МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інституті ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему *Розробка приладу для вимірювання параметрів мікроклімату на базі Arduino Nano*

Виконав: студент (ка) *4* курсу, групи *6.1532-с*
спеціальності *153 (176) Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва спеціальності)
освітньої програми *Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
Тимофєєв К.С.
(ініціали та прізвище)

Керівник *доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.т.н. Небеснюк О.Ю.*
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *інженер-конструктор Конструкторського бюро Колосова Григор'єва І.К.*
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра _електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення_

Рівень вищої освіти___перший (бакалаврський)_____
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність _153 (176) Мікро- та наносистемна техніка_____
(назва)

Освітня програма_____Мікро- та наносистемна техніка_____
(шифр)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри__Т.В. Критська__

_____

“_03_” ___червня_____2025_року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____*Тимофєєву Костянтину Сергійовичу*_____
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи)__*Розробка приладу для вимірювання параметрів мікроклімату на базі Arduino Nano*_____
керівник проекту (роботи)__*Небеснюк О.Ю. к.т.н. доцент*_____,
(прізвище, ім.’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від “*27*”*12.2024 р.№ 2029-с*
2. Строк подання студентом проекту (роботи) _*03.06.2025р.*_____
3. Вихідні дані до проекту (роботи) *цифровий гігрометр; живлення від кабелю або у автономному режимі від акумулятора; моніторинг вологості повітря; виведення даних на дисплей.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *1 Вологість повітря та її вимірювання. 2 Аналіз приладів для вимірювання вологості повітря. Розробка гігрометра. 3 Охорона праці та техногенна безпека.*
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)___*Л1 Результати моделювання датчиків AHT10 та SENO193 Л2 Схема електрична принципова Л3 Результати моделювання приладу для вимірювання параметрів мікроклімату.*

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Небеснюк О.Ю.*	*24.02.2025*
II	*Небеснюк О.Ю.*	*09.05.2025*
III	*Небеснюк О.Ю.*	*30.05.2025*

7. Дата видачі завдання *21.10.2024р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Аналіз матеріалу за темою кваліфікаційної роботи*	*01.11.24 – 27.01.25*	
2	*Аналіз та класифікації датчиків вологи*	*28.01. – 28.02.*	
3	*Порівняння датчиків вологи*	*03.03. – 28.03.*	
4	*Розробка функціональної схеми приладу*	*31.03. – 11.04.*	
5	*Розробка електричної принципової схеми*	*14.04. – 30.04.*	
6	*Написання програмного коду для приладу*	*02.05. – 09.05.*	
7	*Розділ охорони праці та техногенної безпеки*	*13.05. – 20.05.*	
8	*Оформлення пояснювальної записки*	*21.05. – 31.05.*	

Студент _____ *Тимофєєв К.С.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ *Небеснюк О.Ю.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено _____ *Верьовкін Л.Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить 90 сторінок, 52 рисунки, 19 джерел літератури, 3 додатки.

Об’єкт дослідження – прилади для вимірювання кількості водяної пари в повітряному середовищі.

Мета роботи – розробка бюджетного гігрометра з широким температурним діапазоном.

Задачі: проаналізувати типи датчиків; розробити функціональну схему приладу та розрахувати її елементи; розробити електричну принципову схему приладу; написати програму до готово приладу.

Методика досліджень – макетна плата; схемотехнічне моделювання в програмному середовищі KiCad 9.0; написання програми у Arduino IDE.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблена схема цифрового гігрометра для вимірювання кількості вологи у повітрі, яка дозволяє слідкувати за мікрокліматом у приміщенні.

Прогнозні пропозиції – запропонований прилад можна використовувати, як датчик контролю вологості у теплицях або у інших приміщеннях, будинках.

ГІГРОМЕТР, ARDUINO, ДАТЧИК, МІКРОКЛІМАТ, ВОЛОГІСТЬ, СХЕМА, ПРОГРАМУВАННЯ.

Кваліфікаційна робота виконана на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забеспечення в період з 11.09.2024 по 30.05.2025.

Зміст

Стор.

Вступ……6
1. Вологість повітря та її вимірювання……..7
1.1 Вологість повітря……...7
1.2 Вимірювання вологи……..12
1.3 Волосяний гігрометр……..13
1.4 Психрометричний гігрометр……16
1.5 Ємнісний датчик……19
1.6 Резистивний датчик……22
1.7 Оптичний конденсаційний гігрометр……...25
2. Аналіз приладів для вимірювання вологості повітря. Розробка гігрометра……..……...29
2.1 Побудова психрометричного датчика вологи на базі Arduino Nano та датчика DS18B20……29
2.2 Датчик температури та вологості AHT10……...41
2.3 Ємнісний датчик вологості SEN0193……..44
2.4 Датчик вологості на базі датчика DHT11……...49
2.5 Резистивний датчик вологості MH-RD……...52
2.6 Об’єднання всіх датчиків для тестування їх можливостей……...55
2.7 Створення готового пристрою для вимірювання вологи при підвищених температурах……...63
3. Охорона праці та техногенна безпека…..……..……...68
3.1 Заходи по забезпеченню техніки безпеки……...68
3.2 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці……....70
3.3 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях……..74
Висновки та рекомендації……...80
Перелік посилань……..81
Додатки……..…83

ВСТУП

Вологість повітря та температура – це важливі показники стану навколишнього середовища. Термометри для виміру температури є у кожного вдома, а гігрометри для вимірювання вологи натомість не стали такими популярними у повсякденному житті людей.

Знання вологості може знадобитись в багатьох ситуаціях. Так, наприклад, занадто вологе повітря в жилому будинку може призвести до появи грибка, який буде руйнувати будинок та побутові речі. Але псуванням майна проблеми не обмежуються, адже підвищена вологість викликає простудні захворювання у жильців таких помешкань.

Дуже пересушене повітря також додає проблем здоров'ю людини так-як зневоднена слизова оболонка носоглотки позбавлена своїх захисних властивостей.

Влітку вологість в квартирі легко регулювати просто відривши вікно, та взимку такий метод не зовсім може підходити. В подібних ситуаціях і потрібні гігрометри. Адже в випадку якщо в квартирі живуть діти, хворі на бронхіт/астму чи просто літні люди, проблема контролю рівня вологи стає не на останнє місце.

Рівень вологи потрібно знати і в багатьох інших випадках. Наприклад, високий рівень вологи в погребах пришвидшить псування овочів, а сухе повітря також може їх зіпсувати, в результаті чого продукти не будуть придатними до вживання. Якщо приміщення для зберігання овочів має промисловий характер, то вимір вологи особливо важливий.

Більшість побутових гігрометрів, що знаходяться зараз на ринку, не здатні правильно вимірювати вологу при високих температурах через

особливості своєї будови. Проте необхідність в приладах, які би могли вимірювати вологу в умовах підвищених температур дійсно присутня.

Так в коптильній камері для м’яса, не знаючи відсоток вологи, неможливо контролювати весь виробничий процес як того вимагають технічні умови. В результаті можна втратити зайву вагу продукту через не достатню вологу. В свою чергу надмірна волога може сповільнити процес приготування.

Схожа ситуація і з пароконвектоматом. В пароконвектоматі страва готується як і в духовці, але при застосуванні парів води та примусової конвекції. Більшість виробників пароконвектоматів змушена просто вираховувати кількість поданого пару в внутрішню камеру для різноманітних режимів готування страв, що не забезпечує точного вираховування вологи.

Вимірювання вологи при підвищених температурах також необхідна в лазнях, адже, не знаючи вологи, можна нанести шкоду організму людини навіть при невеликих температурах. Так, наприклад, при вологості до 30% та температурі 100-110 ℃ людина може цілком комфортно себе почувати, а з вологістю 80-85% вже при 60 ℃ багатьом буде здатися зайвим така температура.

Варто зазначити, що вже існують промислові пристрої для виміру вологи при високих температурах, які, наприклад, використовують зворотну залежність вмісту кисню від вмісту вологи або пристрої, в основі, яких лежить принцип пошуку ТР для визначення рівня вологи. Проте такі пристрої мають високу ціну, через що вони не дуже популярні серед споживачів. Тому метою роботи є розробка бюджетного гігрометра з широким температурним діапазоном.

1 ВОЛОГІСТЬ ПОВІТРЯ ТА ЇЇ ВИМІРЮВАННЯ

1.1 Вологість повітря

Вологість повітря є одним із найважливіших параметрів, що визначає стан навколишнього середовища і відіграє критично важливу роль у формуванні мікрокліматичних умов. Її значення має безпосередній вплив на самопочуття людини, перебіг фізико-хімічних процесів, збереження матеріалів, функціонування обладнання, а також на екологічну рівновагу в довкіллі. Під терміном "вологість" розуміють наявність водяної пари в повітрі, що є наслідком постійного кругообігу води в природі. Вода з поверхні океанів, морів, річок, озер, ґрунтів та живих організмів випаровується, піднімається в атмосферу, де у вигляді водяної пари накопичується і транспортується потоками повітря, а згодом конденсується у хмари і випадає у вигляді опадів. Таким чином, атмосферна волога є постійним динамічним компонентом повітряної оболонки Землі.

Вологість повітря характеризується кількома основними фізичними величинами, серед яких найбільш вживаними є абсолютна, відносна і специфічна вологість, а також температура точки роси. Абсолютна вологість описує фактичну кількість водяної пари в одиниці об’єму повітря і зазвичай вимірюється в грамах на кубічний метр. Відносна вологість, натомість, є величиною, що демонструє, наскільки повітря насичене водяною парою при певній температурі. Вона розраховується як відношення поточного тиску водяної пари до тиску насиченої пари за тієї ж температури і виражається у відсотках. Температура точки роси – це така температура, при якій повітря,

охолоджуючись, досягає стану насичення водяною парою, після чого відбувається процес конденсації.



Рисунок 1.1 – Схематичне зображення переходу води між агрегатними станами в атмосфері

Кількісний та якісний вміст водяної пари в атмосфері має безпосередній вплив на низку фізичних процесів. Підвищення температури сприяє зростанню об’єму вологи, яку може утримувати повітря, тоді як зниження температури призводить до його насичення і, відповідно, випадання вологи у вигляді конденсату. Зокрема, це явище є характерним для нічного охолодження поверхонь, коли температура поверхні опускається нижче точки роси, що спричиняє утворення роси або навіть інію. У приміщеннях із поганою вентиляцією або з надмірним тепловиділенням процеси конденсації можуть призводити до утворення цвілі, корозії металів та псування оздоблювальних матеріалів.

Важливою складовою впливу вологості є її роль у формуванні мікроклімату.

Мікроклімат — це локальний клімат, характерний для обмеженої території, наприклад, в межах приміщення або невеликої географічної зони. Вологість є одним з головних компонентів мікроклімату, оскільки вона впливає на теплообмін між тілом людини і навколишнім середовищем. В умовах високої вологості організм людини має більше труднощів у випаровуванні поту, що значно знижує ефективність природного охолодження і може призвести до перегрівання. Водночас при низькій вологості шкіра стає сухою, з'являються подразнення, а слизові оболонки втрачають свою природну вологість, що може призвести до погіршення дихальної функції.

