

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра Автоматизованих систем
моніторингу навколишнього
середовища

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Розробка та дослідження ультразвукового анемометра на базі
мікропроцесора «Ардуіно»

Виконав студент 2 курсу групи МАГ- 61
спеціальності 103 Науки про Землю
Воронов Олександр Андрійович

Керівник к.т.н., доц.
Лавріненко Юліан Володимирович

Консультант _____

Рецензент д.ф.-м.н., проф.
Ковальчук Володимир Володимирович

АНОТАЦІЯ

Представлена робота Воронова Олександра Андрійовича на тему «Розробка та дослідження ультразвукового анемометра на базі мікропроцесора «Ардуино»

Мета магістерської роботи – це створення на кафедрі лабораторної роботи по вивченню структури та принципу дії ультразвукового анемометра

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішення наступних завдань:

- критерії та їх вибір;
- сучасні методи вимірювання швидкості вітру;
- порівняльний аналіз сучасних методів вимірювання швидкості вітру;
- принцип дії ультразвукових анемометрів;
- будова ультразвукового анемометра;
- реалізація ультразвукового анемометра на базі мп«arduino»;
- описання лабораторної установки;
- складання уз електронного анемометра;

У своїй магістерській роботі були розглядані та описані сучасні методи вимірювання швидкості вітру, як вони працюють, як можна реалізувати ультразвуковий анемометр на базі МП «Ардуино».

Розроблена на кафедрі АСМНС лабораторна робота дозволяє студентам ознайомитись з сучасним методом вимірювання швидкості вітру

Магістерська робота містить: 95 с., рис. 47, табл. 6, формул 10, додатки 3, використаних літературних джерел 26.

Ключові слова: анемометр, ардуино, програмування, температура, ультразвук.

SUMMARY

The work of Alexander A. Voronov on "Development and research of ultrasonic anemometer on the basis of microprocessor" Arduino "is presented.

The purpose of the master's thesis is the purpose of the work is to create a laboratory work on the study of the structure and principle of the action of the ultrasonic anemometer at the department.

To achieve this goal you need to solve the following tasks:

- criteria and their choice;
- modern methods of measuring the wind speed;
- comparative analysis of modern methods of measuring the wind speed;
- principle of ultrasonic anemometers;
- the structure of the ultrasonic anemometer;
- Implementation of ultrasonic anemometer on the basis of microprocessor «arduino»;
- description of the laboratory installation;
- assembly of an electronic anemometer;

In his master's thesis modern methods of measuring the speed of wind, how they work, how to implement an ultrasonic anemometer on the basis of "Arduino" microprocessor were considered and described.

Laboratory work developed at the Department of AEMS allows students to get acquainted with the modern method of measuring the wind speed

Master's thesis contains: 95 p., draw. 47, tab. 6, formulas 10, appendix 3, used literary sources 26.

Keywords: anemometer, arduino, programming, temperature, ultrasound.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 КРИТЕРІЇ ТА ЇХ ВИБІР.....	3
2 СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІТРУ.....	3
2.1 Принципи вимірювання швидкості та напрямку вітру.....	3
2.2 Анемометри чашкові.....	3
2.3 Мережні прилади для вимірювання параметрів вітру.....	3
2.4 Флюгер.....	3
2.5 Ультразвуковий анемометр.....	3
2.6 Термоанемометри.....	3
3 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІТРУ.....	3
3.1 Чашкові анемометри.....	3
3.2 Мережні прилади для вимірювання параметрів вітру.....	3
3.3 Флюгер.....	3
3.4 Ультразвуковий анемометр.....	3
3.5 Термоанемометр.....	3
4 ПРИНЦИП ДІЇ УЛЬТРАЗВУКОВИХ АНЕМОМЕТРІВ.....	3
5 БУДОВА УЛЬТРАЗВУКОВОГО АНЕМОМЕТРА.....	3
6 РЕАЛІЗАЦІЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО АНЕМОМЕТРА НА БАЗІ МІКРОПРОЦЕСОРУ «ARDUINO».....	3
7 ОПИСАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ.....	3
7.1 Ультразвуковий далекомір–«HC-SR04».....	3
7.2 Цифровий датчик температури і вологості – «DHT21».....	3
7.3 Мікропроцесор.....	3
7.4 Монтажна плата анемометра.....	3
7.5 Дисплей – ЖК типу.....	3
7.6 Блок живлення анемометра.....	3

7.7 Імітатор вітру.....	3
8 СКЛАДАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЕЛЕКТРОННОГО АНЕМОМЕТРА.	3
8.1 Підготовка необхідних деталей.....	3
8.2 Етапи зборки макету.....	3
8.3 Програмний код.....	3
8.4 Порядок виконання роботи.....	3
9 РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ ШВИДКОСТІ ВІТРУ УЛЬТРАЗВУКОВИМ АНЕМОМЕТРОМ.	3
ВИСНОВКИ.	3
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.	3
ДОДАТКИ.	3
Додаток А Програмний код.....	3
Додаток Б Лабораторна робота на тему: Дослідження ультразвукового анемометра на базі мікропроцесора «Ардуіно».....	3
Додаток В Графічна частина магістерської роботи.....	3

ВСТУП

Рух повітря відносно земної поверхні (вітер) з'являється внаслідок того, що атмосферний тиск у різних точках атмосфери неоднаково. Повітря рухається зазвичай не паралельно поверхні Землі, а під невеликим кутом, тому що атмосферний тиск міняється і в горизонтальному, і у вертикальному напрямках. Так як кут дуже малий, прийнято вважати, що вітер - це горизонтальне рух повітря. Напрямок вітру (північно-східний, південний і т. д.) означає, звідки вітер дме.

Швидкість вітру вимірюють на метеорологічних станціях на висоті 10 м над Землею, в метрах за секунду

В данній роботі розглядаються сучасні методи вимірювання швидкості вітру. Вибираються критерії які охарактеризують їх, та допоможуть провести порівняльний аналіз.

Критерій, (грец. *kriterion* - засіб для вирішення). Ознака, на підставі якої виробляється оцінка, визначення, класифікація чого-небудь, мірило .

По методам вимірювання швидкості вітру можна виділити наступні критерії: точність; вартість; швидкодія; чутливість; діапазон вимірювання; автономність; довговічність; габаритність.

Існують багато зв'язків між цими критеріями: точність-вартість, вартість-чутливість, габаритність-точність. Тому в данній роботі обрані не окремі критерії а всі разом, та проведений порівняльний аналіз кожного з методів, та вибраний най оптимальніший сучасний метод для вимірювання швидкості вітру по вище переліченим критеріям.

Порівняльний аналіз – метод аналізу об'єктів (або методів), при якому проводиться порівняння об'єкта (методу) з попереднім станом або порівняння стану одного об'єкта(методу) з іншим, з яким порівняння може бути доречним. Порівняльний аналіз є одним з основних методів, що застосовуються в наукових дослідженнях

Метод порівняльного аналізу може бути використаний при вивченні будь-яких даних і, отже, повинен розглядатися як загальний прийом. При порівняльному аналізі зіставляється характеристики декількох методів, що відображають однотипні операції. При цьому, виявляють відхилення будь-яких спеціально обчислених показників одного методу від аналогічних показників.

Особливої уваги заслуговує метод порівняльного аналізу різних конструкцій та методів. Це має особливе значення тому, що в широких колах вчених встановилася думка, що уніфікація пов'язана головним чином з відбором і як би з узаконенням існуючих, часто застарілих конструкцій, в той час як насправді вона повинна базуватися не стільки на відборі, скільки на проектуванні нових деталей, що виключають все, що застосовувалися раніше, і є елементами відповідного конструктивно-нормалізованого ряду. Тому досить поширена думка, що зустрічається навіть у літературі, що сутність конструктивної наступності полягає у використанні старих деталей, абсолютно помилково.

При виконанні приземних метеорологічних спостережень вимірюються: середня швидкість вітру, найчастіше, за 10 хвилин, максимальне значення за той самий інтервал часу (швидкість вітру при поривах) і напрямок вітру, а також максимальна швидкість вітру між термінами. Напрямок вітру осереднюється сучасними приладами за

10 хвилин, а за відсутності цих приладів визначається візуально при безпосередньому спостереженні його зміни, тому усереднювання напрямку проводиться за дві хвилини. Якщо на станції немає приладу з автоматичним осередненням швидкості вітру за 10 хвилин, то доводиться і швидкість вітру усереднювати за безпосередніми спостереженнями за її зміною. Таке усереднювання застосовують при визначенні швидкості та напрямку вітру за флюгером.

Суть ультразвукового методу вимірювання швидкості вітру полягає у вимірюванні затримки проходження ультразвукових імпульсів від передавача

до приймача, рознесених на деяку відстань. При відомій відстані між датчиками легко обчислити швидкість проходження сигналу. Тоді істинна швидкість вітру дорівнює різниці еталонної розрахункової швидкості і вимірної. Знак буде показувати напрямок вітру.

1 КРИТЕРІЇ ТА ЇХ ВИБІР

Критерій, (грец. kriterion - засіб для вирішення). Ознака, на підставі якої виробляється оцінка, визначення, класифікація чого-небудь, мірило .

По методам вимірювання швидкості вітру можна виділити наступні критерії:

- точність;
- вартість;
- швидкодія;
- чутливість;
- діапазон вимірювання;
- автономність;
- довговічність;
- габаритність.

Існують багато зв'язків між цими критеріями: точність-вартість, вартість-чутливість, габаритність-точність. Тому в данній роботі обрані не окремі критерії а всі разом, та проведений порівняльний аналіз кожного з методів, та вибраний най оптимальніший сучасний метод для вимірювання швидкості вітру по вище переліченим критеріям.

Порівняльний аналіз – метод аналізу об'єктів (або методів), при якому проводиться порівняння об'єкта (методу) з попереднім станом або порівняння стану одного об'єкта(методу) з іншим, з яким порівняння може бути доречним. Порівняльний аналіз є одним з основних методів, що застосовуються в наукових дослідженнях

Метод порівняльного аналізу може бути використаний при вивченні будь-яких даних і, отже, повинен розглядатися як загальний прийом. При порівняльному аналізі зіставляється характеристики декількох методів, що відображають однотипні операції. При цьому, виявляють відхилення будь-

яких спеціально обчислених показників одного методу від аналогічних показників [1].

Особливої уваги заслуговує метод порівняльного аналізу різних конструкцій та методів. Це має особливе значення тому, що в широких колах вчених встановилася думка, що уніфікація пов'язана головним чином з відбором і як би з узаконенням існуючих, часто застарілих конструкцій, в той час як насправді вона повинна базуватися не стільки на відборі, скільки на проектуванні нових деталей, що виключають все, що застосовувалися раніше, і є елементами відповідного конструктивно-нормалізованого ряду. Тому досить поширена думка, що зустрічається навіть у літературі, що сутність конструктивної наступності полягає у використанні старих деталей, абсолютно помилково.

Оцінка техніко-економічного рівня методом порівняльного аналізу дозволяє оцінити не тільки технічний рівень, але і рівень конкурентоспроможності методів. Серед усіх досліджуваних параметрів виділяється головний, і як функція кожного головного параметра визначається теоретична (орієнтовна) ціна виробу, а також техніко-економічний рівень як відповідність між теоретичною і дійсною ціною, з одного боку, і ціни і технічним рівнем - з іншого.

Аналіз критичної точки - це метод порівняльного аналізу витрат за варіантами розміщення, що дозволяє зробити вибір найбільш ефективного з наявного набору альтернатив. Визначаючи постійні і змінні витрати і представляючи їх графічно для кожного можливого розміщення, можна вибрати варіант, якому відповідають самі низькі загальні витрати розміщення. Аналіз критичної точки при розміщенні може бути представлений як графічно, так і аналітично. Графічне представлення має перевагу, забезпечуючи рангове значення оцінки переваги кожного місця розміщення.

Для складання аналітичних таблиць, які формуються на виході першого модуля, використовується метод порівняльного аналізу [2].

2 СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІТРУ

Рух повітря відносно земної поверхні називається вітром.

Утворення повітряних потоків відбувається завдяки дії таких чинників, як:

- градієнти тиску, що забезпечують рух повітря від зони високого тиску до зони низького;

- гравітаційна сила, що прискорює рух повітря до величини $g = 9,8 \text{ м} \cdot \text{с}^2$.

Дія вертикального градієнта тиску врівноважується гравітаційною силою;

- сила тертя(F). Сила тертя пропорційна швидкості вітру і має протилежний останньому напрямок;

- сила Коріоліса, що відхиляє напрямок руху повітря (вправо в Північній півкулі, вліво - в Південній);

- відцентрова сила. За великих швидкостей і малих радіусів кривизни вона може значно перевищувати градієнтну силу (тропічні циклони, смерчі).

Основні параметри вітру - швидкість, напрямок і поривчастість.

Швидкість вітру вимірюється в м/сек., хоча можуть застосовуватися такі одиниці як вузол або км /год.

Швидкість вітру оцінюється за допомогою шкали Бофорта (табл. 2.1).

При виконанні приземних метеорологічних спостережень вимірюються: середня швидкість вітру, найчастіше, за 10 хвилин, максимальне значення за той самий інтервал часу (швидкість вітру при поривах) і напрямок вітру, а також максимальна швидкість вітру між термінами. Напрямок вітру осереднюється сучасними приладами за 10 хвилин, а за відсутності цих приладів визначається візуально при безпосередньому спостереженні його зміни, тому усереднювання напрямку проводиться за дві хвилини. Якщо на станції немає приладу з автоматичним осередненням швидкості вітру за 10 хвилин, то доводиться і швидкість вітру усереднювати за безпосередніми

спостереженнями за її зміною. Таке усереднювання застосовують при визначенні швидкості та напрямку вітру за флюгером.

Таблиця 2.1 – Шкала Бофорта

Бал	Характеристика	м/сек	вузол	км/год.
0	Безвітря	0,0...0,2	<1	<1
1	Легкий вітрець	0,3...1,5	1...3	1...5
2	Легкий бриз	1,6...3,3	4...6	6...11
3	М'який бриз	3,4...5,4	7...10	12...19
4	Помірний бриз	5,5...7,9	11...16	20...28
5	Свіжий бриз	8,0...10,7	17...21	29...38
6	Сильний бриз	10,8...13,8	22...27	39...49
7	Близький до штормового вітер	13,9...17,1	28...33	50...61
8	Штормовий вітер	17,2...20,7	34...40	62...74
9	Сильний штормовий вітер	20,8...24,4	41...47	75...88
10	Шторм	24,5...28,4	48...55	89...102
11	Надзвичайно сильний шторм	28,5...32,6	56...63	103...117
12	Ураган	>32,7	>64	>118

2.1 Принципи вимірювання швидкості та напрямку вітру

Для вимірювання швидкості вітру застосовуються прилади, дія яких заснована на перетворенні енергії вітрового потоку в механічне обертання різноманітних вертушок, вітрових коліс або повітряних гвинтів і визначенні швидкості обертання цих агрегатів. Такого роду пристрої для вимірювання швидкості вітру називають обертальними анемометрами. Їх зазвичай

розділяють на анемометри з вертикальною віссю обертання і анемометри з горизонтальною віссю обертання.

До цієї ж групи приладів належать термоанемометри, акустичні (ультразвукові) анемометри, іонізаційні анемометри та інші, кожен з яких заснований на дії вітру на температуру нагрітого тіла, швидкість розповсюдження звуку або перенесення іонізованих частинок [3].

Усі ці прилади вимірюють швидкість повітряного потоку.

До іншої групи приладів належать пристрої, що вимірюють силову дію повітряного потоку на різні тіла: пластини, кулі, циліндри та інші тіла більш складної конфігурації. За цими пристроями не встановилося будь-якої узагальненої назви, але вони принципово відрізняються від анемометрів тим, що в результаті вимірювання безпосередньо виходить сила вітру, яка залежить від щільності повітря. До таких приладів належать флюгер Вільда (з легкою і з важкою дошкою), що широко застосовувався на мережі, вітромір Третьякова та інші подібні прилади. Можна назвати прилади, які вимірюють безпосередньо динамічний тиск вітрового потоку (швидкісний напор). Вони складають групу манометричних вітровимірювальних приладів. Приладом такого типу є ураганомер.

Для визначення напрямку вітру в більшості випадків застосовуються різні флюгарки, що обертаються навколо вертикальної осі та встановлюються в потоці під впливом вітру на її хвостову частину.

В окремих випадках (на польових посадочних майданчиках для сільськогосподарської авіації) уживається вітровий конус. Тканина натягується широким конусом на металеве кільце, яке вільно обертається на вертикальній осі. Наповнюючись вітром, конус повертається вздовж потоку.

