

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 датчика вологості на базі
мікропроцесора «Ардуіно»

Виконав студент 2 курсу групи МАГ-
61
спеціальності 103 Науки про Землю
Фомін Олександр Сергійович

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

Консультант

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

Одеса 2018

АНОТАЦІЯ

Представлена робота Фоміна Олександра Сергійовича на тему «Розробка та дослідження датчика вологості на базі мікропроцесора «Ардуіно»

Мета магістерської роботи – це створення на кафедрі лабораторної роботи по вивченню структури та принципу дії автоматизованого психрометра.

Для досягнення зазначеної мети необхідне вирішення таких як: одиниці вимірювання та особливості визначення вологості; сучасні методи вимірювання вологості повітря, принцип дії, конструкція, характеристики; критерії та їх вибір; загальний принцип використання багатофакторних моделей для оцінки точності; похибки приладу; основні впливові похибки; застосування багатофакторного аналізу для визначення точності психрометричного методу; розробка схеми цифрового психрометра; описання лабораторної установки на базі мікропроцесора «arduino»; складання цифрового психрометра;

У своїй магістерській роботі були розглядані та описані сучасні методи вимірювання вологості повітря, як вони працюють, як можна реалізувати автоматизований психрометр на базі МП «Ардуіно».

Розроблена на кафедрі АСМНС лабораторна робота дозволяє студентам ознайомитись з сучасним методом вимірювання вологості повітря.

Магістерська робота містить: 96 с., рис. 44, табл. 5, формул 14, додатки 3, використаних літературних джерел 26.

Ключові слова: психрометр, ардуіно, програмування, температура, вологість.

SUMMARY

The work of Fomin Alexander Sergeevich on the topic "Development and research of humidity sensor based on microprocessor" Arduino "is presented.

The purpose of the master's work - is to create a laboratory work on the study of the structure and principle of the operation of an automated psychrometer at the department.

To achieve this goal, it is necessary to solve such as: units of measurement and features of moisture determination; modern methods of measuring air humidity, principle of operation, design, characteristics; criteria and their choice; the general principle of using multi-factor models to assess accuracy; device errors; the main influences of error; application of multifactorial analysis to determine the accuracy of the psychrometric method; development of the scheme of the digital psychrometer; description of the laboratory installation on the basis of the microprocessor "arduino"; compilation of a digital psychrometer;

In his master's thesis modern methods of measuring the humidity of air, how they work, how to implement an automated psychrometer on the basis of MP "Arduino" were considered and described.

Laboratory work developed at the Department of AEMS allows students to familiarize themselves with the modern method of measuring the humidity of the air.

Master's work contains: 96 p., drawings 44, tab. 5, formulas 14, appendix 3, used literary sources 26.

Keywords: psychrometer, arduino, programming, temperature, humidity.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ ВОЛОГОСТІ.....	9
1.1 Вологість повітря.....	9
1.2 Значення вологості.....	12
2 СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ, ПРИНЦИП ДІЇ, КОНСТРУКЦІЯ, ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	13
2.1 Психрометричний метод.....	13
2.2 Метод точки роси.....	18
2.3 Гігроскопічний метод.....	20
2.4 Масовий метод.....	22
2.5 Енергетичний метод.....	22
2.6 Ємнісний метод.....	24
3 ВИБІР КРИТЕРІЮ ДЛЯ ОЦІНКИ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ.....	26
3.1 Види критеріїв.....	26
3.2 Вибір методу за критерієм.....	27
4 ЗАГАЛЬНИЙ ПРИНЦИП ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОФАКТОРНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ.....	29
5 ПОХИБКИ ПРИЛАДУ.....	32
5.1 Загальні відомості похибок.....	32
5.2 Основні впливові похибки.....	36
6 ЗАСТОСУВАННЯ ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ПСИХРОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ.....	38
6.1 Основний закон розподілу неприливних випадкових величин.....	40
7 РОЗРОБКА СХЕМИ ЦИФРОВОГО ПСИХРОМЕТРА.....	43
7.1 Побудова структурної схеми.....	43
7.2 Принцип роботи приладу.....	45

8 ОПИСННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ МІКРОПРОЦЕСОРУ «ARDUINO».....	46
8.1 Цифровий датчик температури і вологості – «DHT 11».....	46
8.2 Мікропроцесор.....	47
8.3 Дисплей.....	48
8.4 Блок живлення.....	48
9 СКЛАДАННЯ ЦИФРОВОГО ПСИХРОМЕТРА.....	49
9.1 Компоненти прилада.....	49
9.2 Етапи зборки приладу.....	50
9.3 Програмування та програмний код «Arduino 101».....	51
10 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ.....	59
10.1 Вимоги безпеки перед початком роботи з психрометричним приладом.....	59
10.2 Вимірювання приладом.....	59
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	62
ДОДАТКИ.....	64
Додаток А.....	65
Додаток Б.....	69
Додаток В.....	86

ВСТУП

Джерелом водяної пари в атмосфері служить випаровування з поверхні океану та інших водойм, з льодовиків, снігового покриву, ґрунту, рослинності.

Головна маса водяної пари, що знаходиться в нижніх шарах атмосфери, до висоти 2-3 км. Зміст його в повітрі в залежності від температури, що спостерігається біля поверхні землі, коливається від 4% за об'ємом до 0,01%. Середній вологовміст атмосфери всієї земної кулі складає, за Мейнардусу, 12,3 тис. куб. км води.

Найбільш важливими, хоча і не єдиними, показниками вологості повітря служать абсолютна вологість і відносна вологість [1].

Чим вище температура повітря, тим більшу кількість водяної пари необхідно для його насичення. Разом з тим і абсолютний вміст водяної пари в повітрі збільшується з підвищенням температури за рахунок більш інтенсивного випаровування, тобто надходження пари в атмосферу. Залежність між температурою повітря та відносною вологістю зворотна, тому що при одному і тому ж абсолютному вмісті водяної пари відносна вологість зазвичай зменшується при підвищенні температури і збільшується при охолодженні повітря [1].

Крім температури, визначальною вологоємність повітря і напруженість випаровування, на географічний розподіл вологості повітря впливають характер земної поверхні, яка є джерелом вологи, що надходить в атмосферу, і особливості атмосферної циркуляції, від якої залежить перенесення вологи і зміна ступеня насичення повітря водяною парою.

Вологість дуже впливає на нашу атмосферу життєдіяльності як людини так тваринного і рослинного світу. При найменшому зниженні температури насичене водяною парою повітря уже не здатний вмістити більше вологу і з

нього випадають атмосферні опади, наприклад, утворюється туман або випадає роса. Водяна пара при цьому конденсується — переходить із газоподібного стану в рідкий. Так само хмари утворюються при конденсації водяної пари в піднімальному повітрі внаслідок його охолодження. Висота їх утворення залежить від температури і відносної вологості повітря [1].

В данній роботі розглядаються сучасні методи вимірювання вологості. Обираються критерії які охарактеризують їх, та допоможуть провести порівняльний аналіз і обрати точний метод вимірювання вологості повітря.

Суть психрометричного методу полягає у визначенні температури повітря по двом термометрам, один з них являється сухим, а другий змоченим. Знаходячи різницю показань термометрів і використовуючи психрометричну таблицю знаходимо відносну вологість повітря.

Метою є розробка та складання лабораторного макета для вивчення сучасного автоматизованого психрометричного приладу, для вимірювання вологості повітря.

У ході магістерської роботи були висунуті вимоги обґрунтувати, розробити схему, зібрати прилад і випробувати автоматизований психрометричний прилад, для вимірювання вологості повітря навколишнього середовища.

ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ ВЛОГОСТІ

Вологість зазвичай характеризується кількістю води в речовині, вираженим у відсотках (%) від початкової маси вологого речовини (масова вологість) або її об'єму (об'ємна вологість).

Вологість можна характеризувати також вмістом вологи, або абсолютною вологістю — кількістю води, віднесеним до одиниці маси сухої частини матеріалу. Таке визначення вологості широко використовується для оцінки якості деревини [2].

Цю величину не завжди можна точно виміряти, тому що в ряді випадків неможливо видалити всю неконденсовану воду і зважити предмет до і після цієї операції.

Відносна вологість характеризує вміст вологи в порівнянні з максимальною кількістю вологи, яка може міститися в речовині в стані термодинамічної рівноваги. Зазвичай відносну вологість вимірюють у відсотках від максимуму [2].

1.1 Вологість повітря

Вологість повітря — це величина, що характеризує вміст водяної пари в атмосфері Землі — одна з найбільш істотних характеристик погоди і клімату [2].

Вологість повітря в земній атмосфері коливається в широких межах. Так, у земної поверхні вміст водяної пари в повітрі складає в середньому від 0,2 % за обсягом у високих широтах до 2,5 % у тропіках. Пружність пари в полярних широтах взимку менше 1 мбар (іноді лише соті частки мбар) і

влітку нижче 5 мбар; в тропіках ж вона зростає до 30 мбар, а іноді і більше. У субтропічних пустелях пружність пара знижена до 5-10 мбар[2].

Абсолютна вологість повітря (f) — це кількість водяної пари, фактично міститься в 1 м^3 повітря. Визначається як відношення маси, яка міститься у повітрі водяної пари до об'єму вологого повітря [2].

$$f = \frac{m_{\text{вода}}}{V_{\text{газ}}}, \quad (1.1)$$

де $m_{\text{вода}}$ - кількість водяної парів г;

$V_{\text{газ}}$ - відношення маси міститься у повітрі водяної пари до об'єму вологого повітря в м^3 .

Зазвичай використовується одиниця абсолютної вологості — грам на метр кубічний, $\text{г}/\text{м}^3$.

Відносна вологість повітря (ϕ) — це відношення його поточної абсолютної вологості до максимальної абсолютної вологості при даній температурі[2].

$$\phi = 100 \frac{e}{E} [\%], \quad (1.2)$$

де e - абсолютна вологість, в $\frac{\text{г}}{\text{м}^3}$;

E - тиск насиченої пари, в $\frac{\text{г}}{\text{м}^3}$.

Відносна вологість зазвичай виражається у відсотках. Відносна вологість дуже висока в екваторіальній зоні (середньорічна до 85 % і більше), а також в полярних широтах і взимку всередині материків середніх широт. Влітку високою відносною вологістю характеризуються мусонні райони. Низькі значення відносної вологості спостерігаються в субтропічних і тропічних пустелях і взимку в мусонних районах (до 50 % і нижче) [2].

З висотою вологість швидко убуває. На висоті 1,5-2 км пружність пари в середньому вдвічі менше, ніж у земної поверхні. На тропосферу припадає 99 % водяної пари атмосфери. У середньому над кожним квадратним метром земної поверхні в повітрі міститься 28,5 кг водяної пари.

Точка роси — одна з основних характеристик вологості повітря. При відносній вологості повітря, меншій за 100%, точка роси завжди є нижчою від фактичної температури. Чим нижчою є відносна вологість, тим точка роси більше різниться від фактичної температури. Коли відносна вологість становить 100% (тобто при насиченні), точка роси збігається з фактичною температурою повітря. Досягнення точки роси — необхідна умова утворення роси[2].

Для вимірювання точки роси можна використати психрометричний гігрометр, покази вологого термометра якого будуть відповідати температурі точки роси.

$$T_p = \frac{b \cdot \gamma(T, RH)}{a - \gamma(T, RH)}, \quad (1.3)$$

де T — температура в градусах Цельсія;

RH — відносна вологість в об'ємних долях ($0 < RH < 1,0$).

Тиск насиченої пари зростає при підвищенні температури і зменшується при її пониженні. Зазвичай водяна пара в повітрі має тиск, менший за тиск насиченої пари. Але при пониженні температури цей тиск може стати вищим за тиск насиченої пари. У такому випадку надлишок води в повітрі починає конденсуватися, утворюючи крапельки. Якщо надлишок незначний, то крапельки конденсуються на найхолодніших поверхнях — випадає роса. Якщо надлишок високий, то крапельки конденсуються, утворюючи туман.

Також, є взаємозв'язок визначається як відношення парціального тиску водяної пари в газі до рівноважного тиску насиченої пари[2].

$$W = \frac{e}{E}, \quad (1.4)$$

де, e - абсолютна вологість, в $\frac{\text{г}}{\text{м}^3}$;

E - тиск насиченої пари, в $\frac{\text{г}}{\text{м}^3}$.

Точка роси, тобто температура, при якій водяна пара в повітрі починає конденсуватися, є характеристикою вологості повітря[2].

1.2.3. Значення вологості

Встановлення ступеня вологості багатьох продуктів, матеріалів має важливе значення. Тільки при певній вологості багато тіл (зерно, цемент і ін) є придатними для тієї мети, для якої вони призначені. Життєдіяльність тварин і рослинних організмів можлива тільки в певних діапазонах вологості і відносної вологості повітря. Вологість може вносити суттєву похибку в масу предмета. Кілограм цукру або зерна з вологістю 5 % і 10 % буде містити різну кількість сухого цукру або зерна[1].

Вимірювання вологості визначається висушуванням вологи і титруванням вологи по Карлу Фішеру. Ці способи є первинними. Крім них розроблено безліч інших, які калібруються за результатами вимірювань вологості первинними способами і за стандартними зразками вологості [2].

Конденсації водяної пари – це атмосферні опади, вода у рідкому або твердому агрегатному стані, яка випадає з хмар або утворюється на поверхні ґрунту чи інших об'єктів у результаті конденсації водяної пари, що знаходиться в атмосфері. Розрізняють вертикальні (дощ, сніг, град) та горизонтальні (роса, іней, ожеледь) опади[2].

2 СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ, ПРИНЦИП ДІЇ, КОНСТРУКЦІЯ, ХАРАКТЕРИСТИКИ

Температура повітря легко і досить точно може бути виміряна термометрами. Визначивши вологість повітря і знаючи температуру, аналітично або за допомогою d-I діаграми знаходять всі інші параметри стану повітря.

У практиці найбільш широко застосовуються наступні методи визначення вологості повітря: психрометричний, метод точки роси, гігроскопічний і масовий, причому перший з них – найпоширеніший [3].

2.1 Психрометричний метод

Психрометричний метод заснований на використанні приладу, званого психрометром, який складається з двох розташованих поруч термометрів. Один з термометрів, звичайний, називається сухим, вимірює температуру t повітря. Балончик з розширюється рідиною іншого термометра обгортають легкої гігроскопічної тканиною, наприклад батистом, у вигляді чохла, нижній кінець якої опускають у посудину з водою. Вода по чохла, як за фитиллю, піднімається до балончика і постійно змочує його. Цей термометр називається вологим або мокрим і вимірює температуру повітря по мокрому термометру $t_m \leq t$. [4]

Зупинимося коротко на понятті температури t_m повітря по мокрому термометру. Балончик цього термометра обгорнутий змоченою тканиною. На випаровування води з тканини витрачається теплота пароутворення, що призводить до зниження температури вологої тканини і поступового зниження показань мокрого термометра. Пристрій найпростішого психрометра Августа показано на (рис. 2.1).

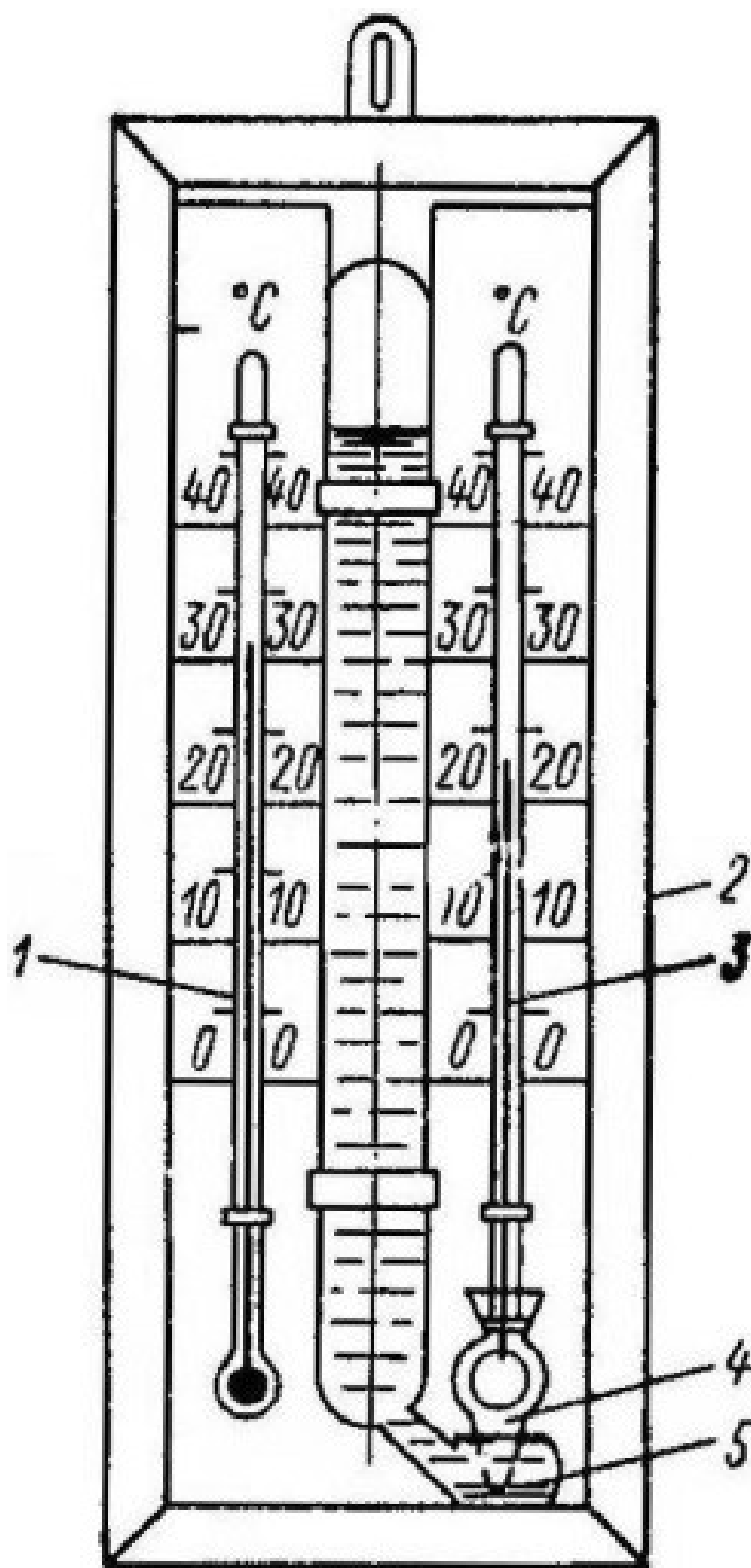


Рисунок. 2.1 - Психрометр Августа: 1 – сухой термометр; 2 – дерев'яна панель; 3 – вологий (мокрый) термометр; 4 – чохол (тканина); 5 – посудина з водою [4]

Внаслідок утворюється різниці температур теплота від навколишнього повітря починає надходити до вологої тканини. Температура мокрого термометра буде знижуватися до такого значення, при якому кількість прихованої теплоти, що витрачається тканиною на випаровування, стане рівним кількості явної теплоти, що віддається повітрям тканини. Стале значення t_m (температури мокрої тканини і шару насиченого повітря біля неї) називають температурою мокрого термометра повітря для даного стану. Цей процес тепловологообміну між повітрям і водою, тобто насичення повітря, вважається адіабатичним, так як повітря і вода обмінюються внутрішнім теплом без відводу або підведення його ззовні (поза системи повітря-вода).