В умовах підвищеної сухості повітря також підвищується електростатичний заряд предметів, що сприяє накопиченню пилу та виникненню електростатичних розрядів. З іншого боку, надмірно висока вологість погіршує теплообмін організму з навколишнім середовищем, що знижує ефективність природного охолодження тіла шляхом випаровування поту. Як наслідок, підвищується ризик перегрівання організму, знижується працездатність, збільшується навантаження на серцево-судинну систему. [1]

У побуті, промисловості та будівництві нормування показників вологості є важливим елементом створення безпечного та ефективного середовища. У житлових приміщеннях оптимальною вважається відносна вологість у межах 40–60%, хоча в зимовий період вона може знижуватись до 30–45% без значного дискомфорту. Для дитячих кімнат, медичних закладів та архівів встановлюються окремі, більш жорсткі норми, з огляду на підвищену чутливість до коливань вологості або вимоги до збереження матеріалів.



Рисунок 1.2 – Графік норми вологості для житлових приміщень в залежності від температури

У промисловості контроль вологості особливо важливий у таких галузях, як фармацевтика, мікроелектроніка, харчова промисловість та деревообробка. Тут зміни вологості можуть призвести до зміни властивостей матеріалів, порушення технологічних режимів, псування продукції або виходу з ладу чутливого обладнання. У деяких технологічних процесах відносна вологість має бути не вищою за 10%, що досягається за допомогою спеціальних осушувачів повітря і систем кондиціювання з вологорегулюванням. У системах вентиляції, особливо у високотехнологічних будівлях або лабораторіях, встановлюються пристрої для автоматичного регулювання вологості, які підтримують її у визначеному діапазоні незалежно від зовнішніх умов.

Методи вимірювання вологості повітря є різноманітними за принципом дії, точністю та сферою застосування. Історично першим є психрометричний метод, який базується на використанні сухого та змоченого термометрів. З різниці показників обчислюється поточна вологість повітря. У побутових умовах найчастіше використовуються електронні гігрометри, що дають змогу швидко і зручно отримати результат. Промислові системи зазвичай базуються на ємнісних або резистивних сенсорах, здатних працювати в

широкому діапазоні температур і вологості. Існують також більш точні, але дорогі методи, зокрема конденсаційні, де точка роси визначається за температурою утворення конденсату на дзеркальній поверхні.

1.2 Вимірювання вологи

Гігрометр (вологомір) – це прилад для вимірювання вмісту вологості в повітрі.

Раніше найпоширенішими пристроями для вимірювання вологи були волосяні гігрометри та психрометри (рис. 1.3). З розвитком технологій все більше популярності отримують електронні гігрометри з принципом роботи заснованим на вимірюванні ємності або опору, на які впливає зміна вологи. Спеціалісти, в свою чергу, використовують оптичні конденсаційні датчики вологи, ціна та складність конструкції яких набагато віща від попередніх. Трохи детальніше розглянемо кожен з методів. [2]



Рисунок 1.3 – Популярні типи гігрометрів

1.3 Волосяний гігрометр

Одним із найстаріших і водночас найпростіших типів приладів для вимірювання відносної вологості повітря є волосяний гігрометр. Принцип дії цього приладу заснований на гігроскопічних властивостях людського або тваринного волосся, а саме — на здатності волосся змінювати свою довжину в залежності від вологості повітря. Цей ефект обумовлений тим, що волосся, як білковий матеріал, поглинає водяну пару з повітря, внаслідок чого його структура розширюється. При зменшенні вологості, навпаки, волосся втрачає вологу і скорочується.

Для забезпечення стабільності та надійності результатів у волосяних гігрометрах зазвичай використовують знежирене людське волосся, оброблене спеціальними хімічними засобами. Волосся натягується між фіксованим і рухомим елементом, з’єднаним із покажчиком або стрілкою, яка обертається по шкалі. При зміні вологості довжина волосся змінюється, і це призводить до руху стрілки, яка вказує на значення відносної вологості у відсотках. У деяких випадках замість волосся можуть використовуватись синтетичні гігроскопічні волокна, проте класичні прилади здебільшого базуються саме на людському волоссі.

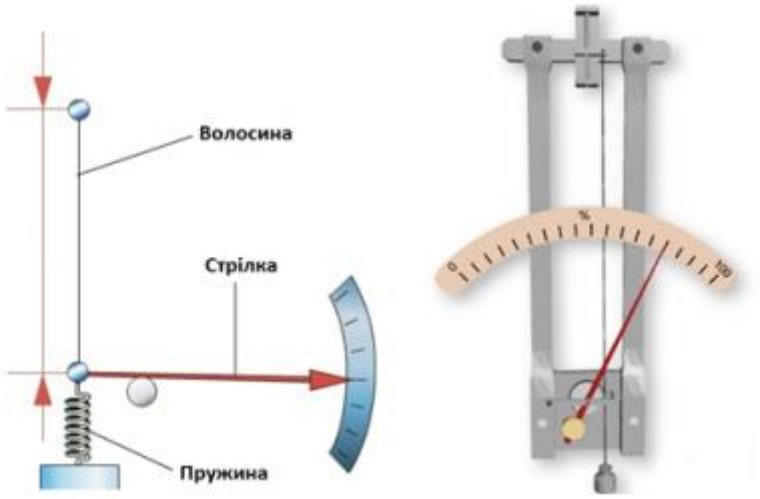


Рисунок 1.4 – Схема роботи волосяного гігрометра

Конструкція волосяного гігрометра надзвичайно проста, що робить його зручним для навчальних цілей та ілюстрації принципу вимірювання вологості. Такий прилад не вимагає джерела живлення, його легко обслуговувати, а шкала з показником добре читається. Водночас слід зазначити, що точність вимірювання у волосяному гігрометрі обмежена — вона зазвичай коливається в межах ±5 %, що є прийнятним для деяких побутових та навчальних застосувань, але не відповідає вимогам сучасної науки чи промисловості, де потрібна вища точність.

Окрім обмеженої точності, ще одним недоліком є необхідність регулярного калібрування приладу, оскільки з часом гігроскопічні властивості волосся можуть змінюватись, особливо при дії пилу, забруднень або температурних коливань. Волосся може втратити свою еластичність або перестати реагувати на зміну вологості. Також важливо дотримуватись умов зберігання самого приладу, оскільки надмірна дія ультрафіолетового випромінювання або висока температура можуть порушити точність показів.

Попри всі обмеження, волосяні гігрометри продовжують використовуватись як ілюстративні або допоміжні прилади, особливо в лабораторних роботах з фізики або метеорології, де важливо продемонструвати сам принцип залежності механічних властивостей матеріалу від вологості повітря. Історично ці прилади відіграли важливу роль у розвитку гігрометрії. Зокрема, в XIX столітті саме вони дозволили проводити систематичні метеорологічні спостереження за вологістю атмосфери в багатьох регіонах Європи.

В умовах сучасної техніки волосяний гігрометр поступово втрачає актуальність, поступаючись місцем цифровим приладам з електронними сенсорами, однак він продовжує зберігати свою цінність як навчальний інструмент і як приклад того, як фізичні властивості природних матеріалів можуть бути використані у приладобудуванні.

1.4 Психрометричний гігрометр

Одним із найточніших і водночас класичних методів визначення відносної вологості повітря є використання психрометричного гігрометра. Його дія базується на вимірюванні температури двома термометрами: сухим і змоченим. Цей прилад дозволяє обчислити вологість за допомогою фізичного явища — випаровування води. Саме це випаровування, залежне від вологості повітря, зумовлює різницю в показах термометрів. На основі цієї різниці можна визначити відносну вологість повітря за допомогою спеціальних психрометричних таблиць або формул.

Психрометричний гігрометр складається з двох однакових ртутних або спиртових термометрів. Один з них залишається сухим і фіксує температуру навколишнього повітря, інший — змочується чистою водою за допомогою марлевої або тканинної гільзи, один кінець якої занурено у резервуар з водою. Після деякого часу вода починає випаровуватись з поверхні мокрого термометра, що знижує його температуру. Швидкість цього випаровування прямо залежить від вологості навколишнього повітря: чим нижча вологість, тим інтенсивніше випаровування, і тим більше буде різниця між температурами обох термометрів. Якщо повітря насичене водяною парою (100 % відносної вологості), випаровування практично не відбувається, і температури термометрів збігаються.

Після вимірювання температур за обома термометрами розраховується різниця температур — так званий «психрометричний розрив». Далі, користуючись спеціальними таблицями, які враховують температуру сухого термометра та величину розриву, можна визначити відносну вологість з точністю до 1 %. У деяких випадках для обчислення використовують формули, які також враховують атмосферний тиск, однак для побутових або навчальних потреб таблиць цілком достатньо.

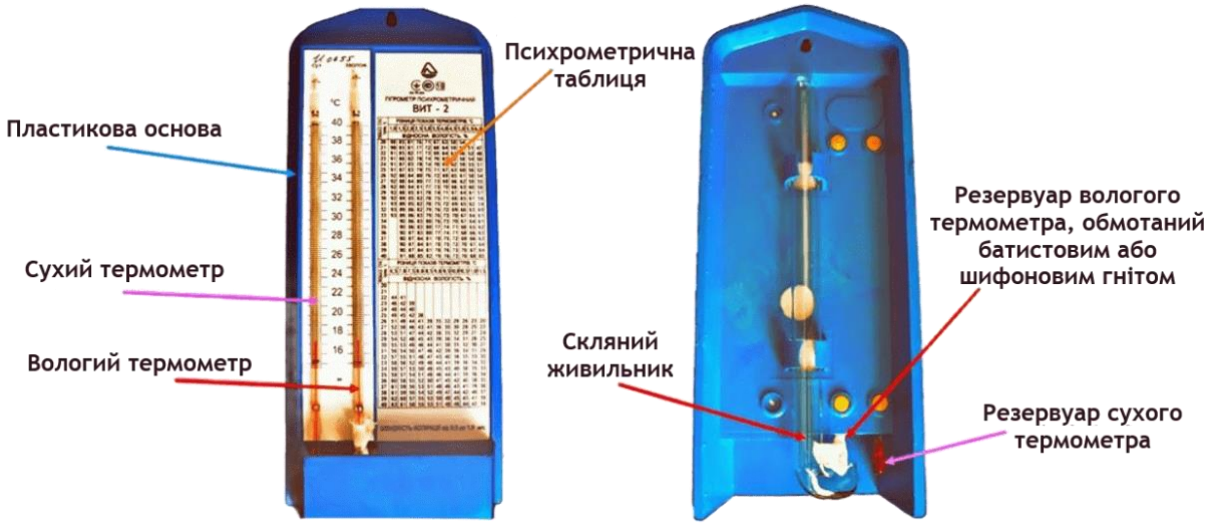


Рисунок 1.5 – Схема роботи психрометричного гігрометра

Психрометричний метод є універсальним і широко застосовується як у побуті, так і в професійних умовах. Існує кілька варіантів конструкцій психрометрів. Найпростіші — це стаціонарні настільні прилади, які вимагають ручного зчитування показів та обчислення. Більш складні конструкції — це аспіраційні психрометри, в яких через термометри примусово проганяється повітря вентилятором або насосом, що дозволяє уникнути похибок, пов’язаних із застійним повітрям і забезпечити більш точне вимірювання. У метеорологічній практиці аспіраційний психрометр залишається одним із найбільш точних приладів для визначення вологості.