У польових, похідних умовах можна використовувати вимпел, що є шматком матерії у формі витягнутого трикутника, широким кінцем вільно підвішений на вертикальній жердині.

При застосуванні конуса і вимпела необхідно знати напрям сторін світу.

Лише в окремих випадках застосовуються інші, більш складні пристрої, які зазвичай використовують на морських судах, де при вимірюваннях (або при обробці результатів) необхідно виключати власну швидкість корабля.

2.2 Анемометри чашкові

Розглянемо наступні прилади.

Анемометр ручний чашковий МС-13 призначений для вимірювання середньої швидкості вітру від 1 до 20 м/с.

Датчиком (чутливим елементом) є чотиричашкова вертушка, закріплена на вертикальній осі, що обертається. Верхній і нижній кінці осі спираються на агатові підшипники. Знизу вісь закінчується черв'яком, пов'язаним з редуктором, який передає рух трьом стрілкам механізму. Циферблат лічильного механізму обертів має три шкали: одиниць, сотень і тисяч. Число обертів вертушки пропорційне середній швидкості вітру за обраний інтервал часу.

Значення середньої швидкості вітру знаходять за допомогою таблиці або графіка (наводяться в повірочному свідоцтві анемометра).

Анемометр ручний індукційний АРІ-49 призначений для вимірювання миттєвих значень швидкості вітру від 2 до 30 м/с.

У цьому приладі вимірювання кутової швидкості обертання тричашкової вертушки проводяться за допомогою магнітоіндукційного тахометра. Чутливим елементом є тричашкова вертушка, закріплена на вертикальній осі, що обертається в підшипниках, на нижньому кінці якої закріплена магнітна система (постійний магніт, магнітопровід і температурний компенсатор) [4].

У корпусі (рис. 2.1) змонтований і перетворювач кутової швидкості в кут повороту стрілки, що складається з металевого ковпачка, розташованого в

кільцевому зазорі між магнітом і магнітопроводом, волоска і вказівної стрілки. Швидкість вітру визначається за положенням стрілки щодо шкали, закріпленої на платі та видної у віконці в нижній частині корпусу.

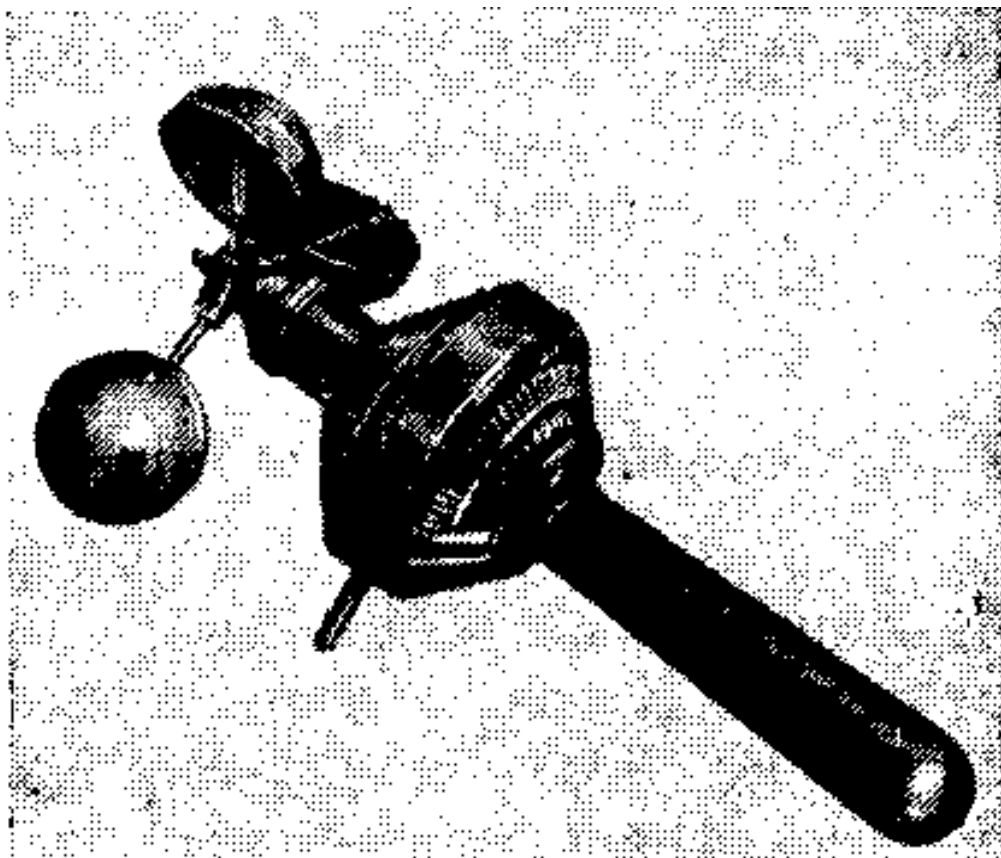


Рисунок 2.1 – Анемометр ручний індукційний

Прилад забезпечений ручкою і спеціальним накінцівником, який прикручується до анемометра замість ручки, коли прилад встановлюється на жердині. Магнітна система, що обертається разом з вертушкою, викликає в металевому ковпачку вихрові струми, які створюють обертальний момент, прикладений до ковпачка. Ковпачок повертається, закручуючи волосок і переміщуючи стрілку, яка і показує швидкість вітру.

Технічні характеристики ручного анемометра АРІ-49

Діапазон вимірювання швидкості вітру 2,0 до 30 м / с.

Чутливість не більше 1,8 м / с.

Ціна поділки шкали 1,0 м / с.

Межа похибки не більше $(0,5 + 0,05 V)$ м / с, де V вимірюється швидкість вітру, м / с.

Ручний анемометр АРІ-49 розрахований для роботи в районах з помірним кліматом при температурі від -40 до $+45$ ° С і відносній вологості повітря 80% при температурі 20 ° С

Термін служби ручного анемометра АРІ-49 до списання не менше 6 років.

2.3 Мережні прилади для вимірювання параметрів вітру

Розглянемо даний вид приладів на прикладі анеморумбометра М-63м-1.

Анеморумбометр М-63м-1 є основним приладом для вимірювання швидкості та напрямку вітру на гідрометеорологічній мережі. Він забезпечує визначення середньої за 2 або 10 хвилин швидкості вітру, миттєвого (поточного) її значення з усереднюванням 3...5 с і напрямку вітру (рис. 2.2). Прилад дозволяє визначити і максимальне значення миттєвої швидкості вітру за проміжок часу між двома послідовними відліками шляхом фіксації максимального відхилення покажчика миттєвої швидкості. Середня швидкість вимірюється в діапазоні від 1 до 40 м/с, максимальна — до 60 м/с, напрямок — від 0 до 360°.

У останній модифікації анеморумбометра М-63м-1 використовується пульт Мв 1-2-1 з цифровим покажчиком швидкості вітру (середньої, миттєвої і максимальної). У цьому пульті за рахунок використання сучасних елементів цифрової техніки реалізовано осереднення швидкості вітру як за 2 хв, так і за 10 хв (задається на пульті при вимірюваннях). Миттєва швидкість визначається підрахунком кількості імпульсів приблизно за 3 с (період осереднення миттєвої швидкості). Максимальна швидкість визначається як максимальне значення миттєвої за час вимірювання (зберігається в блоці пам'яті та відображується за

викликом з пульта). Напрямок вітру також автоматично усереднюється за 15 с (постійна часу показчика напрямку).



Рисунок 2.2 – Анеморумбометр М-63м-1

Датчиком анеморумбометра М-63м-1 (або його модифікації) є анемометр з повітряним гвинтом і горизонтальною віссю обертання, який встановлюється в потоці об'ємною флюгаркою. Кількість обертів гвинта, пропорційна швидкості повітряного потоку, перетворюється в послідовність імпульсів [5].

Під впливом вітру генераторами датчика виробляються три групи імпульсів (опорна, основна і зрушена), частота яких прямо пропорційна швидкості вітру. Частота імпульсів однакова, а фазове зрушення різне. Зрушення між основною і опорною групами дорівнює куту відхилення флюгарки від положення нуля (від півночі), тобто дорівнює напрямку вітру. Фазове зрушення між імпульсами зрушеної і опорної груп становить 180° .

Значення середньої швидкості вітру отримують, підраховуючи кількість імпульсів опорної групи за інтервал осереднення (2 або 10 хв). Тимчасовий інтервал формується годинниковим механізмом поточна (миттєва) швидкість одержується перетворенням імпульсів однієї (основної) або двох (основної і зрушеної) груп. Напруга, пропорційна частоті імпульсів, вимірюється двошкальним міліамперметром (відповідно 0... 30 і 0... 60 м/с). Наявна пасивна стрілка, співвісна з вказівною стрілкою поточної швидкості, фіксує максимальне відхилення останньої, тобто максимальне значення середньої швидкості вітру.

Значення напрямку вітру одержують при використанні всіх трьох груп імпульсів, одночасно з вимірюванням частоти проходження імпульсів (тобто вимірювання швидкості вітру) шляхом визначення різниці фаз груп основна - опорна і зрушена - опорна. Всі три групи імпульсів використовуються, оскільки зрушення фаз цих груп під час переходу флюгарки відповідно через 0 і 180° змінюється стрибкоподібно. В результаті похибка вимірювання при коливанні флюгарки близько 0 або 180° може досягати 180° . Щоб уникнути цього, канал вимірювання напрямку вітру має дві шкали. Імпульси груп основна —опорна використовуються для визначення напрямку за шкалою $0...360^\circ$. Пара груп зрушена - опорна забезпечує вимірювання за шкалою $180... 0...180^\circ$.

Під час переходу флюгарки через 0° замість групи основної частоти включається зрушена, а під час переходу через 180° відключається група зрушена і включається група основної частоти. Сигнальні лампочки вказують,

за якою шкалою треба виконувати відлік. Коли значення напрямку вітру близькі до 0 і до 180°, необхідно бути особливо уважним при відліках.

Вимірювальним пультом є настільний прилад, на лицьовій стороні панелі якого розташовані: стрілочний показчик напрямку вітру, стрілочний показчик миттєвої і максимальної швидкості вітру, лічильник (показчик) середньої швидкості вітру, а також ручка вмикання і попередження початку набору середньої швидкості вітру. У останній моделі пульта Мв1 миттєва, максимальна і середня швидкості вітру відображаються на цифровому показчику з клавішним перемиканням вимірювального каналу. Світлові індикатори указують на роботу відповідного вимірювального ланцюга.

Блок живлення являє собою дві батареї послідовно включених акумуляторів, які через знижуючий трансформатор і випрямляч постійно включені в мережу змінного струму для заряджання (режим регулюється автоматично). Без мережного живлення акумулятори забезпечують (без заряджання) роботу приладу протягом 3 - 5 діб. Блок живлення виконаний у вигляді дерев'яного ящика, усередині якого розташовані батареї акумуляторів і щит управління.

До складу анеморумбометра входять:

- датчик вітру,
- пульт,
- перетворювач (для виконання з виходом на комп'ютер),
- сполучні кабелі.

Перетворювач інтерфейсу виконує перетворення інтерфейсу пульта RS - 485 в інтерфейс RS - 232, який використовується в IBM - сумісних комп'ютерах.

2.4 Флюгер

Флюгер (рис. 2.3). Цей прилад, запропонований Вільдом ще в кінці XIX ст., є одним із простіших за побудовою. Він дає можливість вимірювати середню швидкість 20 або до 40 м/с залежно від ваги дошки, максимальні пориви і напрям вітру, максимальні значення швидкості вітру і характеристику його поривчастості.

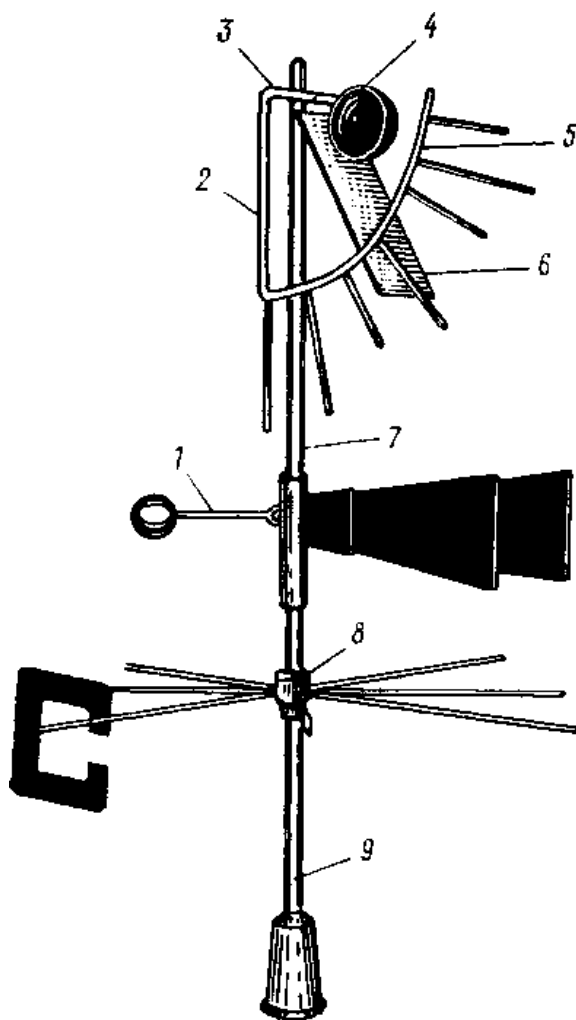


Рисунок 2.3 – Флюгер станційний:

1 — флюгарка з противагою, 2 — рамка, 3 — горизонтальна вісь, 4 — противага, 5 — дуга зі штифтами, 6 — дошка, 7 — трубка, 8 — муфта зі штифтами напруму, 9 — вертикальна вісь

Флюгер має таку будову. На залізний стрижень із загартованим кінцем надягається трубка з флюгаркою. Під флюгаркою на тому ж стрижні закріплена муфта з вісьмома штифтами напрямів країн світу. На одному з штифтів розташована літера С. Згідно з положенням противаги флюгарки визначають, звідки дме вітер (його напрямок).

Швидкість вітру визначається за відхиленням дошки (пластинки). Залізна дошка вагою 200 або 800 грамів (розміром 15X30 см) вільно обертається навколо горизонтальної осі.

Вісь обертання дошки завжди встановлюється перпендикулярно до напрямку вітру. Залежно від швидкості вітру дошка відхиляється на той або інший кут. Положення відхиленої дошки відлічується по дузі з 8 штифтами-показниками, причому штифти парні - довгі, а непарні - короткі. Штифт, який відповідає прямовисному положенню дошки, приймається за нульовий.

Флюгер належить до приладів, що вимірюють силовий вплив вітру. Ця дія пропорційна щільності повітря і квадрату швидкості вітру. Як відомо, щільність повітря залежить від атмосферного тиску і температури повітря. Тому і показання флюгера потребують поправок щодо відмінності щільності повітря від стандартної.

Флюгер і до теперішнього часу ще застосовується на гідрометеорологічній мережі як запасний прилад, а також і як основний на тих станціях, де немає мережного живлення [6].

2.5 Ультразвуковий анемометр

Всі вище перелічені прилади мають один недолік який ускладнює їх експлуатацію, це наявність рухомих частин, які треба змазувати, та які можуть впливати на вихідні значення виміряних параметрів. Ультразвуковий анемометр не має рухомих частин, тому він більш надійний.

Прилад цього типу використовує той факт, що ультразвук поширюється швидше у напрямку, в якому діє вітер. Звичайно

ультразвуковий анемометр вимірює три компоненти вітрового вектора у тривимірному просторі (рис.2.4). Вздовж кожної осі розташовано дві пари “передавач-приймач” на відстані 0,1-0.5 м. Передавач посилає безперервні або імпульсні ультразвукові хвилі.



Рисунок 2.4 – Ультразвуковий анемометр

Залежно від напрямків поширення вітру з ультразвуковою хвилею час проходження хвилею відстані d між передавачем та приймачем визначається так:

$$t_1 = \frac{d}{(v_{уз} + v_1)}; t_2 = \frac{d}{(v_{уз} - v_1)}, \quad (2.1)$$

де $v_{уз}$ – швидкість поширення ультразвукової хвилі, м/с;

v_1 – швидкість поширення проекції вектора вітру на вісь i , м/с.

Різниця в часі проходження відстані d між передавачем та приймачем двома ультразвуковими хвилями становить:

$$\Delta t = \frac{2 dv}{(v_{y3}^2 - v_1^2)} \cong \frac{2 dv}{v_{y3}^2} \quad (2.2)$$

Орієнтацію перетворювачів відносно напрямку поширення вітру наведено на (рис. 2.5).