У сталому процесі адіабатичного насичення ентропія повітря не змінюється, так як переходу від повітря до води внаслідок різниці температур $(t - t_m)$ явної (відчутної) теплоти еквівалентний повернення прихованої теплоти (пароутворення вологи, що переходить від води до повітря внаслідок різниці парціальних тисків водяної пари в насиченому (над поверхнею води) та ненасиченому (вимірюваних) повітрі). Це видно з виразу для ентропії:

$$I = 1,0 \cdot t + 1,89 \cdot t \cdot d + 2500 \cdot d \quad (2.1)$$

в якому при адіабатичному насиченні повітря перший член (явне тепломісткість) зменшується, а третій (прихована частина I) – збільшується. Другий член рівняння практично залишається постійним, оскільки із зменшенням t збільшується d [3].

Однак, ідеальний адіабатичний процес можливий тільки при $t_m = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ (лінії $I = \text{const}$ і $t_m = \text{const}$ в d - I діаграмі збігаються тільки при $t_m = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$). При $t_m > 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ентропія насиченої повітря (у балончика) буде більше ентропії ненасиченого повітря (далеко від балончика термометра) на величину теплоти випарувалася води, графік показано на (рис. 2.4):

$$4,19 \cdot (d_H - d) \cdot t_m, \quad (2.2)$$

де d_H – вологовміст насиченого повітря;

d – вологовміст ненасиченого повітря.

З за малості величини (2.2) практично цей процес насичення і вважають адіабатичним, а ентропію повітря постійною.

Таким чином, під температурою мокрого термометра слід розуміти температуру, яку приймає повітря в результаті його адіабатичного насичення (зволоження). Різниця показань сухого і мокрого термометрів ($t - t_m$) називається психрометричною різницею або депресією мокрого термометра. Вона тим більше, чим сухіше повітря, тобто чим менше його відносна вологість [3].

По температурі t повітря і психрометричній різниці ($t - t_m$) можна визначити відносну вологість ϕ і інші параметри повітря. Для більш простого визначення ϕ складають психрометричні таблиці, що додаються до психрометрам і є численної спеціальній літературі.

Недоліком психрометра Августа є його порівняно мала точність з-за істотного впливу радіаційних приток (від навколишнього середовища і предметів) до незахищеному приладу при недостатній швидкості повітря близько балончика (рух створюється тільки вільною конвекцією). Тому покази мокрого термометра t_m будуть дещо завищені в порівнянні з дійсною температурою t_m . За даними Каррье, при нульовій швидкості повітря помилка у визначенні ($t - t_m$) досягає 14 %, а при швидкості повітря 0,8 м/с вона зменшується до 2 %.

Для підвищення точності показань мокрого термометра вдаються до штучного збільшення швидкості повітря близько балончиків психрометра і захист його від зовнішніх теплопритоків (теплових випромінювань). При швидкостях повітря близько балончиків 1,5...2 м/с помилка у визначенні

$(t - t_m)$ становить менше 1 %. Пояснюється це тим, що при підвищених швидкостях повітря конвективний приплив теплоти, що врівноважує втрати теплоти в шарі насиченого повітря близько кульки термометра від випаровування води, збільшується і відносний вплив зовнішніх (радіаційних) теплопритоків значно зменшується. Зручним і досить точним приладом для визначення вологості повітря служить аспіраційний психрометр Ассмана (рис. 2.2).

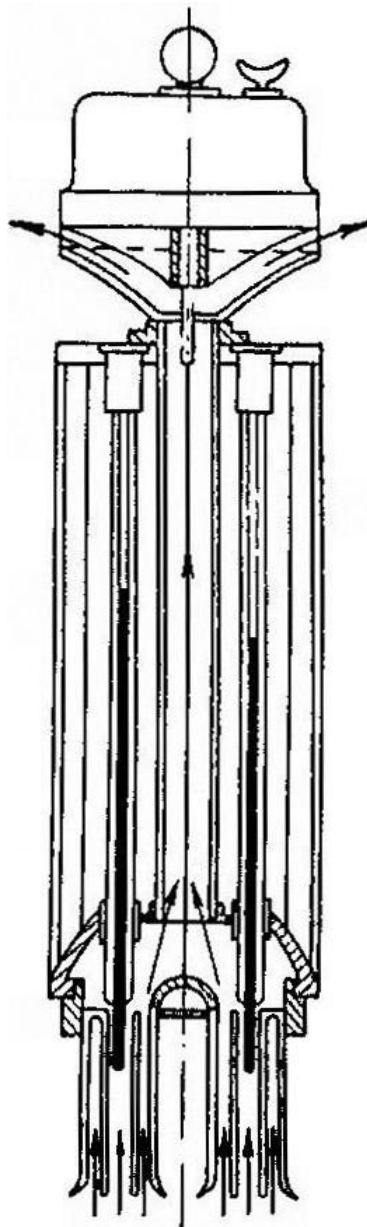


Рисунок - 2.2. Психрометр Ассмана [3]

Обидва термометра укладені в металеві трубки, через які спеціальним вентилятором з пружинним (заводним) або електричним двигуном, змонтованим у верхній частині приладу, пропускається досліджуваний повітря зі швидкістю 2,5...3,0 м/с. Поверхню трубок для захисту термометрів від теплового опромінення палерована і нікельована. В іншому аспіраційний психрометр влаштований так само, як і психрометр Августа [3].

Існують також електричні психрометри, побудовані за принципом електричного містка опору (опір мокрого термометра менше, ніж сухого).

Нехай показання сухого термометра дорівнює t_A , а показання мокрого термометра t_M . Якщо на діаграмі нанесені ізотерми $t_M = \text{const}$, точка А, що характеризує стан повітря, і фА знаходяться на перетині ізотерм $t_A = \text{const}$ і $t_M = \text{const}$. Якщо ж у d-l діаграмі немає ізотерм по мокрому термометру, потрібно з точки К, перетину ізотерми $t = t_M$ з кривою насичення $\phi = 1$ піднятися по лінії $I = \text{const}$ (без великої похибки можна вважати лінії $I = \text{const}$ і $t_M = \text{const}$ збігаються) до перетину з ізотермою t_A [3].

При позитивній температурі повітря психрометри працюють з похибкою $\pm 1...2 \%$, при негативній їх точність різко знижується через утворення у балончика мокрого термометра скоринки льоду, виділення теплоти затвердіння тощо; при $t \leq 0^\circ\text{C}$ практично ними не користуються.

2.2 Метод точки роси

Метод точки роси заснований на вимірюванні температури $t_{\text{рос}}$ повітря, охолоджуваного, наприклад, металевою неокиснюючою дзеркальною поверхнею (в момент початку випадання краплинної вологи на дзеркалі фіксується його температура).

Знаючи $t_{\text{рос}}$ і температуру t_A повітря, можна у схемі, зображеній на (рис. 2.3), піднімаючись з точки В на кривій насичення по лінії $d = \text{const}$ до

ізотерми t_A , знайти точку А їх перетину, а отже, вологість ϕ_A і інші параметри стану повітря.

Метод точки роси менш точний, ніж психрометричний. Однак він застосуємо при температурах до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (з похибкою вимірювання $t_{\text{рос}} \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) (рис. 2.3) [3].

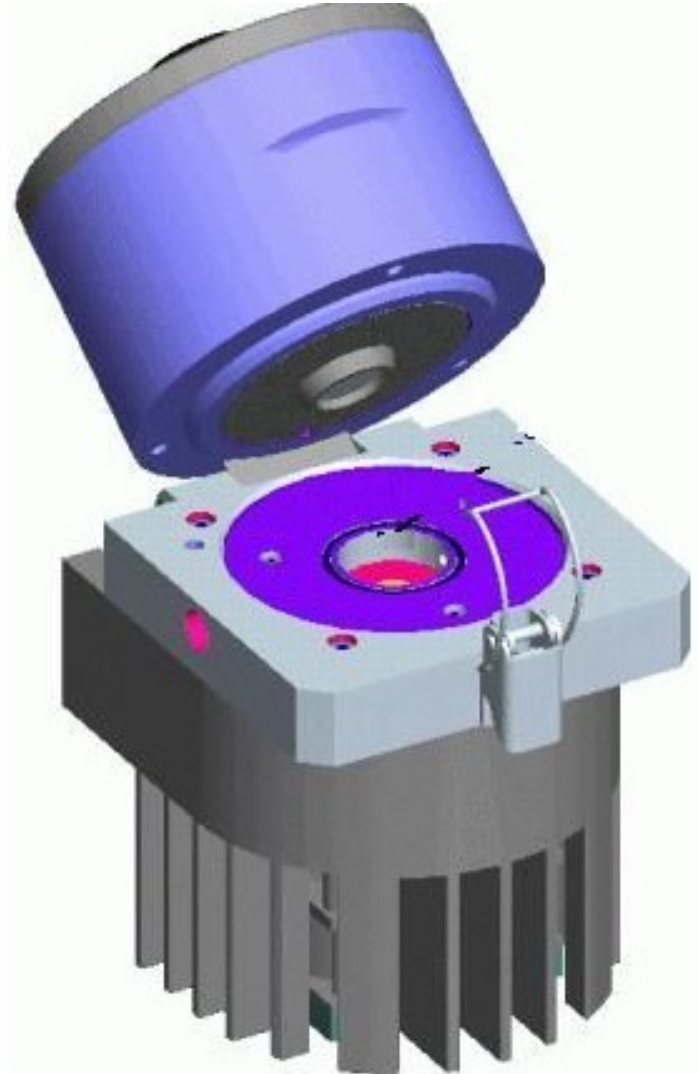


Рисунок 2.3 – Гігрометр з охолоджуваним дзеркалом

Стан повітря за показаннями гігрометра з охолоджуваним дзеркалом, сухого , мокрого термометрів легко визначити d-I діаграмі (рис. 2.4).

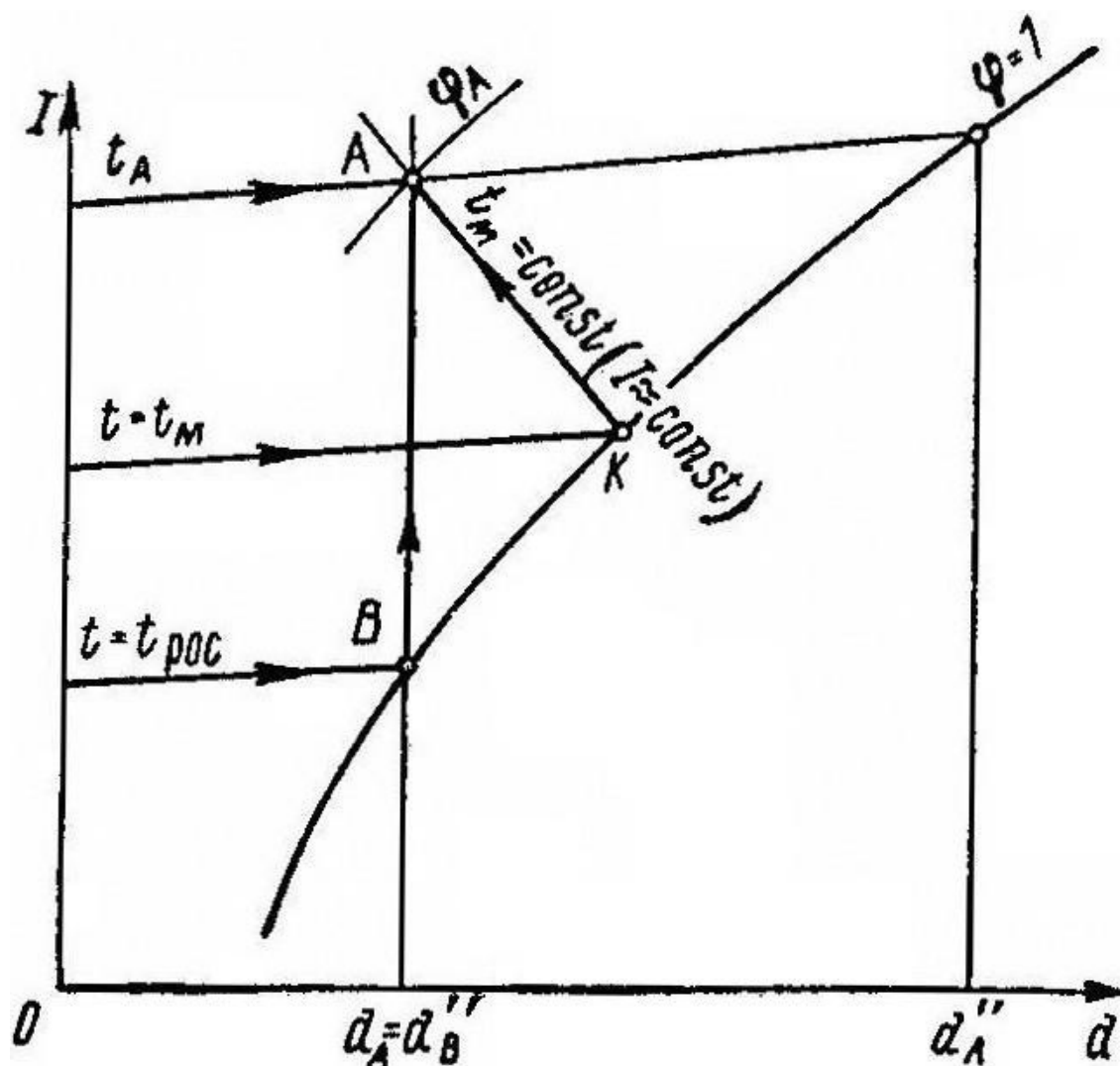


Рисунок - 2.4 Визначення вологості повітря психрометричним методом і методом точки роси в d-I діаграмі [3]

2.3 Гігроскопічний метод

Гігроскопічний метод заснований на здатності деяких матеріалів змінювати свою форму і розміри (подовжуватися – знежирений людський волосся, капронова нитка та інші), або властивості (електропровідність – сіль LiCl та інші) при вбиранні води з повітря в кількості, пропорційній його відносній вологості. Тому, використовуючи ці матеріали в механічних або

мостових електричних схемах, можна створювати прилади невисокої точності, звані гігрометрами(рис. 2.5). [5].

