могат да се пренебрегнат. Следователно с преобразуване на уравнение (3-2), получаваме израз за скоростта на флуида като функция от силата на натиск:

$$(3-3) \quad \vec{v} = \sqrt{\frac{2\vec{F}}{C_p S}}$$

Коефициентът на челното аеродинамично съпротивление (C) е безразмерна величина и зависи от формата на конструкцията и обтекаемостта на тялото. Ако конструкцията на измервателния уред е такава че C и S са еднакви от всички посоки на обтичане, това би позволило те да бъдат определени много прецизно и разглеждани като калибрационни константи.

3.1.1 Конструктивни особености

Удобни за измерване на аеродинамичните сили са тензорезисторите. Относително високото ниво на изходния сигнал и възможност за конфигуриране в мостова схема, предимствата на която бяха разгледани по-рано, дава възможност за конструирането на сензор с двуменционна измервателна скала и относително ниска консумация. Допълнително предимство е, че този тип сензори са широко разпространени в индустрията като т. нар. товарни клетки. Те са евтини, имат висок клас на защита, конфигурирани са в схема на пълен мост, с много близки параметри, широк работен температурен диапазон и разнообразна гама от обхват и форми.

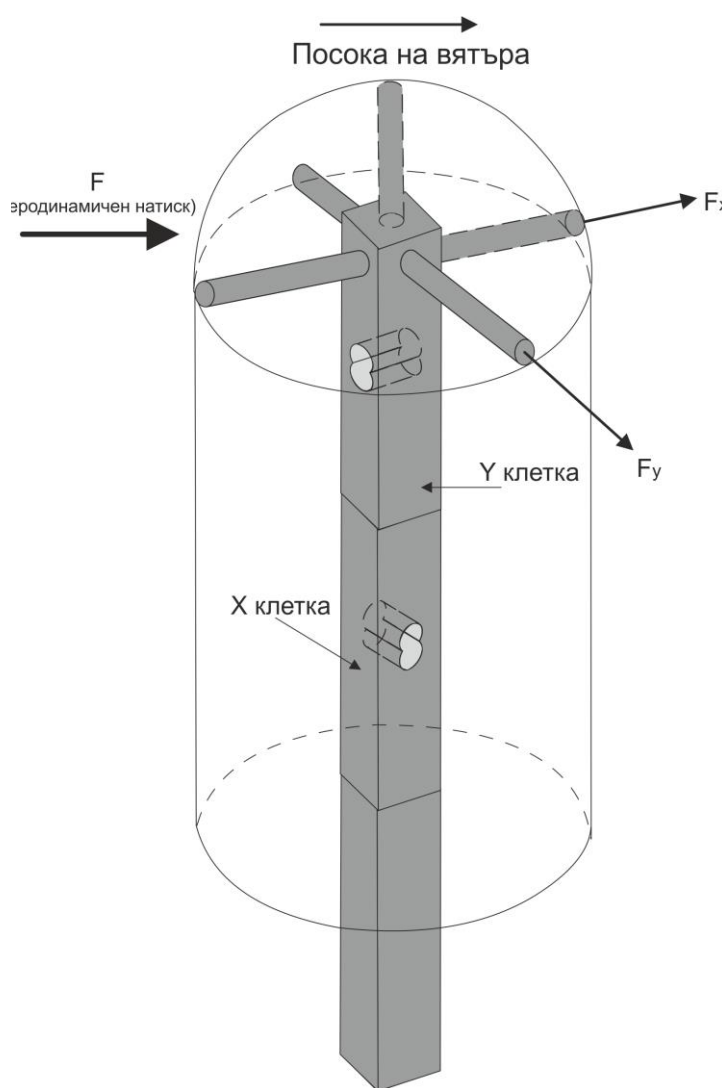
Използването на два такива тензорезистивни сензорни елемента в конструкция с взаимно перпендикулярни оси на чувствителност, дава възможност да се изгради двуменсионен сензор, способен да регистрира

големината и посоката на приложената сила в пълния обхват от 360° на разглежданото двуизмерно пространство.

При конструирането на сензора обаче трябва да се вземат под внимание и някои особености на товарните клетки – тяхната форма е изключително подходяща за измервания по една ос. Когато обаче се разглежда структурата в пълния обхват от 360° на разглежданото двуизмерно пространство, формата им не отговаря на поставеното условие за еднаквост на обтекаемостта положено по-горе. Поради това се налага изграждане на обвивка около сензора с необходимата форма. Това обаче не е недостатък тъй като тази обвивка, освен функция за равномерно предаване към сензорите на приложената в пълнен 360° обхват сила, ще изпълнява и условието за защита на сензорите от влиянието на околната среда – замръзване, замърсяване, слънчева радиация и т.н. Нещо повече – наличието на външна защитна обвивка

дава възможност за моделиране на параметрите C и S според нуждите на системата, без това да оказва влияние върху цената на товарните клетки. Тъй като силата е право пропорционална на тези параметри, те могат да бъдат използвани за да се дефинират граничните стойности на въздействие върху товарните клетки, а от там да доведат и до подобряване на чувствителността на сензора. Примерен модел на такъв сензор е показан на фигура 3-1.

Структурата е изградена от основен прът, който е неподвижно закрепен в долната си част. В горната част на пръта са монтирани двете товарни клетки, като е спазено условието за перпендикулярност на осите на натоварване на всяка от тях. В горната част на пръта е закрепена неподвижно защитната обвивка, чиято форма представлява кух цилиндър с полусферичен капак. Основното изискване при тази конструкция пада върху



фигура 3-1 – Модел на тензометричен анемометър

начина на закрепване на защитната обвивка към основната ос. То трябва да е такова, че независимо от посоката на приложената сила, да разпределя натоварването към клетките само по осите им на чувствителност.

Конструкцията по същество разлага приложената сила на натиск върху защитната обвивка на две взаимно перпендикулярни компоненти, всяка от които се измерва от товарна клетка в две направления на координатните оси. Това предполага, че предавателната функция на товарните клетки ще се изменя по синусов закон в зависимост от ъгъла на приложения аеродинамичен натиск.

Прилагайки питагоровата теорема върху предавателните функции на товарните клетки, лесно може да се изчисли големината на аеродинамичната сила:

$$(3-4) \quad \vec{F} = \sqrt{\vec{F}_x^2 + \vec{F}_y^2}$$

Посоката на аеродинамичната сила се определя чрез обратна тригонометрична функция:

$$(3-5) \quad \begin{aligned} \theta &= \cos^{-1} \left(\frac{F_x}{F} \right) \text{ за } F_y \geq 0 \\ \theta &= 360 - \cos^{-1} \left(\frac{F_x}{F} \right) \text{ за } F_y < 0 \end{aligned}$$

От тук посредством уравнение (3-3) се определя скоростта на вятъра, а посоката му съвпада с посоката на аеродинамичната сила.

3.1.2 Влияние на плътността на въздуха (ρ)

От израза за скоростта на флуида като функция от силата на натиск (3-3) следва, че резултатът от измерването ще е в директна зависимост от плътността на въздуха ρ .