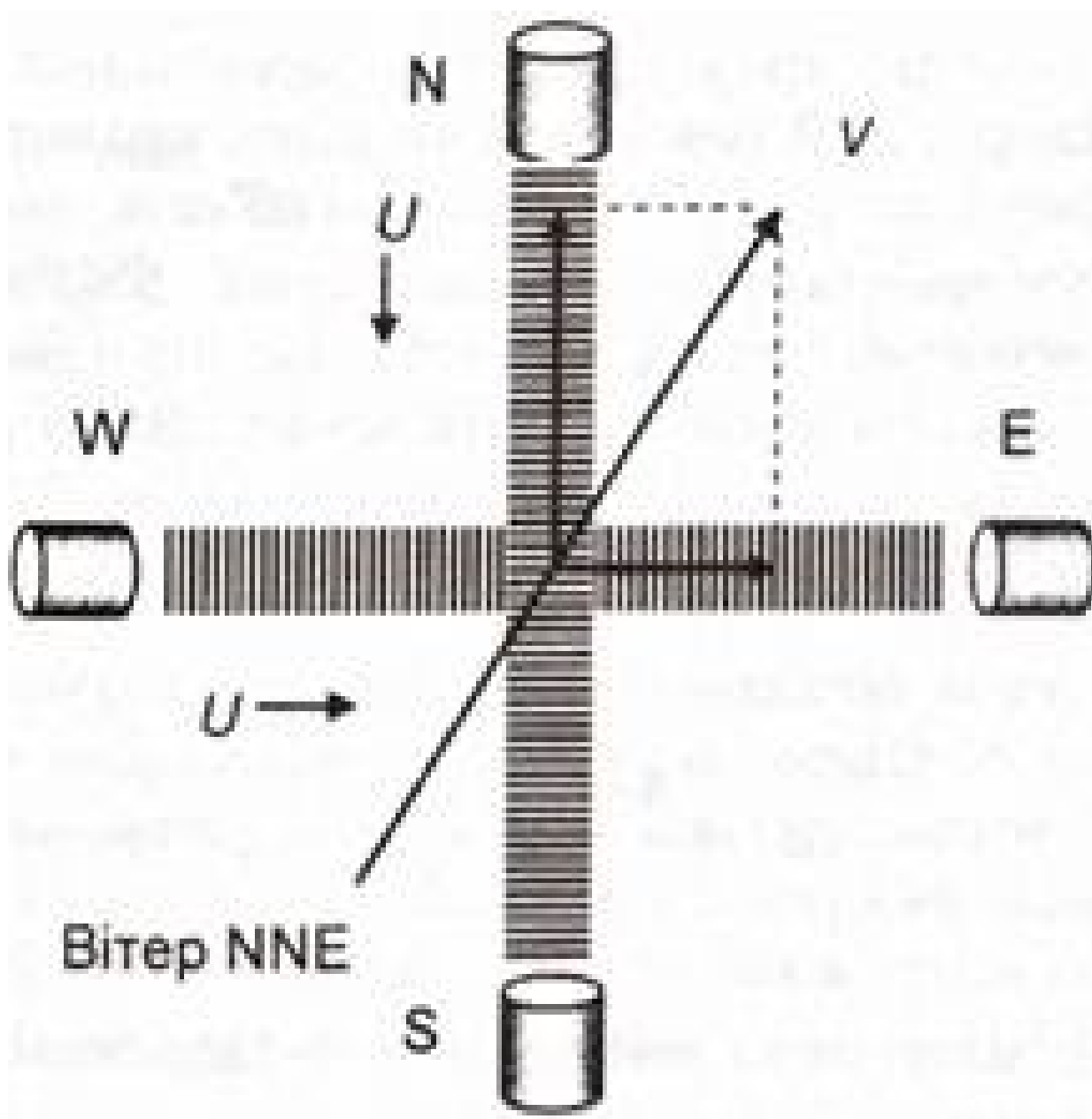


Рисунок 2.5 – Орієнтація перетворювачів відносно напрямку поширення вітру: U – швидкість поширення ультразвукової хвилі; V – швидкість поширення вітру; N – північ; S – південь; W – захід; E – схід)

2.6 Термоанемометри

Окрім анемометрів, які вимірюють швидкість і напрям руху потоків, набувають популярності термоанемометри, додатковим параметром вимірювання яких є температура навколишнього середовища (рис.2.6). Анемометри легкі та невеликі за розмірами, а тому ними зручно користуватися на виробництві та в польових умовах [3].



Рисунок 2.6 – Термоанемометр

Прилад для вимірювання швидкості потоку рідини або газу від $0,1 \text{ м / с}$ і вище, принцип дії якого заснований на залежності між швидкістю потоку v і тепловіддачею зволікання, вміщеній в потік і нагрітої електричної струмом. Осн. частина Т. міст вимірювальний (рис.), в одне плече догрого включений чувствит. елемент у вигляді нитки з нікелю, вольфраму або з платини довжиною $3-12 \text{ мм}$ і діам. $0,005-0,15 \text{ мм}$, укріпленої на тонких

електропровідних стрижнях. Кількість теплоти, переданої нагрітої дротиком потоку рідини (газу), залежить від фіз. характеристик середовища, що рухається, геометрії і орієнтації зволікання. Зі збільшенням темп-ри зволікання чутливість T . збільшується. Завдяки малій інерційності, високої чутливості, точності і компактності T . широко застосовується при вивченні несталих рухів і течій в прикордонному шарі поблизу стінки, для визначення напрямку швидкості потоку (дво- і трьохніточние T .) і гл. обр. турбулентності пов. потоків. T . користуються для зондування потоків як при звичайних тисках, так і при великих розрідженнях.

3 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІТРУ

Проаналізуємо кожен із методів вимірювання швидкості вітру.

3.1 Чашкові анемометри

Чашкові анемометри (МС-13, АРІ-49) це переважно ручні прилади, якими зручно вимірювати швидкість вітру в польових умовах. Вихідні значення швидкості вітру беруться з таблиць, це мінус в їх швидкодії, ці прилади доволі точні, з похибкою вимірювання швидкості вітру до 1 м\с. У порівнянні з іншими приладами вони доволі не дорогі. Діапазон вимірювання в цих приладах 2-30 м\с, цим вони уступають іншим приладам. Чутливість приладів доволі висока. Прилади данного виду досить маленькі, що дозволяє їм зручно вміщуватись у руку, проте саме через це вони не автономні, і вимагають присутності людини на метеомайданчику для того щоб провести вимір швидкості вітру.

3.2 Мережні прилади для вимірювання параметрів вітру

До мережних приладів відноситься такий прилад як М-63-1м, який встановлюється на метеомайданчику, на мачті. Вихідні значення швидкості вітру беруться з пульта МВ-1-2, який знаходиться у приміщенні, це плюс в їх автономності, ці прилади доволі точні, з похибкою вимірювання швидкості вітру до 1 м\с. Прилад має високу швидкодію, так значення швидкості вітру можна зняти вже через 3 секунди після початку роботи з приладом. У порівнянні з іншими приладами вони відносно дорогі. Діапазон вимірювання в цих приладах 1-40 м\с, цим вони перевершують інші прилади. Чутливість

приладів доволі висока. Прилади данного виду досить габаритні, у порівнянні з іншими.

3.3 Флюгер

Флюгер це прилад який встановлюється на метеомайданчику, на мачті. Вихідні значення швидкості вітру вираховуються в процесі візуального спостереження за металевою дошкою, це мінус в їх автономності, цей прилади доволі не точний, з похибкою вимірювання швидкості вітру 1-4 м\с, це обумовлюється фізіологічними особливостями спостерігача, та його досвіду роботи. У порівнянні з іншими приладами вони не дорогі. Діапазон вимірювання в цих приладах 2-40 м\с, цим вони перевіряють інші прилади. Чутливість приладів залежить від дошки яка встановлена на приладі. Прилади данного виду досить габаритні, у порівнянні з іншими.

3.4 Ультразвуковий анемометр

Ультразвуковий анемометр це прилад який встановлюється на метеомайданчику. Вихідні значення швидкості вітру беруться з пульта керування ,який знаходиться у приміщенні, це плюс в їх автономності, ці прилади доволі точні, з похибкою вимірювання швидкості вітру до 1 м\с. У порівнянні з іншими приладами вони відносно дорогі. Діапазон вимірювання в цих приладах 1-40 м\с, цим вони перевіряють інші прилади. Чутливість приладів доволі висока. Прилади данного виду досить габаритні, у порівнянні з іншими. Прилади данної конструкції не мають рухомих частин, що поліпшує їх експлуатацію. Без рухомих частин прилади досить довговічні.

3.5 Термоанемометр

Термоанемометри це переважно ручні прилади, якими зручно вимірювати швидкість вітру в польових умовах. На відміну від ручних анемометрів, вони обладнані датчиком температури та електронним таблом, з відки і беруться вихідні значення швидкості вітру, це плюс в їх швидкодії, ці прилади доволі точні, з похибкою вимірювання швидкості вітру до 1 м\с. У порівнянні з іншими приладами вони доволі не дорогі. Діапазон вимірювання в цих приладах 1-30 м\с, цим вони уступають іншим приладам. Чутливість приладів доволі висока. Прилади даного виду досить маленькі, що дозволяє їм зручно вміщуватись у руку, проте саме через це вони не автономні, і вимагають присутності людини на метеомайданчику для того щоб прозвести вимір швидкості вітру.

З табл. 3.1 можна зробити висновок що, з сучасних методів вимірювання швидкості вітру найкращіми виявилися ультразвукові анемометри.

Таблиця 3.1 - Порівняльний аналіз сучасних методів вимірювання швидкості вітру

	Чашкові анемометри	Мережні прилади вимірювання параметрів вітру	Флюгер	Ультразвукові анемометри	Термоанемометри
Точність	+	+	-	+	+
Вартість	+	-	+	-	+
Діапазон вимірювання	-	+	+	+	-
Швидкодія	-	+	-	+	+
Чутливість	+	+	-	+	+
Габаритність	+	-	-	-	+
Автономність	-	+	+	+	-
Довговічність	-	-	-	+	-
Кіл-сть плюсів	4	5	3	6	5

4 ПРИНЦИП ДІЇ УЛЬТРАЗВУКОВИХ АНЕМОМЕТРІВ

Прилад цього типу використовує той факт, що ультразвук поширюється швидше у напрямку, в якому діє вітер. Зазвичай ультразвуковий анемометр вимірює три компоненти вітрового вектора у тривимірному просторі (рис. 4.1). Вздовж кожної осі розташовано дві пари “передавач-приймач” на відстані 0,1-0,5 м. Передавач посилає безперервні або імпульсні ультразвукові хвилі.



Рисунок 4.1 - Ультразвуковий анемометр

Залежно від напрямків поширення вітру з ультразвуковою хвилею час проходження хвилею відстані d між передавачем та приймачем визначається так:

$$t_1 = \frac{d}{(v_{yz} + v_1)}, t_2 = \frac{d}{(v_{yz} - v_1)}, \quad (4.1)$$

де v_{yz} – швидкість поширення ультразвукової хвилі, м/с;

v_1 – швидкість поширення проекції вектора вітру на вісь i , м/с.

Суть методу вимірювання швидкості вітру полягає у вимірюванні затримки проходження ультразвукових імпульсів від передавача до приймача, рознесених на деяку відстань (рис. 4.2). При відомій відстані між датчиками легко обчислити швидкість проходження сигналу. Тоді істинна швидкість вітру дорівнює різниці еталонної розрахункової швидкості і виміряної. Знак буде показувати напрямок вітру. Якщо ж перпендикулярно до першої парі датчиків додати ще одну пару, то за теоремою Піфагора буде легко визначити повний вектор швидкості вітру включаючи напрямок:

$$V = c - c_0 = \frac{dist}{T} - \sqrt{xR(t + 273.15)}, \quad (4.2)$$

де T — вимірний час проходження імпульсу, с;

t — виміряна температура, °С;

x – показник адіабати (для кисню $x=1.4$);

R – газова постійна (для кисню 287) (Дж/кг*К) .

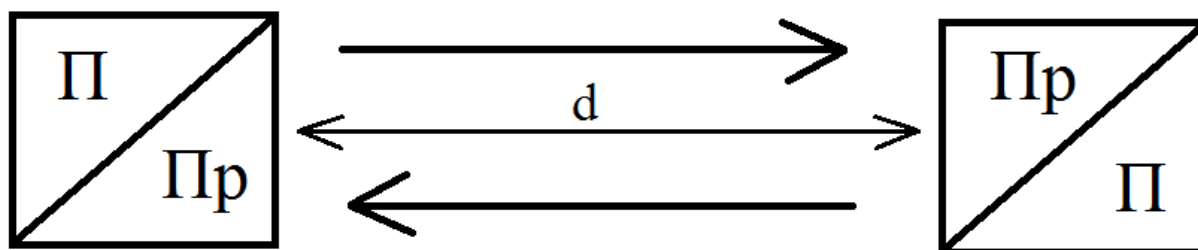


Рисунок 4.2 - Схематичне зображення ультразвукового анемометра

Швидкість вітру вимірюється завдяки відомому часу проходження імпульсу від передатчика до приймача, завдяки пучкам імпульсів. З їх допомогою ми будемо знати час коли імпульс був згенерований у передавачеві, та будемо знати час коли він прийшов до приймача, отримавши час проходження імпульсу та підставивши постійну відстань між передавачем та приймачем у формулу ми отримуємо швидкість розповсюдження звуку в атмосфері. Схематично (рис. 4.3) це має вигляд:

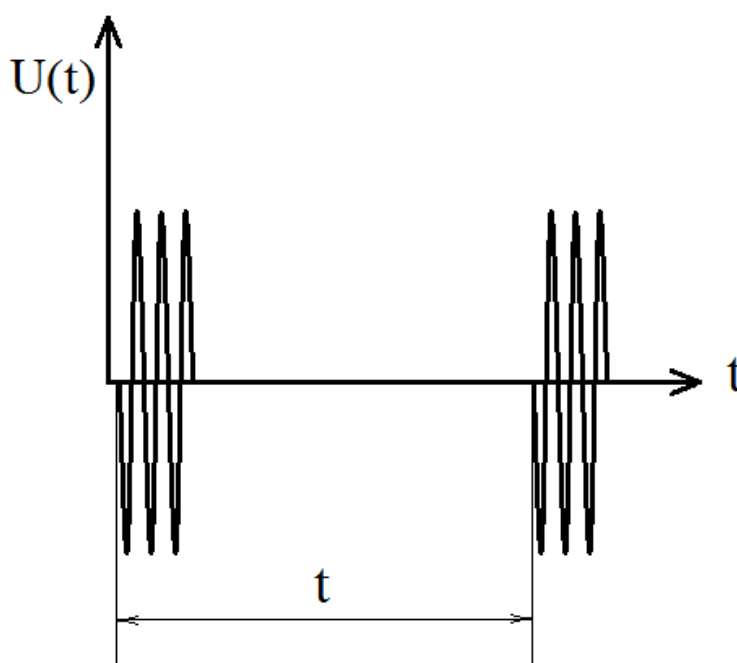


Рисунок 4.3 - Схематичне зображення імпульсів ультразвукового анемометра

Вимірявши час проходження ультразвукових імпульсів на базовій відстані, можна судити о стані середовища, тобто повітряний потік нерухомий, або рухається у відповідному напрямку. Конструкція УЗ анемометра розглядається у наступному розділі [10].

5 БУДОВА УЛЬТРАЗВУКОВОГО АНЕМОМЕТРА

Ультразвуковий анемометр (рис. 5.1) є найсучаснішим методом вимірювання параметрів вітру. В ньому повністю відсутні рухомі частини, тому він не потребує постійного нагляду та догляду.



Рисунок 5.1 - Ультрозвуковий анемометр

Датчик може виконувати кілька функцій. Залежно від їх кількості, можна виділити кілька видів датчиків:

- Двомірні, які здатні визначити швидкість і напрям вітру.
- Тривимірні, які визначають всі три компоненти вектора швидкості вітру.
- Чотиривимірні, які в доповнення до показників попереднього виду можуть вимірювати температуру повітря. Ультразвукові прилади вимірюють швидкість вітру до 60 м/с.

В даній роботі запропоновано метод реалізації ультразвукового анемометра, тому потрібно провести розрахунки залежності поширення звуку в атмосфері з урахуванням вологості температури та тиску.