Незаперечною перевагою психрометричного методу є його висока точність і незалежність від електроніки чи цифрових сенсорів. Це особливо важливо в умовах, де електронні прилади можуть давати збій через нестабільну напругу, пил, вологу або магнітні поля. Також психрометр не потребує складного обслуговування — лише чистої води, регулярної заміни змочуючого матеріалу та захисту від механічних пошкоджень термометрів. Крім того, психрометр можна використовувати в польових умовах, де відсутнє електроживлення.

Однак, незважаючи на свою точність, психрометричні гігрометри мають і певні обмеження. Передусім, це необхідність ручного зчитування та розрахунку, що потребує часу й уваги. Крім того, результати можуть бути спотворені, якщо не забезпечити належне випаровування — наприклад, у стоячому повітрі або при недостатньому змочуванні гільзи. Також на точність може вплинути температура навколишнього середовища: за надто низьких температур вода може замерзнути, що унеможливлює вимірювання.

Психрометри залишаються незамінними в тих випадках, коли потрібне незалежне, стабільне вимірювання вологості без застосування електроніки. Вони часто використовуються в лабораторіях, в метеостанціях, у вентиляційних системах та в освітніх закладах. Важливо зазначити, що в умовах сучасної автоматизації процесів психрометричний принцип також знайшов своє місце — у вигляді автоматизованих психрометрів, де покази термометрів зчитуються електронними сенсорами, а обчислення вологості здійснюється вбудованим мікропроцесором.

Таким чином, психрометричний гігрометр поєднує в собі простоту та точність, будучи одним із найстаріших, але досі ефективних інструментів для визначення відносної вологості повітря. Його принцип дії ґрунтується на фундаментальних фізичних процесах, що робить його надійним і науково обґрунтованим методом навіть у сучасних умовах.

1.5 Ємнісний датчик

У сучасних вимірювальних системах особливе місце займають ємнісні датчики вологості, які завдяки своїй точності, швидкодії та надійності стали одними з найпоширеніших засобів контролю відносної вологості повітря в побутових, промислових і наукових застосуваннях. Принцип роботи такого

типу сенсора ґрунтується на залежності електричної ємності від діелектричних властивостей матеріалу, які, у свою чергу, змінюються під впливом водяної пари в навколишньому середовищі.

Ємнісний датчик вологості, як правило, являє собою конденсатор, у якому одним з ключових компонентів є гігроскопічний діелектрик — матеріал, здатний поглинати вологу. Коли водяна пара з повітря проникає в діелектричний шар сенсора, змінюється його діелектрична проникність, що безпосередньо впливає на загальну ємність конденсатора. Вимірювання цієї ємності дозволяє електронному модулю точно визначити рівень вологості повітря.

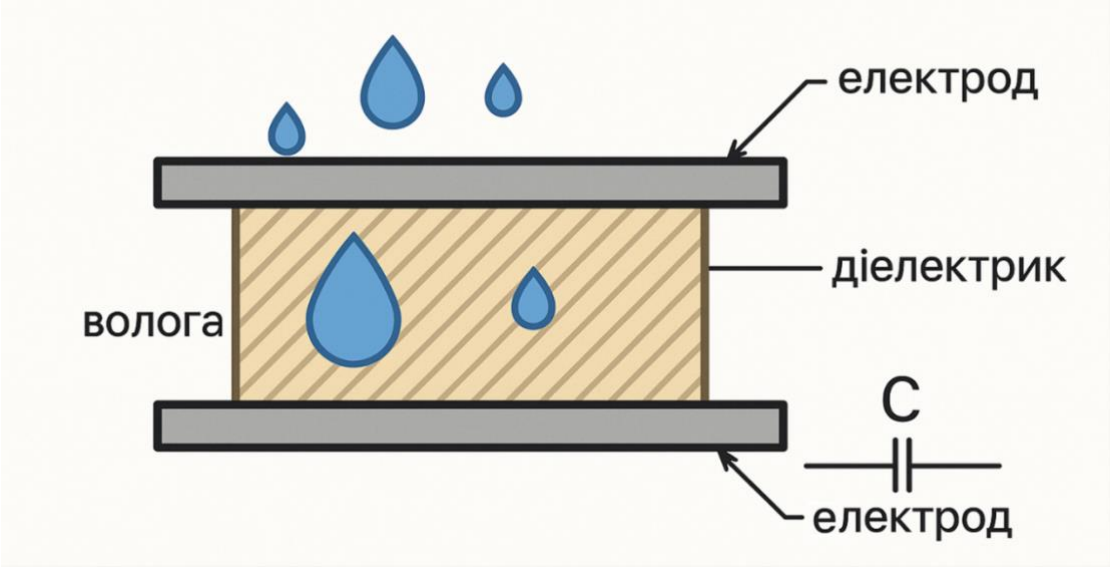


Рисунок 1.6 – Принципова будова ємнісного датчика вологості

Однією з головних переваг ємнісних сенсорів є їхня висока точність — зазвичай похибка становить не більше ±2…3 % відносної вологості. Крім того, ці датчики мають швидку реакцію на зміну параметрів навколишнього середовища, що робить їх придатними для реального часу, наприклад, у системах кліматичного контролю, метеостанціях, вентиляційних установках і сучасних системах "розумного дому".

Типова конструкція ємнісного датчика складається з двох електродів, між якими розміщується шар полімерного або оксидного матеріалу, що реагує на зміну вологості. Електроди виготовляються з інертного металу,

такого як золото або платина, що забезпечує їхню довговічність і стабільність роботи в агресивному середовищі. Матеріал діелектрика обирається так, щоб він не тільки активно поглинав вологу, але й швидко відновлювався при її зменшенні, не втрачаючи початкових властивостей навіть після тривалого використання.

Ємнісні датчики вологості часто поєднуються з мікроконтролерами або іншими обчислювальними блоками, які не лише зчитують покази, а й здійснюють температурну компенсацію, калібрування та передачу сигналу у вигляді цифрового або аналогового виходу. Це дозволяє інтегрувати їх у будь-які автоматизовані системи моніторингу без необхідності ручного втручання.

Результати вимірювання вологості ємнісним сенсором можуть залежати від температури, тому більшість сучасних приладів обладнані вбудованими температурними сенсорами для компенсації похибок. Завдяки цьому досягається стабільна і надійна робота навіть в умовах різких температурних змін.

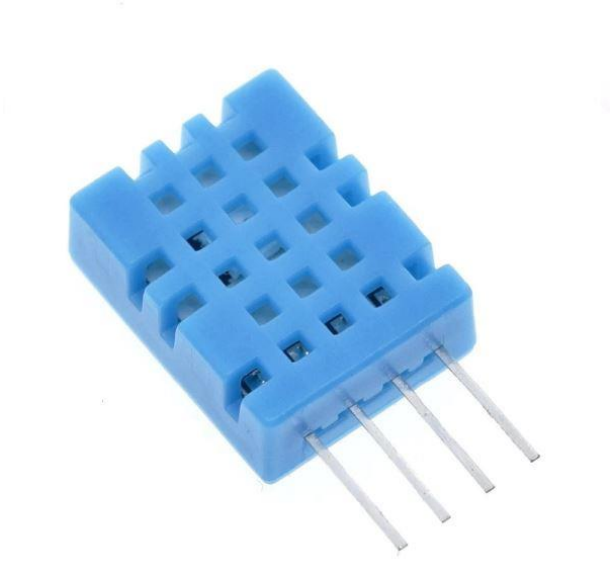


Рисунок 1.7 – Приклад корпусного виконання цифрового ємнісного сенсора вологості

До недоліків ємнісних сенсорів можна віднести чутливість до конденсації вологи на поверхні приладу, що може тимчасово порушити точність вимірювання. Крім того, за наявності пилу або хімічно активних домішок у повітрі сенсор може поступово забруднюватись, що вимагає періодичного технічного обслуговування або заміни. Втім, багато сучасних моделей мають захисне покриття або вбудовану систему очищення, що значно подовжує їхній термін служби.

У порівнянні з іншими методами, ємнісний принцип вимірювання вологості забезпечує ідеальний баланс між точністю, швидкодією та енергоефективністю. Саме тому такі сенсори активно використовуються у виробництві кліматичної техніки, в сільському господарстві, наприклад, для контролю умов теплиць, у фармацевтичній промисловості, де важливо дотримуватись суворих норм зберігання, а також у системах автоматичного управління якістю повітря.

Таким чином, ємнісні датчики вологості є важливою частиною сучасної вимірювальної техніки. Вони поєднують наукову точність із технічною зручністю, забезпечуючи ефективний моніторинг одного з ключових параметрів довкілля — вологості повітря. Їхній розвиток і вдосконалення тривають, що дозволяє щороку підвищувати точність, мініатюризацію та інтеграційні можливості для широкого спектра застосувань.

1.6 Резистивний датчик

Резистивні датчики вологості, які працюють за принципом зміни електричного опору матеріалу під впливом водяної пари, широко застосовуються завдяки своїй простій конструкції, низькій вартості та придатності до інтеграції в автоматизовані системи. Резистивний метод

вимірювання вологості базується на фізико-хімічних властивостях матеріалів, здатних поглинати вологу з повітря, внаслідок чого змінюється їх електропровідність.

Основу резистивного датчика становить шар гігроскопічного матеріалу, наприклад, полімеру, солі або оксидів металів, нанесений між двома електродами. Цей шар реагує на зміну вологості повітря, поглинаючи або віддаючи водяну пару, в результаті чого змінюється концентрація іонів у матеріалі і, відповідно, його опір. Така зміна опору реєструється за допомогою електронної схеми, яка перетворює її на числове значення відносної вологості.

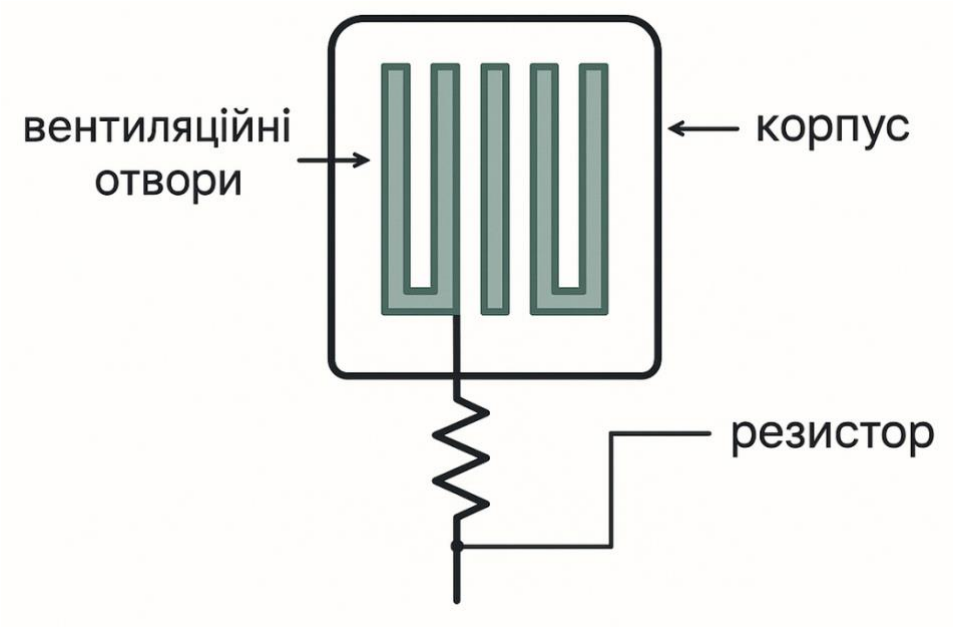


Рисунок 1.8 – Схема резистивного датчика вологості

Найбільш поширеним типом гігроскопічного шару в резистивних сенсорах є полімер, просочений гігроскопічними речовинами, такими як хлорид літію або сульфат натрію. Ці матеріали забезпечують швидку реакцію на зміни вологості та дозволяють отримати стабільні показники протягом тривалого часу. Струм, що проходить крізь чутливий шар, зазвичай дуже малий, а сам пристрій споживає мінімальну кількість енергії, що робить його придатним для мобільних, автономних або енергозберігаючих систем.