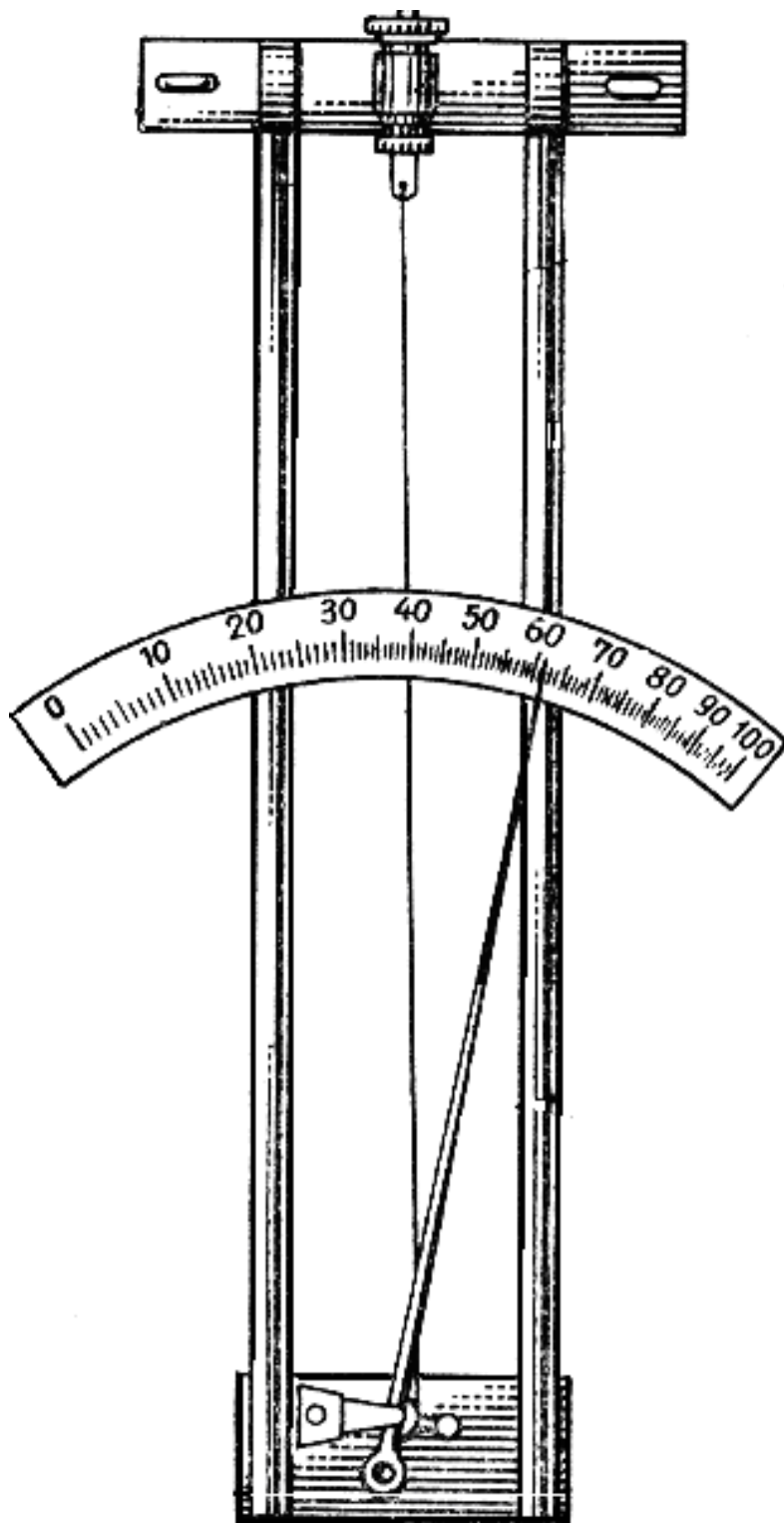


Рисунок 2.5 – Гігрометр волосяний

2.4 Масовий метод

Масовий (абсолютний) метод найбільш точний, але трудомісткий і вимагає спеціального обладнання – вентилятора, вологопоглиначів та ін. Повітря продувають через поглиначі. Віднісши об'ємний витрата повітря до маси всієї поглинутої вологи, визначають абсолютну вологість повітря γ_n . По температурі повітря з таблиць насиченої пари знаходять його щільність γ''_n , тобто абсолютну вологість насиченого повітря; тоді $\phi = \gamma_n / \gamma''_n$ (рис. 2.6)[3].

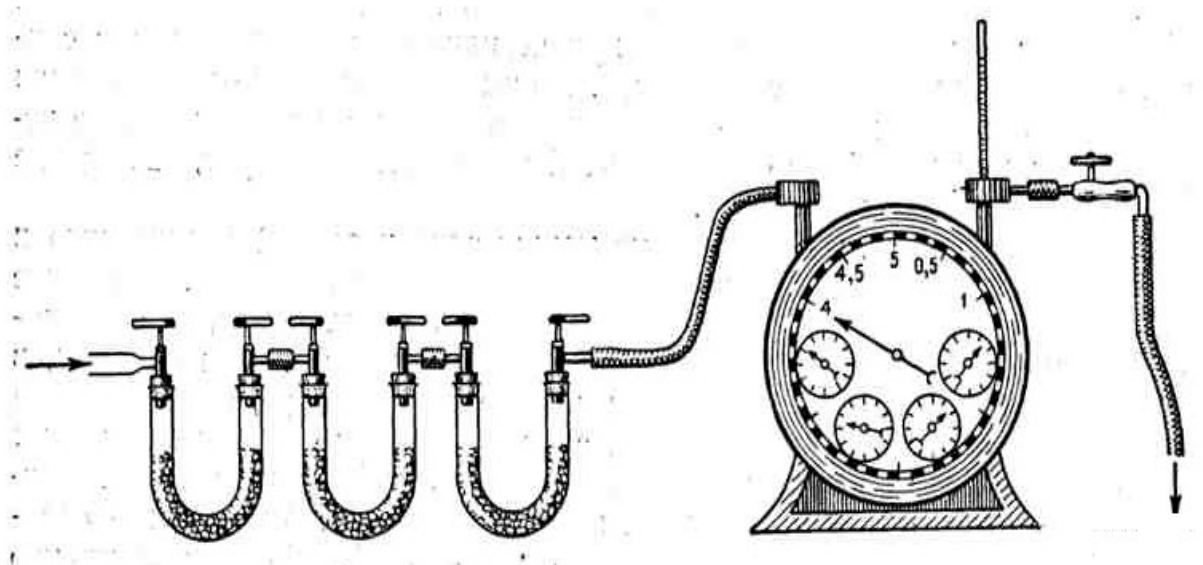


Рисунок 2.6 - Масовий гігrometer(абсолютний)

2.5 Енергетичний метод

Гігrometer інфрачервоного випромінювання заснований на вимірюванні оптичного поглинання газу в інфрачервоній області спектра. Дозволяє визначити абсолютну вологість газів. Метод вимагає використання установок інфрачервоного випромінювання і поглинання, тому є дорогим. Переваги методу: швидкість вимірювання та висока відтворюваність.

Електричні гігromетри з провідною плівкою. Гігроскопічними гігromетрами називають всі гігromетри, у яких між випробуваним об'єктом і навколишнім вологим повітрям встановлюється рівновага. Поглинена таким чином вода впливає на певні властивості чутливого елемента, величина сигналу якого пропорційна кількості поглиненої води. У волосяних гігromетрах фіксується вимірювання довжини.

У гігromетрах з поверхневою провідною плівкою залежно від вологості газу змінюється електричний опір. Такий тип гігromетрів вимірює відносну вологість, яка незначно залежить від температури. Недоліком є необхідність індивідуального калібрування кожного чутливого елемента і недостатня стабільність такої калібрування. Точність вимірювання становить $\pm 3\%$ відносної вологості. Гігromетри з провідною плівкою мають дуже малий час встановлення показів і можуть бути використані при дуже низьких значеннях вологості (рис. 2.7) [3].

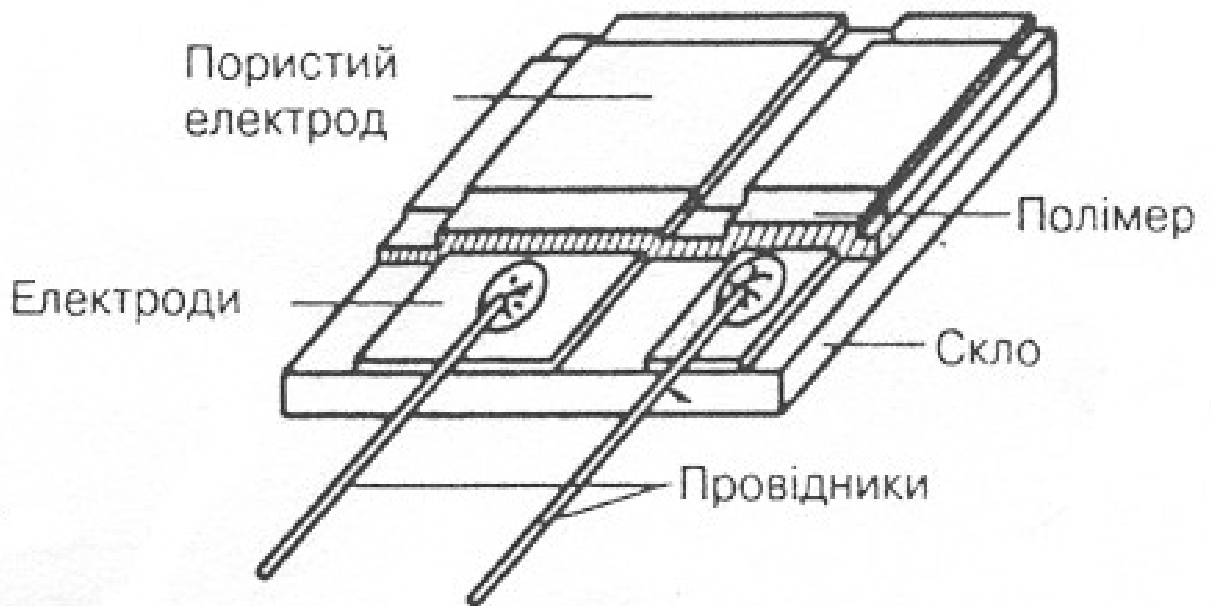


Рисунок 2.7 - Гігromетр адсорбційний

2.6 Ємнісний метод

Ємнісний метод заснований на тому, що зміна вологості капілярно-пористих тіл призводить до істотної зміни їх діелектричної проникності. У сухих тіл діелектрична проникність $\varepsilon = 1 \dots 6$, а у води $\varepsilon = 81$. Зміна діелектричної проникності внаслідок зміни вологості матеріалу визначають за зміною ємності конденсатора, між обкладками якого міститься аналізований матеріал. Перетворювач ємнісного вологоміра виконують у вигляді двох плоских пластин або двох концентричних циліндрів, простір між якими заповнюється аналізованим матеріалом з допомогою засипки при падінні матеріалу з певної висоти. У цьому випадку забезпечується хороша відтворюваність результатів вимірювання. Ємність конденсатора певних геометричних розмірів може бути виражена формулою [3].

$$C = k \cdot \varepsilon,$$

де ε — діелектрична проникність матеріалу, визначається його вологістю;

k — постійна, що визначається геометричними розмірами і формою конденсатора.

Включення ємнісного перетворювача у високочастотний коливальний контур дозволяє використовувати резонансні ланцюга в приладах для вимірювання ємності перетворювача, а за нею і вологості матеріалу. Ємнісні перетворювачі мало чутливі до складу матеріалу, його структуру і контактного опору між електродами і матеріалом. Так як для більшості матеріалів діелектрична проникність залежить від температури, у промислових приладах передбачається автоматичне введення поправки на зміну температури. Похибка ємнісних вологомірів може становити $0,2 \dots 0,5\%$. Проте методика відбору проби (заповнення матеріалом простору між

обкладками конденсатора) може впливати на результати вимірювання. Наприклад, навіть зміна розмірів частинок (кусочків) аналізованого матеріалу істотно впливає на покази вимірювача. У зв'язку з цим застосування вологомірів твердих і сипучих тіл у технічних вимірюваннях обмежена [3].

З розглянутих сучасних методів вимірювання вологості повітря в майбутньому будуть розглянуті критерії, для вибору більш точного методу.

3 ВИБІР КРИТЕРІЮ ДЛЯ ОЦІНКИ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

Критерій - ознака, на підставі якої формується оцінка якості об'єкта, процесу, мірило такої оцінки. Наприклад, Коефіцієнта ефективності характеризує рівень ефективності системи, а Коефіцієнт оптимальності - наскільки система близька до оптимального стану.

3.1 Види критеріїв

Для вибору найбільш ефективного методу вимірювання вологості повітря розглянемо такі критерії:

- 1) точність приладу - це характеристика приладу, яка визначається межами допустимих основної та додаткової похибок;
- 2) швидкість вимірювань приладу - відображення фізичних величин їх значеннями, певний час;
- 3) собівартість приладу - це вартісна оцінка використовуваних у процесі виробництва приладу;
- 4) діапазон вимірювань приладу – це область значень величини, в межах якої нормовані допустимі межі похибки засобу вимірювань.;
- 5) здатність приладу до автоматизації - це процес при якому функції управління і контролю, раніше які виконувалися людиною, передаються приладам і автоматичним пристроям;
- 6) тривалість служби приладу - проміжок часу, після якого один з основних параметрів приладу, що знаходився в робочому режимі, перейшов через встановлене значення, або ж прилад став непридатним до експлуатації.
- 7) габарити приладу – розміри приладу, місце яке він займає;

З представлених критеріїв був обраний один комплексний критерій, в який входять такі критерії: точність приладу, швидкість вимірювань приладу і собі вартість приладу. Тому, що цим критеріям потрібно приділяти найбільше уваги з усіх критеріїв, для вибору методу і приладу для вимірювання вологості повітря.

3.2 Вибір методу за критерієм

За допомогою представленими нами вищекритеріями був обраний психрометричний метод вимірювання вологості повітря.

Так як у цьому методі в першу чергу висока точність зняття вологості повітря до 1-2%, по друге, швидкість зняття показань, по третє, простий у використанні, надійний і не дорогий по своїй вартості.

Психрометричний метод дуже поширений и часто використовується на метеорологічних майданчика, аеропортах, на агрометеорологічних станціях і в будівництві.

Сучасні психрометри можна розділити на три категорії: станційні, аспіраційні та дистанційні. В станційних психрометрах термометри закріплені на спеціальному штативі у метеорологічній будці. Основний недолік станційних психрометрів — залежність показань зволоженого термометра від швидкості повітряного потоку в будці. Основний станційний психрометр — психрометр Августа. В аспіраційному психрометрі (наприклад, психрометр Ассмана) термометри розташовані у спеціальній оправі, яка захищає їх від пошкоджень і теплового випромінювання навколишніх предметів, де охолоджуються за допомогою аспіратора (вентилятора) потоком досліджуваного повітря з постійною швидкістю близько 2 м/с. При позитивній температурі повітря аспіраційний психрометр — найбільш надійний прилад для вимірювання температури і вологості

повітря. У дистанційних психрометрах використовуються термометри опору, терморезистори.

Розглянувши критерії вимог був обраний психрометричний метод, тому, що він поширений, точний і швидкий у використанні.

4 ЗАГАЛЬНИЙ ПРИНЦИП ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОФАКТОРНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ

Синергетика — наука про еволюцію колективного, взаємодіючого безлічі, заснована на аналізі процесів еволюції відкритих систем, коли багатофакторне зовнішній вплив призводить до одиничної реакції середовища-матеріалу, вираженої зламу захисного кожуху, або самого механізму змочування термометра, що є актом порушення його суцільності

Побудова і аналіз багатофакторної регресійної моделі дозволяють судити про чисельний вплив факторів на досліджуваний показник дефектності приладів і зміну цього показника при варіюванні значень кожного фактора [4].

Критерієм оцінки адекватності моделі є коефіцієнт детермінації який представляє собою статистичну характеристику, що враховує як лінійні, так і нелінійні види зв'язків і дає можливість оцінювати ступінь адекватності побудованої моделі.

Мета дисперсійного аналізу визначити, чи впливають фактори, один на одного, на тлі перешкод.

Розрізняють однофакторний (який залежить від одного фактора) і багатофакторний (у залежить від декількох факторів) дисперсійний аналіз.

Щоб вирішити, значний вплив цього фактора, необхідно оцінити значимість відповідної вибіркової дисперсії у порівнянні з дисперсією відтворюваності, обумовленої випадковими факторами [4].

Випадок, коли рівняння регресії мають більш складний вигляд, а також багатофакторний регресійний аналіз розглядається у спеціальній літературі.

В лабораторних умовах розглядається поведінка матеріалу з економікою втратою приладу при однопараметричному впливі, коли інші фактори залишаються незмінними в часі або дискретно змінюються при

переході від одного зразка до іншого. Вивчення кожного з факторів впливу на матеріал окремо один від одного не дозволяє проводити інтегральну оцінку його поведінки в реальних умовах експлуатації, які відповідають багатопараметричному або багатфакторному впливу. Тому виникає необхідність введення коефіцієнтів запасних частин, які повинні враховувати загострення ситуації в розвитку руйнування при експлуатаційному навантаженні по відношенню до лабораторного досвіду. Але і в цьому випадку введення самих коефіцієнтів запасу повинно бути обґрунтовано з єдиних позицій, які враховують енергетичні витрати на формування вільної поверхні та деформування матеріалу прилад. Вся ця інформація може бути відновлена після реалізованого руйнування в результаті аналізу [4].

Розглядається багатфакторне вплив на елементи приладу в умовах експлуатації. Воно завжди невизначено з точністю до одного або декількох факторів впливу.

Застосування багатфакторного експерименту дозволяє не тільки істотно скоротити обсяг випробувань, але і провести факторний аналіз впливу на обладнання приладу.

Використаємо багатфакторний аналіз, для аналізу впливу кожного фактору на прилад і точність його показників. У нашому випадку розглянемо інструментальну поправку та вплив оточуючого середовища.

В інструментальну поправку входять такі фактори:

- точність термометрів;
- точність розрахунків.
- точність системи змочування вологого термометра.