Швидкість звуку в повітрі в залежності від тиску (висоти), вологості і температури можна розрахувати за формулами (5.1):

$$c = \sqrt{\frac{jR(t-273.15)}{M}}, M = 28.95 - 10.934 RH \frac{P_n}{P}, j = \frac{7}{5}, R = 8, (5.1)$$

де t — температура;

P — тиск;

RH — відносна вологість;

P_n — тиск насиченої водяної пари (визначаємо за табл в залежності від температури).

За наступними формулами можна розрахувати параметри тиску потрібні для визначення швидкості розповсюдження звуку в атмосфері.

Апроксимація досвідчених даних станів насиченого пара дозволить отримати досить точну формулу (5.2) насиченої пари для всього діапазону інженерних завдань:

$$P_n = k 4.579 \exp\left(17.14 \frac{T}{235.3+T}\right), (5.2)$$

де P_n — тиск насиченої пари;

t — температура насиченої пари (повітря), $^{\circ}C$;

k — коефіцієнт перерахунку розмірності = 133.3 для Паскалів .

Дослідження показують, що склад повітря у віддалених від землі шарах атмосфери майже не змінюється і процентний вміст кисню в ньому таке ж, як і у поверхні землі .

Тому молярна маса повітря може змінюватися лише від вологості за рахунок більшої масової частки H_2O . За спрощеною формулою (5.3) тиск з висотою зменшується за законом [11].

$$P = P_0(0.87)^h = P_0 10^{-0.06h}, (5.3)$$

В цілому, вплив вологості дуже мало. Різниця швидкості звуку між сухим повітрям (0%) і туманом (100%) становить 2 м/с при температурі $25^{\circ}C$, а при $0^{\circ}C$ всього лише 0,4 м/с . Тиск теж майже не впливає. На висоті 3 км над рівнем моря швидкість звуку збільшується лише на 0,5 м/с (при незмінній температурі $25^{\circ}C$ і вологості 40%). Основний вплив має температура (рис. 5.2). Зменшення температури з $25^{\circ}C$ до $0^{\circ}C$ знижує швидкість звуку на 15.5 м/с. Тому іншим можна знехтувати, та переписати у формулу (5.4) [4]:

$$c = \sqrt{xR(t+273.15)}, (5.4)$$

де x – показник адіабати (для кисню $x=1.4$);

R – газова постійна (для кисню 287) ((Дж/кг)К) .

Використовуючи вираз 5,1-5,4 можна з високою точністю визначити швидкість руху повітряного потоку для різних температурних умов.

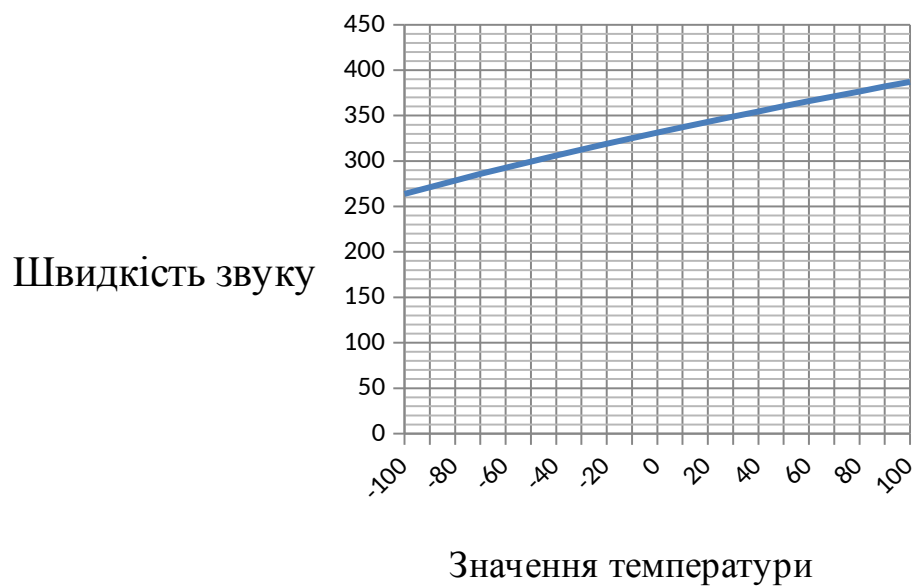


Рисунок 5.2 - Графік залежності швидкості поширення звуку в атмосфері від температури повітря

6 РЕАЛІЗАЦІЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО АНЕМОМЕТРА НА БАЗІ МІКРОПРОЦЕСОРУ «ARDUINO»

Для реалізації треба обрати що являється джерелом ультразвукових (УЗ) імпульсів, приймачем УЗ імпульсів, що являється пристроєм обробки (рис. 6.1).

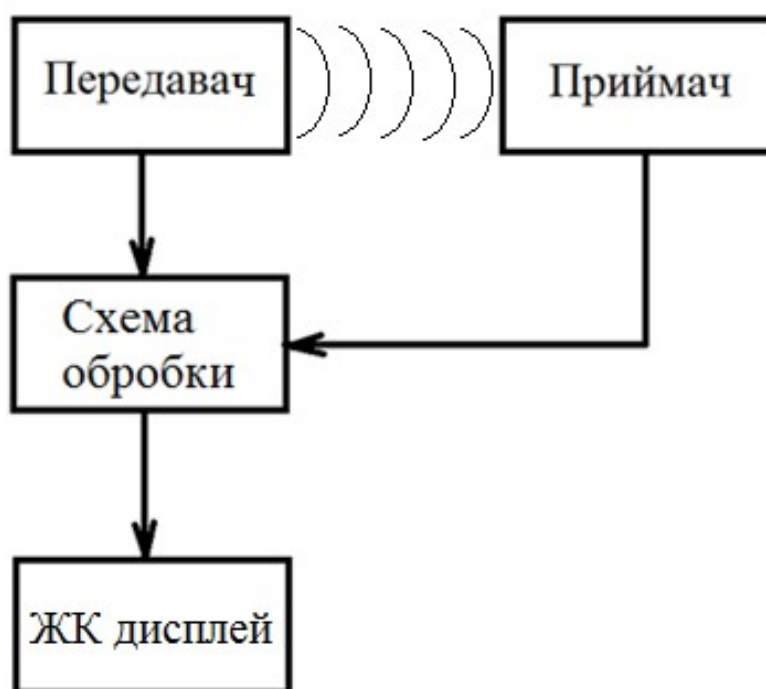


Рисунок 6.1 - Схематичне зображення будови ультразвукового анемометру

Arduino - це платформа з відкритим вихідним кодом, створена для швидкої і легкої розробки різноманітних електронних пристроїв. Ардуїно може отримувати дані про навколишній світ завдяки датчикам і реагувати, керуючи світлом, моторчиками та іншими приводами. Мікроконтролер на платі програмується за допомогою мови програмування Arduino і середовища розробки Arduino. Для програмування не потрібно програматор, прилад програмується через порт USB [12].

Для початку роботи знадобиться тільки сама плата Arduino і комп'ютер з встановленим середовищем розробки Arduino (рис. 6.2).



Рисунок 6.2 - Комплект датчиків на мікропроцесорі Arduino

В якості датчика найчастіше обирають HC-SR04. Діапазон від 2 см до 4 м. Діаграма спрямованості у нього широка $\pm 30^\circ$, але для наших цілей годиться. Крім власне HC-SR04 нам знадобиться практично будь-який мікропроцесор, наприклад, arduino mini/micro. Ще краще arduino Leonardo з вбудованим USB. Схематично прилад має вид.

Власне вже нічого не заважає зібрати пристрій. Відразу додали в пристрій звичайний датчик температури DS18B20 щоб було з чим порівнювати свідчення [13].

Тепер, коли відомо як визначити швидкість звуку в атмосфері в залежності від температури, залишився один крок до найпростішого ультразвукового анемометра, який зможе виміряти швидкість вітру в проекції на вісь між передавачем і приймачем.

Для цього потрібно рознести датчики на деяку відстань d (рис. 6.3). Слід пам'ятати що для точності чим більше тим краще. Чому не можна залишити HC-SR04 в зборі?. Якщо нічого не змінювати, то при наявності зустрічного вітру швидкість звуку до перешкоди буде менше, а при відбитті від перешкоди по дорозі назад на ту ж величину збільшиться. У результаті середня швидкість буде такою ж як і при штилі. Інша справа, якщо приймач і передавач рознести, у такому випадку відразу підвищується точність ультразвукового термометра, оскільки відсутнє відображення .



Рисунок 6.3 - Ультрозвуковий анемометр на одній парі датчиків

Тепер можлива реалізація УЗ анемометра у вигляді лабороторного макету на базі УЗ вимірювача дальності працюючого на основі МП «Arduino» [14].

Код програми для ультразвукового анемометру на базі мікропроцесору Arduino преведоно у додатках.

7 ОПИСАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Лабораторна установка являється сучасним автоматизованим приладом для контролю параметрів вітру у навколишньому середовищі, на базі мікропроцесора «Arduino 101» і цифрового датчика «HC-SR04». Робота установки відбувається в відповідно з написаним програмним кодом для керування приладом і самостійного розрахунку приладом за формулами поширення ультразвукових хвиль у просторі в залежності від температури. У склад установки входять:

7.1 Ультразвуковий далекомір—«HC-SR04»

Ультразвуковий далекомір—«HC-SR04» дозволяє формувати цифровий сигнал на виході пропорційний часу затримки поширення імпульсов. HC-SR04 складається з передатчика, формуючого ультразвукові імпульси, та приймача. Зовнішній вигляд датчика представлений на (рис. 7.1).

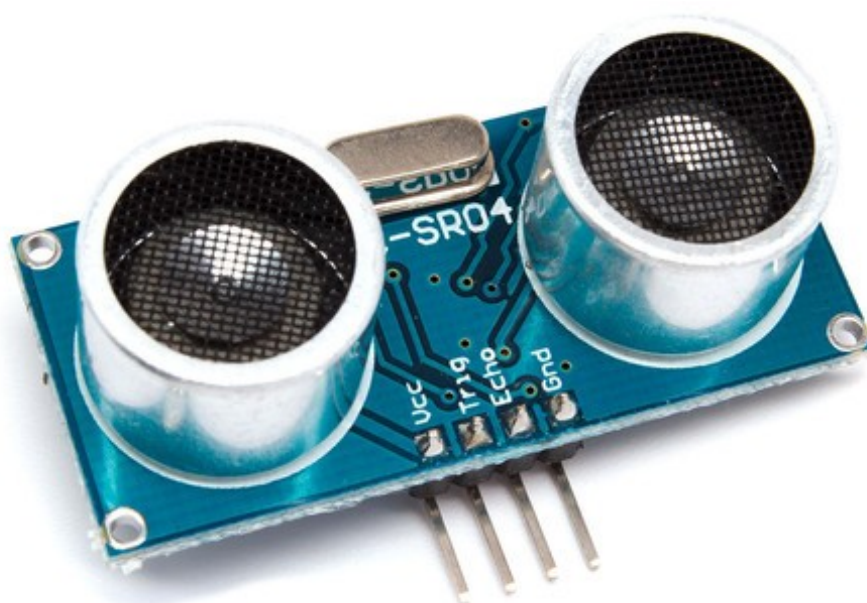


Рисунок 7.1 - Ультразвуковий далекомір HC-SR04

7.2 Цифровий датчик температури і вологості – «DHT21»

Цифровий датчик температури і вологості – «DHT21» дозволяє формувати цифровий сигнал пропорційний температурі і вологості середі поширення (навколишнього повітря) ультразвукового імпульса. DHT21 складається з ємнісного датчика вологості і термістора. Датчик містить у собі АЦП для перетворення аналогових значень вологості і температури в цифровий сигнал, зовнішній вигляд датчика представлений на (рис. 7.2).

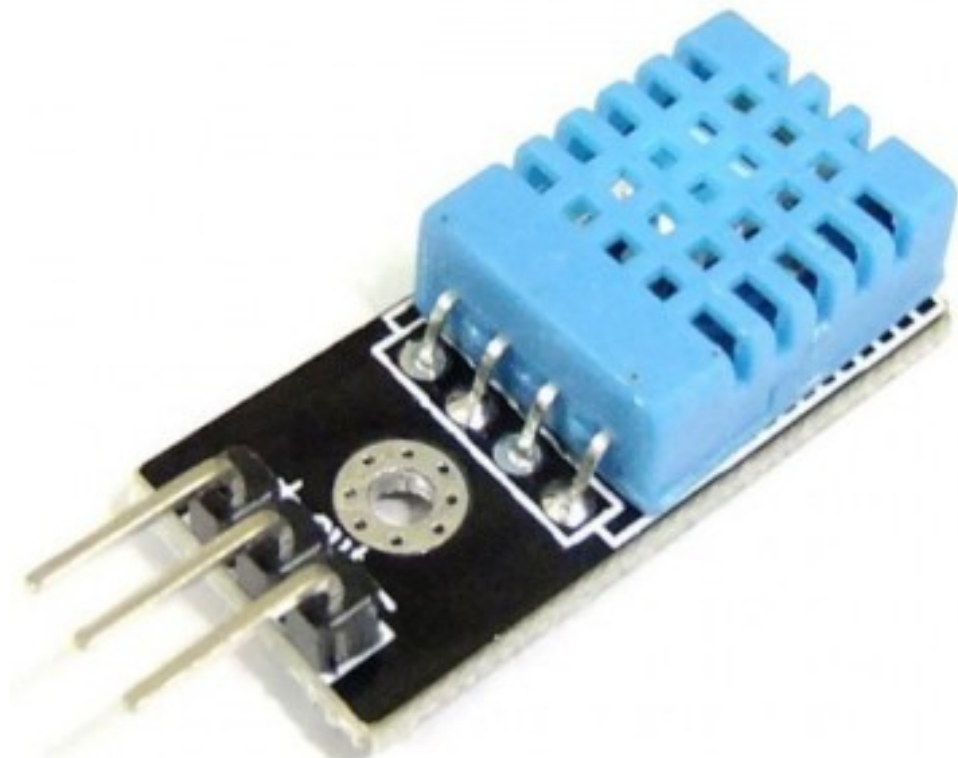


Рисунок 7.2 - Цифровий датчик температури і вологості DHT21

7.3 Мікропроцесор

Мікропроцесор – інтегрована мікросхема яка повинна розраховувати 16-розрядні двійкові числа, розподіляти команди, збирати інформацію,

розраховувати вихідні дані та виводити інформацію на дисплей, зовнішній вигляд мікропроцесору представлений на (рис. 7.3) [15].



Рисунок 7.3 – Мікропроцесор

7.4 Монтажна плата анеометра:

Мікропроцесор розташовується на платі, вигляд якої зображено на (рис. 7.4).



Рисунок 7.4 – Плата з мікропроцесором Arduino 101

7.5 Дисплей – ЖК типу

Дисплей – ЖК типу, який відображає інформацію з мікропроцесора на рідкокристалічний екран, зовнішній вигляд дисплею представлений на (рис. 7.5) [16].

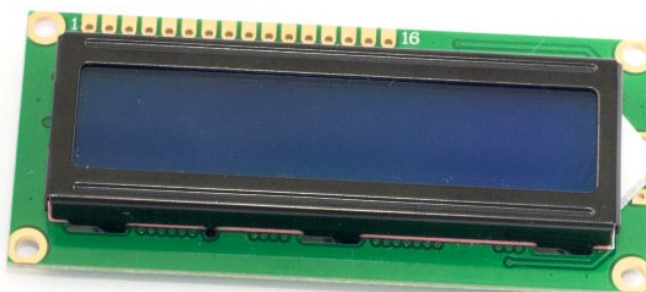


Рисунок 7.5 – Дисплей

7.6 Блок живлення анемометра

Блок живлення анемометра - призначений для забезпечення живлення електроприладу електричною енергією, при відповідності вимогам їх параметрів: напруги, струму, зовнішній вигляд блоку живлення представлений на (рис. 7.6) [17].



Рисунок 7.6 – Блок живлення

7.7 Імітатор вітру

Для перевірки роботи УЗ анемометра та зняття його характеристик в складі лабораторної установки маємо імітатор вітру, який повинен створювати в горизонтальній площині направлений рух повітря з різною швидкістю та протилежній направленості. В склад імітатора вітру входять: регульоване джерело постійного струму та два вентилятори, установлені друг на протилежній стороні на базовій відстані 1 м. На передній шкалі пульта керування мається регулятор напруги та вольтметр для контролю величини живлющого струму. Вид імітатора вітру показан на рис. 7.7, рис. 7.8, рис 7.9.