Плътността на въздуха е параметър, който се изменя с температурата, влажността и налягането. Плътността на сухия въздух може да се определи чрез уравнението на Клепейрон-Менделеев, изразено чрез моларната маса на веществото :

$$(3-6) \quad pV = \frac{m}{M} RT \rightarrow \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} \rightarrow \rho = \frac{pM}{RT}$$

където:

- p – налягането на газа,
- V – обема на газа,
- M – моларната маса на газа,
- m – масата на газа,
- R – универсалната газова константа,
- T – абсолютната температура,
- ρ – плътността на въздуха;

За да отразим влиянието на влажността, влажният въздух може да се представи като смес между идеалните газове на сухия въздух и водните пари. За целта абсолютното налягане (p) от уравнение (3-6) се представя като сума от парциалните налягания на сухия въздух (p_a) и водните пари (p_v):

$$(3-7) \quad \rho = \frac{p_a M_a + p_v M_v}{RT}$$

Парциалното налягане на водните пари се изчислява от налягането на насищане на водните пари (p_{sat}) и относителната влажност на въздуха (U):

$$(3-8) \quad p_v = U p_{sat}$$

Препоръчителният метод за изчисляване на налягането на насищане на водните пари е чрез използване на модификация на уравнението на Магнус (t е температурата в $^{\circ}\text{C}$):

$$(3-9) \quad p_{sat} = 611.2 e^{\frac{17.62t}{237.8+t}}$$

Грешката при изчисление на налягането на насищане на водните пари с този модел, сравнена с референтни таблични стойности, е по-малка от $\pm 0,3\%$. Това ни позволява да модифицираме уравнение (3-7) до вида:

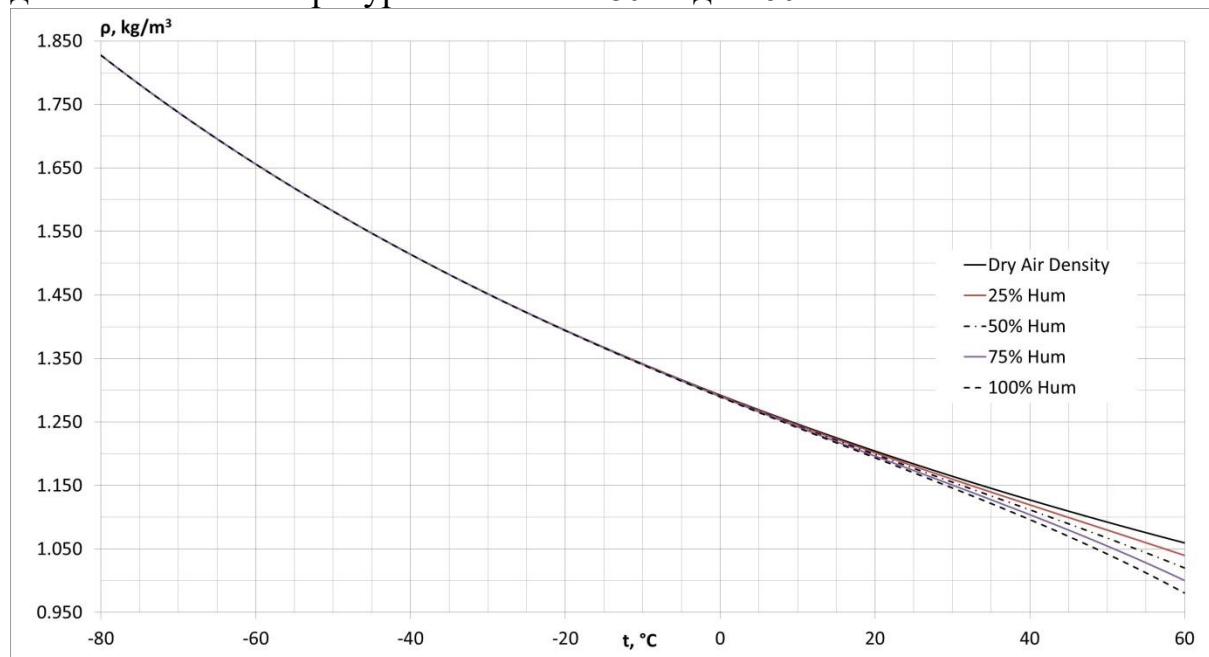
$$(3-10) \quad \rho = \frac{p M_a + U p_{sat} (M_v - M_a)}{RT}$$

Респективно, уравнение (3-3) придобива вида:

$$(3-11) \quad \vec{v} = \sqrt{\frac{2\vec{F}RT}{CS(pM_a + U p_{sat}(M_v - M_a))}}$$

Този теоретичен модел позволява да се направи оценка на влиянието на изменението на плътността на въздуха в зависимост от температурата, влажността и атмосферното налягане.

За целта се прави разглеждане на отделните променливи в целия работен диапазон. За температурата той е от -80°C до $+60^{\circ}\text{C}$.



фигура 3-2 – Температурна зависимост на плътността на въздуха

На фигура 3-2 са показани семейство характеристики, отразяващи изменението на плътността на въздуха в температурния диапазон, при различна относителна влажност.

Както се вижда от графиката, относителната влажност на въздуха започва да влияе на плътността му практически при температури над 0°C , където разликата между плътността на сухият въздух и на въздух с относителна

влажност от 100% е едва -0,23%. Тази стойност нараства с температурата, като при 60°C достига -7,46%.

Температурният ефект върху плътността на въздуха обаче е значително по-голям – тя се увеличава приблизително с 1% за всеки 3°C спад в температурата.

Влиянието на атмосферното налягане също е изследвано в целия работен диапазон – от 500 hPa до 1080 hPa. То също е значително – плътността на въздуха се увеличава пропорционално с приблизително 1% за всеки 10 hPa повишаване на налягането.

3.2 Тензометричен анемометър

Реализирането на описаната по-горе система се свежда до изграждане на механичната конструкция и подходяща електронна схема за регистриране и обработка на сигналите от тензорезисторите.

3.2.1 Механична конструкция

Особеност при изграждането на механичната конструкция е необходимостта елементите на конструкцията (товарните клетки, защитният кожух и основният прът) да са свързани така, че да предават приложената сила равномерно и без загуби. За целта при изграждането на конструкцията е използвана система от шпилки и втулки със специфични за целта размери и форма. Конструкцията трябва да се закрепва вертикално и неподвижно спрямо опората. Отклонението от вертикалната ос на закрепване ще повлияе директно върху измерените стойности.

Съгласно описаните в 3.1.1 конструктивни особености, аеродинамичните характеристики (C и S) на тялото се определят от формата на защитната обвивка. Размерите на защитната обвивка се съобразяват с типичните размери на товарните клетки – което предполага използването на алуминиева тръба с дължина 20 cm и външен диаметър 24 mm. От тези параметри се определят и аеродинамичните характеристики – коефициент на челно аеродинамично съпротивление от 1,2 и площ на напречната проекция от 0,0048 m².

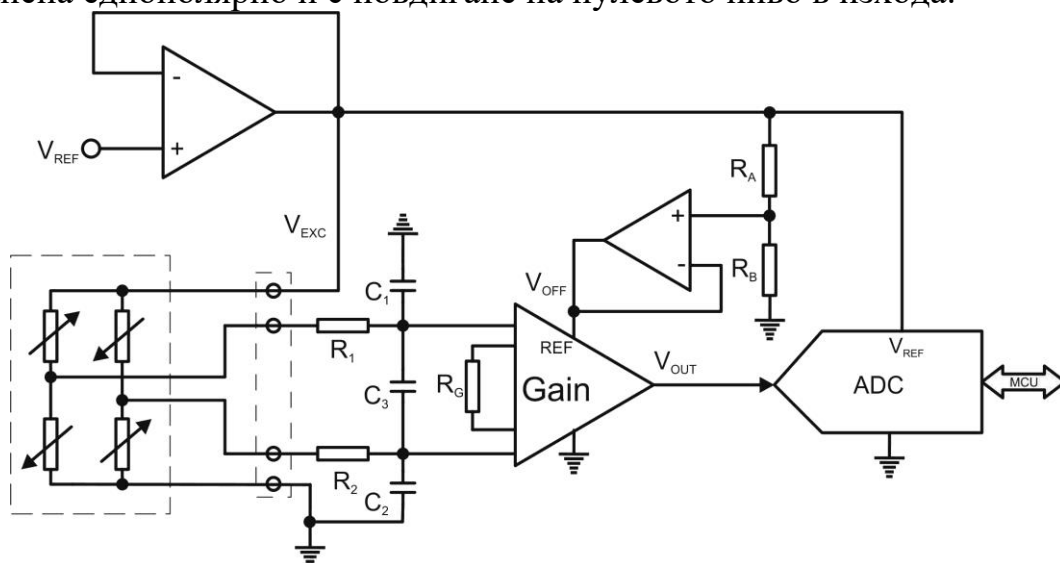
Тези параметри позволяват да се определят максималните натоварвания на системата. Посредством уравнение (3-2), при осреднена плътност на въздуха от 1,225 kg/m³ и съгласно изискванията на Световната метеорологична организация за измерване на вятър с максимална скорост от 75 m/s, максималната сила приложена върху системата ще е 19,845 N. Този резултат предполага, че за финалната версия на системата би било подходящо използването на товарни клетки от 2 kg (19,613N).