У вплив оточуючого середовища на прилад, входять такі фактори:

- вплив сонця;
- вплив вітру;
- вплив тиску;
- вплив вологості.

У результаті багатофакторної моделі були виявленні фактори, які можуть вплинути на роботу приладу і точність показань. Фактори та похибки будуть ураховані при розробці приладу, та розглянуті більш точно в наступному розділі.

5 ПОХИБКИ ПРИЛАДУ

5.1 Загальні відомості похибок

У розділі 4 були виявленні майбутні похибки, для приладу, з яких треба обрати найголовніші похибки, які можуть вплинути на прилад, які надалі вплинуть на вихідні данні.

Виділяють наступні види похибок:

- 1) абсолютна похибка;
- 2) відносна похибка;
- 3) наведена похибка;
- 4) основна похибка;
- 5) додаткова похибка;
- 6) систематична похибка;
- 7) випадкова похибка;
- 8) інструментальна похибка;
- 9) методична похибка;
- 10) особиста похибка;
- 11) статична похибка;
- 12) динамічна похибка.

Похибки вимірювань класифікуються за такими ознаками.

За способом математичного виразу похибки поділяються на абсолютні похибки і відносні похибки.

По взаємодії змін у часі і вхідний величини похибки поділяються на статичні похибки і динамічні похибки [5].

За характером появи похибки поділяються на систематичні похибки і випадкові похибки.

За характером залежності похибки від впливаючих величин похибки поділяються на основні і додаткові. За характером залежності похибки від вхідної величини похибки поділяються на адитивні і мультиплікативні. Абсолютна похибка — це значення, обчислене різниця між значенням величини, отриманих в процесі вимірювань, і дійсним (дійсним) значенням цієї величини [5].

Абсолютна похибка міри — це значення, обчислюємо як різниця між числом, що є номінальним значенням міри, і дійсним (дійсним) значенням у виробленої мірою величини [5].

Відносна похибка — це число, що відображає ступінь точності виміру

Наведена похибка — це значення, обчислене як відношення значення абсолютної похибки до нормуючого значення.

Нормуючі значення визначається в такий спосіб:

- 1) для засобів вимірювань, для яких затверджено номінальне значення, це номінальне значення приймається за нормальне значення;
- 2) для засобів вимірювань, у яких нульове значення розташовується на краю шкали вимірювання або поза шкалою нормальне значення приймається рівним кінцевого значення діапазону вимірювань. Винятком є засоби вимірювань з суттєво нерівномірною шкалою вимірювання;
- 3) для засобів вимірювань, у яких нульова відмітка розташовується всередині діапазону вимірювань, нормальні значення приймається рівним сумі кінцевих значень діапазону вимірювань;
- 4) для засобів вимірювання (вимірювальних приладів), у яких шкала нерівномірна, нормальні значення приймається рівним цілій довжині шкали вимірювання або довжині тієї її частини, яка відповідає діапазону вимірювання. Абсолютна похибка тоді виражається в одиницях довжини.

Похибка вимірювання включає в себе інструментальну похибку, методичну похибку та похибку відрахування. Причому похибка відрахування виникає через неточності визначення часток поділки шкали вимірювання [5].

Інструментальна похибка — це похибка, що виникає із-за допущених в процесі виготовлення функціональних частин засобів вимірювання помилок.

Методична похибка — це похибка, що виникає з наступних причин:

- 1) неточність побудови моделі фізичного процесу, який базується засіб вимірювання;
- 2) неправильне застосування засобів вимірювань.

Суб'єктивна похибка — це похибка, що виникає із-за низького ступеня кваліфікації оператора засоби вимірювань, а також через похибки зорових органів чека, тобто причиною виникнення суб'єктивної похибки є людський фактор.

Похибки взаємодії змін у часі однієї величини діляться на статичні і динамічні похибки [5].

Статична похибка — це похибка, яка виникає в процесі вимірювання постійна (що не змінюється в часі) величини [6].

Динамічна похибка — це похибка, чисельне значення якої обчислюється як різниця між похибкою, що виникає при вимірі непостійною (змінної у часі) величини, і статичної (похибкою значення вимірюваної величини в певний момент часу).

За характером залежності похибки від впливаючих величин похибки поділяються на основні і додаткові [5].

Основна похибка — це похибка, отримана в нормальних умовах експлуатації засоби вимірів (при нормальних значеннях змінних величин).

Додаткова похибка — це похибка, яка виникає в умовах невідповідності значень впливають величин їх нормальних значень, або якщо впливає величина переходить межі області нормальних значень.

Нормальні умови — це умови, в яких всі значення змінних величин є нормальними або не виходять за межі області нормальних значень.

Робочі умови — це умови, в яких змінено; впливають величин має більш широкий діапазон (значення впливають не виходять за межі робочої області значень) [5].

Робоча область значень впливаючої величини — це область значень, в якій проводиться нормування значень додаткової похибки [5].

За характером залежності похибки від вхідної величини похибки поділяються на адитивні і мультиплікативні.

Адитивна похибка — це похибка, що виникає в результаті підсумовування числових значень і не залежить від значення вимірюваної величини, взятої за модулем (абсолютного).

Мультиплікативна похибка — це похибка, яка змінюється разом зі зміною значень величини, що піддається вимірам[6].

Треба зауважити, що значення абсолютної адитивної похибки не пов'язане зі значенням вимірюваної величини і чутливістю засоби вимірювань. Абсолютні адитивні похибки незмінними на всьому діапазоні вимірювань. Значення абсолютної адитивної похибки визначає мінімальне значення величини, яке може бути виміряно засобом вимірювань.

Значення мультиплікативних похибок змінюються пропорційно змінам значень вимірюваної величини. Значення мультиплікативних похибок також пропорційні чутливості засоби вимірювань. Мультиплікативна похибка виникає внаслідок впливу впливаючих величин на параметричні характеристики елементів приладу [5].

Систематична похибка — це складова частина всієї погрішності результату вимірювання, що не змінюється або змінюється закономірно при багаторазових вимірюваннях однієї і тієї ж величини [5].

Випадкова похибка — це складова похибки результату вимірювання, що змінюється випадково, незакономірно при проведенні повторних вимірювань однієї і тієї ж величини [5].

Більш відповідні похибки будуть наведені в наступному розділі.

5.2 Основні впливові похибки

З перерахованих похибок у попередньому розділі, які можуть вплинути на роботу нашого приладу і ми отримаємо невірні показники вологості це:

- 1) систематична похибка;
- 2) випадкова похибка;

Похибки, які можуть виникнути в процесі вимірювань, класифікують за характером появи.

Виділяють:

- 1) систематичні похибки;
- 2) випадкові похибки.

У процесі вимірювання можуть також з'явитися грубі похибки і промахи.

Систематична похибка може вплинути на усі складові частини результату вимірювання, що не змінюється або змінюється закономірно при багаторазових вимірюваннях однієї і тієї ж величини [6].

Зазвичай систематичну похибку намагаються усунути можливими способами (наприклад, застосуванням методів вимірювання, що знижують ймовірність її виникнення), якщо ж неможливо виключити систематичну похибку, то її прораховують до початку вимірювань результат вимірювання вносяться відповідні поправки [6].

Випадкова похибка може вплинути на результату вимірювання, що змінюється випадково, незакономірно при проведенні повторних вимірювань однієї і тієї ж величини. Поява випадкової похибки не можна передбачити. Випадкову похибку неможливо повністю усунути, вона завжди в деякій мірі спотворює кінцеві результати вимірювань. Але можна зробити результат

вимірювання більш точним за рахунок проведення повторних вимірювань. Причиною випадкової похибки може стати, наприклад, випадкове зміна зовнішніх факторів, що впливають на процес вимірювання. Випадкова похибка при проведенні багаторазових вимірювань з досить великим ступенем точності призводить до розсіювання результатів [5].

Промахи і грубі похибки — це похибки, які набагато перевищують передбачувані в даних умовах проведення вимірювань систематичні і випадкові похибки. Промахи і грубі похибки можуть з'являтися з-за грубих помилок в процесі проведення вимірювання, технічної несправності засоби вимірювання, несподіваного зміни зовнішніх умов [7].

Таким чином виявленні основні впливові похибки приладу, для усунення їх в майбутньому.

6 ЗАСТОСУВАННЯ ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ПСИХРОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ

Як вказано у розділі один факторний аналіз показує – вид комплексного аналізу господарської діяльності, з допомогою якого з'ясовують і класифікують фактори, які впливають на певні явища, процеси. Мета факторного аналізу – з'ясувати, який із факторів (їх сукупність) справляє визначальний вплив на встановлені процес, явище тощо.

Факторний аналіз застосовується для вивчення взаємозв'язків між значеннями змінних, що впливають технологічні процеси, апарати. Статистичний метод аналізу впливу окремих факторів (чинників) на результативний (вихідний) показник[7].

Методи факторного аналізу: метод головних компонент, кореляційний аналіз, метод максимальної правдоподібності. Застосовується також нечіткий факторний аналіз. Математичні методи засновані на класичній логіці, є нетерпимі до неточності та необ'єктивності істини, а також до невизначеності у економічних і технічних системах. В свою чергу невизначеність системи призводить до зростання ризиків від прийняття неефективних рішень, результатом чого можуть бути негативні економічні наслідки. З цією метою виникає потреба у методах, що ґрунтуються на нечіткій логіці.

Факторний аналіз дозволяє вирішити дві важливі проблеми дослідника: описати об'єкт вимірювання всебічно і в той же час компактно. За допомогою факторного аналізу можливе виявлення прихованих змінних факторів, що відповідають за наявність лінійних статистичних кореляцій між спостережуваними змінними [8].

Дві основних мети факторного аналізу:

визначення взаємозв'язків між змінними (класифікація змінних), тобто «об'єктивна R-класифікація»;

скорочення числа змінних необхідних для опису даних.

При аналізі в один фактор об'єднуються сильно корелюють між собою змінні, як наслідок відбувається перерозподіл дисперсії між компонентами і виходить максимально проста і наочна структура факторів. Після об'єднання коррелированность компонент усередині кожного фактора між собою буде вище, ніж їх коррелированность з компонентами інших факторів. Ця процедура також дозволяє виділити латентні змінні, що буває особливо важливо при аналізі соціальних уявлень і цінностей. Наприклад, аналізуючи оцінки, отримані за кількома шкалами, дослідник зауважує, що вони подібні між собою і мають високий коефіцієнт кореляції, він може припустити, що існує деяка латентна змінна, за допомогою якої можна пояснити спостережуване схожість отриманих оцінок. Таку латентну змінну називають фактором. Даний фактор впливає на численні показники інших змінних, що приводить нас до можливості і необхідності виділити його як найбільш загальний, більш високого порядку. Для виявлення найбільш значущих факторів і, як наслідок, факторної структури, найбільш виправдано застосовувати метод головних компонент (МГК). Суть даного методу полягає в заміні корельованих компонентів некорельованими факторами. Іншою важливою характеристикою методу є можливість обмежитися найбільш інформативними головними компонентами і виключити інші аналізу, що спрощує інтерпретацію результатів. Гідність МГК також у тому, що він — єдиний математично обґрунтований метод факторного аналізу. За твердженням ряду дослідників МГК не є методом факторного аналізу, оскільки не розщеплює дисперсію індикаторів на загальну і унікальну [7].

Основний зміст факторного аналізу полягає у виділенні з усієї сукупності змінних лише невеликого числа латентних незалежних один від одного угруповань, всередині яких змінні пов'язані сильніше, ніж змінні, які відносяться до різних угруповань [9].

Факторний аналіз може бути:

- розвідувальними — він здійснюється при дослідженні прихованої факторної структури без припущення про число факторів і їх навантаження;
- конфірматорним (підтверджуючим), призначеним для перевірки гіпотез про числі факторів і їх навантаженнях.

6.1 Основний закон розподілу непреливних випадкових величин

Щільність ймовірності нормально розподіленої випадкової величини X виражається формулою [10].

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6.1)$$

Крива розподілу випадкової величини зображена на симетрично відносно точки $x=a$ (точка максимуму). При зменшенні σ ордината точки максимуму необмежено зростає, при цьому крива пропорційно сплющується вздовж осі абсцис, так що площа під графіком залишається рівною одиниці (рис 6.1) [10].

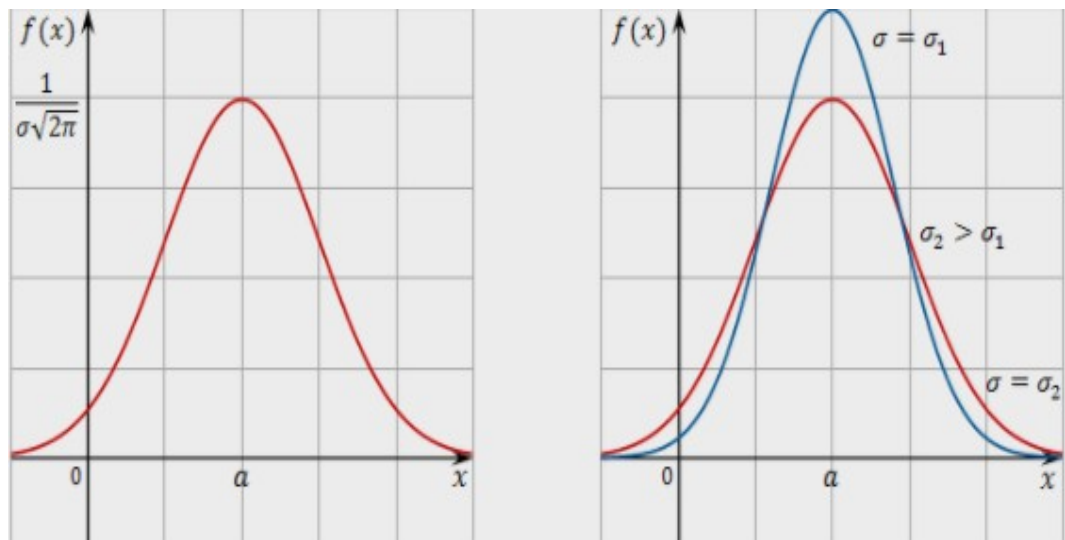


Рисунок – 6.1 Крива розподілу випадкової величини

Нормальний закон розподілу широко застосовується в задачах практики. Пояснити причини цього вперше вдалося Ляпуновим. Він показав, що якщо випадкова величина може розглядатися як сума великого числа малих доданків, то при досить загальних умовах закон розподілу цієї випадкової величини близький до нормального незалежно від того, які закони розподілу окремих доданків. А так як практично випадкові величини в більшості випадків бувають результатом дії багатьох причин, то нормальний закон виявляється найбільш поширеним законом розподілу. Зазначимо числові характеристики нормально розподіленої випадкової величини (математичне очікування і дисперсія) [10]:

$$M(X)=a; D[X]=\sigma^2. \quad (6.2)$$

Таким чином, параметри a і σ у виразі (6.2) нормального закону розподілу являють собою математичне очікування і середнє квадратичне відхилення випадкової величини. Беручи це під увагу, формулу можна представити наступним чином:

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi D[X]}}\exp\left(\frac{-(x-M(X))^2}{2D[X]}\right). \quad (6.3)$$

Ця формула показує, що нормальний закон розподілу повністю визначається математичне очікування і дисперсією випадкової величини. Таким чином, математичне очікування і дисперсія повністю характеризують нормально розподілену випадкову величину. Зрозуміло, що в загальному випадку, коли характер закону розподілу невідомий, знання математичного очікування і дисперсії недостатньо для визначення закону розподілу.

Теорема Ляпунова — теорема теорії ймовірностей, встановлює деякі загальні достатні умови збіжності розподілу сум незалежних випадкових величин до нормального закону [11].

З розробленого графіку було визначено, що 0,95-0,99 прилад підпорядковується нормальному закону розподілу.

Таким чином точність вимірювання вологи важлива, для проведення аналізу факторних моделей били розроблені моделі для удосконалення і виявлення погрішностей при вимірюванні приладу.

У результаті проведенного аналізу були виявлено, що велику і значну погрішність несе нормальний закон розподілу.

7 РОЗРОБКА СХЕМИ ЦИФРОВОГО ПСИХРОМЕТРА

7.1 Побудова структурної схеми

Згідно з завданням спроектувати та розробити сучасний прилад вимірювання вологості повітря, у розділі 3.2 був обґрунтований психрометричний метод.

Для реалізації цього методу в лабораторну установку пропонується структурна схема, реалізації обраного методу в структурному вигляді інтегрованої мікросхеми (рис.7.1).