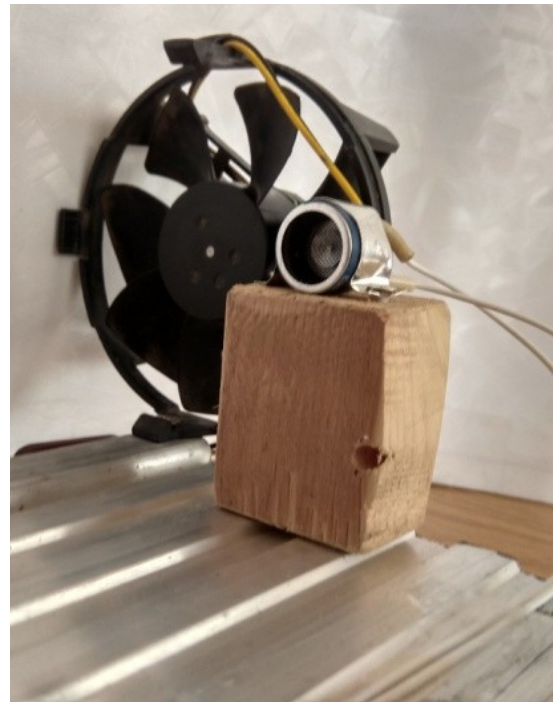
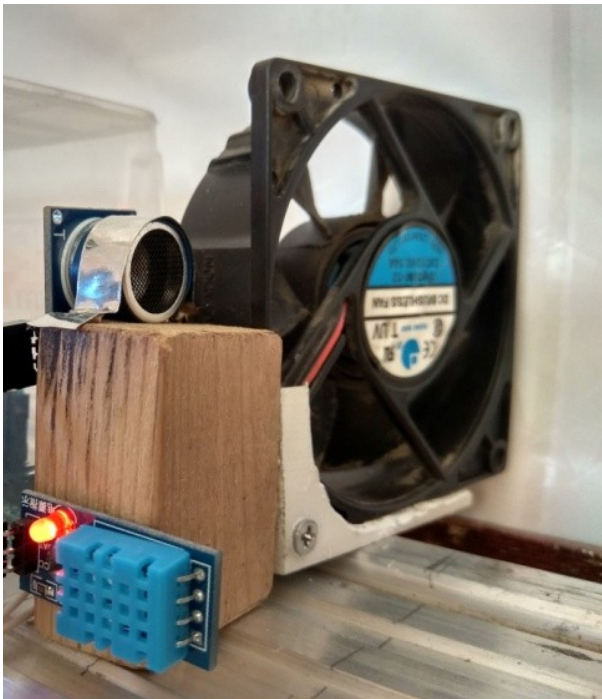


Рисунок 7.7 – Два вентилятори, установлені друг на протилежній стороні на базовій відстані 1 м



Рисунок 7.8 – Бокова панель пульта керування імітатора вітру



Рисунок 7.9 – Передня панель пульта керування імітатора вітру

8 СКЛАДАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЕЛЕКТРОННОГО АНЕМОМЕТРА

Для проведення вимірювання необхідно зібрати УЗ електронний анемометр.

Схема УЗ електронного анемометра зображено на (рис. 8.1).

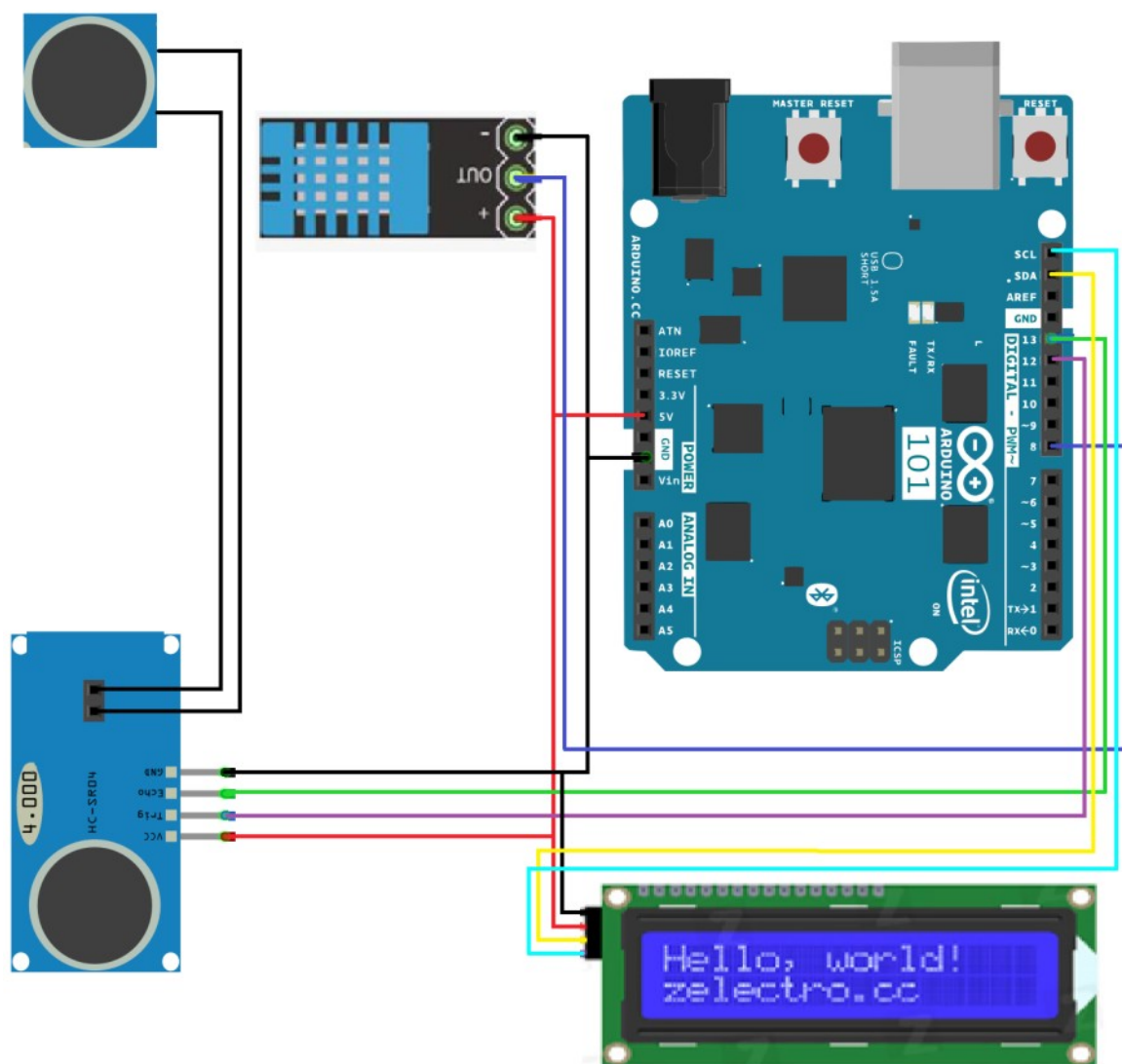


Рисунок 8.1 – Монтажна схема УЗ електронного анемометра

8.1 Підготовка необхідних деталей

Компоненти УЗ електронного анемометра:

1. Мікропроцесор «Arduino 101».
2. Датчик«HC-SR04».
3. Датчик«DHT21».
4. Дисплей.
5. Дроти.
6. Блок живлення.

8.2 Етапи зборки макету

1. З'єднуємо датчик «DHT21»з мікропроцесором «Arduino 101»;

1.1 Червоний дріт з'єднуємо з (+) «DHT21» і під'єднаємо до мікропроцесору вихід живлення 5V.

1.2 Чорний дріт з'єднуємо з (-) «DHT21» і під'єднаємо до мікропроцесору вихідGND.

1.3 Синій дріт з'єднуємо з цифровим виходом «DHT21»і під'єднаємо до мікропроцесору вихід-8.

2. З'єднуємо датчик «HC-SR04»з мікропроцесором «Arduino 101»;

2.1 Червоний дріт з'єднуємо з (+) «DHT21» і під'єднаємо до мікропроцесору вихід живлення 5V.

2.2 Чорний дріт з'єднуємо з (-) «DHT21» і під'єднаємо до мікропроцесору вихідGND.

2.3 Фіолетовий дріт з'єднуємо з цифровим виходом HC-SR04(Trig)і під'єднаємо до мікропроцесору вихід-12.

2.4 Зелений дріт з'єднуємо з цифровим виходом HC-SR04(Echo)і під'єднаємо до мікропроцесору вихід-13.

3. З'єднуємо дисплей з мікропроцесором «Arduino 101»;

3.1 Чорний дріт з'єднуємо з першим виходом (-) дисплея і під'єднаємо до мікропроцесору вихід живлення GND.

3.2 Червоний дріт з'єднуємо з другим виходом (+) дисплея і під'єднаємо до мікропроцесору вихід живлення 5V.

3.3 Жовтий дріт з'єднуємо з третім виходом дисплея і під'єднаємо до мікропроцесору SDA - послідовна лінія даних (SerialData).

3.4 Голубий дріт з'єднуємо з четвертим виходом дисплея і під'єднаємо до мікропроцесору SCL - послідовна лінія тактування (SerialClock).

Автоматизований електронний ультразвуковий анемометр на базі мікропроцесору Arduino 101 зображено на (рис. 8.2).



Рисунок 8.2 – Автоматизований електронний ультразвуковий анемометр на базі мікропроцесору Arduino 101

8.3 Програмний код

Для роботи установки необхідно написати програмний код, який створюється в середовищі програмування «Arduino 101».

Arduino - це інструмент за допомогою якого можливо проектування електронних пристроїв. Вони більш щільно взаємодіють з навколишнім фізичним середовищем, ніж стандартні персональні комп'ютери, які фактично не виходять за рамки віртуальності. Це платформа, призначена для «фізичного обчислення» з відкритим програмним кодом, побудована на простій друкованій платі з сучасної середовищем для написання програмного забезпечення [18].

Фізичні обчислення дають можливість за допомогою програмного і апаратного забезпечення створювати інтерактивні фізичні системи, які здатні сприймати і реагувати на аналоговий світ. У більш широкому сенсі фізичні обчислення - це творча основа для розуміння відносин людей з цифровим світом. У практичному використанні термін найчастіше описує проекти, які використовують датчики і мікроконтролери для перетворення аналогового входу в програмну систему [19]

Arduino застосовується для створення різноманітних електронних пристроїв що мають можливість приймати сигнали від цифрових і аналогових датчиків, що підключені до нього, і керувати виконавчими пристроями. Проекти пристроїв, що засновані на Arduino, можуть працювати самостійно або взаємодіяти з програмним забезпеченням на комп'ютери [20].

На концептуальному рівні всі плати програмуються через RS-232 (послідовне з'єднання), але реалізація цього способу відрізняється від версії до версії. Плата Serial Arduino містить просту інвертує схему для конвертації рівнів сигналів RS-232 в рівні TTL, і навпаки. Поточні розсилаються плати, наприклад, Diecimila, програмуються через USB, що здійснюється завдяки мікросхемі конвертера USB-to-Serial FTDI FT232R. У версії платформи Arduino Uno в якості конвертера використовується мікроконтролер

Atmega8 в SMD-корпусі. Дане рішення дозволяє програмувати конвертер так, щоб платформа відразу визначалася як миша, джойстик або інший пристрій на розсуд розробника з усіма необхідними додатковими сигналами управління. У деяких варіантах, таких як Arduino Mini або неофіційною Boarduino, для програмування потрібне підключення окремої плати USB-to-Serial або кабелю [21].

Плати Arduino дозволяють використовувати більшу частину I / O висновків мікроконтролера в зовнішніх схемах. Наприклад, в платі Diecimila доступно 14 цифрових входів / виходів, 6 з яких можуть видавати ШІМ сигнал, і 6 аналогових входів. Ці сигнали доступні на платі через контактні площадки або штирові роз'єми. Також доступні декілька видів зовнішніх плат розширення, званих «англ. shields »(дослівно:« щити »), які приєднуються до плати Arduino через штирові роз'єми.

Інтегроване середовище розробки Arduino - це кроссплатформне додаток на Java, що включає в себе редактор коду, компілятор і модуль передачі прошивки в плату [22].

Середовище розробки заснована на мові програмування Processing і спроектована для програмування новачками, які не знайомими близько з розробкою програмного забезпечення. Мова програмування аналогічний використовуваному в проекті Wiring. Строго кажучи, це C ++, доповнений деякими бібліотеками. Програми обробляються за допомогою препроцесора, а потім компілюється за допомогою AVR-GCC [23].

Оригінальні плати Arduino виробляє Smart Projects. На даний момент доступні 15 версій плат

Документація, прошивки і креслення Arduino поширюється під ліцензією Creative Commons Attribution ShareAlike 2.5 і доступні на офіційному сайті Arduino. Малюнок друкованої плати для деяких версій Arduino також доступний. Вихідний код для інтегрованого середовища розробки та бібліотек опублікований і доступний під ліцензією GPLv2 [24].

Мікроконтролери для Arduino відрізняються наявністю попередньо прошитого в них завантажувача. За допомогою цього завантажувача користувач має можливість завантажити свою програму в мікроконтролер без використання окремих апаратних програматорів. Завантажувач з'єднується з комп'ютером через інтерфейс USB (якщо він є на платі) або за допомогою окремого перехідника UART-USB. Підтримка завантажувача вбудована в Arduino IDE і виконується в один клік мишею.

Arduino IDE не пропонує ніяких налаштувань компілятора і мінімізує інші налаштування, що спрощує початок роботи для новачків і зменшує ризик виникнення проблем [25].

Найпростіша Arduino-програма складається з двох функцій:

- `setup ()`: функція викликається одноразово при запуску мікроконтролера.
- `loop ()`: функція викликається після установки `()` в безконечному циклі весь час роботи мікроконтролера [26]

Об'явимо піни до яких будуть підключатися дисплей і датчики «HC-SR04»

```
#include <dht11.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define Trig 12
#define Echo 13
#define ONE_WIRE_BUS 7
#define Steps
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f,16,2);

dht11 DHT;
```

```
#define DHT11_PIN 8
static const float defDist = 1.0142;

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DallasTemperature sensors(&oneWire);
void setup()
{
  pinMode(Trig, OUTPUT);
  pinMode(Echo, INPUT);
  Serial.begin(9600);

  sensors.begin();
  Serial.println("X Distance Tds18B20 Tcalc Tdht Hum V");
}
unsigned long impulseTime=0;

void loop()
{

  int chk = DHT.read(DHT11_PIN );
  switch (chk)
  {
  case DHTLIB_OK:

  break;
  case DHTLIB_ERROR_CHECKSUM:
  Serial.print("Checksum error,\t");
```

```

break;
case DHTLIB_ERROR_TIMEOUT:
Serial.print("Time out error,\t");
break;
default:
Serial.print("Unknown error,\t");
break;
}
float DHTtemp =DHT.temperature;
float DHThum = DHT.humidity;

sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures DS18B20

float dist = 0;
float temp = sensors.getTempCByIndex(0);

unsigned long impulseTime=0;
int N=50;
for (int i = 0; i <N; i++)
{

digitalWrite(Trig, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(Trig, LOW);
impulseTime +=pulseIn(Echo, HIGH);
delay(50);
}
//float P = 101325;
float P = 767 * 133.3;

```

```

float                                     M                                     =
(28.95-10.934*DHT.humidity/100*(133.3*4.579*exp(17.14*DHT.temperature/
(235.3+DHT.temperature)))/P)/1000;
float R= 8.31447;
float X = 1.4 * R/M ;
//X = 287;
float c = 20.046*sqrt(DHT.temperature+273.15);
dist = impulseTime * c / 1e6 /N;

float Speed_of_sound = defDist/impulseTime *N* 1e6;
float Tcalc = (Speed_of_sound * Speed_of_sound)/X - 273.15;
float v = c- Speed_of_sound;
//Serial.println("X Distance Tds18B20 Tcalc Tdht Hum V");
Serial.println(String(X) + char(9) + String(dist, 5) + char(9) + String(temp) + char(9)
+
String(Tcalc) + char(9) + String(DHTtemp)+ char(9) + String(DHTHum) + char(9)
+ String(v));

{
  lcd.init();
  lcd.backlight();// Включаем подсветку дисплея
  lcd.print(String(v));
  lcd.setCursor(8, 1);
  lcd.print(String(DHTtemp));

}

}

```

8.4 Порядок виконання роботи

1. Підготувати робоче місце до виконання лабораторної роботи:
 - перевірити комплектність та стан обладнання (ручний анемометр та ультразвуковий анемометр).
2. Ввімкнути живлення ультразвукового анемометра і зняти "нульові показання", тобто без імітації вітру - V^{yz}_{0B} [м / с].
3. Після підключення живлення, провести контрольне вимірювання температури, щоб переконатися в вірності показання температури, результат виводиться на дисплей. Вихідні дані порівнюють з еталонним приладом ТМ-4.
4. Поставити перемикач живлення вентиляторів на імітаторі вітру в положення «Правий».
5. За допомоги регулятора напруги на імітаторі ветру по вольтметру встановити напругу живлення правого вентилятора 10В.
6. Зняти показання швидкості вітру, видані ультразвуковим анемометром - V^{+yz} [м / с] і результат занести в табл. 8.1.
7. Провести вимірювання швидкості вітру ручним анемометром і за таблицею визначити величину - V^{+p} [м / с], а результат заносити в табл. 7.1.
8. Повторити п.п. 3-6, послідовно встановлюючи за допомоги регулятора напруги на імітаторі вітру по вольтметру напругу 10,15 і 20 вольт для правого вентилятора, результат заноситься в табл. 8.1.
9. Повторити п.п. 3-7, встановив перемикач живлення вентиляторів на імітаторі вітру в положення «Лівий» і подав за допомогою регулятора напруги на імітаторі вітру по вольтметру напругу живлення 10, 15 і 20В, величини V^{-y} [м / с] і V^{-p} [м / с] занести в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Вимірювання при імітації вітру правим вентилятором

Напруга живлення правого вентилятора, вольт	Показання ультразвукового анемометра - $V^{+у3}$, м/с	Показання ручного анемометра- V^{+p} , м/с	Відносна погрішність вимірювання $-\Delta V^+$ %
10			
15			
20			

Таблиця 8. 2 – Вимірювання при імітації вітру лівим вентилятором

Напруга живлення лівого вентилятора, вольт	Показання ультразвукового анемометра – $V^{у3}$, м/с	Показання ручного анемометра- V^p , м/с	Відносна погрішність вимірювання $-\Delta V^+$ %
10			
15			
20			

10. За даними колонок 2 із табл. 8.1 і табл. 8.2 використовуючи формулу (8.1), вважаючи ручний анемометр еталоном (тому що він сертифікований і повірений), визначити відносну похибку вимірювання швидкості імітованого вітру для кожного значення напруги живлення вентиляторів, результат занести в четверту колонку таблиць;

$$\Delta V = \dots$$

де $|\dots|$ - означає абсолютне значення виміряної величини;

$V_{у30В}$ - початкова похибка ультразвукового анемометра.