Товарните клетки допускат безопасно претоварване от 150% и максимално механично претоварване от 200%. Използвайки същите преобразувания, тези характеристики означават, че системата би могла да се справи безпроблемно с пориви на вятъра до около 90 m/s, а механичните повреди в системата ще настъпят при пориви от над 100 m/s.

3.2.2 Електронно-измервателна система

Сензорите са изградени от стандартни товарни клетки – четири $1\text{-k}\Omega \pm 10\%$ тензорезистора свързани в конфигурация на пълен мост. Номиналният изходен сигнал за тези сензори е $1,0 \pm 0,15 \text{ mV/V}$, поради което се налага добавянето на усилвателно стъпало. Схемата на измервателния преобразувател е показана на фигура 3-5.

За да се спази условието за отчитане на двуполярен сигнал и като се взима предвид нуждата от използване на еднополярно (акумулаторно/батерийно) захранване, е използвана схема на инструментален усилвател INA827 захранена еднополярно и с повдигане на нулевото ниво в изхода.



фигура 3-5 – Измервателен преобразувател на анемометъра

За постигане на независимост на резултата от преобразуването от нестабилността на опорното напрежение, аналогично на 2.1.1, напрежението с което се захранва мостът е и опорно напрежение на АЦП.

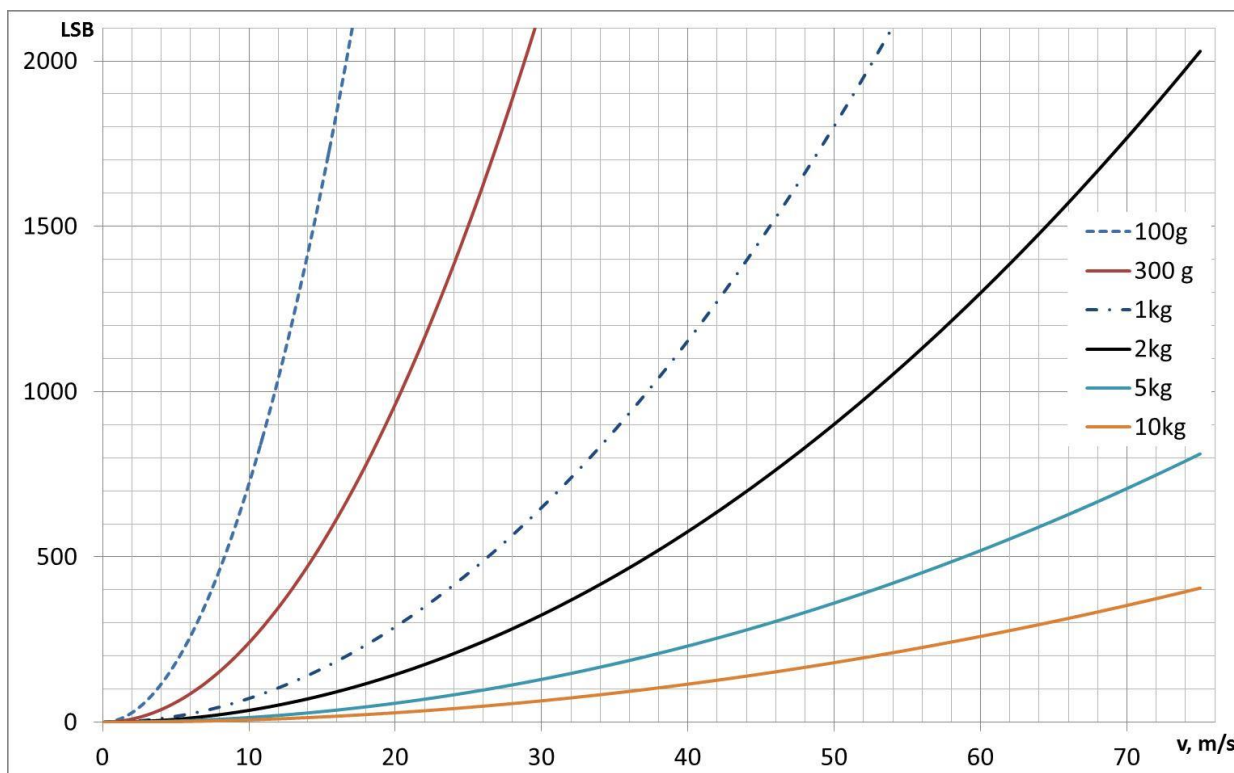
Поради специфичните характеристики на сензорите (високото изходно съпротивление, дългите линии между входящия блок и сензорите, голямото усилване и т.н.), на входа на инструменталните усилватели са поставени и комплект нискочестотни филтри. Тяхната цел е да отстранят от входящия сигнал възможни нежелани влияния от шумове и хармонични честоти.

3.2.3 Статичен параметричен анализ

Функционалността на описаната система зависи от способността ѝ да покрие референтните точностни изисквания към подобни системи. За целта е необходимо да се симулира въздействието на отделните компоненти влияещи върху точността на системата.

Няколко параметъра на описаната до тук анемометрична система определят точностните ѝ характеристики – обхватът на товарните клетки, аеродинамичните характеристики и характеристиките на входния преобразувателен блок.

На фигура 3-6 са представени предавателните характеристики на шест товарни клетки с различен обхват за разработения модел.



фигура 3-6 – Предавателна характеристика на анемометъра

Алтернативно решение за подобряване на характеристиките на системата са параметрите на входния преобразователен блок. Най-лесно това би могло да се постигне чрез повишаване на коефициента на усилване на входният усилвател, без това да повлияе на механичните характеристики на системата. В този случай, с еднокилограмови товарни клетки може да постигне разделителна способност от 0,5 m/s при усилване от 1000 пъти. За двукилограмови товарни клетки, същият резултат може да се постигне при използването на коефициент на усилване от 2000 пъти. Този похват обаче би довел и до препълване обхвата на избраното АЦП преди края на измервателния диапазон. Решение за преодоляването на този проблем е използването на програмируем коефициент на усилване – ако усилването бъде намалено 4 пъти за измервания във втората половина на измервателния диапазон, то измервателните характеристики ще се подобрят в първата половина на диапазона и същевременно обхвата на АЦП ще е достатъчен за целия диапазон.