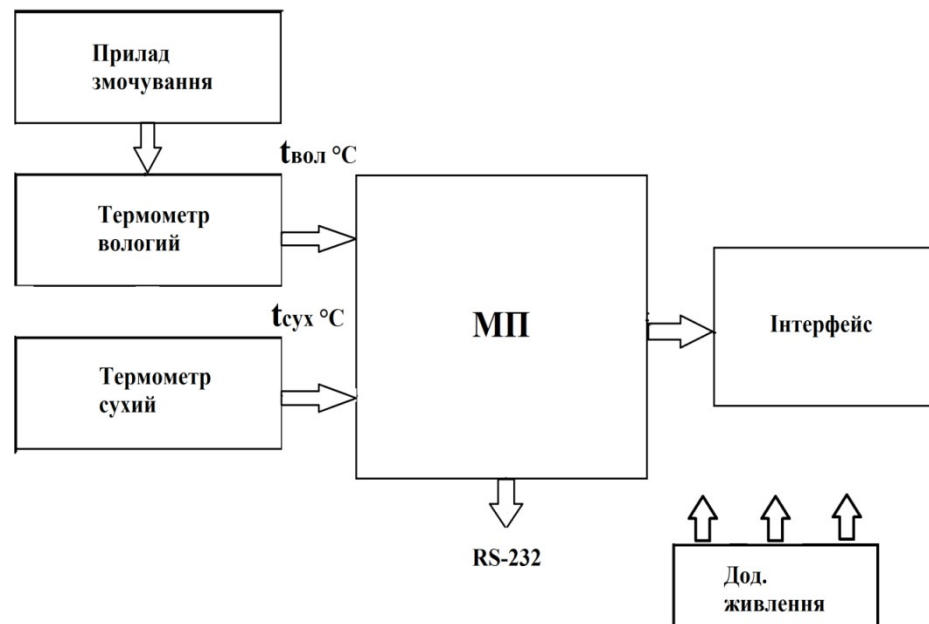


Рисунок 7.1 – Структурна схема цифрового психрометра

З (рис. 7.1) структурної схеми цифрового психрометра зображено:

прилад змочування – пристрій для змочування термометру вологого;

$t_{вол}$ - термометр вологий;

$t_{сух}$ - термометр сухий;

МП – мікропроцесор;

RS – 232 – цифровий вихід;

інтерфейс – рідкокристалічний дисплей;

дод. живлення – додаткове живлення.

Датчики температури і прилад змочування вологого термометру, повинні бути захищені захисним кожухом, від дії сонячної радіації, опадів та поривів вітру, так як можуть знаходитися в будь-яких кліматичних зонах.

Датчик $t_{\text{вол}}$ представляє собою терморезистор типу DS18B20, з цифровим перетворенням який видає вихідну інформацію в цифровій формі на вхід мікропроцесору, встановлюється на майданчику станції під відкритим небом у захисному корпусі (кожуху).

Датчик $t_{\text{сух}}$ представляє собою терморезистор типу DS18B20, з цифровим перетворенням, який видає вихідну інформацію в цифровій формі в вхід мікропроцесору, встановлюється на майданчику станції під відкритим небом у захисному корпусі (кожуху).

Мікропроцесор – інтегрована мікросхема, яка повинна розраховувати 16-розрядне двійкове число, щоб вимірювати в межах (-50 °C, +50°C). Процесор приймає інформацію в цифровій формі і перераховує різницю показань $t_{\text{вол}}$ і $t_{\text{сух}}$, за даними формулами (2.1 і 2.2) програми визначає вологість повітря. Розташовується у приміщенні.

Інтерфейс – приймає вихідну цифрову інформацію з мікропроцесора і виводить на ЖК екран. Розташовується у приміщенні.

Пристрій змочування $t_{\text{вол}}$ призначений для підтримки термометра у вологому стані під час вимірювань, автоматично подаючи на термометр рідину (воду).

Для змочування $t_{\text{вол}}$ існує проблема розробки пристрою для підтримки його змоченим. Розглядаються два види пристрою капілярний і обприскування.

Додадкове живлення - вторинне джерело живлення, призначене для забезпечення живлення електроприладу електричною енергією, при відповідності вимогам її параметрів: напруги, струму, і т. д.

7.2 Принцип роботи приладу

При вимірюванні вологості повітря, «пристрій змочування» автоматично змочує вологий термометр. Потім починається вимірювання температури по двом терморезисторам, сухому і змоченому.

Вихідні данні з терморезисторів поступають у цифровому вигляді на вхід мікропроцесору.

Мікропроцесор «Arduino 101» вводить, приймає, розраховує і виводить інформацію у цифровій формі і перераховує по програмному коду обробку вологого термометра і сухого термометра, результати реалізації формул і за даними програми визначає вологість повітря виводячи її на дисплей.

З мікропроцесору у цифровій формі виходять результати розрахунків, які поступають на вхід інтерфейсу, який виводить на всю потрібну інформацію на дисплей.

ОПИСННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ МІКРОПРОЦЕСОРУ «ARDUINO»

Лабораторна установка являється сучасним автоматизованим психрометричним приладом для контролю параметрів температури та вологості навколишнього середовища на базі мікропроцесора «Arduino 101» і цифрових датчиків «DHT 11». Робота установки відбувається в відповідно з написаним програмним кодом для керування приладом і самостійного розрахунку приладом за формулами відносної вологості повітря.

Склад і опис компонентів наводиться нижче.

8.1 Цифровий датчик температури і вологості – «DHT 11»

Цифровий датчик температури і вологості – «DHT 11», що дозволяє формувати цифровий сигнал на виході. DHT 11 складається з ємнісного датчика вологості і термістора. Також, датчик містить у собі АЦП для перетворення аналогових значень вологості і температури в цифровий сигнал зовнішній вигляд датчика представлений на (рис. 8.1) [12].

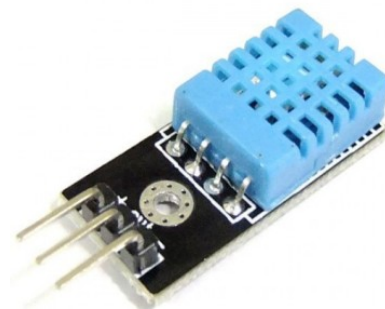


Рисунок 8.1 - Цифровий датчик температури і вологості DHT 11

8.2 Мікропроцесор

Мікропроцесор – інтегрована мікросхема яка повинна розраховувати 16-розрядне двійкове число ,розподіляти команди, збирати інформацію, розраховувати вихідні данні та виводити інформацію на дисплей, зовнішній вигляд мікропроцесору представлений на (рис. 8.2)[13].



Рисунок 8.2 – Мікропроцесор

Мікропроцесор розташовується на платі, вигляд якої зображено на (рис 8.3).

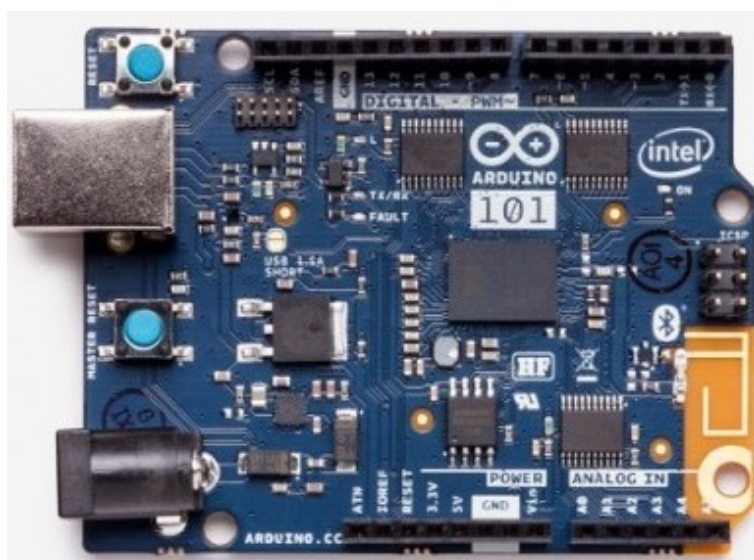


Рисунок 8.3—Інтегрована мікросхема Arduino 101

8.3 Дисплей

Дисплей – ЖК типу, який відображає інформацію з мікропроцесора і на рідкокристалічний екран, зовнішній вигляд дисплею представлений на (рис. 8.4) [14].

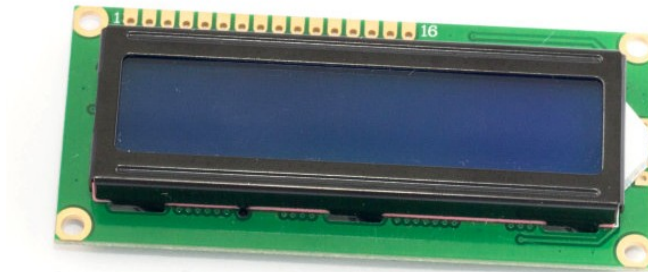


Рисунок 8.4–Дисплей[15].

8.4Блок живлення

Блок живлення– призначене для забезпечення живлення електроприладу електричною енергією, при відповідності вимогам її параметрів: напруги, струму, зовнішній вигляд блоку живлення представлений на (рис. 8.5) [16].



Рисунок 8.5–Блок живлення[17]

9 СКЛАДАННЯ ЦИФРОВОГО ПСИХРОМЕТРА

Складання лабораторної установки.

Для проведення вимірювання необхідно зібрати лабораторну установку.

Схема лабораторної установки зображено на (рис 9.1).

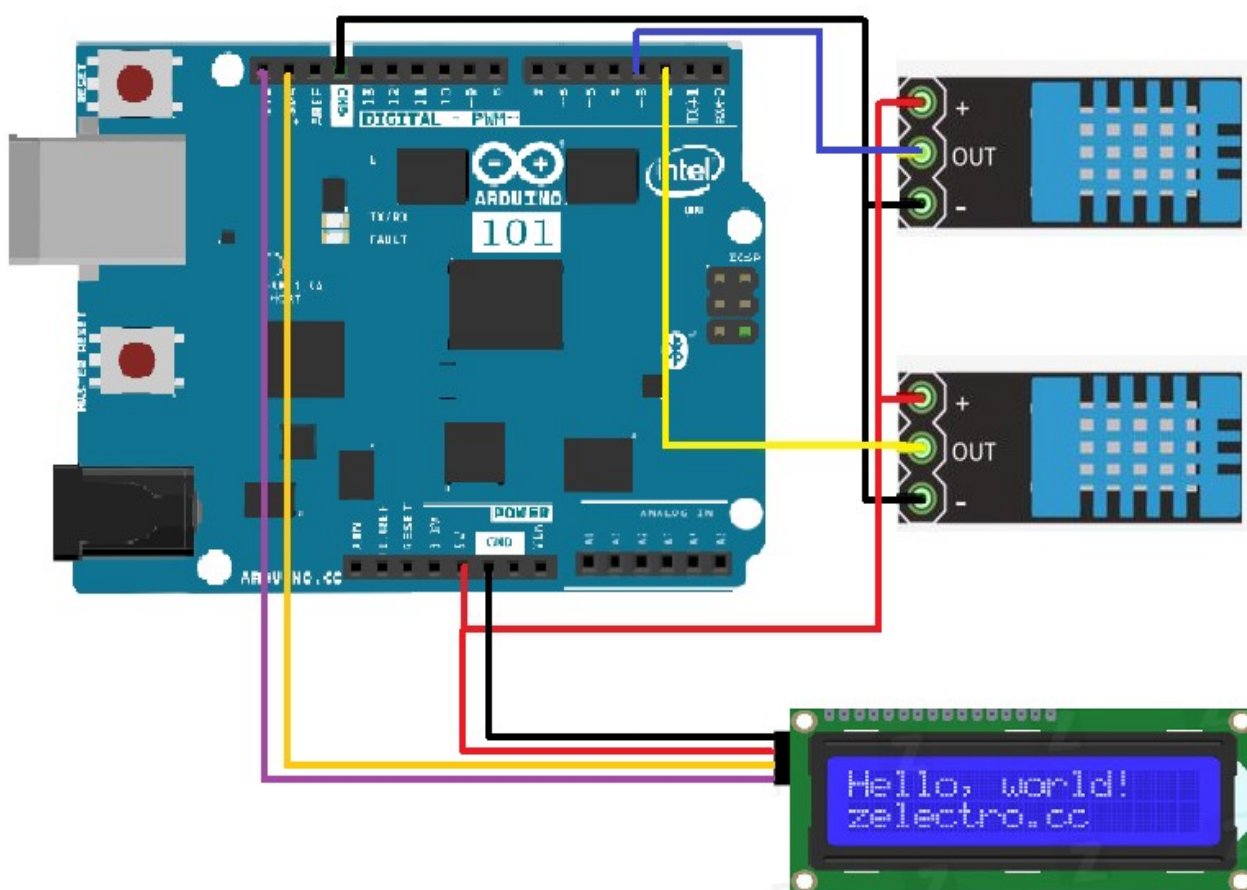


Рисунок 9.1 – Схема лабораторної установки

9.1 Компоненти прилада

1. Мікропроцесор «Arduino 101»
2. Два датчика «DHT 11»

- 3. Дисплей
- 4. Дроти
- 5. Блок живлення

9.2 Етапи зборки приладу

- 1. З'єднуємо датчики «DHT 11» з мікропроцесором «Arduino 101»
 - 1.1 Червоний дріт з'єднуємо з (+) «DHT 11» і під'єднаємо до мікропроцесору вихід живлення 5V
 - 1.2 Чорний дріт з'єднуємо з (-) «DHT 11» і під'єднаємо до мікропроцесору вихід GND
 - 1.3 Синій дріт з'єднуємо з цифровим виходом «DHT 11» і під'єднаємо до мікропроцесору вихід -3
 - 1.4 Жовтий дріт з'єднуємо з цифровим виходом «DHT 11» і під'єднаємо до мікропроцесору вихід 2
- 2. З'єднуємо дисплей з мікропроцесором «Arduino 101»
 - 2.1 Чорний дріт з'єднуємо з першим виходом (-) дисплея і під'єднаємо до мікропроцесору вихід живлення GND
 - 2.2 Червоний дріт з'єднуємо з другим виходом (+) дисплея і під'єднаємо до мікропроцесору вихід живлення 5V
 - 2.3 Помаранчевий дріт з'єднуємо з третім виходом дисплея і під'єднаємо до мікропроцесору SDA – послідовна лінія даних (Serial Data)
 - 2.4 Фіолетовий дріт з'єднуємо з четвертим виходом дисплея і під'єднаємо до мікропроцесору SCL - послідовна лінія тактування (SerialClock)

Автоматизований психрометричний прилад на базі мікропроцесору Arduino 101 зображено на (рис. 9.2).

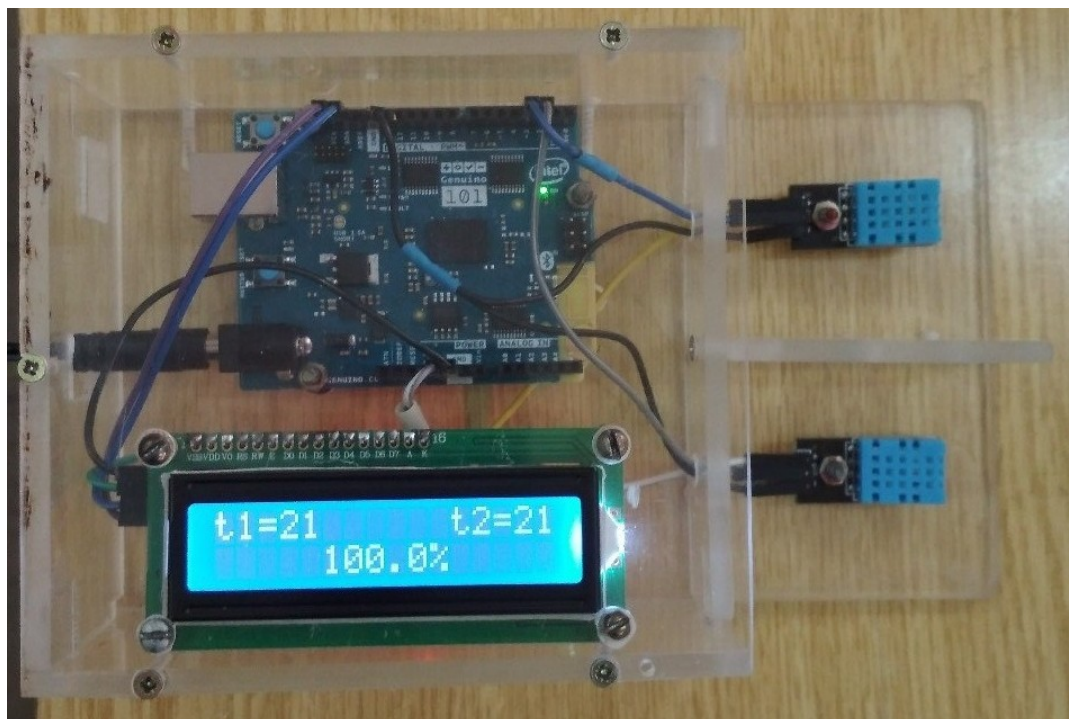


Рисунок 9.2– Автоматизований психрометричний прилад на базі мікропроцесору «Arduino 101»

9.3 Програмування та програмний код «Arduino 101»

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 друкованої плати 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 перетворювання аналогового входу в програмну систему[19].