11. За даними четвертого стовпчика табл. 8.1 і табл. 8.2 знайти оцінку математичного очікування відносної похибки ультразвукового анемометра для

двох варіантів (правого і лівого вентилятора). $M * \{\Delta V\} = \Sigma \Delta V / 4$, підсумовування по i від 1 до 4.

12. Порівняти отримані результати $M * \{\Delta V\}$ пр. і $M * \{\Delta V\}$ лів. і зробити висновок про відносну похибку.

Скласти звіт о проробленій роботі, отриманих результатах та зроблених висновках.

9 РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ ШВИДКОСТІ ВІТРУ УЛЬТРАЗВУКОВИМ АНЕМОМЕТРОМ

Результати вимірювань представленні на (рис. 9.1)

0.99402	-127.00	35.37	25.00	46.00	-7.03
1.01103	-127.00	25.08	25.00	46.00	-1.08
1.02890	-127.00	13.90	24.00	47.00	4.94
1.02163	-127.00	18.92	25.00	46.00	2.52
1.02423	-127.00	17.44	25.00	46.00	3.39
0.99692	-127.00	32.62	24.00	47.00	-5.99
1.00547	-127.00	27.44	24.00	47.00	-3.00
1.00983	-127.00	24.85	24.00	47.00	-1.49
1.02115	-127.00	18.28	24.00	47.00	2.35
1.01060	-127.00	24.39	24.00	47.00	-1.23
1.01682	-127.00	20.77	24.00	47.00	0.89
0.99806	-127.00	31.92	24.00	47.00	-5.59
0.97524	-127.00	46.36	24.00	47.00	-13.81
0.98759	-127.00	38.42	24.00	47.00	-9.31
0.98217	-127.00	41.87	24.00	47.00	-11.27
1.02851	-127.00	14.12	24.00	47.00	4.81
1.02215	-127.00	17.71	24.00	47.00	2.69
1.00998	-127.00	24.76	24.00	47.00	-1.44

Рисунок 9.1 – Результати вимірювань

В результаті ми отримаємо три останні стовпчики в яких записуються значення температури та вологості, а також розрахована швидкість вітру у м\с.

Як ми бачимо при незмінній температурі та дистанції, ми отримуємо значення швидкості вітру які були обчисленні дотримуючись закону про те, що звук розповсюджуючись в атмосфері підвергається впливу вітру, який його сповільняю або прискорює, в залежності від напрямку вітру.

ВИСНОВКИ

Arduino - це інструмент за допомогою якого можливо проектування електронних пристроїв. Вони більш щільно взаємодіють з навколишнім фізичним середовищем, ніж стандартні персональні комп'ютери, які фактично не виходять за рамки віртуальності. Це платформа, призначена для «фізичного обчислення» з відкритим програмним кодом, побудована на простій друкованій платі з сучасної середовищем для написання програмного забезпечення.

Мікроконтролери для Arduino відрізняються наявністю попередньо прошитого в них завантажувача. За допомогою цього завантажувача користувач має можливість завантажити свою програму в мікроконтролер без використання окремих апаратних програматорів. Завантажувач з'єднується з комп'ютером через інтерфейс USB (якщо він є на платі) або за допомогою окремого перехідника UART-USB. Підтримка завантажувача вбудована в Arduino IDE і виконується в один клік мишею.

Фізичні обчислення дають можливість за допомогою програмного і апаратного забезпечення створювати інтерактивні фізичні системи, які здатні сприймати і реагувати на аналоговий світ. У більш широкому сенсі фізичні обчислення - це творча основа для розуміння відносин людей з цифровим світом. У практичному використанні термін найчастіше описує проекти, які використовують датчики і мікроконтролери для перетворення аналогового входу в програмну систему.

Arduino застосовується для створення різноманітних електронних пристроїв що мають можливість приймати сигнали від цифрових і аналогових датчиків, що підключені до нього, і керувати виконавчими пристроями. Проекти пристроїв, що засновані на Arduino, можуть працювати самостійно або взаємодіяти з програмним забезпеченням на комп'ютери.

Кінцева мета роботи є створення на кафедрі лабораторної роботи по вивченню структури та принципу дії ультразвукового анемометра.

Лабораторна установка являється сучасним автоматизованим приладом для контролю параметрів вітру у навколишньому середовищі, на базі мікропроцесора «Arduino 101» і цифрового датчика «HC-SR04». Робота установки відбувається в відповідно з написаним програмним кодом для керування приладом і самостійного розрахунку приладом за формулами поширення ультразвукових хвиль у просторі в залежності від температури.

ПЕРЕЛІК ДжЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. <http://www.agroproj.ru/articles/engene.html>
2. <http://www.activestudy.info/kakoj-procentnyj-sostav-vozduxa-na-bolshix-vysotax/>
3. <https://ru.wikipedia.org/wikihttp://blog.regimov.net/41-2/>
4. Серов А. Н. Рішення деяких технічних завдань при управлінні об'єктами спеціального призначення // Техніка і технологія. 2011. № 1 (42). С. 32-34.
5. Рінкевічус Б. С. Лазерна анемометрія. М.: Енергія, 1978. 159 с.
6. Дубніщев Ю. Д., Рінкевічус Б. С. Методи лазерної Доплера-ської анемометрії. М.: Наука, 304 с.
7. A New Type Sonic Anemometer - Thermometer for Field Operation. / T. Hanafusa [et al.] // Papers in Meteorology and Geophysics. March 1982. Vol. 33. No 1-19.
8. WMT700 Керівництво користувача. Серія ультразвукових датчиків вітру Vaisala WINDCAP WMT700 [Електронний ресурс] // URL: <http://www.vaisala.ru/ru/products/windsensors/Pages/WMT700.aspx>
9. CBRNWeatherstationSirusMIL-NBC [Електронний ресурс] // URL: www.docstoc.com/docs/170662754/CBRN-WEATHER-STATION-SIRIUS-MIL-NBC-Indra).
10. Датчик вимірювання швидкості вітру ДВ-Е [Електронний ресурс] // URL: www.zenit-foto.ru/produkt/sistemy-upravleniya-ognem-brone-tanko-voj-tekhniki (дата звернення 15. 09. 2014 року).
11. Массимо, Б. Arduino для начинающих волшебников / Б. Массимо — М.: VSD, 2012. 128 с.
12. Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino / У. Соммер — Philadelphia: SIAM, 2012. 241 с.

13. Белов, А. В. Конструирование устройств на микроконтроллерах. / А. В. Белов — СПб.: Наука и Техника, 2005. 256 с.
14. Эванс, Б. Arduino блокнот программиста / Б. Эванс — London: CUP, 2007. 40 с.
15. Корабельников, Е. А. Самоучитель по программированию PIC контроллеров для начинающих / Е. А. Корабельников — М.: Салон-Пресс, 2008. 287 с.
16. Предко, М. 123 эксперимента по робототехнике / М. Предко — М.: Н Т Пресс, 2007. 271 с.
17. МакРобертс, М. Начала Arduino / М. МакРобертс — London: CUP, 2010. 459 с.
18. Подбельский В. В. Программирование на языке Си: Учеб. пособие. – 2-е доп. изд./ В. В. Подбельский, С. С. Фомин. – М.: Финансы и статистика, 2004. 600 с., ил.
19. Официальный сайт Ардуино. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: arduino.cc
20. Datasheet AT91SAM ARM-based Flash MCU SAM3X SAM3A Series, Atmel 2012.
21. Datasheet ATmega16U4/ATmega32U4 8-bit Microcontroller with 16/32K bytes of ISP Flash and USB Controller, Atmel 2015.
22. Datasheet Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V 8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash, Atmel 2014.
23. Datasheet 8-bit Atmel Microcontroller with 4/8/16K Bytes In-System Programmable Flash ATmega48/V ATmega88/V ATmega168/V, Atmel 2015.
24. Datasheet Atmel 8-bit AVR Microcontroller with 2/4/8K Bytes In-System Programmable Flash ATtiny25/V / ATtiny45/V / ATtiny85/V, Atmel 2013.
25. Datasheet Atmel SAM D21E / SAM D21G / SAM D21J SMART ARM-Based Microcontroller, Atmel 2014.

26. Datasheet Atmega48a/PA/88A/PA/168A/PA/328/P Atmel 8-bit Atmel Microcontroller with 4/8/16/32KB In-System Programmable Flash, Atmel 2015.

ДОДАТКИ

Додаток А
Програмний код

```
#include <dht11.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define Trig 12
#define Echo 13
#define ONE_WIRE_BUS 7
#define Steps
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f,16,2);

dht11 DHT;

#define DHT11_PIN 8
static const float defDist = 1.0142;

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DallasTemperature sensors(&oneWire);
void setup()
{
pinMode(Trig, OUTPUT);
pinMode(Echo, INPUT);
Serial.begin(9600);
```

```

sensors.begin();
Serial.println("X Distance Tds18B20 Tcalc Tdht Hum V");
}
unsigned long impulseTime=0;

void loop()
{

int chk = DHT.read(DHT11_PIN );
switch (chk)
{
case DHTLIB_OK:

break;
case DHTLIB_ERROR_CHECKSUM:
Serial.print("Checksum error,\t");
break;
case DHTLIB_ERROR_TIMEOUT:
Serial.print("Time out error,\t");
break;
default:
Serial.print("Unknown error,\t");
break;
}
float DHTtemp =DHT.temperature;
float DHThum = DHT.humidity;

sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
DS18B20

```

```

float dist = 0;
float temp = sensors.getTempCByIndex(0);

unsigned long impulseTime=0;
int N=50;
for (int i = 0; i <N; i++)
{

digitalWrite(Trig, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(Trig, LOW);
impulseTime +=pulseIn(Echo, HIGH);
delay(50);
}
//float P = 101325;
float P = 767 * 133.3;
float                                     M                                     =
(28.95-10.934*DHT.humidity/100*(133.3*4.579*exp(17.14*DHT.temperature/
(235.3+DHT.temperature)))/P)/1000;
float R= 8.31447;
float X = 1.4 * R/M ;
//X = 287;
float c = 20.046*sqrt(DHT.temperature+273.15);
dist = impulseTime * c / 1e6 /N;

float Speed_of_sound = defDist/impulseTime *N* 1e6;
float Tcalc = (Speed_of_sound * Speed_of_sound)/X - 273.15;
float v = c- Speed_of_sound;
//Serial.println("X Distance Tds18B20 Tcalc Tdht Hum V");

```

```
Serial.println(String(X) + char(9) + String(dist, 5) + char(9) + String(temp) +  
char(9) +  
String(Tcalc) + char(9) + String(DHTtemp)+ char(9) + String(DHThum) +  
char(9) + String(v));
```

```
{  
  lcd.init();  
  lcd.backlight();// Включаем подсветку дисплея  
  lcd.print(String(v));  
  lcd.setCursor(8, 1);  
  lcd.print(String(DHTtemp));  
}  
}
```

Додаток Б

Лабораторна робота на тему: Дослідження ультразвукового анемометра на базі мікропроцесора «Ардуіно»

Лабораторна робота № 30

Електронний анемометр на базі мікропроцесора «Arduino 101» та ультразвукового датчика HC-SR04

1 Мета роботи: лабораторна робота має ціль ознайомити студентів з можливостями вимірювання параметрів навколишнього середовища, в зокрема вимірювання параметрів швидкості вітру, та створення електронного приладу, здійснюючого ці вимірювання.

2 Задачі які треба виконати в процесі лабораторної роботи:

1. Зібрати установку
2. Написати програму, керуючу датчиком «HC-SR04»
3. Провести вимірювання
4. Скласти звіт.

3 Тести для перевірки теоретичних знань студентів необхідних для успішного виконання лабораторної роботи.

Робота основана на матеріалі дисципліни «Прилади вимірювання метеопараметрів – вимірювачі швидкості вітру». Перед початком практичного виконання студенти повинні здати колоквиум у вигляді теста для перевірки теоретичних знань

Білет 1

Якими параметрами характеризується вітер:

- а) швидкість;
- б) напрямок;
- в) запах;
- г) швидкість і напрямок.

Білет 2

В яких одиницях вимірюється швидкість вітру в метеорології:

- а) м / с;
- б) вузлах;
- в) км / год;
- г) оборот / секунду.

Білет 3

Як називається прилад для вимірювання швидкості вітру:

- а) плювіометр;
- б) румбомер;
- в) анемометр;
- г) актинометр.

Білет 4.

Як називається прилад для визначення напрямку вітру:

- а) флюгерка;
- б) румбомер;
- в) Аерозонд;
- г) флюгерка і румбомер.

Білет 5

В яких одиницях вимірюється напрям вітру в метеорології:

- а) румбах;
- б) вузлах;
- в) градусах азимута;
- г) румбах і градусах азимута.

Білет 6

Що є первинним перетворювачем швидкості вітру в електромеханічних анемометрах:

- а) дошка;
- б) повітряний гвинт;
- в) чашкова вертушка;

г) повітряний гвинт і чашкова вертушка.

Білет 7

Чим відрізняється ультразвук від звуку:

- а) довжиною хвилі;
- б) амплітудою;
- в) фазою;
- г) формою.

Білет 8

Довжина хвилі це шлях, який проходить звук:

- а) від джерела до приймача;
- б) за час одного періоду коливань;
- в) за час зворотній одному періоду коливань;
- г) за одну секунду.

Білет 9.

Довжина хвилі це шлях, який проходить звук:

- а) від джерела до приймача;
- б) за час одного періоду коливань;
- в) за час зворотній одному періоду коливань;
- г) за одну секунду.

Білет 10

Швидкість звуку залежить від:

- а) атмосферного тиску;
- б) вологості;
- в) температури;
- г) атмосферного тиску, вологості і температури.

Білет 11

Для побудови ультразвукового анемометра необхідно мати пар передатчик- приймач:

- а) одну;
- б) дві;

о третій ;

г) чотири.

Білет 12

Для побудови ультразвукового румбомера необхідно мати пар передатчик- приймач:

а) одну;

б) дві;

о третій ;

г) чотири.

Білет 13

Відстань між передавачем і приймачем (база - d) в порівнянні з довжиною хвилі - λ має бути:

а) $d = \lambda$;

б) $d > \lambda$;

в) $d < \lambda$;

г) $d \gg \lambda$.