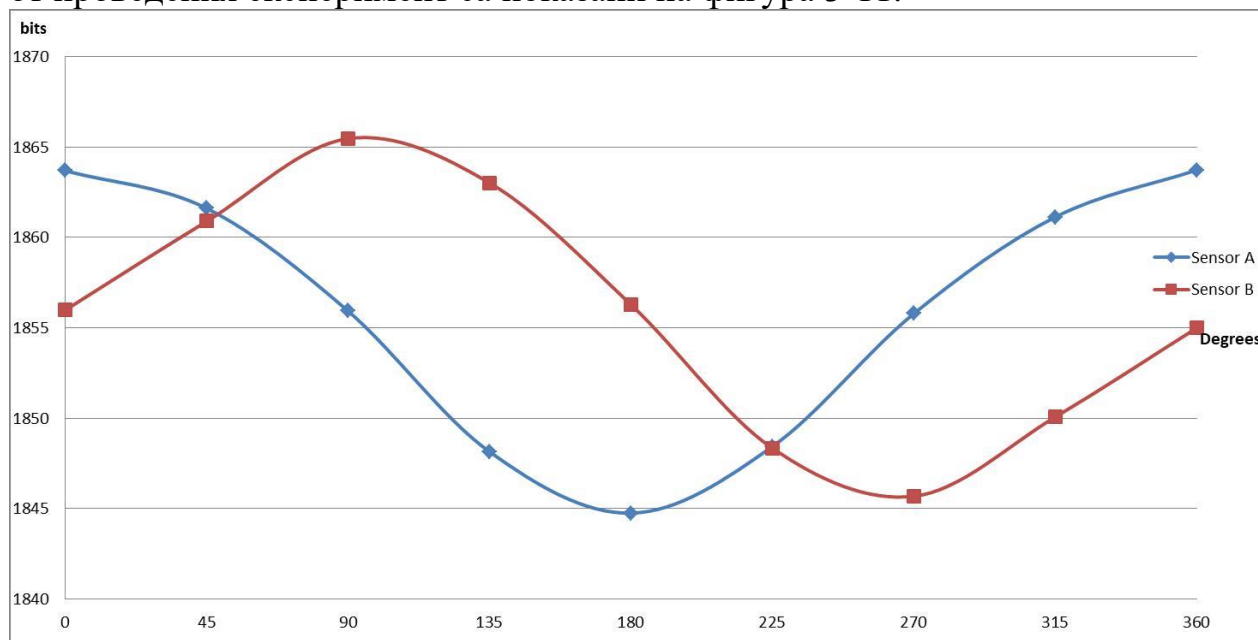
Друго решение на последния проблем е и използването на АЦП с 4 пъти по-голям обхват (14 разряден). И в двата случая е необходимо взимане на допълнителни мерки срещу шумовете и смущенията в сигнала. Комбинирането на двата похвата предлага балансирано решение, но за сметка на усложняване на системата.

3.3 Експериментални резултати

С цел потвърждаване на хипотезата, че проектираният вариант на тензометричен анемометър може да бъде използван за измерване скоростта и посоката на вятъра, бе изградена тестовата постановка с еднокилограмови товарни клетки.

Предавателната характеристика на така проектираната и разработена система е изследвана експериментално, като сензорите са натоварвани плавно с калибровъчни тежести. Получената функция е линейна, даваща връзка между измерената от системата стойност (в битове на АЦП) и приложеното теглово натоварване (в грамове).

За целите на експеримента, моделът на тензометричния анемометър е закрепен неподвижно в центъра на градуиран стенд, а към него се подава насочен въздушен поток. Ъгълът на обдухване на модела се променя на стъпки, а стойностите на товарните клетки се снемат едновременно. Данните от проведения експеримент са показани на фигура 3-11.



фигура 3-11 – Експериментален резултат на анемометъра

Въпреки, че използваният тестови модел не е много прецизен (източникът на въздушен поток не е много стабилен и не е много силен, и ъглите на насочване не са много точни), полученият резултат има ясно изразена форма на синусоидално изменение на натоварването на двете клетки при промяна на ъгъла на обдухване на анемометъра, а отклоненията от ± 1 LSB са в рамките на грешката на използваното АЦП.

Този резултат потвърждава теоретичната концепция и дава основание за по-нататъшно разработване и усъвършенстване на модела.

ГЛАВА 4. Адаптивна система за измерване параметрите на околната среда

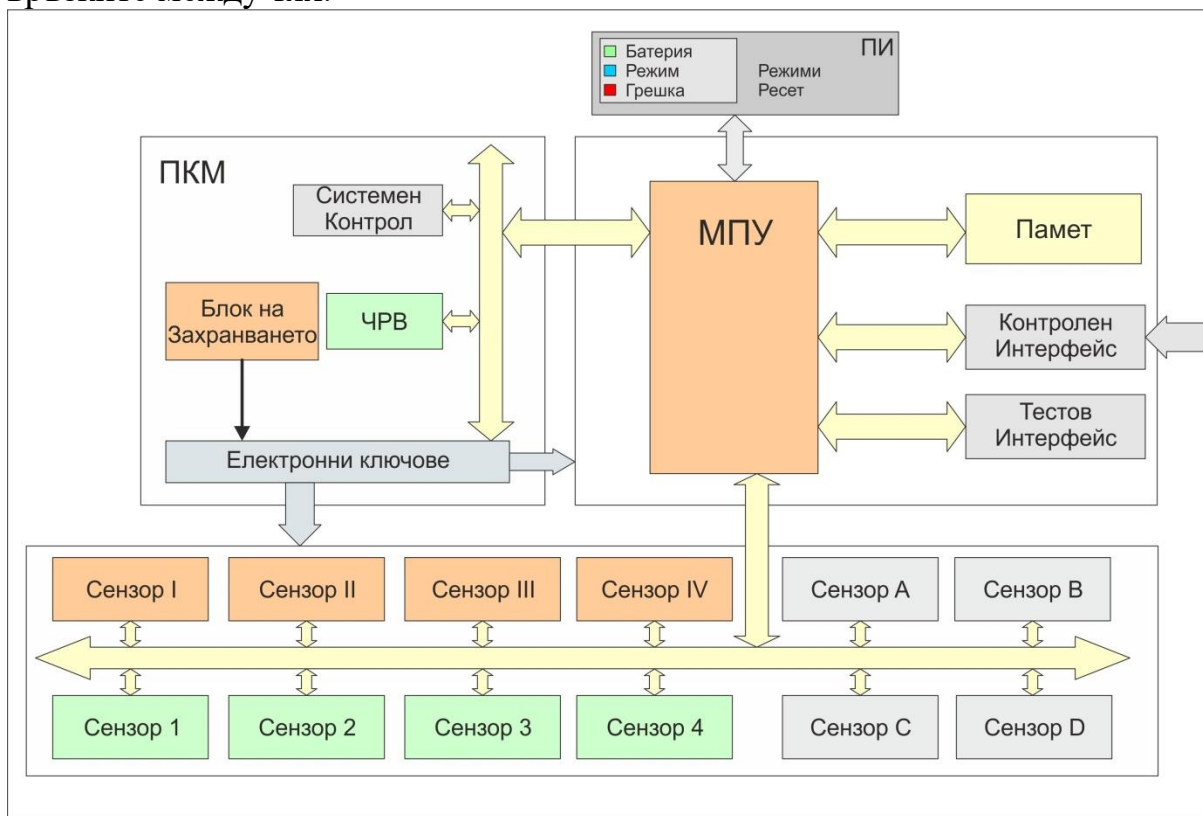
4.2 Хардуерен дизайн

От гледна точка на хардуерния дизайн е необходимо да се разработят няколко основни компонента, които ще придадат на системата възможности за ефективно адаптиране към специфичните особености в работния режим – енергоемкост, изчислителна мощност и измервателни прибори.

За целта системата се разработва на база на три основни подсистеми:

- Подсистема за контрол на мощността
- Управляваща подсистема
- Сензорна подсистема

Всяка от тези подсистеми осигурява различни или комбинирани решения на поставените изисквания. На фигура 4-1 е показана обобщена блокова схема на проектираната система, като са представени основните подсистеми и връзките между тях.



фигура 4-1 – Адаптивна система за многопараметрични измервания

Подсистемата за контрол на мощността включва всички схемотехнически решения за подsigуряване и управление на захранването, компонентите за следене и поддържане функционалността на системата.

Енергийното обезпечаване на системата е основен приоритет за самостоятелното ѝ функциониране, за много дълги периоди без обслужване. То включва подsigуряване на енергиен резерв в системата, минимизиране на консумацията и възстановяване на енергийните запаси (когато това е възможно).