Резистивні датчики вологості мають ряд переваг, серед яких — низька вартість виробництва, проста конструкція та відносно висока чутливість у середньому діапазоні вологості (30–80 %). Завдяки цим характеристикам вони знайшли широке застосування у побутових приладах (зволожувачах, осушувачах, кондиціонерах), а також у вентиляційних і метеорологічних системах.

Разом з тим, резистивні сенсори мають і певні обмеження. Найбільший вплив на точність вимірювання справляє температура навколишнього середовища, тому сучасні конструкції часто містять вбудований температурний датчик, що дозволяє автоматично компенсувати температурні коливання. Ще одним фактором, який може знижувати точність або надійність приладу, є забруднення або конденсація вологи на поверхні чутливого елемента. Наприклад, при тривалому перебуванні у вологому середовищі або за наявності пилу, гігроскопічний шар може втрачати свої властивості, що вимагає періодичної перевірки або заміни сенсора.

Недоліком є повільна реакція на дуже швидкі зміни вологості, що робить їх менш придатними для точних наукових досліджень або швидкодинамічних процесів. Проте для побутових і промислових застосувань, де не потрібна мілісекундна реакція, резистивні сенсори залишаються економічно доцільним вибором.

Резистивні датчики часто випускаються у вигляді готових модулів із цифровим або аналоговим виходом. Наприклад, добре відомі сенсори серій DHT11 або DHT22 мають як резистивну конструкцію, так і цифровий інтерфейс, що дозволяє легко інтегрувати їх у мікроконтролерні системи — зокрема в Arduino або Raspberry Pi. Ці модулі знайшли застосування не лише в навчальних проєктах, але й у серійних приладах для контролю мікроклімату

Резистивні датчики вологості, незважаючи на свої обмеження, залишаються затребуваними завдяки своїй доступності, компактності та простоті інтеграції в сучасні електронні пристрої. Їхній розвиток продовжується шляхом удосконалення чутливих матеріалів, зменшення енергоспоживання та підвищення стійкості до зовнішніх впливів. Саме тому резистивний метод вимірювання вологості займає міцні позиції у ряді галузей, від побутової електроніки до систем моніторингу навколишнього середовища.

1.7 Оптичний конденсаційний гігрометр

Одним із найбільш точних методів вимірювання вологості повітря є оптичний конденсаційний гігрометр, який базується на визначенні точки роси — температури, при якій водяна пара, що міститься в повітрі, починає конденсуватися у вигляді рідини. Цей метод широко використовується в лабораторних, промислових та метеорологічних системах, коли потрібна висока точність і стабільність показників незалежно від зовнішніх умов.

Принцип дії оптичного конденсаційного гігрометра ґрунтується на візуальному або фотоелектричному виявленні моменту утворення конденсату на охолоджуваній дзеркальній поверхні. Прилад має металеве дзеркало, температура якого поступово знижується до моменту, коли на ньому з’являються мікрокраплі води з повітря. Ця поява фіксується за допомогою оптичної системи, яка включає джерело світла (зазвичай світлодіод або лазер), фотодетектор та систему реєстрації світлового потоку. Коли на поверхні дзеркала з’являється волога, змінюється коефіцієнт відбиття світла, що й дозволяє точно зафіксувати момент настання точки роси.

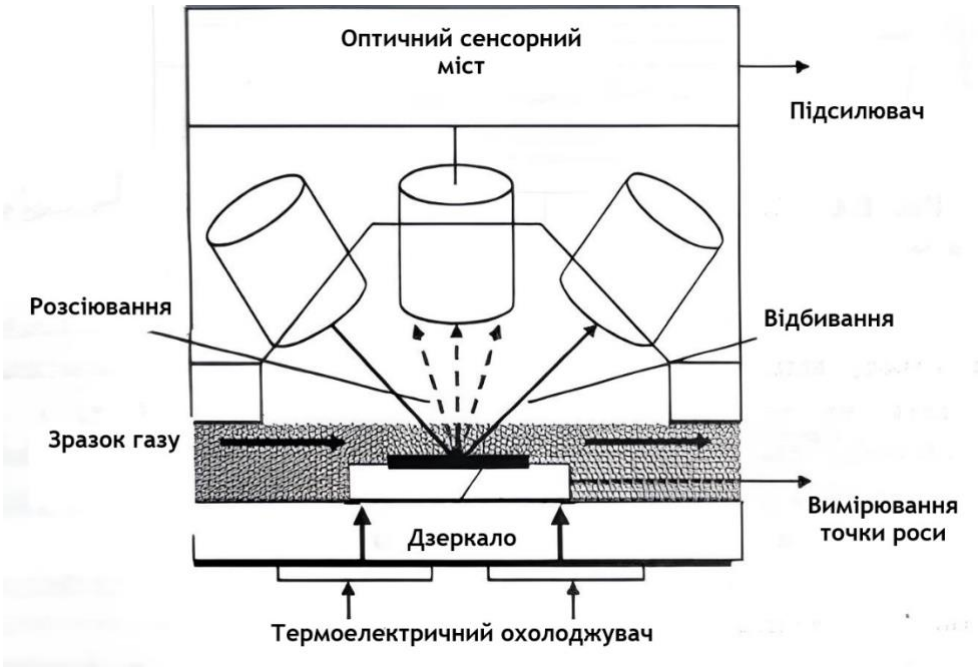


Рисунок 1.9 – Схема роботи оптичного конденсаційного гігрометра

Вимірювана температура дзеркала в момент утворення конденсату фіксується дуже чутливим термодатчиком і вважається температурою точки роси. Далі, за допомогою спеціальних таблиць або програмного забезпечення, ця температура використовується для розрахунку відносної вологості за даними про поточну температуру повітря. Таким чином, метод дозволяє визначити як точку роси, так і поточну відносну вологість з надзвичайно високою точністю — до ±0,2 % RH, що значно перевищує характеристики типових електронних датчиків.

Оптичні конденсаційні гігрометри вважаються еталонними засобами вимірювання у галузях, де критично важливі точні дані про вологість — таких як фармацевтика, виробництво напівпровідників, лабораторна калібровка інших приладів, а також у системах контролю якості газових середовищ. Їх часто використовують у калібрувальних лабораторіях як стандарт, на який орієнтуються всі інші типи гігрометрів.



Рисунок 1.10 – Приклад промислового оптичного конденсаційного гігрометра

Конструкція таких приладів може бути як компактною, так і досить складною, особливо в автоматизованих системах. У багатьох сучасних моделях використовується система автоматичного очищення дзеркала, а також автоматичне регулювання охолодження, яке забезпечується термоелектричним модулем (елементом Пельтьє). Це дозволяє підтримувати стабільність і повторюваність вимірювання навіть у складних умовах — наприклад, при великій кількості пилу або домішок у повітрі.

Однією з головних переваг оптичних конденсаційних гігрометрів є їхня незалежність від типу газу або складних калібрувальних кривих, як у ємнісних або резистивних сенсорів. Метод базується на фізичному явищі фазового переходу, що робить його максимально об’єктивним та універсальним. Однак, за високу точність доводиться платити складністю обслуговування, великими габаритами та значною вартістю приладу.

До недоліків слід віднести відносно повільну швидкість реакції, адже охолодження дзеркала до точки роси займає певний час, особливо за

низького рівня вологості. Також прилади вимагають періодичного чищення дзеркальної поверхні, оскільки її забруднення може впливати на точність оптичного виявлення. У деяких випадках автоматичне чищення недостатнє, тому потрібне ручне втручання кваліфікованого персоналу.

Незважаючи на ці обмеження, оптичний конденсаційний метод залишається одним із найточніших способів визначення вологості повітря, і часто саме він застосовується як базовий при калібруванні та верифікації інших типів датчиків. Його точність, стабільність і надійність роблять цей гігрометр незамінним там, де кожна десята частка відсотка вологості має значення.

2 АНАЛІЗ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ. РОЗРОБКА ГІГРОМЕТРА

2.1 Побудова психрометричного датчика вологи на базі Arduino Nano та датчика DS18B20

Психрометричний датчик вологи представляє собою два термометра, а в нашому випадку два термодатчика типу DS18B20 в захисному корпусі. Один з датчиків («сухий») вимірює температуру навколишнього середовища. Другий датчик («вологий») призначений для виміру температури парів над поверхнею води. «Вологий» датчик, огорнений батистовою тканиною, один край якої знаходиться в резервуарі з водою для забезпечення кращої температурної проникності.

Сенс роботи психрометричного датчика вологи заснований на тому, що «вологий» датчик буде вимірювати температури нижчі відносно «сухого» датчика. Це обумовлено першим законом термодинаміки, згідно якому температура буде падати зі зменшенням внутрішньої енергії при випаровуванні. Вирахував різницю температур «сухого» та «вологого» датчиків, потрібно скористатися психрометричною таблицею для вирахування вологості. Для цього по горизонталі знаходимо вирахувану різницю температур, а по вертикалі температуру повітря. На перехресті цих показів буде знаходитись значення вологи. Приклад розрахунку буде наведений нижче.

Оскільки всі тести датчиків та кінцевий прилад буде створено з застосуванням налагоджувальної плати Arduino Nano, то має сенс спочатку

пояснити, що вона собою представляє та як з нею працювати. Після цього розглянемо безпосередньо роботу з датчиками DS18B20.