Білет 14

Швидкість звуку в повітрі - C у порівнянні зі швидкістю вітру - $V_{\text{ветр}}$:

а) $C \approx V_{\text{ветр}}$;

б) $C > V_{\text{ветр}}$;

в) $C < V_{\text{ветр}}$;

г) $C \gg V_{\text{ветр}}$.

4 Описання лабораторної установки

Лабораторна установка являється сучасним автоматизованим приладом для контролю параметрів вітру у навколишньому середовищі, на базі мікропроцесора «Arduino 101» і цифрового датчика «HC-SR04». Робота установки відбувається в відповідно з написаним програмним кодом для керування приладом і самостійного розрахунку приладом за формулами поширення ультразвукових хвиль у просторі в залежності від температури. У склад установки входять:

4.1 Ультразвуковий далекомір–«HC-SR04», що дозволяє формувати цифровий сигнал на виході пропорційний часу затримки поширення імпульсов. HC-SR04 складається з передатчика, формуючого ультразвукові імпульси, та приймача. Зовнішній вигляд датчика представлений на (рис. 4.1).

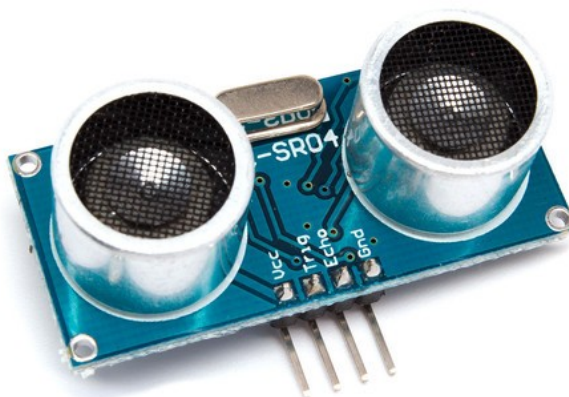


Рисунок 4.1 - Ультразвуковий далекомір HC-SR04

4.2 Цифровий датчик температури і вологості – «DHT21», що дозволяє формувати цифровий сигнал пропорційний температурі і вологості середі поширення (навколишнього повітря) ультразвукового імпульса. DHT21 складається з ємнісного датчика вологості і термістора. Датчик містить у собі АЦП для перетворення аналогових значень вологості і температури в цифровий сигнал, зовнішній вигляд датчика представлений на (рис. 4.2).

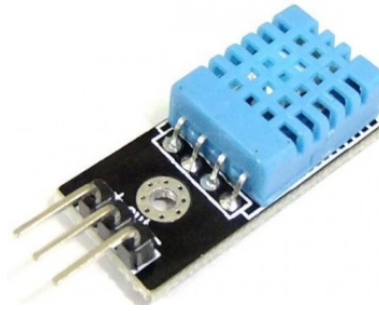


Рисунок 4.2 - Цифровий датчик температури і вологості DHT21

4.3 Мікропроцесор – інтегрована мікросхема яка повинна розраховувати 16-розрядні двійкові числа, розподіляти команди, збирати інформацію, розраховувати вихідні данні та виводити інформацію на дисплей, зовнішній вигляд мікропроцесору представлений на (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Мікропроцесор

4.4 Монтажна плата анемометра

Мікропроцесор розташовується на платі, вигляд якої зображено на (рис 4.4).

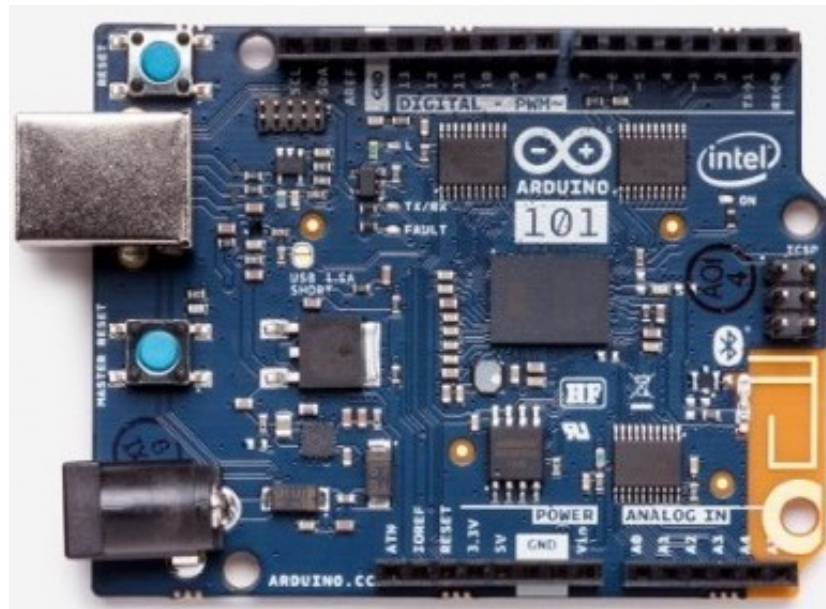


Рисунок 4.4 – Плата з мікропроцесором Arduino 101

4.5 Дисплей – ЖК типу, який відображає інформацію з мікропроцесора на рідкокристалічний екран, зовнішній вигляд дисплею представлений на (рис. 4.5).

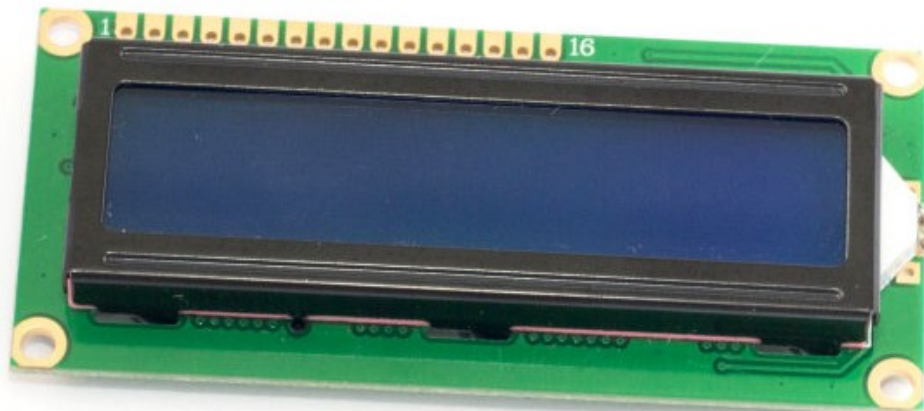


Рисунок 4.5 - Дисплей

4.6 Блок живлення анемометра- призначений для забезпечення живлення електроприладу електричною енергією, при відповідності вимогам їх

параметрів: напруги, струму, зовнішній вигляд блоку живлення представлений на (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 - Блок живлення

4.7 Імітатор вітру

Для перевірки роботи УЗ анемометра та зняття його характеристик в складі лабораторної установки маємо імітатор вітру, який повинен створювати в горизонтальній площині направлений рух повітря з різною швидкістю та протилежній направленості. В склад імітатора вітру входять: регульоване джерело постійного струму та два вентилятори, установленні друг проти друга на базовій відстані 1 м. На передній шкалі пульту керування мається регулятор напруги та вольтметр для контролю величини живлющого вентиляторів. Вид імітатора вітру показан на рис. 4.7 – 4.9

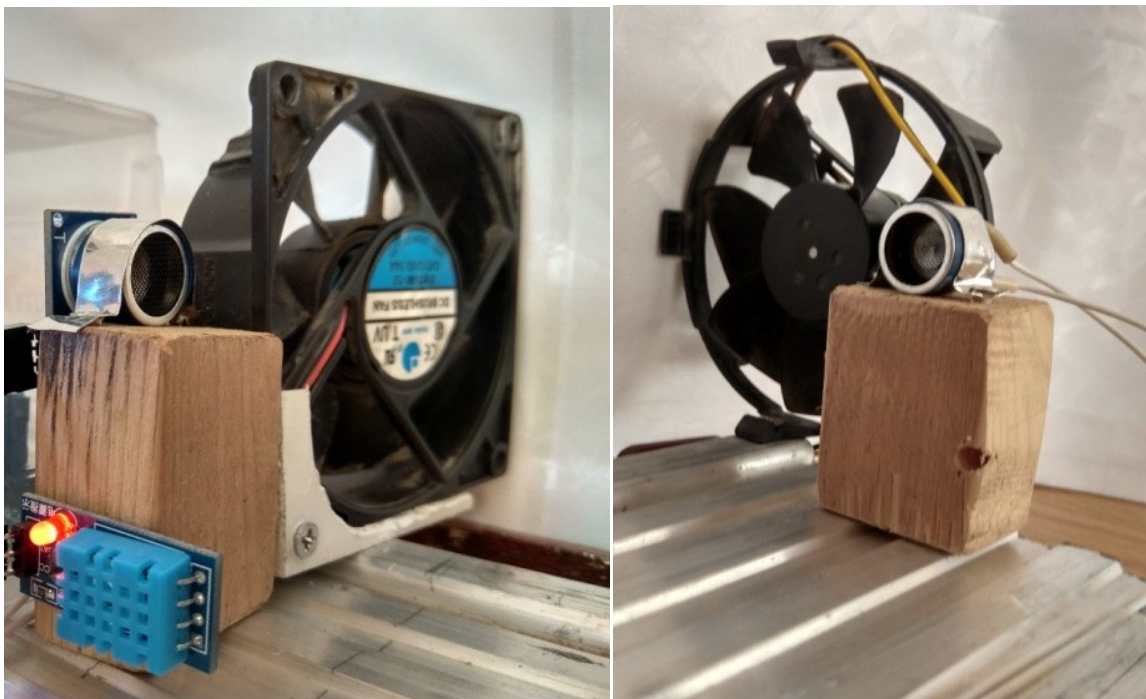


Рисунок 4.7 – Два вентилятори, установленні друг проти друга на базовій відстані 1 м



Рисунок 4.8 – Бокова панель пульта керування імітатора вітру



Рисунок 4.9 – Передня панель пульта керування імітатора вітру

5 Складання УЗ електронного анемометра установки.

Для проведення вимірювання необхідно зібрати УЗ електронний анемометр.

Схема УЗ електронного анемометра зображено на (рис 5.1).

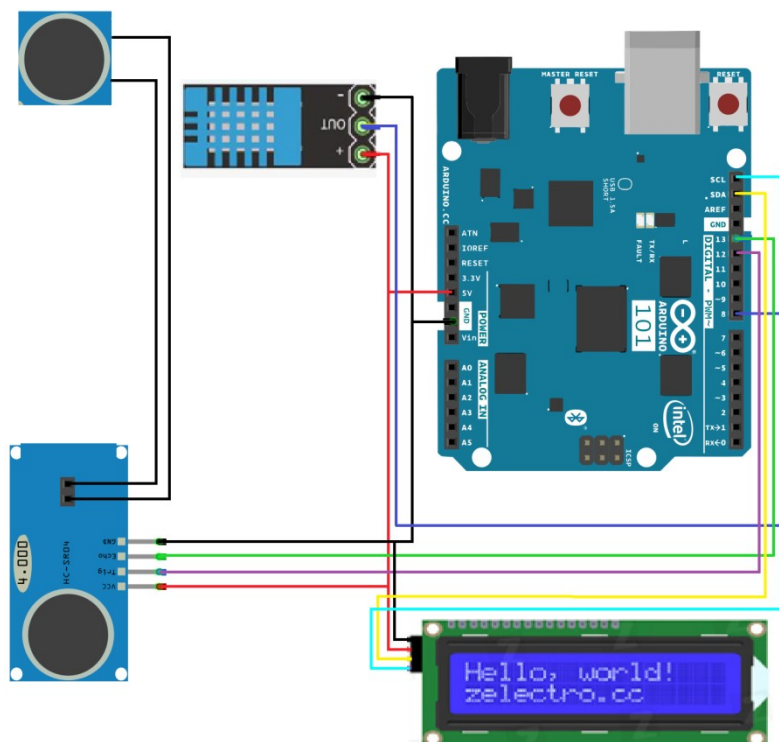


Рисунок 5.1 – Монтажна схема УЗ електронного анемометра

5.1 Підготовка необхідних деталей.

Компоненти УЗ електронного анемометра:

1. Мікропроцесор «Arduino 101».
2. Датчик«HC-SR04».
3. Датчик«DHT21».
4. Дисплей.
5. Дроти.
6. Блок живлення.

5.2 Етапи зборки макету:

5.2.1. З'єднуємо датчик «DHT21»з мікропроцесором «Arduino 101».

5.2.1.1 Червоний дріт з'єднуємо з (+) «DHT21» і під'єднаємо до мікропроцесору вихід живлення 5V.

5.2.1.2 Чорний дріт з'єднуємо з (-) «DHT21» і під'єднаємо до мікропроцесору вихідGND.

5.2.1.3 Синій дріт з'єднуємо з цифровим виходом «DHT21»і під'єднаємо до мікропроцесору вихід-8.

5.2.2. З'єднуємо датчик «HC-SR04»з мікропроцесором «Arduino 101».

5.2.2.1 Червоний дріт з'єднуємо з (+) «DHT21» і під'єднаємо до мікропроцесору вихід живлення 5V.

5.2.2.2 Чорний дріт з'єднуємо з (-) «DHT21» і під'єднаємо до мікропроцесору вихідGND.

5.2.2.3 Фіолетовий дріт з'єднуємо з цифровим виходом HC-SR04(Trig)і під'єднаємо до мікропроцесору вихід-12.

5.2.2.4Зелений дріт з'єднуємо з цифровим виходом HC-SR04(Echo)і під'єднаємо до мікропроцесору вихід-13.

5.2.3. З'єднуємо дисплей з мікропроцесором «Arduino 101».

5.2.3.1 Чорний дріт з'єднуємо з першим виходом (-) дисплея і під'єднаємо до мікропроцесору вихід живлення GND.

5.2.3.2 Червоний дріт з'єднуємо з другим виходом (+) дисплея і під'єднаємо до мікропроцесору вихід живлення 5V.

5.2.3.3 Жовтий дріт з'єднуємо з третім виходом дисплея і під'єднаємо до мікропроцесору SDA - послідовна лінія даних (SerialData).

5.2.3.4 Голубий дріт з'єднуємо з четвертим виходом дисплея і під'єднаємо до мікропроцесору SCL - послідовна лінія тактування (SerialClock).

Автоматизований електронний ультразвуковий анемометр на базі мікропроцесору Arduino 101 зображено на (рис. 5.2).



Рисунок 5.2 – Автоматизований електронний ультразвуковий анемометр на базі мікропроцесору Arduino 101

6. Програмний код

Для роботи установки необхідно написати програмний код, який створюється в середовищі програмування «Arduino 101»

Об'явимо піни до яких будуть підключатися дисплей і датчики«НС-SR04»

Arduino - це інструмент за допомогою якого можливо проектування електронних пристроїв. Вони більш щільно взаємодіють з навколишнім фізичним середовищем, ніж стандартні персональні комп'ютери, які фактично не виходять за рамки віртуальності. Це платформа, призначена для «фізичного обчислення» з відкритим програмним кодом, побудована на простій друкованій платі з сучасної середовищем для написання програмного забезпечення.

Фізичні обчислення дають можливість за допомогою програмного і апаратного забезпечення створювати інтерактивні фізичні системи, які здатні сприймати і реагувати на аналоговий світ. У більш широкому сенсі фізичні обчислення - це творча основа для розуміння відносин людей з цифровим світом. У практичному використанні термін найчастіше описує проекти, які використовують датчики і мікроконтролери для перетворення аналогового входу в програмну систему.

Arduino застосовується для створення різноманітних електронних пристроїв що мають можливість приймати сигнали від цифрових і аналогових датчиків, що підключені до нього, і керувати виконавчими пристроями. Проекти пристроїв, що засновані на Arduino, можуть працювати самостійно або взаємодіяти з програмним забезпеченням на комп'ютери.

Мікроконтролери для Arduino відрізняються наявністю попередньо прошитого в них завантажувача. За допомогою цього завантажувача користувач має можливість завантажити свою програму в мікроконтролер без використання окремих апаратних програматорів. Завантажувач з'єднується з комп'ютером через інтерфейс USB (якщо він є на платі) або за допомогою окремого перехідника UART-USB. Підтримка завантажувача вбудована в Arduino IDE і виконується в один клік мишею.

Arduino IDE не пропонує ніяких налаштувань компілятора і мінімізує інші налаштування, що спрощує початок роботи для новачків і зменшує ризик виникнення проблем.