За да се ограничи консумацията на енергия по време на неактивния период на автономния режим, е изградена двустъпална система от електронни ключове.

Тази схема позволява включването и изключването на всеки модул в системата, като същевременно ограничава консумацията на енергия в неактивен период до консумацията на един електронен ключ. За да се избегнат възможни утечки по интерфейсите шини, към системата е добавена и схема на интерфейсен мултиплексор/изолатор. Така изградената схема образува отделни региони на захранване, което позволява включването само на определена група модули и дори работата с отделни сензори, като значително се намалява общата консумация на системата. Това придава гъвкавост на системата и позволява на контролните алгоритми да изолират ниско приоритетните модули при недостиг на захранване.

Всеки регион е снабден със схема за следене на захранването. Нейната функция е да държи модулите в региона в състояние на рестарт до установяване на захранването в региона. Това е необходимо за да се избегне неправилно стартиране (glitch) на модулите. Те също така осигуряват на управляващата система и сигнал, когато регионът е установен в работен режим. Всеки от ключовете е оборудван със защита от претоварване по ток, която сигнализира на управляващата подсистема за проблем и предпазва системата от енергийни загуби вследствие на повреда.

Подсигуряването на енергиен резерв в системата е на базата на два енергийни източника – основен акумулатор и резервна батерия. Преминването от основно към резервно захранване става с помощта на схема за управление на захранването (Voltage Manager) – адаптирана за целта схема за следене на захранващото напрежение, управляваща система от ключове.

Към схемата на зарядния контролер спадат и предвидените защиты от презареждане, преразреждане, претоварване по ток, прегряване и късо съединение при акумулатора.

Часовникът за реално време и системната стражева схема, макар и дефинирани като управляващи устройства, фактически принадлежат към подсистемата за контрол на мощността, тъй като на тяхна база се изгражда схема, гарантираща безотказна работа на станцията. Часовникът за реално време осигурява също така и времевия печат, необходим за синхронизация на измерените параметри с други бази данни.

Управляващата подсистема осигурява хардуера, необходим за изпълнението на интелигентните алгоритми, организиращи ефективната работа на системата и комуникацията с потребителя.

Изградена е на базата на микроконтролер и включва потребителски интерфейс за непосредствена работа със системата, интерфейси за обмен на информация с други системи, часовник за реално време и памет за съхранение на данните от измерванията.

Системата разполага с вграден потребителски интерфейс, който позволява ръчно управление с ограничен набор операции. Интерфейсът включва бутони и четири светодиода за обща индикация.

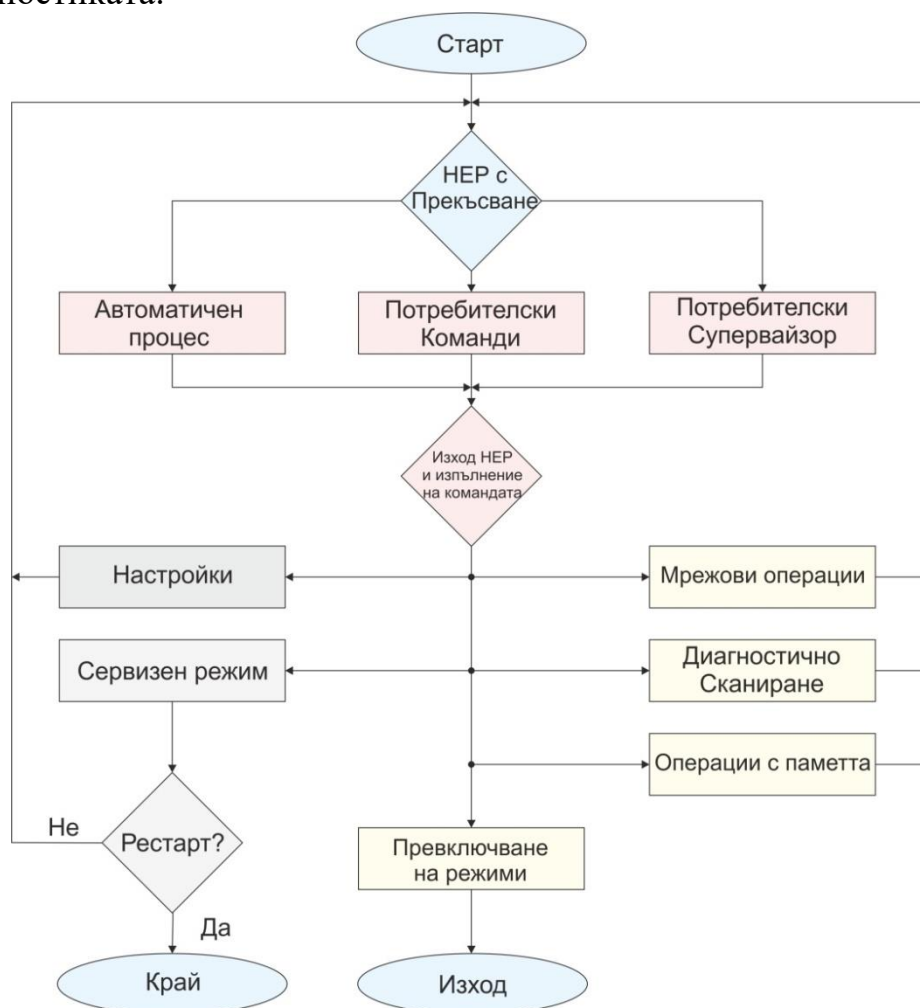
Сензорната подсистема включва всички необходими компоненти за подпомагане и извършване на преобразуване, нормализиране и обработка на въздействията от околната среда.

Сензорите са разделени на три блока. Всеки блок е снабден с четири самостоятелни региона на захранване, което позволява динамичното управление на мощността според нуждите на системата.

4.3 Софтуерното обезпечаване на системата

Софтуерното обезпечаване на системата е организирано на две нива – вградено програмно осигуряване и компютърно приложение за работа със системата (потребителски интерфейс). Вграденото програмно осигуряване включва алгоритмите необходими за управлението на системата (изпълнителни алгоритми) и набор от специализирани алгоритми за подобряване ефективността и надеждността на системата (адаптивни алгоритми).

Програмният код, изпълняван от управляващия микроконтролер, включва алгоритмите, необходими за ефективното управление на системата, включително интегрирането на набор от адаптивни алгоритми – за управление на захранването, работните режими, паметта и самодиагностиката.



фигура 4-10 – Блок алгоритъм на Активния Режим

Вграденото програмно осигуряване на системата включва три основни режима на работа – Активен, Автономен и режим на работа в Реално време. Инициализацията на системата включва първоначалното установяване на микроконтролера в работен режим, като се извършва и самодиагностика.

Алгоритъмът за самодиагностика и управление на грешките е базиран на причинно-следствен модел на системно управление. Основната задача е да се отстранят последователно всички появили се грешки, като системата възстанови нормалното си поведение или се установи в режим максимално близко до него.

След като системата е успешно подготвена за работа, програмата продължава с изпълнението на желания работен режим. Режимът, който е избран по подразбиране е Активният режим.

Активният режим е предназначен за нормална работа на потребителя със системата. Той предоставя пълен достъп до функциите на системата, включително до сервизния режим, командите за настройка, сканиране на сензорите и работа с паметта. На фигура 4-10 е показан обобщеният блоков алгоритъм на Активния режим.

При влизане в този режим системата се конфигурира в балансиран енергиен режим – микроконтролерът работи при номинална работна честота, а алгоритмите за управление на мощността изключват само сензорните региони на захранване. Активира се и потребителският супервайзор.

Алгоритъмът за следене на потребителската активност (потребителски супервайзор) е базиран на рефлексен модел на системно управление алгоритъм, чиято цел е да установи наличието на оператор.