Arduino Nano – це відносно компактна налагоджувальна плата (розмір 4.3см. х 1.85см.) , призначена для роботи з макетною платою або для застосування в повноцінних проектах. Вона працює на базі мікроконтролера ATmega328 чи Atmega168, які відрізняються розміром вбудованої флеш-пам'яті в 32 та 16 кілобайт відповідно (2 кілобайта в будь-якому випадку будуть зайняті завантажувачем). Плата Arduino Nano з її основними компонентами наведена на рис. 2.1. [3]

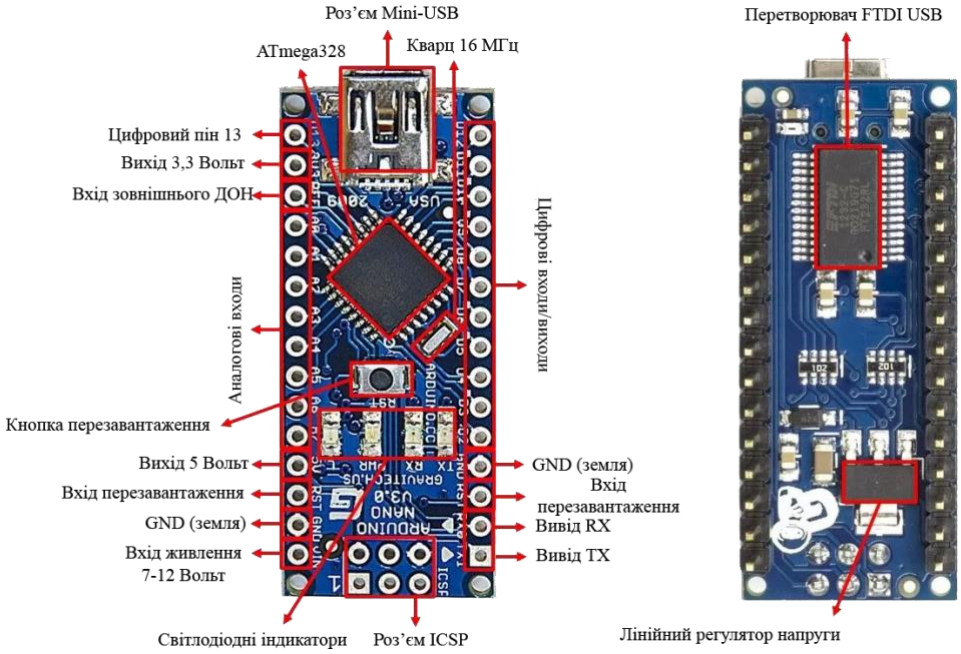


Рисунок 2.1 – Arduino Nano з основними компонентами

Плата Arduino Nano з мікроконтролером ATmega328P має наступні характеристики:

- ядро - 8-бітний AVR;
- тактова частота - 16 МГц;
- EEPROM-пам'яті - 1 КБ;
- SRAM-пам'ять - 2 КБ;

- Flash-пам'ять - 32 КБ;
- портів введення-виведення разом – 20;
- портів із ШІМ – 6;
- розрядність ШІМ - 8 біт;
- портів з АЦП – 8;
- розрядність АЦП - 10 біт;
- апаратних інтерфейсів I²C/TWI – 1;
- апаратних інтерфейсів SPI – 1;
- апаратних інтерфейсів UART/Serial – 1;
- номінальна робоча напруга - 5 В;
- максимальний вихідний струм піна 3V3 - 50 мА;
- максимальний вихідний струм піна 5V - 800 мА;
- максимальний струм із піна або на пін - 40 мА;
- рекомендована вхідна напруга від зовнішнього джерела - 7–12 В;
- гранична вхідна напруга від зовнішнього джерела - 6–20 В.

Для програмування плати Arduino Nano буде застосовуватись безкоштовне програмне забезпечення під назвою «Arduino IDE» версії 1.18.16. Ця програма існує на різних операційних системах : Windows, macOS та Linux. [4]

Інтерфейс Arduino IDE зображено на рис. 2.2. Робота в програмі починається з створення нового файлу для прошивки Arduino сумісних плат. Після того, як відкриється новий файл, можна приступати до написання безпосередньо коду в текстовому редакторі цієї програми. Написавши код, потрібно перевірити його на помилки відповідною кнопкою (рис. 2.2). Якщо код не має помилок, то попередньо вибравши в налаштуваннях свою плату, можна приступити до завантаження коду програми на Arduino. Для завантаження коду потрібно підключити до комп’ютера плату Arduino за допомогою кабелю USB. Після того, як потрібні драйвери встановляться,

можна почати завантаження створеної програми в мікроконтролер кнопкою завантаження прошивки.

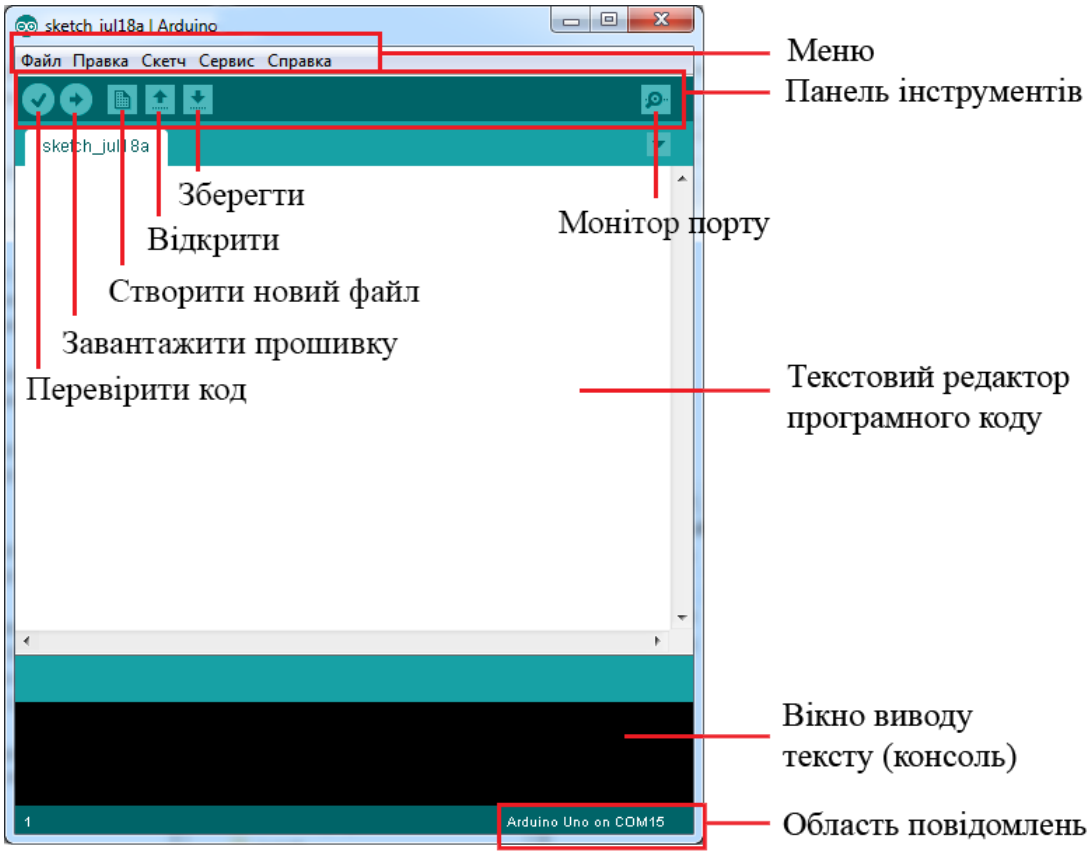


Рисунок 2.2 – Інтерфейс програми Arduino IDE

В якості термометра будемо використовувати цифровий датчик температури DS18B20 в захисному корпусі. Цей датчик здатен вимірювати температуру в діапазоні від −55 до +125 °C.

Покази двох датчиків з однієї партії можуть відрізнятися більш ніж на 1 градус по Цельсію, тому потрібно перш за все відібрати два датчика з найбільш схожими показаннями. Для цього створюємо невеликий макет з застосуванням п’яти датчиків DS18B20, Arduino Nano та одного резистора номіналом 4,7 кОм. Збираємо стенд згідно схеми на рис. 2.3. [5]

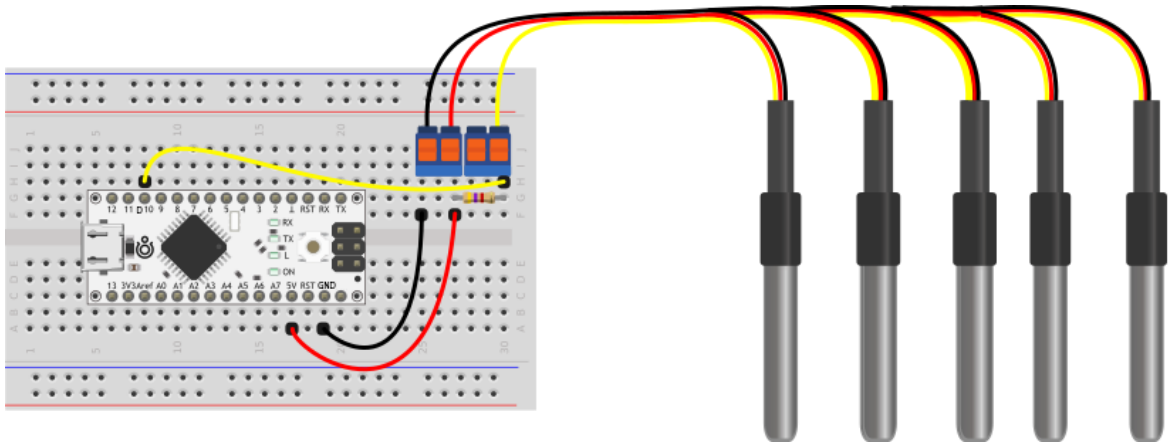


Рисунок 2.3 – Схема підключення датчиків DS18B20

Червоним кольором позначено дріт +5 вольт живлення, який підключається до піну «5V» на платі. Чорний дріт до мінусу живлення на пін «GND». Жовтий дріт призначений для передачі виміряних даних та підключається на пін «D10». Резистор підключено між кабелем +5 вольт та інформаційним кабелем, він необхідний для стабільної передачі даних.

Всі датчики мають в своїй пам’яті унікальні адреси, це дозволяє підключати їх до одного інформаційного піну, що дозволить підключати більше інших пристроїв до Arduino в рамках дипломної роботи. [6]

Програмування Arduino буде проводитись в інтегрованому середовищі розробки «Arduino IDE» версії 1.18.16.

Програма для зчитування адрес датчиків має наступний вигляд (рис 2.4):

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// лінія даних підключена до цифрового виводу 2 Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 10

// настройка об'єкта oneWire для зв'язку з будь-яким пристроєм OneWire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// передати посилання на oneWire бібліотеці DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);
```

```
// змінна для зберігання адрес пристроїв
DeviceAddress Thermometer;

int deviceCount = 0;

void setup(void)
{
  // запустити послідовний порт
  Serial.begin(9600);

  // запустити бібліотеку
  sensors.begin();

  // знайти пристрої на шині
  Serial.println("Locating devices...");
  Serial.print("Found ");
  deviceCount = sensors.getDeviceCount();
  Serial.print(deviceCount, DEC);

 Serial.println(" devices.");
 Serial.println("");

 Serial.println("Printing addresses...");
 for (int i = 0;  i < deviceCount;  i++)
 {
   Serial.print("Sensor ");
   Serial.print(i+1);
   Serial.print(" : ");
   sensors.getAddress(Thermometer, i);
   printAddress(Thermometer);
 }
}

void loop(void)
{}

void printAddress(DeviceAddress deviceAddress)
{
  for (uint8_t i = 0; i < 8; i++)
  {
    Serial.print("0x");
    if (deviceAddress[i] < 0x10) Serial.print("0");
    Serial.print(deviceAddress[i], HEX);

  if (i < 7) Serial.print(", ");
 }
 Serial.println("");
}
```

Рисунок 2.4 – Код програми для зчитування адрес

Після завантаження прошивки в Arduino, потрібно відкрити монітор порту в Arduino IDE та не відключати USB-кабель від комп’ютера поки йде сканування пристроїв. Через декілька секунд програма видає результат, який можна спостерігати на рис. 2.5. [7]

```
Locating devices...
Found 5 devices.