Найпростіша Arduino-програма складається з двох функцій:

- setup (): функція викликається одноразово при запуску мікроконтролера.
- loop (): функція викликається після установки () в безконечному циклі весь час роботи мікроконтролера.

```
#include <dht11.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define Trig 12
#define Echo 13
#define ONE_WIRE_BUS 7
#define Steps
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f,16,2);
```

```
dht11 DHT;
```

```
#define DHT11_PIN 8
static const float defDist = 1.015; //cm
```

```
// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices (not
just Maxim/Dallas temperature ICs)
```

```
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
```

```
// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.
```

```
DallasTemperature sensors(&oneWire);
```

```
void setup()
```

```
{
pinMode(Trig, OUTPUT);
pinMode(Echo, INPUT);
Serial.begin(9600);
// Start up the library
sensors.begin();
Serial.println("X Distance Tds18B20 TcalcTdht Hum V");
}
unsigned long impulseTime=0;

void loop()
{
// READ DATA
//Serial.print("DHT21, \t");
intchk = DHT.read(DHT11_PIN );
switch (chk)
{
case DHTLIB_OK:
// Serial.print("OK,\t");
break;
case DHTLIB_ERROR_CHECKSUM:
Serial.print("Checksum error,\t");
break;
case DHTLIB_ERROR_TIMEOUT:
Serial.print("Time out error,\t");
break;
default:
Serial.print("Unknown error,\t");
break;
```

```

}
floatDHTtemp =DHT.temperature;
floatDHThum = DHT.humidity;
// DISPLAY DATA
// Serial.print(DHThum, 1);
// Serial.print(",\t");
//Serial.println(DHTtemp, 1);

sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures
DS18B20

```

```

floatdist = 0;
float temp = sensors.getTempCByIndex(0);

unsigned long impulseTime=0;
int N=50;
for (int i = 0; i <N; i++)
{

digitalWrite(Trig, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(Trig, LOW);
impulseTime +=pulseIn(Echo, HIGH);
delay(50);
}

//float P = 101325;
float P = 767 * 133.3;

```

```

float                                     M                                     =
(28.95-10.934*DHT.humidity/100*(133.3*4.579*exp(17.14*DHT.temperature/
(235.3+DHT.temperature)))/P)/1000;
float R= 8.31447;
float X = 1.4 * R/M ;
//X = 287;
float c = sqrt( X *(DHT.temperature+273.15));
dist = impulseTime * c / 1e6 /N;

floatSpeed_of_sound = defDist/impulseTime *N* 1e6;
floatTcalc = (Speed_of_sound * Speed_of_sound)/X - 273.15;
float v = c- Speed_of_sound;
//Serial.println("X Distance Tds18B20 TcalcTdht Hum V");
Serial.println(String(X) + char(9) + String(dist, 5) + char(9) + String(temp)
+ char(9) +
String(Tcalc) + char(9) + String(DHTtemp)+ char(9) + String(DHTHum) +
char(9) + String(v));

{
lcd.init();
lcd.backlight();// Включаемподсветкудисплея
lcd.print(String(v));
lcd.setCursor(8, 1);
lcd.print(String(DHTtemp));
}
}

sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatures

```

DS18B20

```

floatdist = 0;
float temp = sensors.getTempCByIndex(0);

unsigned long impulseTime=0;
int N=50;
for (int i = 0; i <N; i++)
{

digitalWrite(Trig, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(Trig, LOW);
impulseTime +=pulseIn(Echo, HIGH);
delay(50);
}
//float P = 101325;
float P = 767 * 133.3;
float                                     M                                     =
(28.95-10.934*DHT.humidity/100*(133.3*4.579*exp(17.14*temp/(235.3+temp)))
/P)/1000;
float R= 8.31447;
float X = 1.4 * R/M ;
//X = 287;
float c = sqrt( X *(temp+273.15));
dist = impulseTime * c / 1e6 /N;
floatSpeed_of_sound = defDist/impulseTime *N* 1e6;
floatTcalc = (Speed_of_sound * Speed_of_sound)/X - 273.15;
float v = c- Speed_of_sound;
//Serial.println("X Distance Tds18B20 TcalcTdht Hum V");

```

```

Serial.println(String(X) + char(9) + String(dist, 5) + char(9) + String(temp)
+ char(9) +
String(Tcalc) + char(9) + String(DHTtemp)+ char(9) + String(DHTHum) +
char(9) + String(v));

}

```

7 Порядок виконання роботи:

7.1 Підготувати робоче місце до виконання лабораторної роботи:

- перевірити комплектність та стан обладнання (ручний анемометр та ультразвуковий анемометр);

7.2 Ввімкнути живлення ультразвукового анемометра і зняти "нульові показання", тобто без імітації вітру - V_{0B}^{y3} [м / с];

7.3 Після підключення живлення, провести контрольне вимірювання температури, щоб переконатися в вірності показання температури, результат виводиться на дисплей. Вихідні дані порівнюють з еталонним приладом ТМ-4.

7.4 Поставити перемикач живлення вентиляторів на імітаторі вітру в положення «Правий».

7.4 За допомоги регулятора напруги на імітаторі ветру по вольтметру встановити напругу живлення правого вентилятора 10В;

7.5 Зняти показання швидкості вітру, видані ультразвуковим анемометром - V^{y3} [м / с] і результат занести в таблицю 7.1;

7.6 Провести вимірювання швидкості вітру ручним анемометром і за таблицею визначити величину - V^{+p} [м / с], а результат заносити в таблицю 7.1;

7.7 Повторити п.п. 7.3-7.5, послідовно встановлюючи за допомоги регулятора напруги на імітаторі вітру по вольтметру напругу 10,15 і 20 вольт для правого вентилятора, результат заноситься в таблицю 7.1;

7.8 Повторити п.п.7.3-7. 6, встановив перемикач живлення вентиляторів на імітаторі вітру в положення «Лівий» і подав за допомогою регулятора напруги на імітаторі вітру по вольтметру напругу живлення 10, 15 і 20В, величини V^{-3} [м / с] і V^p [м / с] занести в таблицю 7.1;

Таблиця 7.1 Вимірювання при імітації вітру правим вентилятором

Напруга живлення правого вентилятора, вольт	Показання ультразвукового анемометра V^{+y3} , м/с	Показання ручного анемометра- V^{+p} , м/с	Відносна погрішність вимірювання $-\Delta V^+$ %
10			
15			
20			

Таблиця 7.2 Вимірювання при імітації вітру лівим вентилятором

Напруга живлення лівого вентилятора, вольт	Показання ультразвукового анемометра $- V^{-y3}$, м/с	Показання Ручного анемометра- V^{-p} , м/с	Відносна погрішність вимірювання $-\Delta V^+$ %
10			
15			
20			

4.9 За даними колонок 2 із таблиць 7.1 і 7.2 використовуючи формулу (7.1), вважаючи ручний анемометр еталоном (тому що він сертифікований і повірений), визначити відносну похибку вимірювання швидкості імітованого вітру для кожного значення напруги живлення вентиляторів, результат занести в четверту колонку таблиць;

$$\Delta V = \dots$$

де | ... | - означає абсолютне значення виміряної величини;

V_{y30B} - початкова похибка ультразвукового анемометра.

7.10 За даними четвертого стовпчика таблиць 7.1 і 7.2 знайти оцінку математичного очікування відносної похибки ультразвукового анемометра для двох варіантів (правого і лівого вентилятора).

$$M * \{\Delta V\} = \Sigma \Delta V / 4, \text{ підсумовування по } i \text{ від } 1 \text{ до } 4. -$$

7.11 порівняти отримані результати $M * \{\Delta V\}$ пр. і $M * \{\Delta V\}$ лів. і зробити висновок про відносну похибку.

Скласти звіт о проробленій роботі, отриманих результатах та зроблених висновках.

Додаток В

Графічна частина магістерської роботи

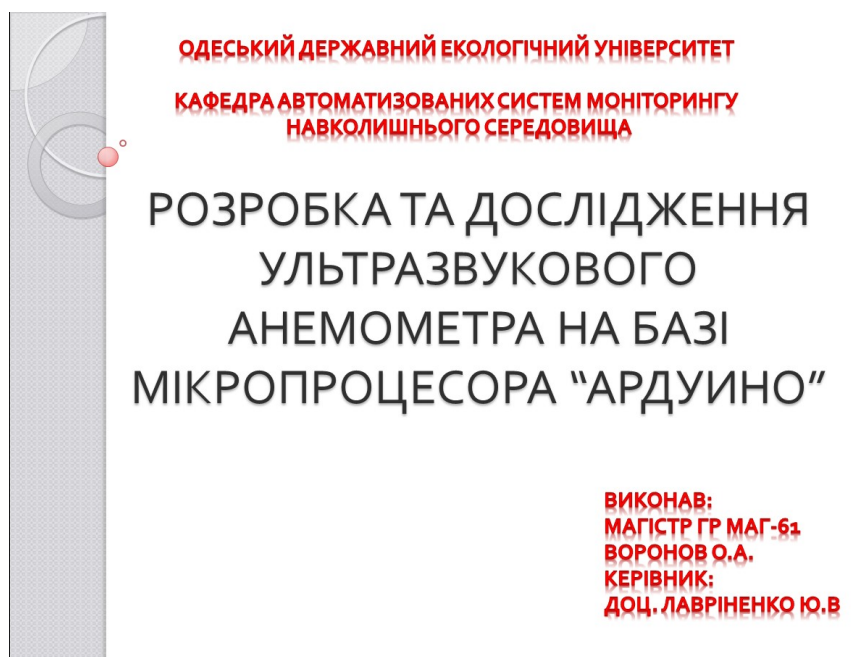


Рисунок В.1 – Титульний лист

	Чашкові анемо- метри	Мережні прилади вимірювання параметрів вітру	Флюгер	Ультразвукові анемо- метри	Термо- анемо- метри	Сопло Лавалє
Точність	+	+	-	+	+	+
Вартість	+	-	+	-	+	+
Діапазон вимірювання	-	+	+	+	-	+
Швидкодія	-	+	-	+	+	-
Чутливість	+	+	-	+	+	-
Габаритність	+	-	-	-	+	-
Автономність	-	+	+	+	-	-
Довговічність	-	-	-	+	-	-
Кількість плюсів	4	5	3	6	5	3

Рисунок В.2 – Порівняльний аналіз сучасних методів вимірювання швидкості вітру



Рисунок В.3 – Ультразвуковий анемометр

$$c = \sqrt{\frac{j * R(t - 273.15)}{M}}, M = 28.95 - 10.934 * RH * \frac{P_n}{P}, j = \frac{7}{5}, R = 8$$

$$P_n = k * 4.579 * \exp\left(17.14 * \frac{T}{235.3 + T}\right)$$

$$P = P_0 * (0.87)^h = P_0 * 10^{-0.06h}$$

$$c = \sqrt{xR(t + 273.15)}$$

$$V = c - c_0 = \frac{\text{dist}}{T} - \sqrt{xR(t + 273.15)}$$

Рисунок В.4 – Формули для розрахунку швидкості вітру ультразвуковим анемометром

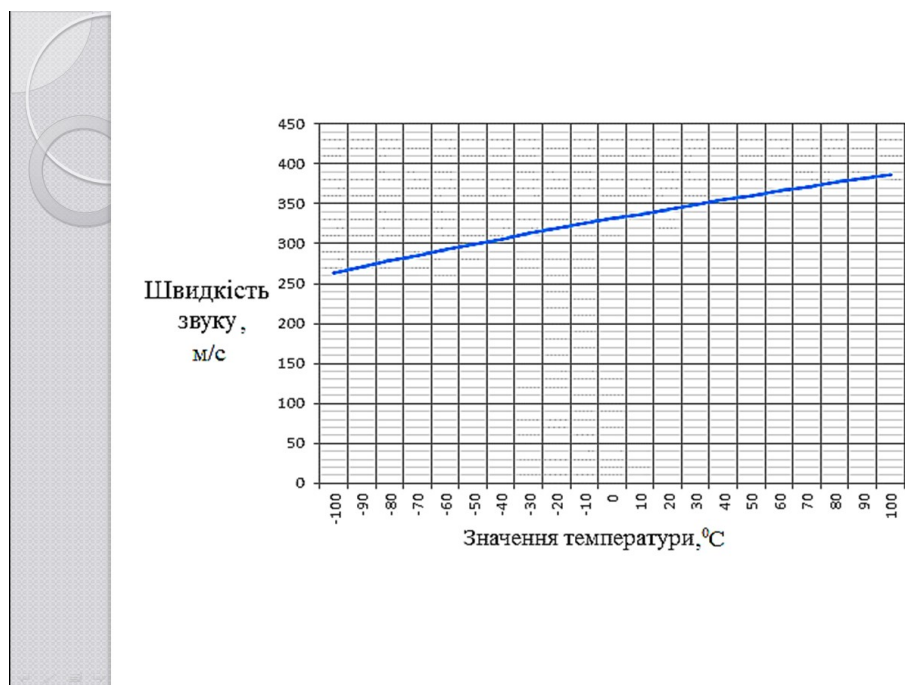


Рисунок В.5 – Графік залежності швидкості поширення звуку в атмосфері від температури повітря



Рисунок В.6 – Комплект датчиків на базі мікропроцесора «Ардуіно»

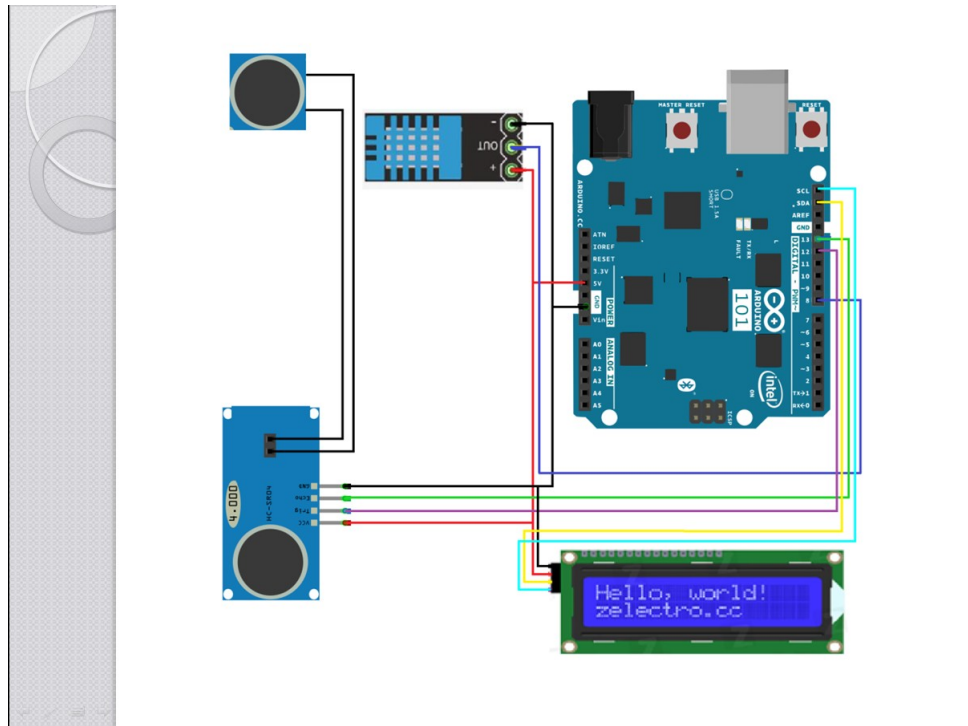


Рисунок В.7 – Монтажна схема УЗ анемометра



Рисунок В.8 – Ультразвуковий анемометр та блок керування імітатором вітру



Рисунок В.9 – Ультразвуковий анемометр: дисплей, передавай та приймач

0.99402	-127.00	35.37	25.00	46.00	-7.03
1.01103	-127.00	25.08	25.00	46.00	-1.08
1.02890	-127.00	13.90	24.00	47.00	4.94
1.02163	-127.00	18.92	25.00	46.00	2.52
1.02423	-127.00	17.44	25.00	46.00	3.39
0.99692	-127.00	32.62	24.00	47.00	-5.99
1.00547	-127.00	27.44	24.00	47.00	-3.00
1.00983	-127.00	24.85	24.00	47.00	-1.49
1.02115	-127.00	18.28	24.00	47.00	2.35
1.01060	-127.00	24.39	24.00	47.00	-1.23
1.01682	-127.00	20.77	24.00	47.00	0.89
0.99806	-127.00	31.92	24.00	47.00	-5.59
0.97524	-127.00	46.36	24.00	47.00	-13.81
0.98759	-127.00	38.42	24.00	47.00	-9.31
0.98217	-127.00	41.87	24.00	47.00	-11.27
1.02851	-127.00	14.12	24.00	47.00	4.81
1.02215	-127.00	17.71	24.00	47.00	2.69
1.00998	-127.00	24.76	24.00	47.00	-1.44

Рисунок В.10 – Результати вимірювань