За целта, той следи информацията от „сензорите“ за потребителска активност – наличие на свързване с команден интерфейс и честота на подаване на командите. Като резултат от неговото действие е автоматичното преминаване на системата от Активен режим в Автономен и обратно.

Автономният режим е проектиран да управлява системата по време на необслужваемия период на работа, както и в интервалите между активното използване на системата. В този режим системата се стреми



фигура 4-11 – Блоков алгоритъм на Автономния режим

да събира данни периодично, като същевременно запазва функционалността си максимално дълго време. На фигура 4-11 е представен обобщеният блоков алгоритъм на режима. Характерното за работата на този режим е алгоритъмът за контрол на автоматизацията (адаптивен контрол).

Адаптивният контрол е алгоритъм за управление темпа на натрупване на данни при Автономния режим. Целта на алгоритъма е да запази ефективността на системата за колкото е възможно по-дълъг период, като същевременно тя остава в състояние да регистрира отделни непредвидени събития.

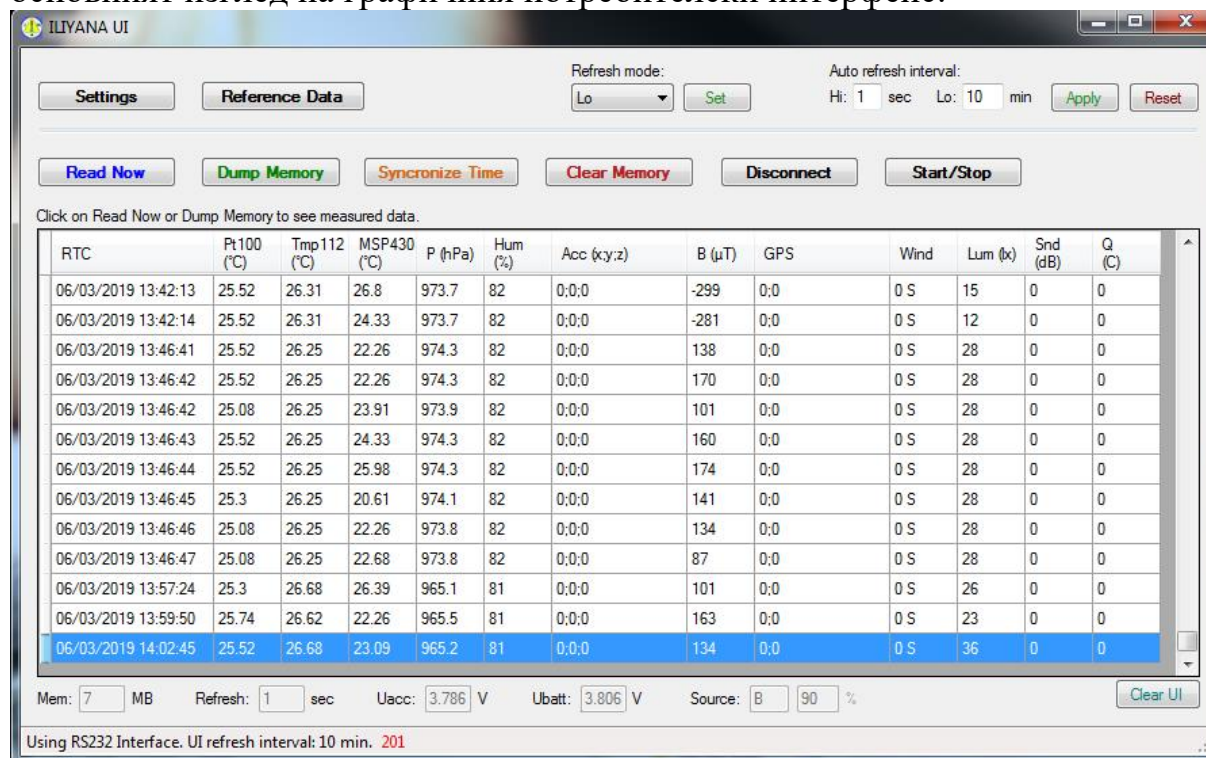
Режимът на работа в реално време е предвиден като средство за събиране и предоставяне на референтни данни за околната среда към външна система, с достатъчно бързодействие за да могат те да се използват за контрол и управление на изследваната среда.

При влизането в този режим, системата се пренастройва за работа с максимално бързодействие – микроконтролерът се настройва за работа при максимална честота, а алгоритмите за управление на мощността включват всички региони на захранване.

Потребителски интерфейс

Системата може да бъде управлявана и настройвана чрез директно подаване на командите по сериен интерфейс чрез стандартен конзолен терминал. Това позволява системата да бъде свързвана и да работи, както с компютърни системи, така и с автоматични системи, поддържащи комуникация през сериен интерфейс.

За да се улесни директната работа със системата е разработено специализирано компютърно приложение. На фигура 4-14 е представен основният изглед на графичния потребителски интерфейс.

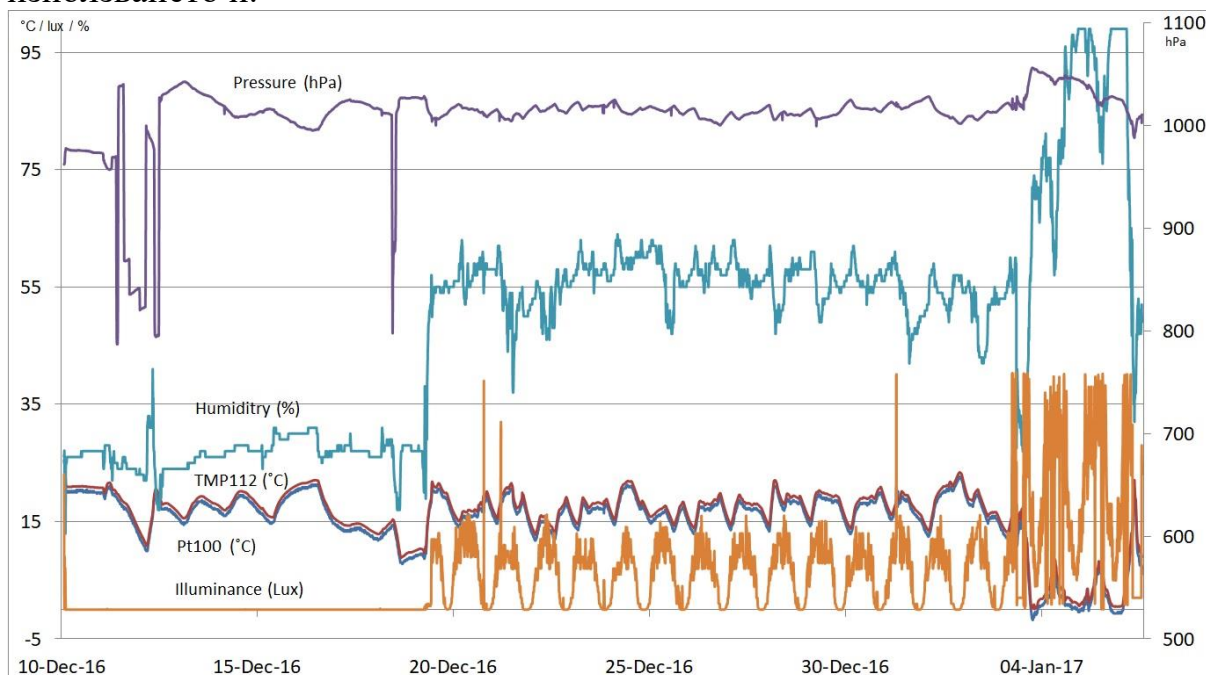


фигура 4-14 – Графичен потребителски интерфейс

4.4 Приложение на разработената система

Прототип на описаната измервателна система е подготвен за употреба на българската антарктическа база на остров Ливингстън, Южни Шетлъндски острови. Устройството е конфигурирано за работа със сензори за температура, влажност, налягане, магнитно поле и осветеност.