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

Написання програмного коду:

Об'явимо піни до яких будуть підключатися дисплей і датчики «DHT 11»

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

```
#include <dht11.h>
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f, 16, 2); // Для екрану 16x2 (двухстроковий)
```

```
dht11 DHT;
```

```
#define DHT11a_PIN 2
```

```
#define DHT11b_PIN 3
```

Ініціалізуємо порти датчиків DHT 11 для Arduino

```
void setup()
```

```
{
```

```
Serial.begin(115200);
```

```
Serial.println("DHT TEST PROGRAM ");
```

```
Serial.print("LIBRARY VERSION: ");
```

```
Serial.println();
```

```
Serial.print("Type,\tstatus,\tHumidity (%),\tTemperature (C)");
```

```
Serial.println(" datchika");
```

```
}
```

Вихід даних першого датчика

```
void loop()
```

```
{
```

```

// READDATA
Serial.print("DHT11, \t");
intchk = DHT.read(DHT11a_PIN);
intt1=DHT.temperature;
switch (chk)
{
caseDHTLIB_OK:
Serial.print("OK,\t");
break;
caseDHTLIB_ERROR_CHECKSUM:
Serial.print("Checksumerror,\t");
break;
caseDHTLIB_ERROR_TIMEOUT:
Serial.print("Timeouterror,\t");
break;
default:
Serial.print("Unknownerror,\t");
break;
}
// DISPLAYDATA
Serial.print(DHT.humidity);
Serial.print(",\t\t");
Serial.print(t1);
Serial.println(" temp1 ");

```

Вихід даних другого датчика

```

// READDATA
Serial.print("DHT11, \t");

```

```

intchk2 = DHT.read(DHT11b_PIN);
intt2=DHT.temperature;
switch (chk2)
{
caseDHTLIB_OK:
Serial.print("OK,\t");
break;
caseDHTLIB_ERROR_CHECKSUM:
Serial.print("Checksumerror,\t");
break;
caseDHTLIB_ERROR_TIMEOUT:
Serial.print("Timeouterror,\t");
break;
default:
Serial.print("Unknownerror,\t");
break;
}
//

```

Вводимо формули і данні сталих величин для розрахунку за формулами абсолютної та відносної вологості.

```

Serial.print(DHT.humidity );
Serial.print(",\t\t");
Serial.print(t2);
Serial.println(" temp2 ");
intr=t1-t2;
Serial.print("Raznica=");
Serial.print(r);
Serial.print("\n");

```

```

floatF;
floatw=0.0013;
intB=765;
floatP,F1,A;
F=765/t1;
F1=765/t2;
A=F-((w*r)*B);
P=(A*100)/F1;
Serial.print("\n\n");
Serial.print(F);
Serial.print("\n\n");
Serial.print(A);
Serial.print("\n\n");
Serial.print(P);
Serial.print("\n\n");
delay(2000);// затримка 2с

```

Виводимо дані температури по двом датчикам DHT11 та відносної вологості на дисплей

```

lcd.begin();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("t1=");
lcd.setCursor(3,0);
lcd.print(t1);
lcd.setCursor(11,0);
lcd.print("t2=");
lcd.setCursor(14,0);
lcd.print(t2);
lcd.setCursor(5,1);

```



```
lcd.print(P);  
lcd.setCursor(10,1);  
lcd.print("%");  
}
```

10 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

В ході виконання лабораторної роботи необхідно дотримуватися правил техніки безпеки і методики виконання.

10.1 Вимоги безпеки перед початком роботи з психрометричним приладом

1. Вмикати і вимикати прилад дозволяється, тільки з дозволу викладача.
2. У психрометрі використовується напруга 5В. При роботі суворо дотримуйтесь правил техніки електробезпеки.
3. При виконанні роботи не дихати на термоелементи і знаходитися на відстані 0,5 м.
4. Змочувати терморезистор забороняється.
5. Змочену тканину підносити до терморезистора тільки з дозволу викладача.

10.2 Вимірювання приладом

1. Підключати прилад за допомогою блоку живлення 5В.
2. Після підключення живлення, провести контрольне вимірювання температури, щоб переконатися у вірності показання температури, результат виводиться на дисплей. Вихідні данні порівняти з еталонним приладом ТМ-4.
3. Перевіривши точність приладу необхідно зволожити шматок тканини і міцно віджати її, щоб залишки води не потрапили на вологий терморезистор. Покласти зволожену тканину на терморезистор и залишити

на 5 хвилин. Після цього дозволяється зняти готовий результат вологи з монітору комп'ютера, або з дисплею приладу і записати результати в (табл. 10.1).

4. Виконати контрольне вимірювання аспіраційним психрометром Ассмана. Отриманий результат порівняти з контрольним вимірюванням, знайти середня значення і помножити на 100%, записати результати в (табл. 10.2)

Завдяки такій послідовності отримуємо точну вологість навколишнього середовища.

5. Після закінчення вимірювань вимкнути прилад.

Таблиця 10.1 – Вихідні данні з автоматизованого психрометру

Термометр	Температура °C	%
Сухий		
Зволожений		

Таблиця 10.2 – Вихідні данні з аспіраційного психрометра Ассмана

Термометр	Температура °C	%
Сухий		
Зволожений		

ВИСНОВКИ

В данній роботі розглянуті сучасні методи вимірювання вологості повітря.

З розглянутих критеріїв та похибок проведений порівняльний аналіз і обраний психометричний метод вимірювання вологості повітря. Був застосований багатофакторний аналіз для визначення точності обраного методу. Який показав, що з урахуванням помилок психометричний метод більш точний.

У Психометричному методі, висока точність зняття вологості повітря до 1-2%, не складна будова пристрою і швидкість зняття показань, простий у використанні, надійний і не дорогий по своїй вартості.

Психометричний метод дуже поширений і часто використовується і буде використовуватися на метеорологічних майданчиках, аеропортах, на агрометеорологічних станціях і в будівництві.

В процесі магістерської роботи згідно з завданням був розроблений та складений лабораторний макет, для вивчення сучасного автоматизованого психометричного приладу, для вимірювання вологості повітря. Для використання лабораторного макета були написані методичні вказівки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. <http://www.activestudy.info/vlazhnost-vozduxa-na-zemle/>
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
3. <http://holod-proekt.com/2011/10/osnovnye-metody-opredeleniya-vlazhnosti-vozduha/>
4. https://studopedia.su/2_1770_metodi-i-priladi-dlya-vimiryuvannya-vologosti-povitrya.html
5. <https://megalektsii.ru/s40121t7.html>
6. <http://mash-xxl.info/info/21332/>
7. Зайдель А. Н. «Ошибки измерений физических величин», Лань, 2009 г., 112с.
8. <http://statsoft.ru/home/textbook/modules/stfacan.html>
9. Иберла К. «Математико-статистические методы за рубежом» Финансы и статистика, 1980 г., 398 с.
10. <http://mathhelpplanet.com/static.php?p=osnovnye-zakonyraspredeleniya-nepreryvnyh-sluchainyh-velichin>
11. Былов Б.Ф., Виноград Р.Э., Гробман Д.М., Немыцкий В.В. «Теория показателей Ляпунова и ее приложения к вопросам устойчивости» Наука, 1966 г. – 577 с.
12. <http://makerplus.ru/wiki/datchik-vlazhnosti-i-temperatury-dht11>
13. <http://joiner.org.ua/2rozrjad/2009-07-08-13-19-32/2009-07-24-11-04-59/2009-07-24-11-35-48.html>
14. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%B9>
15. <https://www.reichelt.de/Entwicklerboard-Zubehoer/DEBO-LCD-16X2-BL/3/index.html?ACTION=3&GROUPID=8244&ARTICLE=192143>

16. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%BA_%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F

17. <https://uamper.com/%D0%91%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-9%D0%92-1A>

18. <http://arduino.ru/About>

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 <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <dht11.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f, 16, 2); //
dht11 DHT;

#define DHT11a_PIN 2
#define DHT11b_PIN 3


void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("DHT TEST PROGRAM ");
  Serial.print("LIBRARY VERSION: ");
  Serial.println();
  Serial.print("Type,\tstatus,\tHumidity (%),\tTemperature (C)");
  Serial.println(" datchika");
}


void loop()
{
  // READDATA
  Serial.print("DHT11, \t");
  int chk = DHT.read(DHT11a_PIN);
  int t1=DHT.temperature;
```



```

switch (chk)
{
caseDHTLIB_OK:
Serial.print("OK,\t");
break;
caseDHTLIB_ERROR_CHECKSUM:
Serial.print("Checksumerror,\t");
break;
caseDHTLIB_ERROR_TIMEOUT:
Serial.print("Timeouterror,\t");
break;
default:
Serial.print("Unknownerror,\t");
break;
}
// DISPLAYDATA
Serial.print(DHT.humidity);
Serial.print(",\t\t");
Serial.print(t1);
Serial.println(" temp1 ");

// READDATA
Serial.print("DHT11, \t");
intchk2 = DHT.read(DHT11b_PIN);
intt2=DHT.temperature;
switch (chk2)
{
caseDHTLIB_OK:
Serial.print("OK,\t");

```

```

break;
caseDHTLIB_ERROR_CHECKSUM:
Serial.print("Checksumerror,\t");
break;
caseDHTLIB_ERROR_TIMEOUT:
Serial.print("Timeouterror,\t");
break;
default:
Serial.print("Unknownerror,\t");
break;
}
//

```

```

Serial.print(DHT.humidity );
Serial.print(",\t\t");
Serial.print(t2);
Serial.println(" temp2 ");
intr=t1-t2;
Serial.print("Raznica=");
Serial.print(r);
Serial.print("\n");
floatF;
floatw=0.0013;
intB=765;
floatP,F1,A;
F=765/t1;
F1=765/t2;
A=F-((w*r)*B);
P=(A*100)/F1;

```

```
Serial.print("\n\n");  
Serial.print(F);  
Serial.print("\n\n");  
Serial.print(A);  
Serial.print("\n\n");  
Serial.print(P);  
Serial.print("\n\n");  
delay(2000);//
```

```
lcd.begin();  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("t1=");  
lcd.setCursor(3,0);  
lcd.print(t1);  
lcd.setCursor(11,0);  
lcd.print("t2=");  
lcd.setCursor(14,0);  
lcd.print(t2);  
lcd.setCursor(5,1);  
lcd.print(P);  
lcd.setCursor(10,1);  
lcd.print("%");  
}  
  
}
```

Додаток Б

Лабораторна робота на тему: Датчик температури і вологості «DHT»

Лабораторна робота № 30

Датчик температури і вологості «DHT»

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

2 Задачі:

1. Зібрати установку
2. Написати програму, керуючу датчиком «DHT 11»
3. Провести вимірювання
4. Скласти звіт

Робота основана на матеріалі дисципліни «Прилади вимірювання метеопараметрів – вимірювачі вологи».

Перед початком практичного виконання студенти повинні здати колоквіум у вигляді теста для перевірки теоретичних знань при підготовці до лабораторної роботи.

3 Білети:

Білет 1

Як називається одиниця вологості вимірюється у відсотках:

- а) абсолютная влажность;
- б) відносна вологість;
- в) точка роси;
- г) дефіцит вологості.

Білет 2

Як називається одиниця вологості вимірюється в г/м³:

- а) абсолютна вологість;
- б) відносна вологість;
- в) точка роси;
- г) дефіцит вологості.

Білет 3

Як називається одиниця вологості вимірюється в градусах Цельсія:

- а) абсолютна вологість;
- б) відносна вологість;
- в) точка роси;
- г) дефіцит вологості.

Білет 4

Як називається одиниця вологості вимірюється у відсотках:

- а) абсолютна вологість;
- б) відносна вологість;
- в) точка роси;
- г) дефіцит вологості.

Білет 5

Скільки термометрів необхідно для реалізації психрометричного методу вимірювання вологості.:

- а) один;
- б) два;
- в) три;
- г) чотири.

Білет 6

Скільки термометрів необхідно при вимірюванні вологості гігрометр точки роси:

- а) один;
- б) два;

- в) три;
- г) чотири.

Білет 7

Парціальний тиск водяної пари дорівнює тиску насичення при цій температурі, що відповідає відносній вологості:

- а) 50%;
- б) 75%;
- в) 0%;
- г) 100%.

Білет 8

При психрометричному методі вимірювання вологості один з термометрів змочується::

- а) етанолом;
- б) бензином;
- в) дистильованою водою;
- г) гліцерином.

Білет 9

Чим вище вологість, тим різниця показань сухого і вологого термометрів:

- а) більше;
- б) менше;
- в) не залежить;
- г) завжди постійна.

Білет 10

Як впливає точність вимірювання температури на точність вимірювання вологості психрометричним методом:

- а) не впливає;
- б) прямо пропорційно;

в) обернено пропорційно;

4 Описання лабораторної установки

Лабораторна установка являється сучасним автоматизованим психрометричним приладом для контролю параметрів температури та вологості навколишнього середовища на базі мікропроцесора «Arduino 101» і цифрових датчиків «DHT 11». Робота установки відбувається в відповідно з написаним програмним кодом для керування приладом і самостійного розрахунку приладом за формулами відносної вологості повітря.

У склад установки входять:

4.1 Цифровий датчик температури і вологості – «DHT 11», що дозволяє формувати цифровий сигнал на виході. DHT 11 складається з ємнісного датчика вологості і термістора. Також, датчик містить у собі АЦП для перетворення аналогових значень вологості і температури в цифровий сигнал зовнішній вигляд датчика представлений на (рис. 4.1).

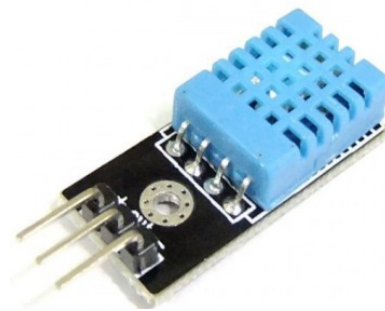


Рисунок 4.1 - Цифровий датчик температури і вологості DHT 11

4.2 Мікропроцесор – інтегрована мікросхема яка повинна розраховувати 16-розрядне двійкове число ,розподіляти команди, збирати інформацію, розраховувати вихідні данні та виводити інформацію на дисплей, зовнішній вигляд мікропроцесору представлений на (рис. 4.2).

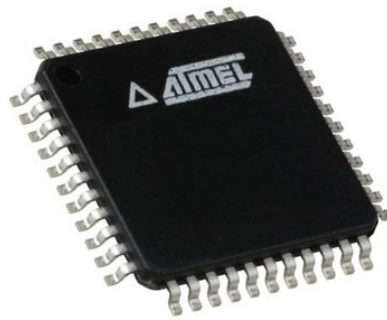


Рисунок 4.2 – Мікропроцесор

Мікропроцесор розташовується на платі, вигляд якої зображено на (рис 4.3).



Рисунок 4.3 - Інтегрована мікросхема Arduino 101

4.3. Дисплей – ЖК типу, який відображає інформацію з мікропроцесора і на рідкокристалічний екран, зовнішній вигляд дисплею представлений на (рис. 4.4).

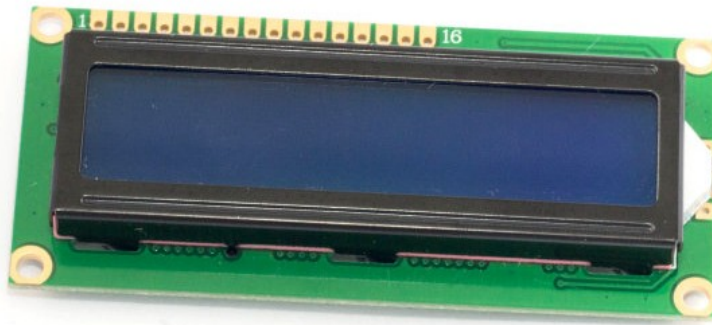


Рисунок 4.4 - Дисплей

4.4 Блок живлення - призначене для забезпечення живлення електроприладу електричною енергією, при відповідності вимогам її параметрів: напруги, струму, зовнішній вигляд блоку живлення представлений на (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 - Блок живлення

5 Складання лабораторної установки

Для проведення вимірювання необхідно зібрати лабораторну установку.

Схема лабораторної установки зображено на (рис 5.6).

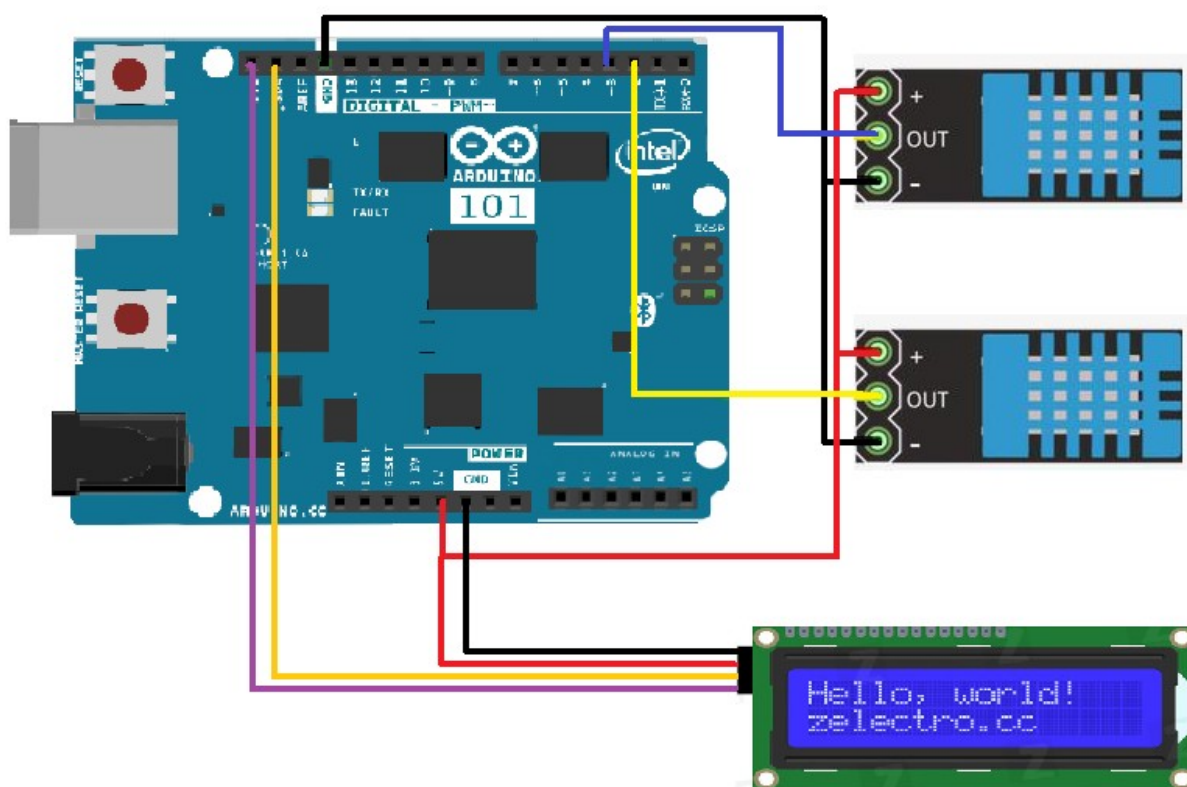


Рисунок 5.6 – Схема лабораторної установки

5.1 Підготовка необхідних деталей

Компоненти лабораторної установки:

1. Мікропроцесор «Arduino 101»
2. Два датчика «DHT 11»
3. Дисплей
4. Дроти
5. Блок живлення

5.2 Етапи зборки макету:

5.1 З'єднуємо датчики «DHT 11» з мікропроцесором «Arduino 101»

5.1.1 Червоний дріт з'єднуємо з (+) «DHT 11» і під'єднаємо до мікропроцесору вихід живлення 5V

5.1.2 Чорний дрiт з'єднуємо з (-) «DHT 11» i пiд'єднаємо до мiкропроцесору вихiд GND

5.1.3 Синій дрiт з'єднуємо з цифровим виходом «DHT 11» i пiд'єднаємо до мiкропроцесору вихiд -3

5.1.4 Жовтий дрiт з'єднуємо з цифровим виходом «DHT 11» i пiд'єднаємо до мiкропроцесору вихiд 2

5.2. З'єднуємо дисплей з мiкропроцесором «Arduino 101»

5.2.1 Чорний дрiт з'єднуємо з першим виходом (-) дисплея i пiд'єднаємо до мiкропроцесору вихiд живлення GND

5.2.2 Червоний дрiт з'єднуємо з другим виходом (+) дисплея i пiд'єднаємо до мiкропроцесору вихiд живлення 5V

5.2.3 Помаранчевий дрiт з'єднуємо з третім виходом дисплея i пiд'єднаємо до мiкропроцесору SDA - послiдовна лiнiя даних (Serial DAta)

5.2.4 Фiолетовий дрiт з'єднуємо з четвертим виходом дисплея i пiд'єднаємо до мiкропроцесору SCL - послiдовна лiнiя тактування (SerialCLOCK)

Автоматизований психрометричний прилад на базi мiкропроцесору Arduino 101 зображено на (рис. 5.7).

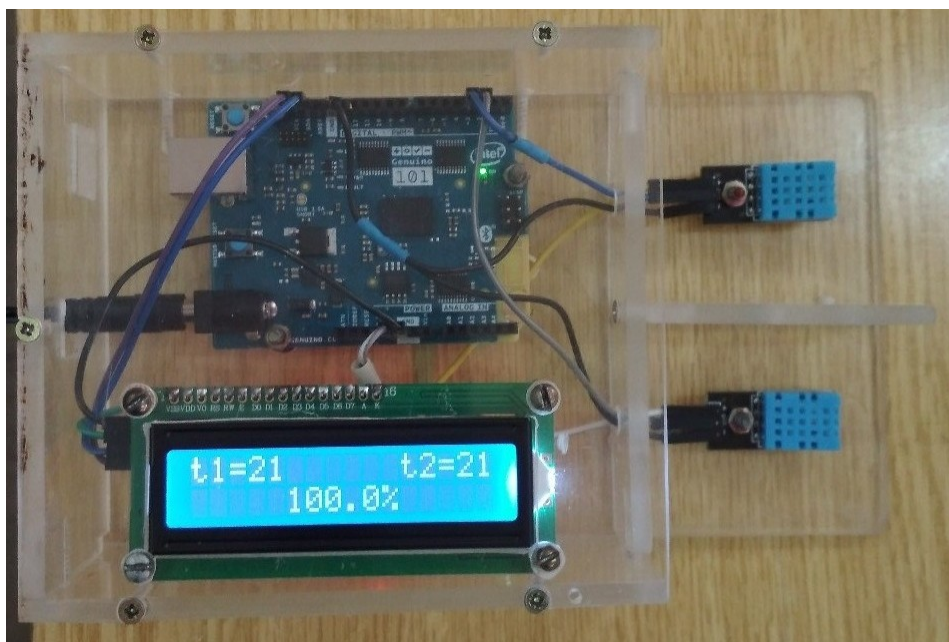


Рисунок 5.7 - Автоматизований психрометричний прилад на базі мікропроцесору Arduino 101

6. Програмний код

Для роботи установки необхідно написати програмний код, який створюється. 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 друкованої плати 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.

Написання програмного коду:

Об'явимо піни до яких будуть підключатися дисплей і датчики «DHT 11»

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