Printing addresses...
Sensor 1 : 0x28, 0xD4, 0xF5, 0x07, 0xD6, 0x01, 0x3C, 0xE5
Sensor 2 : 0x28, 0xBC, 0x6C, 0x07, 0xD6, 0x01, 0x3C, 0xC3
Sensor 3 : 0x28, 0x2E, 0x37, 0x95, 0xF0, 0x01, 0x3C, 0x5A
Sensor 4 : 0x28, 0xC5, 0xAC, 0x75, 0xD0, 0x01, 0x3C, 0x91
Sensor 5 : 0x28, 0x35, 0x06, 0x95, 0xF0, 0x01, 0x3C, 0xB0
```

Рисунок 2.5 – Результати сканування адрес пристроїв

Тепер, маючи адреси всіх датчиків, необхідно перевірити їх покази одночасно в одному середовищі задля зменшення похибок підчас роботи психрометричного датчика вологи. Для цього, не змінюючи схему підключення пристрою (рис. 2.3), створюємо та завантажуємо нову прошивку (рис. 2.6).

```
#include <OneWire.h>//підключення бібліотеки
#include <DallasTemperature.h>//підключення бібліотеки

//лінія даних підключена до цифрового виходу 10 Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 10

//настройка об'єкта oneWire для зв'язку з будь-яким пристроєм OneWire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// передати посилання на oneWire бібліотеці DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// адреси п'яти термо-датчиків DS18B20
uint8_t sensor1[8] = { 0x28, 0xD4, 0xF5, 0x07, 0xD6, 0x01, 0x3C, 0xE5 };
uint8_t sensor2[8] = { 0x28, 0xBC, 0x6C, 0x07, 0xD6, 0x01, 0x3C, 0xC3 };
uint8_t sensor3[8] = { 0x28, 0x2E, 0x37, 0x95, 0xF0, 0x01, 0x3C, 0x5A };
uint8_t sensor4[8] = { 0x28, 0xC5, 0xAC, 0x75, 0xD0, 0x01, 0x3C, 0x91 };
uint8_t sensor5[8] = { 0x28, 0x35, 0x06, 0x95, 0xF0, 0x01, 0x3C, 0xB0 };


void setup(void)
{
  Serial.begin(9600); //відкриваємо порт для роботи з монітором порту
  sensors.begin();
}

void loop(void)
{
sensors.requestTemperatures(); //запит температур з датчиків
```

```
Serial.print("температура 1 "); //друк в монітор порту слова
Serial.println(sensors.getTempC(sensor1));//друк в монітор порту данних з першого датчика
Serial.print(" - температура 2 ");//друк в монітор порту слова
Serial.println(sensors.getTempC(sensor2));//друк в монітор порту данних з другого датчика
Serial.print(" - температура 3 ");
Serial.println(sensors.getTempC(sensor3));
Serial.print(" - температура 4 ");
Serial.println(sensors.getTempC(sensor4));
Serial.print(" - температура 5 ");
Serial.println(sensors.getTempC(sensor5));
Serial.println("=-=-=--=-=-=-=-=-");
  delay(3000);//затримка 3 секунди перед наступним повтором
}
```

Рисунок 2.6 – Код програми для виводу температури з всіх датчиків за їх адресами

Відкриваємо монітор порту та отримуємо результати вимірів, які оновлюються кожні три секунди (рис. 2.7). Виходячи з отриманих результатів, найменшу різницю між показами було отримано з першого та п’ятого датчика, їх і будемо використовувати в подальшому як «вологий» та «сухий» термометри.

```
=-=-=--=-=-=-=-=-
температура 1 23.62
 - температура 2 23.06
 - температура 3 24.25
 - температура 4 23.25
 - температура 5 23.69
=-=-=--=-=-=-=-=-
температура 1 23.62
 - температура 2 23.06
 - температура 3 24.25
 - температура 4 23.31
 - температура 5 23.75
```

```
=-=-=--=-=-=-=-=-
температура 1 23.62
 - температура 2 23.06
 - температура 3 24.25
 - температура 4 23.25
 - температура 5 23.75
=-=-=--=-=-=-=-=-
температура 1 23.62
 - температура 2 23.00
 - температура 3 24.31
 - температура 4 23.25
 - температура 5 23.75
```

Рисунок 2.7 – Результати вимірів з датчиків

Щоб визначити де потрібні нам датчики, по черзі нагріваємо кожен з них. По зростанню показів температури в моніторі порту, навпроти кожного з датчиків, відслідкували під якими номерами всі датчики.

Датчики з другого по четвертий відключаємо від Arduino, а в іншому залишаємо схему без змін. Перший датчик обгортаємо в вологу батистову тканину (рис. 2.8).

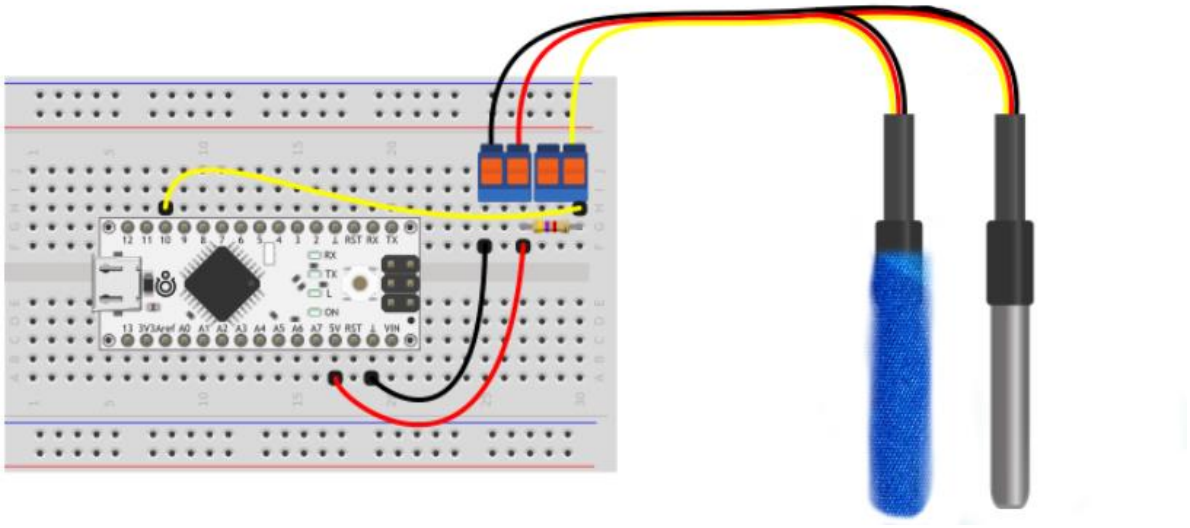


Рисунок 2.8 – Схема психрометричного датчика вологи

Для вирахування вологи за допомогою психрометричного гігрометру необхідно враховувати крім температури зволоженого та сухого термометру , також атмосферний тиск в середовищі і швидкість потоку повітря, що обдуває вимірювальний пристрій. В психрометричній таблиці беруться усереднені данні, тому можна обійтись без барометра та анемометра, та данні при такому випадку будуть менш точними. Для роботи з Arduino беремо невелику психрометричну таблицю (рис. 2.9). [8]

Показання волог. термометра, °С	різниця сухого / вологого										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	90	81	71	63	54	0	0	0	0	0	0
21	90	81	72	64	55	47	0	0	0	0	0
22	91	82	73	64	56	48	41	0	0	0	0
23	91	82	74	65	58	50	42	0	0	0	0
24	91	83	74	66	59	51	44	0	0	0	0
25	91	83	75	67	60	52	45	38	0	0	0
26	92	84	76	69	61	54	49	41	35	29	23
27	92	84	77	69	62	55	50	43	36	30	25
28	92	84	77	70	63	56	51	44	38	32	27
29	92	85	78	71	64	57	52	45	39	34	28
30	92	85	78	71	65	58	53	46	41	35	30
31	93	85	78	72	65	59	54	47	42	36	31
32	93	86	79	72	66	60	55	48	43	38	33
33	93	86	79	73	67	61	56	49	44	39	34
34	0	86	80	73	67	61	57	50	45	40	35
35	0	86	80	74	68	62	57	51	46	41	36
36	0	87	80	74	68	63	58	52	47	42	38
37	0	87	81	75	69	63	59	53	48	43	39
38	0	87	81	75	70	64	59	54	49	44	40
39	0	87	81	76	70	65	60	55	50	45	41
40	0	88	82	76	70	65	61	55	51	46	42

Рисунок 2.9 – Психрометрична таблиця

В подальшому ми перенесемо цю таблицю в масив для того, щоб Arduino сама вираховувала показання вологи з отриманих даних.

Волога вираховується за наступною формулою

$$\Delta T = T_c - T_в , \tag{2.1}$$

де ΔT – різниця показів;

T_c – температура сухого датчика;

$T_в$ – температура зволоженого датчика.

Приступаємо до написання програми (рис. 2.10).