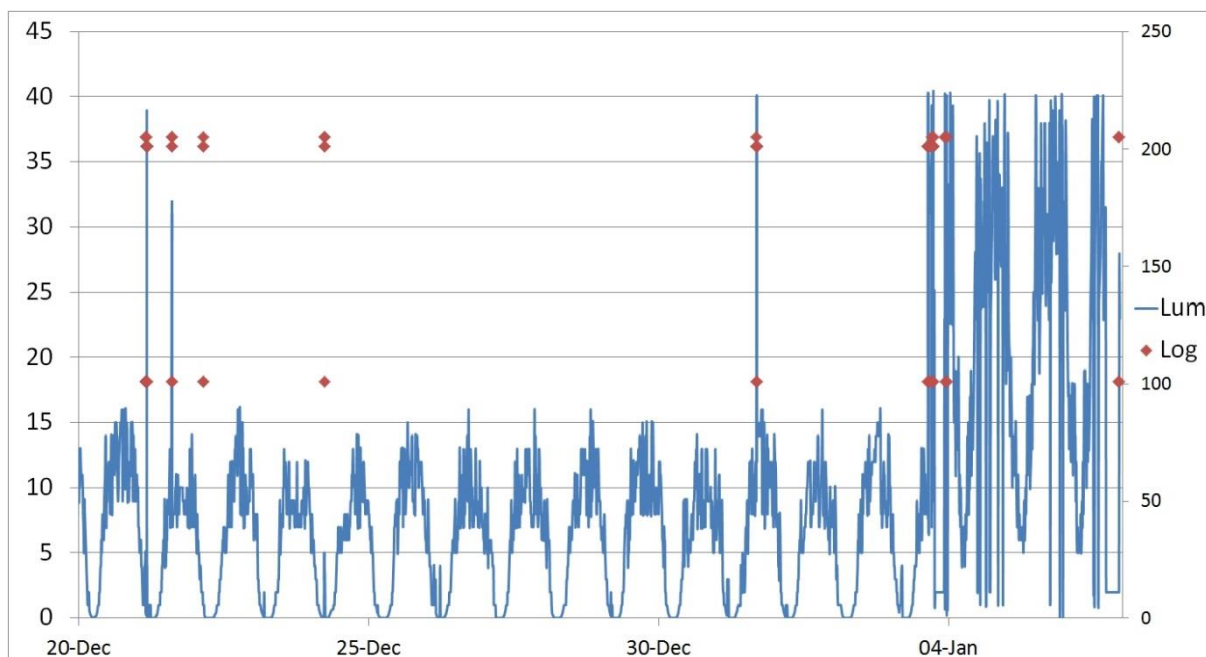
На фигура 4-18 са представени данните от измерванията, направени за периода от изпращането на системата до края на активния период на използването ѝ.



фигура 4-18 – Полеви измервания

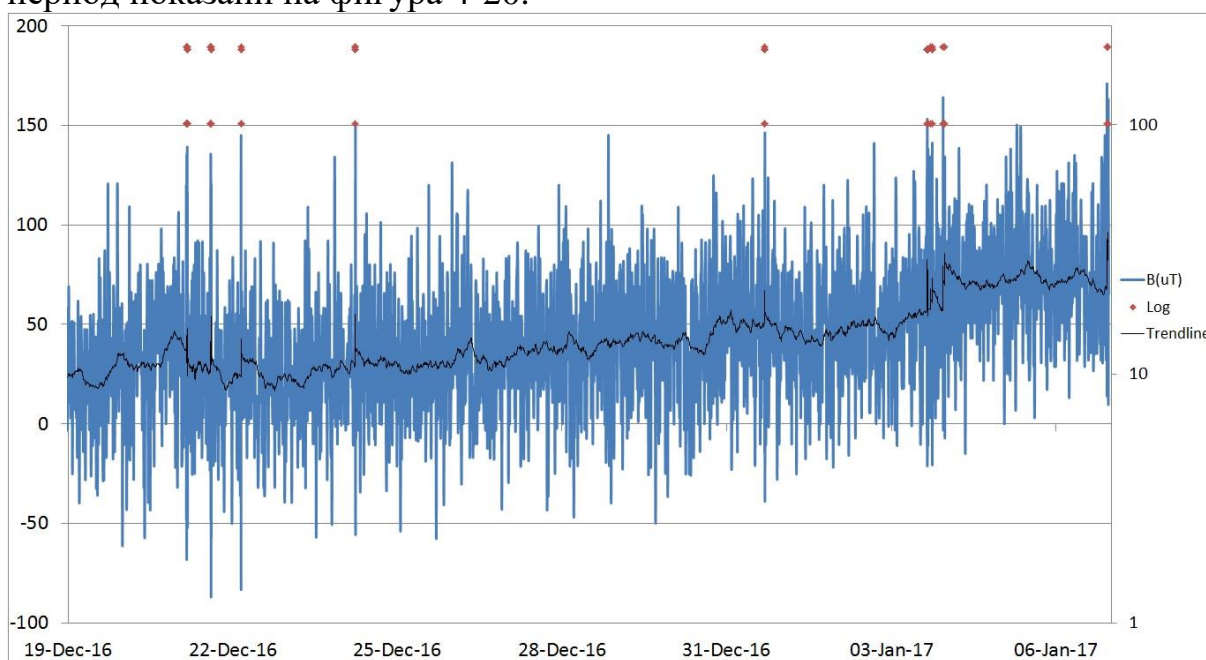
От графиката са видни три ясно отличими периода на работа на системата. Първият период съдържа данните от транспортирането на системата до базата на остров Ливингстън. Той обхваща периода от 10-ти до 19-ти Декември 2016 г. Отличава се лесно поради минималните стойности отчетени от сензора за осветеност, който е покрит със защитна обвивка в този период. Резките спадове на температурата и налягането в този интервал са отчет за транспортирането на системата по въздух в товарния отсек на самолета.

През втория период е извършвана активна работа със системата. Системата е поставена в близост до останалата изследователска апаратура и предоставя референтни данни. Този период продължава около 2 седмици, което е ясно отливо от дневните осцилации на осветеността. За измерване на осветеността се използва сензора OPT3001. Той представлява едночипов луксметър с широк измервателен диапазон (от 0,01 до 83k lux) и автоматична настройка на обхвата. При разглеждане на данните в този период се забелязват и няколко пикове в осветеността. При съпоставянето на тези данни с данните от записите на системата, отчитащи потребителската активност, се забелязва значително съвпадение. На фигура 4-19 е показана съпоставка на данните от сензора за осветеност със записите за потребителската активност.