```
#include <dht11.h>
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f, 16, 2); // Для екрану 16x2 (двухстроковий)
```

```
dht11 DHT;
```

```
#define DHT11a_PIN 2
```

```
#define DHT11b_PIN 3
```

Ініціалізуємо порти датчиків DHT 11 для Arduino

```
void setup()
```

```
{
```

```
Serial.begin(115200);
```

```
Serial.println("DHT TEST PROGRAM ");
```

```
Serial.print("LIBRARY VERSION: ");
```

```

Serial.println();
Serial.print("Type,\tstatus,\tHumidity (%),\tTemperature (C)");
Serial.println(" datchika");
}

```

Вихід даних першого датчика

```

voidloop()
{
// READDATA
Serial.print("DHT11, \t");
intchk = DHT.read(DHT11a_PIN);
intt1=DHT.temperature;
switch (chk)
{
caseDHTLIB_OK:
Serial.print("OK,\t");
break;
caseDHTLIB_ERROR_CHECKSUM:
Serial.print("Checksumerror,\t");
break;
caseDHTLIB_ERROR_TIMEOUT:
Serial.print("Timeouterror,\t");
break;
default:
Serial.print("Unknownerror,\t");
break;
}
// DISPLAYDATA

```

```

Serial.print(DHT.humidity);
Serial.print(",\t\t");
Serial.print(t1);
Serial.println(" temp1 ");

```

Вихід даних другого датчика

```

// READDATA
Serial.print("DHT11, \t");
intchk2 = DHT.read(DHT11b_PIN);
intt2=DHT.temperature;
switch (chk2)
{
caseDHTLIB_OK:
Serial.print("OK,\t");
break;
caseDHTLIB_ERROR_CHECKSUM:
Serial.print("Checksumerror,\t");
break;
caseDHTLIB_ERROR_TIMEOUT:
Serial.print("Timeouterror,\t");
break;
default:
Serial.print("Unknownerror,\t");
break;
}
//

```

Вводимо формули і данні сталих величин для розрахунку за формулами абсолютної та відносної вологості.

```

Serial.print(DHT.humidity );
Serial.print(",\t\t");
Serial.print(t2);
Serial.println(" temp2 ");
intr=t1-t2;
Serial.print("Raznica=");
Serial.print(r);
Serial.print("\n");
floatF;
floatw=0.0013;
intB=765;
floatP,F1,A;
F=765/t1;
F1=765/t2;
A=F-((w*r)*B);
P=(A*100)/F1;
Serial.print("\n\n");
Serial.print(F);
Serial.print("\n\n");
Serial.print(A);
Serial.print("\n\n");
Serial.print(P);
Serial.print("\n\n");
delay(2000);// затримка 2с

```

Виводимо дані температури по двом датчикам DHT11 та відносної вологості на дисплей