```
#include <OneWire.h>//підключення бібліотеки
#include <DallasTemperature.h>//підключення бібліотеки

//лінія даних підключена до цифрового виходу 10 Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 10

//настройка об'єкта oneWire для зв'язку з будь-яким пристроєм OneWire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// передати посилання на oneWire бібліотеці DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// адреси двох термо-датчиків DS18B20
uint8_t sensor1[8] = { 0x28, 0xD4, 0xF5, 0x07, 0xD6, 0x01, 0x3C, 0xE5 };
uint8_t sensor2[8] = { 0x28, 0x35, 0x06, 0x95, 0xF0, 0x01, 0x3C, 0xB0 };


void setup(void)
{
  Serial.begin(9600); //відкриваємо порт для роботи з монітором порту
  sensors.begin();
}

int masiv [21][11]={ //масив з психрометричною таблицею
{90,81,71,63,54,0,0,0,0,0,0},
{90,81,72,64,55,47,0,0,0,0,0},
{91,82,73,64,56,48,41,0,0,0,0},
{91,82,74,65,58,50,42,0,0,0,0},
{91,83,74,66,59,51,44,0,0,0,0},
{91,83,75,67,60,52,45,38,0,0,0},
{92,84,76,69,61,54,49,41,35,29,23},
{92,84,77,69,62,55,50,43,36,30,25},
{92,84,77,70,63,56,51,44,38,32,27},
{92,85,78,71,64,57,52,45,39,34,28},
{92,85,78,71,65,58,53,46,41,35,30},
{93,85,78,72,65,59,54,47,42,36,31},
{93,86,79,72,66,60,55,48,43,38,33},
{93,86,79,73,67,61,56,49,44,39,34},
{0,86,80,73,67,61,57,50,45,40,35},
{0,86,80,74,68,62,57,51,46,41,36},
{0,87,80,74,68,63,58,52,47,42,38},
{0,87,81,75,69,63,59,53,48,43,39},
{0,87,81,75,70,64,59,54,49,44,40},
{0,87,81,76,70,65,60,55,50,45,41},
{0,88,82,76,70,65,61,55,51,46,42}
};

void loop(void)
{
sensors.requestTemperatures(); //запит температур з датчиків
Serial.print("температура 1 "); //друк в монітор порту слова
Serial.println(sensors.getTempC(sensor1));//друк в монітор порту данних з першого датчика
Serial.print(" - температура 2 ");//друк в монітор порту слова
Serial.println(sensors.getTempC(sensor2));//друк в монітор порту данних з другого датчика

//призначаємо перемінній "Tsuxoy" данних з першого секнсора
 float Tsuxoy=sensors.getTempC(sensor1);
    //призначаємо перемінній "Tvlagniy" данних з другого секнсора
    float Tvlagniy=sensors.getTempC(sensor2);
    float dT=(Tsuxoy-Tvlagniy); //знаходимо дельту
```

```
    //округлюємо та мінус температура початкова таблиці
    Row = round(Tsuxoy)-20;
    Col = round(dT)-1; //округлюємо та мінус 1 через нумерацію з нуля
  int H=masiv[Row][Col]; //присвоєння змінній "H" значень з масиву психрометричної таблиці
  Serial.print("Волога "); //друк в монітор порту слова
  Serial.println(H);//друк в монітор порту отриманої вологості
  Serial.println("-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=");
  delay(3000);//затримка 3 секунди перед наступним циклом
}
```

Рисунок 2.10 – Програма психрометричного датчика вологи

В моніторі порту отримуємо результати роботи програми (рис. 2.11):

```
температура 1 19.19
 - температура 2 23.37
Волога 65
-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=
температура 1 19.19
 - температура 2 24.12
Волога 59
-=-=-=-=-=-=-=-=-=-=
температура 1 19.12
 - температура 2 24.94
Волога 52
```

Рисунок 2.11 – Відображення вологи

Данні кажуть про те, що алгоритм програми працює правильно. Покази температури округлюються функцією «round» до цілих чисел, через те що масив не включає проміжків з знаком після коми. Є можливість розширити масив проміжними значеннями, що дозволить визначати вологу більш точно, але тоді розмір програми буде займати більше місця, а її написання займе більше часу. В якості швидкого отримання даних розрахунків вологи, можна скористатися сторонніми психрометричними таблицями з більшим діапазоном температур.

2.2 Датчик температури та вологості AHT10

Наступним варіантом приладу для вимірювання вологості стане Arduino Nano в зв’язці з датчиком AHT10.

AHT10 – це високоточний датчик температури та вологості. Він відкалібрований з заводу та має швидкий відгук. Його короткі характеристики:

- напруга живлення від 1,8в до 3,6 В;
- вимір температури від -40°с до + 85°С;
- роздільна здатність при виміру температури складає 0.01°С;
- точність при вимірюванню температури ± 0.3°С;
- діапазон вимірювання відносної вологості від 0% до 100%;
- роздільна здатність при виміру вологості складає 0,024%;
- точність вимірювання відносної вологості: ± 2% при температурі 25°С;
- швидкість шини i²c від 0гц до 400 КГц;
- рекомендована частота опитування датчика складає від 8 до 30 секунд.

Схема датчика наведена на рис. 2.12. Для зручності підключення до зовнішніх пристроїв датчик змонтований на плату, яка має вигляд маленького модуля з розмірами 15х11 міліметрів (рис. 2.13).

При довготривалому використанні датчика за вологості більше 80% може спостерігатися дрейф в показаннях вимірів. Ця проблема вирішується висушуванням датчика при температурі від 80 до 85°С і відносній вологості менше 5% протягом 10 годин. Після такої процедури покази вимірів повернуться до тих, які були закладені при калібруванні з заводу.

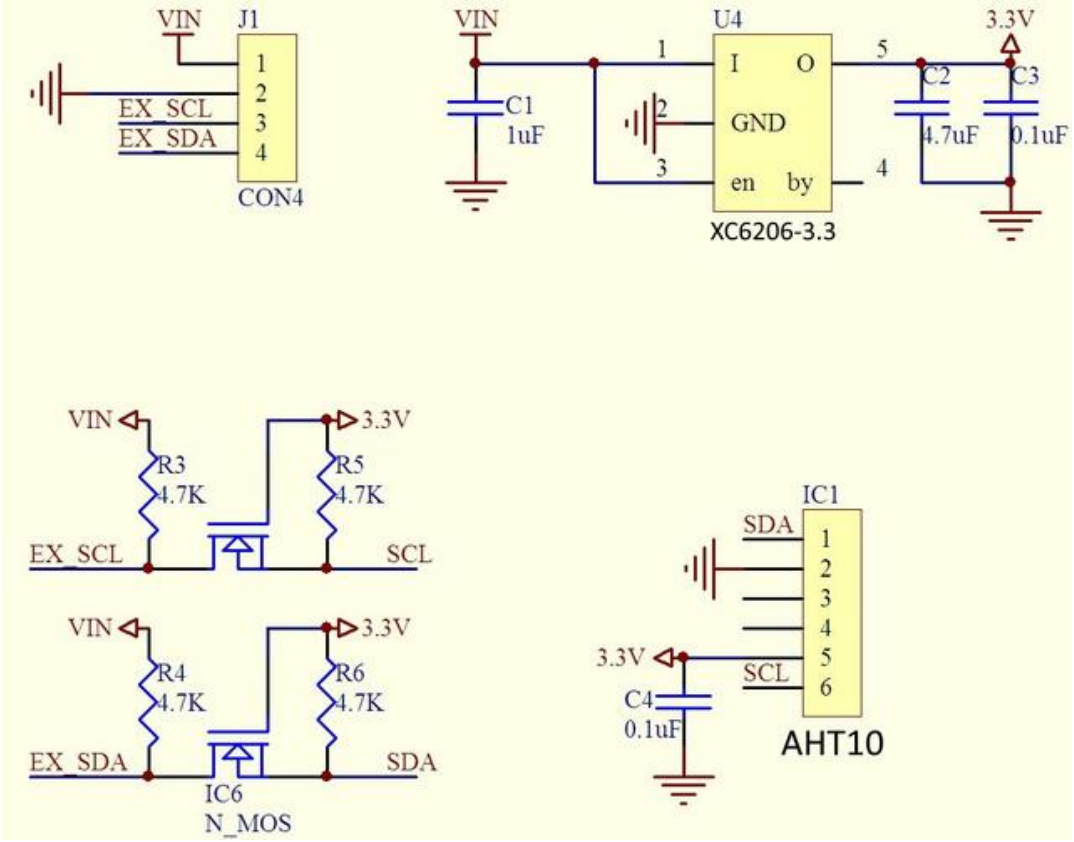


Рисунок 2.12 – Схема плати з датчиком AHT10

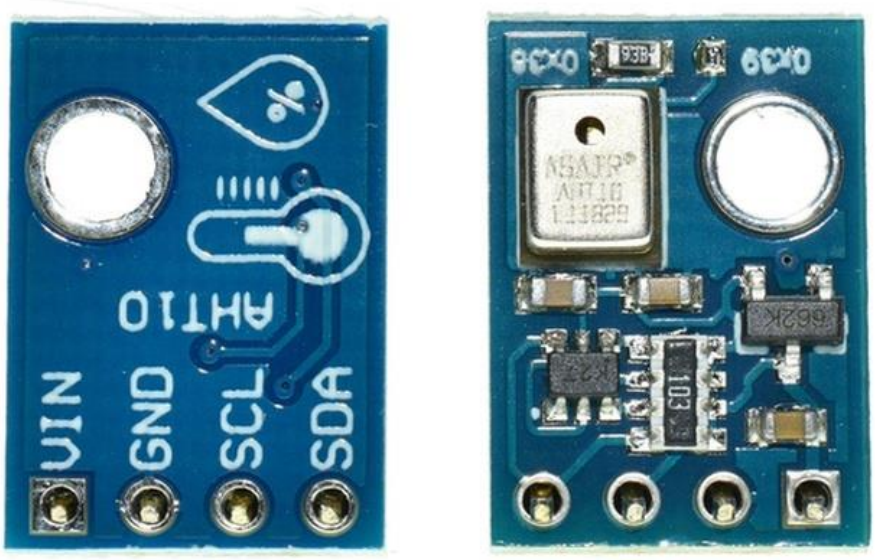


Рисунок 2.13 – Плата з датчиком AHT10

Підключаємо датчик AHT10 до Arduino за схемою на рис. 3.3.

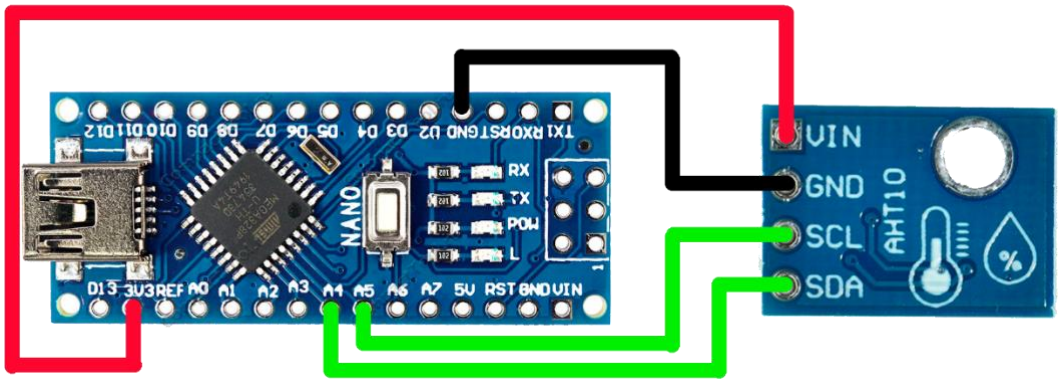


Рисунок 2.14 – Схема підключення датчика AHT10

Датчик має інтерфейс I2C, за допомогою якого і підключається до інших пристроїв для передачі інформації. Контакти SDA і SCL підключаються до контактів A4 та A5 відповідно на Arduino , по ним передається інформація. Плюс живлення VIN підключено до контакту 3V3 (3,3 Вольт). Мінус живлення від GND до відповідного на Arduino.

Пишемо відносно просту програму, яка буде виводити покази з датчика до монітору порту результати вимірів через кожні 8 секунд (рис. 2.15).