фигура 4-19 – Осветеност и статусни данни

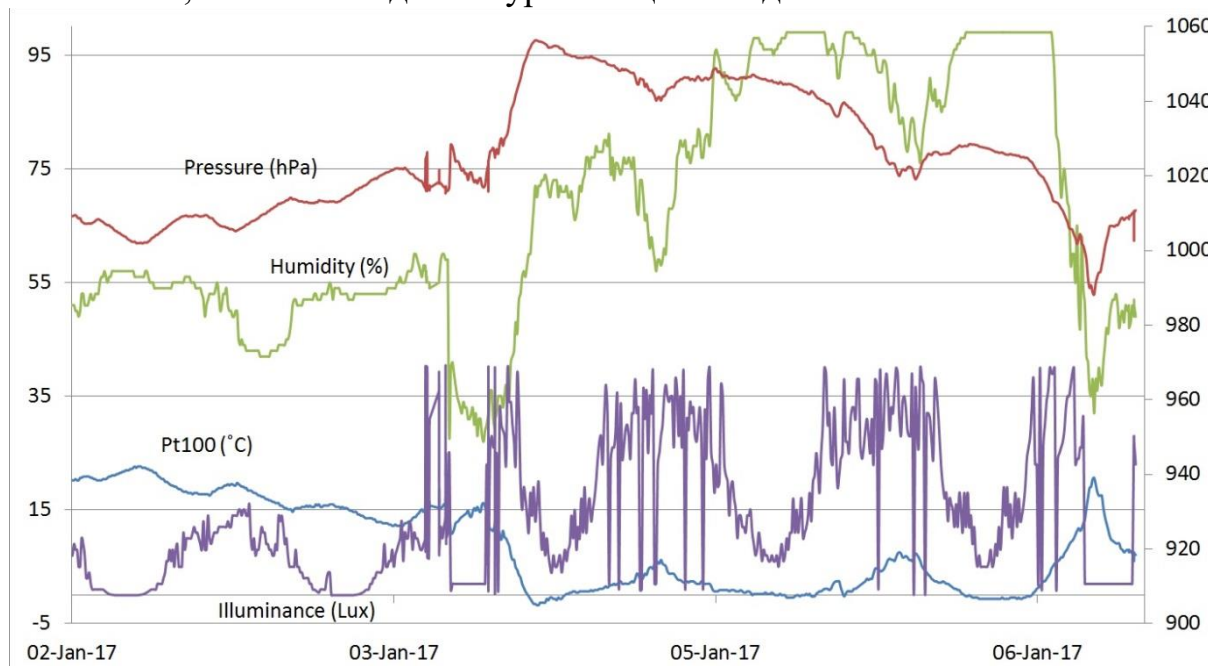
Вероятно обяснение за тези смущения е човешката дейност около системата. Тази хипотеза се подкрепя и от данните на магнитния сензор за същия период показани на фигура 4-20.



фигура 4-20 – Данни от магнитния сензор

Следенето на магнитното поле се извършва от аналогов сензор DRV5053, използващ ефекта на Хол. Инсталирането на такъв тип сензор няма за цел да следи изменението на земния магнитен фон или ориентацията на системата, а по-скоро да предоставя данни за възможна поява на силни магнитни полета, които могат да повлияят на измерванията. Въпреки това, благодарение на слабата зашуменост в района, се забелязва тенденция в данните за проследяване и на двете величини. Особено характерен в това отношение е преходът между втория и третия период в данните, когато се извършва т. нар. „зазимяване“ на станцията.

Третият период обхваща данните от станцията, след като тя е била подготвена за зимния период. Фактически това са последните дни преди напускането на базата за зимния сезон. Данните от този период са показани на фигура 4-21. На графиката ясно е отлчиимо засенчването на сензора за осветеност, което съвпада и с турбуленцията в данните от магнитния сензор.



фигура 4-21 – Данни от третия период

В този период станцията е била преместена и закрепена за масивна метална мачта, където да прекара полярната зима. Последните данни от системата са изтеглени на 6-ти Януари 2017г.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно-приложни приноси

1. Аналитично са изведени и експериментално изследвани източниците на грешки при измерване на температура, атмосферно налягане и относителна влажност. Предложени и проведени са сравнителни и аналитични калибровъчни процедури водещи до повишаване точността на инструментите.
2. Аналитично са изведени и изследвани зависимостите при определяне скорост и посока на вятъра с оригинално решение на анемометър без движещи се части, базиран на тензометрични сензори, подходящ за работа в екстремни условия. Изследвано е теоретично влиянието на факторите на околната среда върху работата на прибора и е извършен анализ на характеристиките на предложеното решение.
3. Предложена е и е изследвана схема за снемане на сигнала от тензосензорите на анемометъра. Разработена е методика за обработка на постъпващите експериментални данни. Анализирани са източниците на грешки и са предложени насоки за отстраняването и компенсирането им.

Получените експериментални данни потвърждават приложимостта на предложеното оригинално решение.

4. Предложени и експериментирани са схемотехнични решения и системни алгоритми, способстващи за подобряване на работните характеристики на системата – енергоефективност, адаптивност, самодиагностика и управление на грешките.

Приложни приноси

5. Създадена е многопараметрична полева апаратура за регистриране параметрите на околната среда в екстремни условия, с интегрирани режими за дълговременно натрупване на данни, работа в реално време и контролно-диагностична настройка.
6. Разработено е софтуерно осигуряване за управление на системата, включващо алгоритми за подобряване енергоефективността, адаптивността, самодиагностиката и управлението на грешките. Разработено е компютърно приложение с графичен потребителски интерфейс за работа със системата.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

- [1] D. M. Iliev, V. N. Gourev and M. G. Mitev, "Design of Adaptive Weather Station with Reduced Power consumption", Proc. XXIV International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, 2015. ISSN 1314-0078.
- [2] D. M. Iliev, V. N. Gourev and M. G. Mitev, "Development of Software Environment for Adaptive Weather Station with Reduced Power Consumption", Proc. XIII National Scientific Conference "Electronics 2016", Sofia, 2016.
- [3] D. M. Iliev, V. N. Gourev and M. G. Mitev, "Realization of adaptive weather station for work in Antarctic conditions", Proc. XXV International Scientific Conference Electronics (ET), ISBN 978-1-5090-2881-8, IEEE Catalog Number CFP16H39-CDR Sozopol, 2016, doi: 10.1109/ET.2016.7753487.
- [4] D. M. Iliev, M. G. Mitev and V. N. Gourev, "Design of strain gauge anemometer for work in Antarctic conditions" 2017 XXVI International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, 2017. doi: 10.1109/ET.2017.8124366.
- [5] Dian Iliev, "Data Analysis and Improvement of Adaptive Weather Station for Work in Antarctic Conditions", Proc. 53rd International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST) – Sozopol, Bulgaria, 2018, pp. 280-283. ISSN: 2603-3259
- [6] D. M. Iliev, "Research and Development of a Strain Gauge Anemometer," 2018 IEEE XXVII International Scientific Conference Electronics - ET, Sozopol, 2018, doi: 10.1109/ET.2018.8549662
- [7] D. M. Iliev, E. N. Dimitrov and M. G. Mitev, "Design Requirements and Static Performance Analysis of a Strain Gauge Anemometer," 2019 IEEE XXVIII International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, 2019, doi: 10.1109/ET.2019.8878656

SUMMARY

Research, analysis, and improvement of data acquisition systems for environmental parameters

Msc. Eng. Dian Iliev

In order to study climate change on a global scale, there is a growing need to track increasing number of parameters, in larger quantities and in more remote places. This is of particular importance in studying the effects of human impact on the environment.

The purpose of the dissertation is to study, analyze and refine methods, schematic solutions and instruments for measuring environmental parameters in remote areas and under extreme conditions, allowing real-time use.

The following set of tasks was created in order to achieve this purpose:

1. Investigate the capabilities of sensors for pressure, humidity and temperature and optimize circuitry and data processing procedures to reduce power consumption, improve accuracy, and ensure reliable system operation.
2. Investigate and explore new possibilities for long-term measurement of wind parameters under extreme conditions.
3. Create methodology and equipment for long-term recording of basic environmental parameters in extreme conditions and with the ability to work in real time.
4. Study and analyze the possibilities of using the expert systems techniques and methods to construct an adaptive self-supporting device.

Pursuing the above goals, this research reviews the existing sensors and methods for measuring common meteorological parameters and proposes enhancements and improvements in terms of calibration, compensation procedures and power consumption reduction.

As a result of the research, an original solution was proposed for design of anemometer without moving parts. The design is based on strain-gauges and allows the system to work in extreme conditions. The research examines theoretical principles, environmental parameter effects and analyzes the characteristics of the proposed solution.

Two prototypes of adaptive weather stations were built for the purposes of field experiments. Improved hardware and software design were applied in order to achieve the specific goals for self-supporting, low power consumption, and real-time performance capabilities. Both of them have been installed on the Bulgarian Antarctic Base on Livingston Island for continuous environmental monitoring.