```

lcd.begin();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("t1=");
lcd.setCursor(3,0);
lcd.print(t1);
lcd.setCursor(11,0);
lcd.print("t2=");
lcd.setCursor(14,0);
lcd.print(t2);
lcd.setCursor(5,1);
lcd.print(P);
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print("%");
}

```

7 Порядок виконання роботи:

7.1. Підготувати робоче місце до виконання лабораторної роботи:

- 7.1.1 перевірити комплектність і стан обладнання (станційний психрометр, психрометр Ассмана і електронний психрометр);
- 7.1.2 переконатися, що один з термометрів психрометрических вимірювачів вологості змоченим дистильованою водою;
- 7.1.3 зняти показання термометрів станційного психрометра і по таблиці визначити величину відносної вологості $H_{ст}$ [%];
- 7.1.4 зняти показання термометрів психрометра Ассмана і по таблиці визначити величину відносної вологості $H_{ас}$ [%];
- 7.1.5 зняти десять свідчень відносної вологості $H_{ел}$ [%] електронного психрометра і у відповідності з методикою п. п. знайти оцінку математичного сподівання цієї величини $M\{H_{ел}\}$;

7.1.6 прийнявши значення відносної вологості, певне станційним психрометром за еталонне, знайти величину похибки електронного психрометра за формулою:

$$\Delta H_{\text{ел1}} = \frac{H_{\text{ст}} - M * \{H_{\text{ел}}\}}{H_{\text{ст}}} \cdot 100\%;$$

7.1.7 прийнявши значення відносної вологості, визначене з психрометром Асмана за еталонне, знайти величину похибки електронного психрометра за формулою:

$$\Delta H_{\text{ел2}} = \frac{H_{\text{ас}} - M * \{H_{\text{ел}}\}}{H_{\text{ас}}} \cdot 100\%;$$

7.1.8 порівняти отримані результати $\Delta H_{\text{ел1}}$ и $\Delta H_{\text{ел2}}$ і зробити висновок про відносну похибки електронного психрометра.

пункт 3Л

В процесі виконання роботи результати вимірювань заносяться в табл.7.1

Таблиця 7.1 Результати вимірювань

Номер вимірювання	1	2	...	i	...	n-1	n
Результат I –го виміру	X_1	X_2	...	X_i	...	X_{n-1}	X_n

За даними табл. 7.1, використовуючи вираз для оцінки математичного очікування – МОЖ (*- значок оцінки):

$$M * \{x\} = \Sigma X_i / n, \text{ підсумовування за } i \text{ від } 1 \text{ до } n.$$

Далі для знаходження оцінки дисперсії результату заповнюється табл. 7.2

Таблиця 7.2 Знаходження квадратів різниць

Номер вимірювання	1	2	...	i	...	n
Різниця оцінки МОЖ і виміряного значення	$M^*\{x\} - X_1$	$M^*\{x\} - X_2$...	$M^*\{x\} - X_i$...	$M^*\{x\} - X_n$
Квадрат різниці оціни МОЖ і виміряного значення	$(M^*\{x\} - X_1)^2$	$(M^*\{x\} - X_2)^2$		$(M^*\{x\} - X_i)^2$		$(M^*\{x\} - X_n)^2$

За даними табл.7.2, використовуючи вираз для оцінки дисперсії - $D^*\{x\}$ (*- значок оцінки):

$$D^*\{x\} = \Sigma (M^*\{x\} - X_i)^2 / n - 1, \text{ підсумовування за } i \text{ від } 1 \text{ до } n-1.$$

На практиці зручніше користуватися середнім відхиленням квадратичним - σ , так як воно має розмірність вимірюваної величини.

$$\sigma_x = \sqrt{D^*\{x\}}.$$

Вважаючи закон розподілу похибок вимірювання нормальним можна оцінити достовірність отриманого результату. Ймовірність попадання істинного значення вимірюваної величини становить 0,95 при ширині довірчого інтервалу $M^*\{x\} \pm 2\sigma$ і 0,997 при ширині довірчого інтервалу $M^*\{x\} \pm 3\sigma$.

Додаток В

Графічна частина магістерської роботи

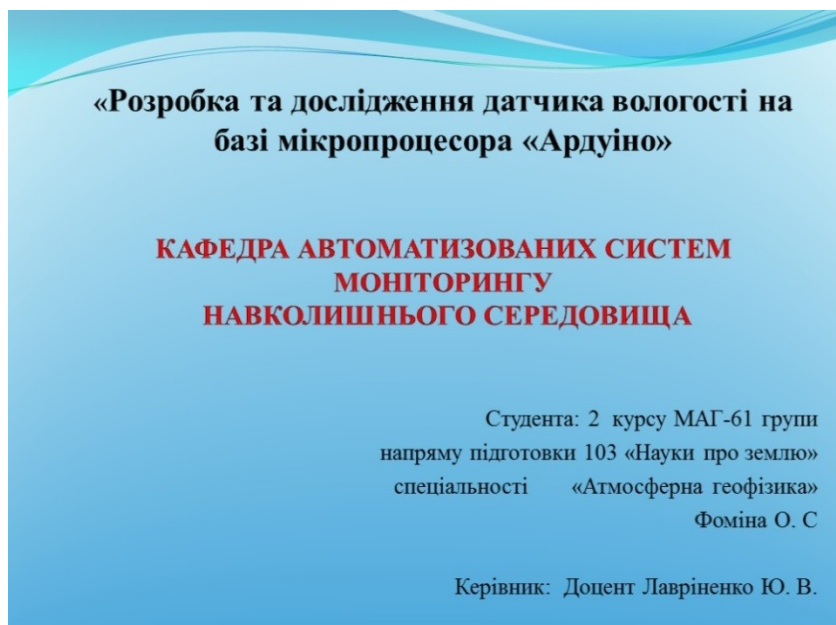


Рисунок В.1 – Титульний лист

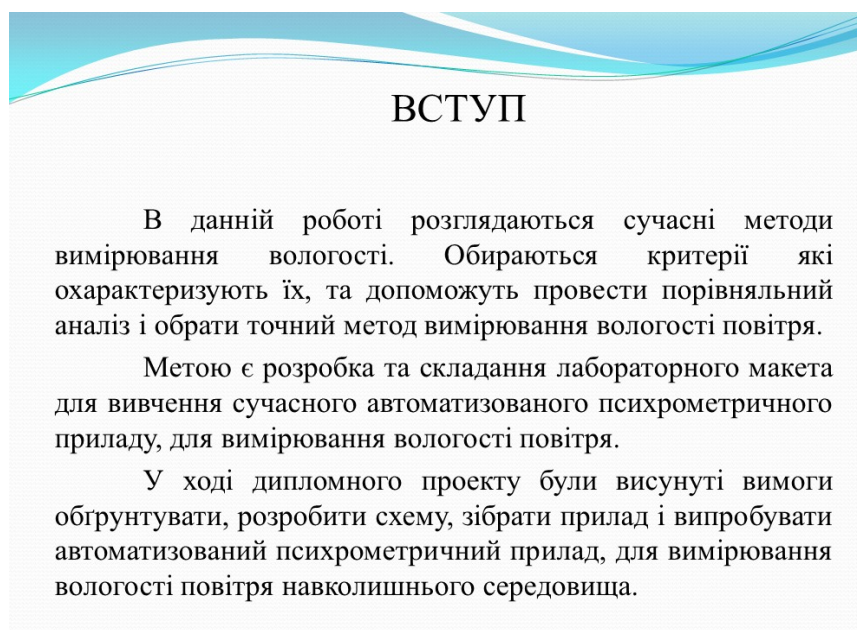


Рисунок В.2 – Вступ

1 ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ ВОЛОГОСТІ

Абсолютна вологість повітря (f) — це кількість водяної пари, фактично міститься в 1 м^3 повітря. Визначається як відношення маси, яка міститься у повітрі водяної пари до об'єму вологого повітря .

$$f = \frac{m_{\text{вода}}}{V_{\text{газ}}}$$

Рисунок В.3 – Одиниці вимірювання та особливості визначення
поняття вологості, абсолютна вологість

Відносна вологість повітря (φ) — це відношення його поточної абсолютної вологості до максимальної абсолютної вологості при даній температурі .

$$\varphi = 100 \frac{e}{E} [\%],$$

Рисунок В.4 – Відносна вологість

Точка роси, - це температура, при якій водяна пара в повітрі починає конденсуватися, є характеристикою вологості повітря

$$T_p = \frac{b \cdot \gamma(T, RH)}{a - \gamma(T, RH)}$$

Рисунок В.5 – Точка роси

2 СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ



Рисунок В.6 – Сучасні методи вимірювання вологості повітря,
психрометр Августа



Рисунок В.7 – Аспіраційний психрометр Ассмана



Рисунок В.8 – Метод точки роси



Рисунок В.9 – Гігроскопічний метод

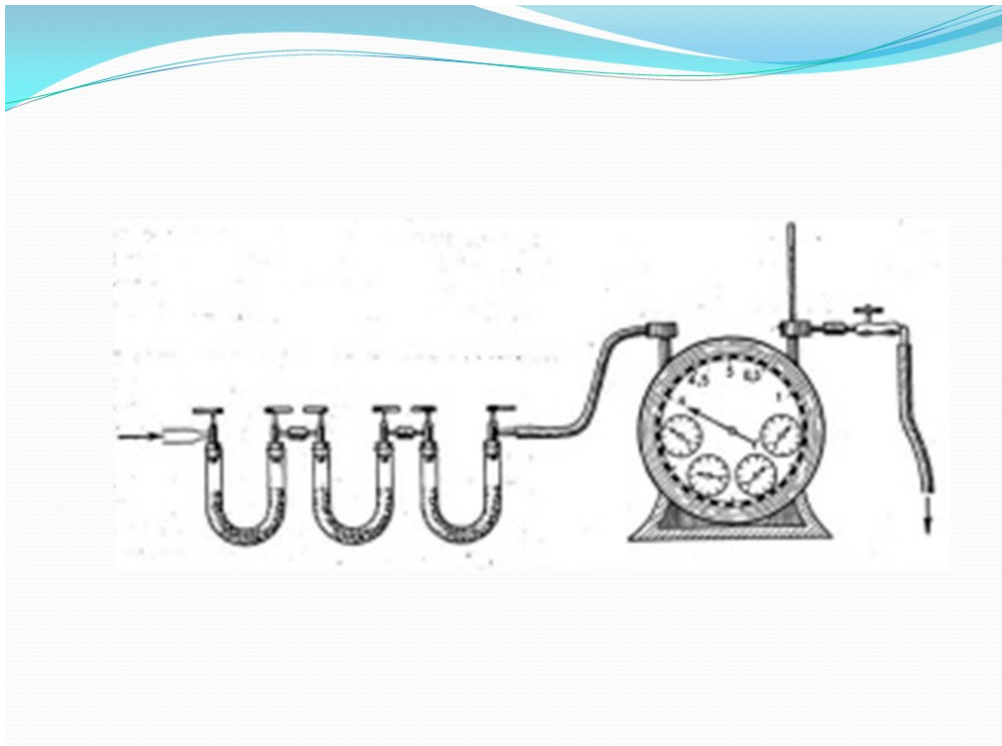


Рисунок В.10 – Масовий метод

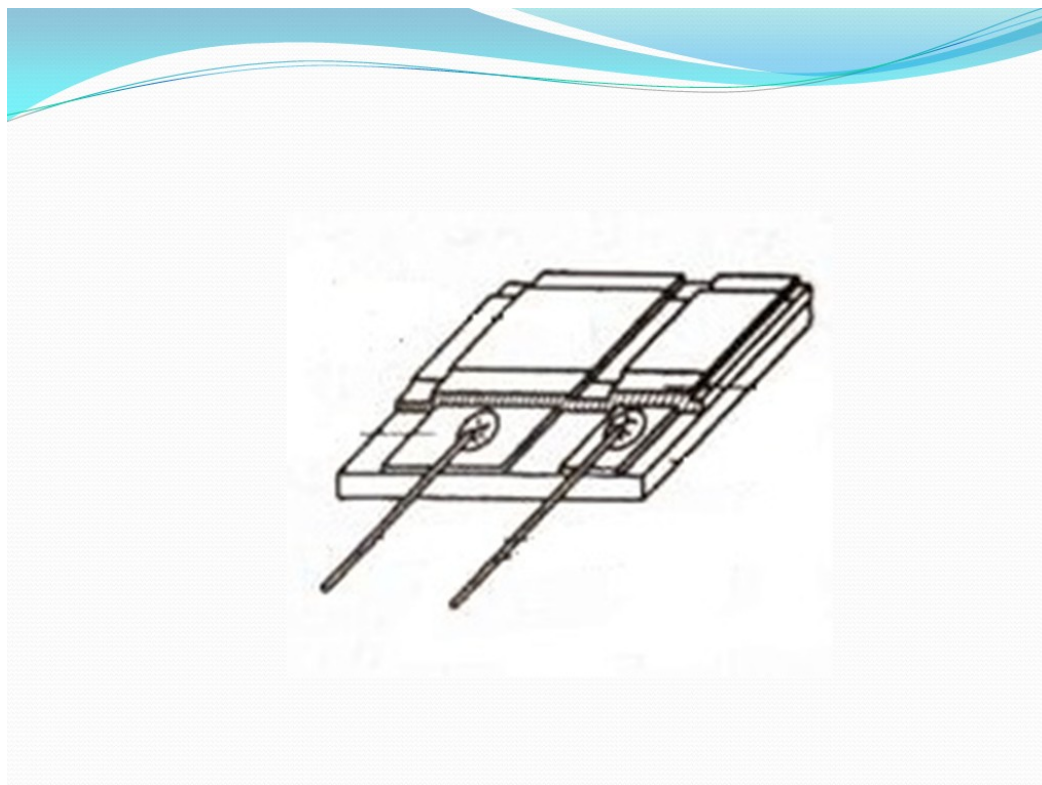


Рисунок В.11 – Енергетичний метод



Рисунок В.3 – Ємнісний метод

3 ВИДИ КРИТЕРІЇВ

- точність приладу;
- швидкість вимірювань приладу;
- собівартість приладу ;
- діапазон вимірювань приладу;
- здатність приладу до автоматизації;
- тривалість служби приладу;
- габарити приладу .

Рисунок В.13 – Види критеріїв

РОЗРОБКА СХЕМИ ЦИФРОВОГО ПСИХРОМЕТРА

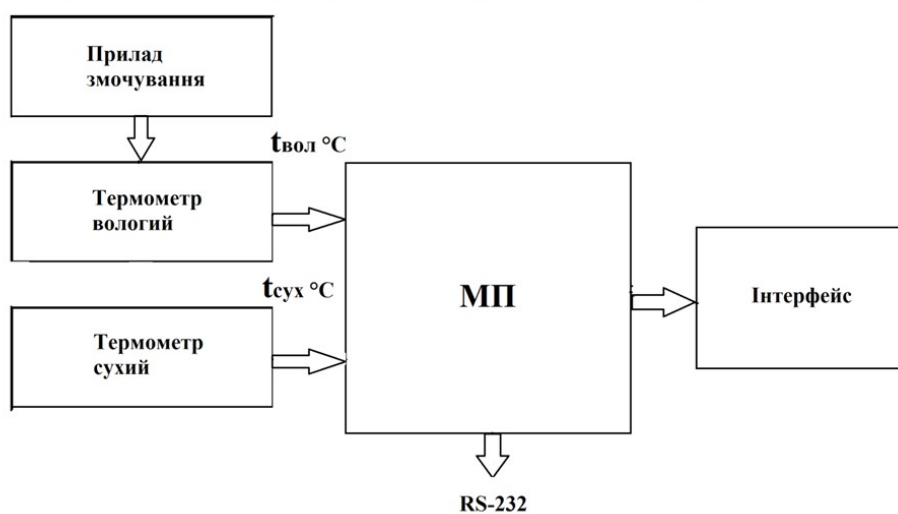


Рисунок В.14 – Структурна схема цифрового психрометра

Датчик DHT11

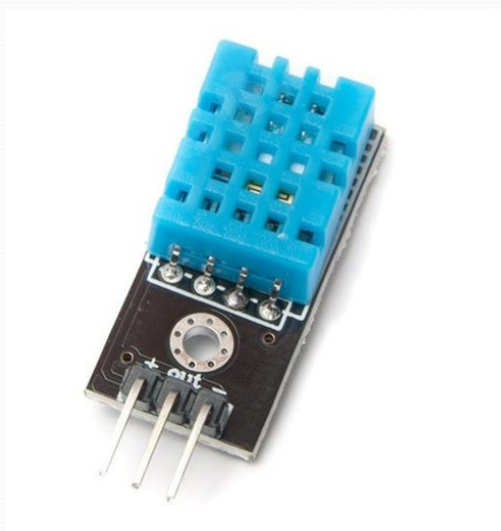


Рисунок В.15 – Датчик DHT-11

Мікропроцесор «Arduino 101»

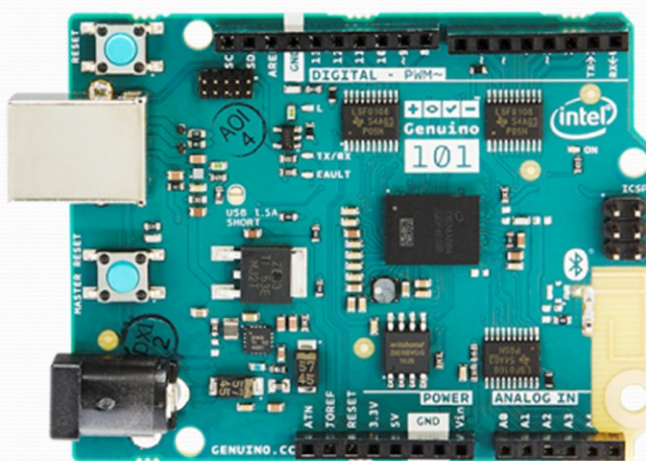


Рисунок В.16 – Мікропроцесор «Arduino 101»

Дисплей - HD44780



Рисунок В.17 – Дисплей HD44780

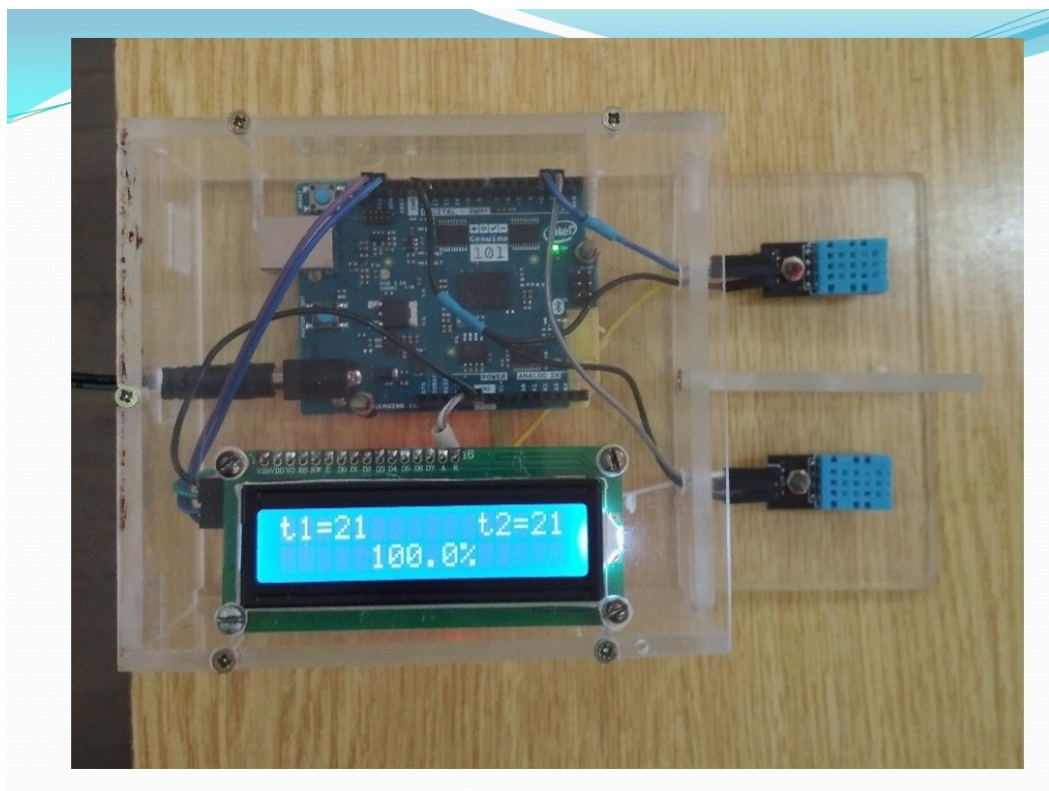


Рисунок В.18 – Автоматизований психрометр в реперній точці

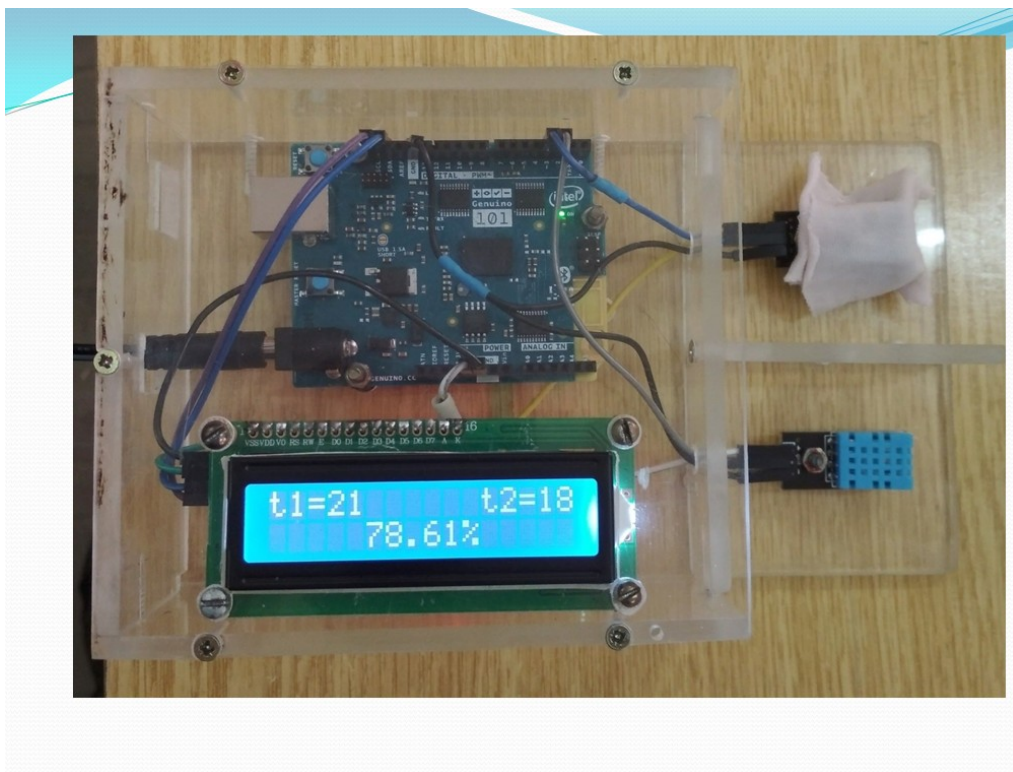


Рисунок В.19 – Автоматизований психрометр в дії

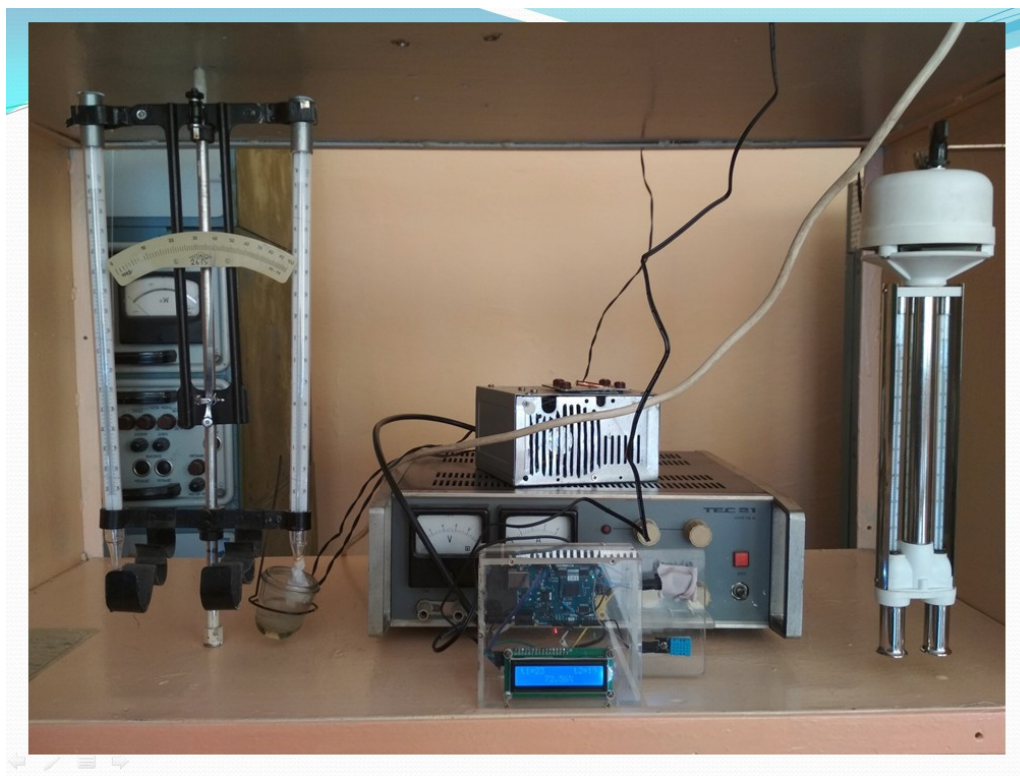


Рисунок В.20 – Психрометри

Висновки

З розглянутих методів і критеріїв був проведений порівняльний аналіз в результаті якого обраний психометричний метод вимірювання вологості повітря.

В процесі роботи згідно з завданням був розроблений та складений лабораторний макет, для вивчення сучасного автоматизованого психрометричного приладу, для вимірювання вологості повітря. Для використання лабораторного макета були написанні методичні вказівки.

Рисунок В.21 – Висновки