```
//підключаємо потрібні для роботи бібліотеки
#include <Thinary_AHT10.h>
#include <Wire.h>

AHT10Class AHT10;

void setup()
{
Serial.begin(9600);//відкриваємо монітор порту
  Wire.begin(); //підключаємо Ардуіно до шини I2C
  AHT10.begin();//підключаємо датчик
}

void loop()
{
  //вивід в монітор порту температури
  Serial.println(String("")+"Темп."+AHT10.GetTemperature()+"°C");
  //вивід в монітор порту вологи
  Serial.println(String("")+"Влжн."+AHT10.GetHumidity());
  Serial.println("=-=-=-=-=-=-=-=-=-");
    delay(8000); //затримка рекомендованих 8 секунд
}
```

Рисунок 2.15 – Програма для роботи датчика AHT10

Після завантаження програми в мікроконтролер відкриваємо монітор порту, де бачимо результати роботи створеного приладу (рис. 2.16).

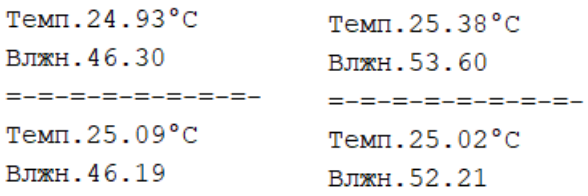


Рисунок 2.16 – Данні з монітору порту

При обдуванні датчика вологим повітрям він фіксує найменші зміни.

2.2 Ємнісний датчик вологості SEN0193

SEN0193 - це аналоговий ємнісний датчик вологості. Перевірка рівня вологи відбувається за допомогою ємнісного зондування. Виготовлений з корозійно-стійкого матеріалу, через що його часто застосовують для виміру рівня вологи в ґрунті та подібних середовищах. Він має наступні характеристики:

- робоча напруга від 3,3 до 5,5 вольт постійного струму;
- вихідна напруга від 0 до 3,0 Вольт постійного струму;
- інтерфейс: PH2,0-3P;
- розмір: 99x16 міліметрів / 3,9x0.63. [9]

Його схема зображена на рис. 2.17.

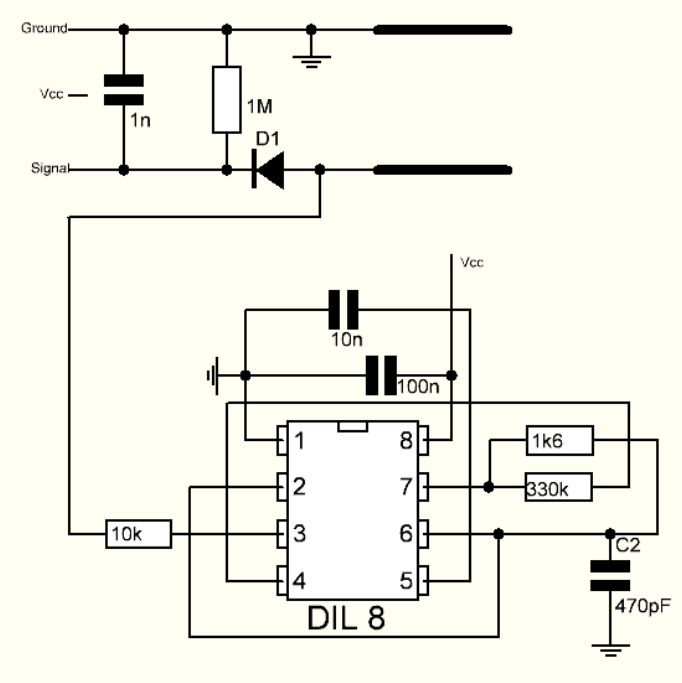


Рисунок 2.17 – Схема датчика SEN0193

На основі мікросхеми таймера 555 побудований генератор прямокутної хвилі. Вона подається на датчик через дільник напруги, як на конденсатор, що в свою чергу, має реактивний опір. Чим більше волога, тим більше ємність датчика, а реактивний опір на прямокутну хвилю буде зменшуватись та зменшувати напругу на сигнальній лінії. Ця напруга вимірюється на аналоговому контакті Arduino.

Збираємо прилад за наступною схемою (рис. 2.18).

Живлення +5 В – це контакт VCC датчика, що підключається до контакту 5V на Arduino. Мінус живлення – контакти GND як на датчику, так і на Arduino. Виміряні данні передаються через контакт AOUT датчика на контакт A0 Arduino.

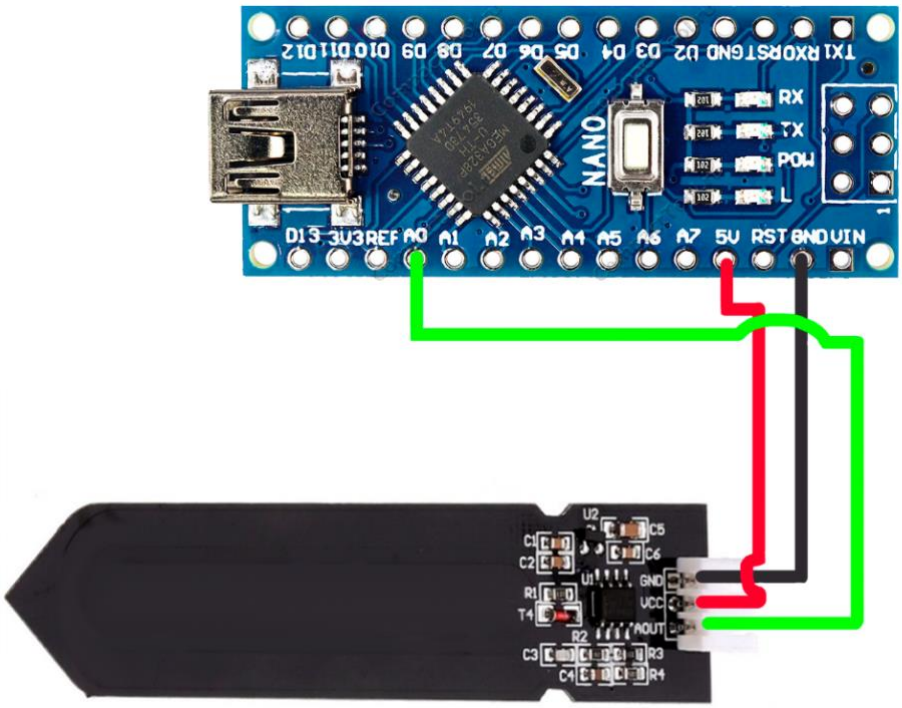


Рисунок 2.18 – Схема підключення SEN0193 до Arduino

Для початку потрібно дізнатися, які покази видає датчик будучи сухим та мокрим. Напишемо просту програму (рис. 2.19).

```
void setup() {
 Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  Serial.println(analogRead(A0));
  delay(100);
}
```

Рисунок 2.19 – Програма зчитування даних датчика SEN0193

В моніторі порту отримали результати, згідно яким датчик видає значення в 644 одиниць (будучи сухим) при вологості в кімнаті 48%, згідно показів раніше зібраного гігрометру (на основі датчика AHT10).

Після занурення датчика SEN0193 в воду отримали результат в 282 одиниці. Візьмемо отримані данні та спробуємо створити програму для відображення отриманої вологи в відсотках (рис. 2.20).

```
const int suho = 644; // низ датчика 32% вологості
const int nesuho=282; //датчик занурений в воду

void setup()
{
Serial.begin(9600); //відкрили порт
}

void loop()
{
  int sensorV=analogRead(A0); //зчитуємо покази з датчика
  int vologaProcent=map(sensorV,nesuho,suho,100,32); //покази в відсотках
    Serial.println(analogRead(A0));
    Serial.println(vologaProcent);
    Serial.println("=-=-=-=-=-=-=-=-");
    delay(5000);
}
```

Рисунок 2.20 – Відображення вологи в відсотка датчика SEN0193

Тепер перевіримо чи правильно працює наша програма, спираючись на паралельні данні, які отримані з відкаліброваного з заводу датчика AHT10. Для цього також в код програми додаємо код для AHT10. Отримані данні перенесли в Microsoft Excel та побудували діаграму (рис. 2.21). Виміри проводились за температури від 25 до 33°C над ємністю з окропом.

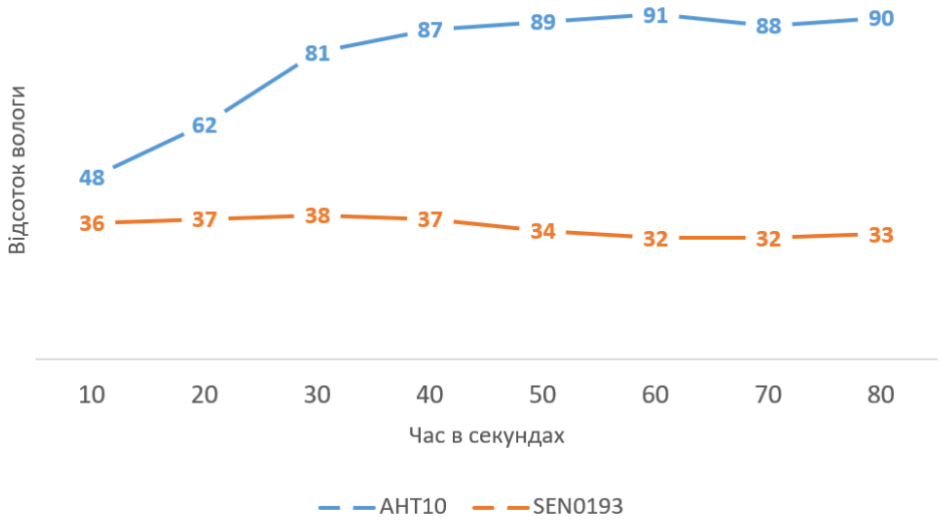


Рисунок 2.21 – Порівняння показів датчиків

Датчики знаходились поруч, а данні з них зчитувались одночасно. На графіку хоч і можна спостерігати певну криву з показів SEN0193, проте відсоток вологи розрахований не вірно. Це спричинено тим, що датчик працював в менш широкому робочому діапазоні.

Якщо датчик огорнути в тканину, яка буде щільно його облягати, то волога, ввібрана в тканину, вже зможе змусити працювати SEN0193 в повному діапазоні. Проведемо повторне тестування. Дійсно, тепер датчик показує зміни рівня вологи (рис. 2.22).

```
635             468
34              66
=-=-=-=-=-=-=-  =-=-=-=-=-=-=-
585             432
44              73
=-=-=-=-=-=-=-  =-=-=-=-=-=-=-
546             395
51              79
=-=-=-=-=-=-=-  =-=-=-=-=-=-=-
507             361
58              86
=-=-=-=-=-=-=-  =-=-=-=-=-=-=-
```

Рисунок 2.22 – Покази з монітору порту

Перші цифри показують данні, отримані з датчика напряму, друга цифра відображає прораховане програмою значення вологи у відсотках. Тканина, якою огорнутий датчик, вже була заздалегідь змочена в воді.

Як виявилось, такий метод має велику проблему, адже покази залежать від швидкості намокання та висихання тканини, що огортає датчик. До того ж не виключена потреба додатково відкалібрувати нижній та верхній поріг вологості для датчика, огорнутого в тканину. Далі в роботі для покрашення точності вимірів при роботі з цим датчиком будемо використовувати менший діапазони його показів.

2.4 Датчик вологості на базі датчика DHT11

Датчик DHT11 (рис. 2.23) складається з гігрометра та ємнісного датчика температури. Чип всередині датчика видає цифровий сигнал виконуючи аналого-цифрові перетворення.

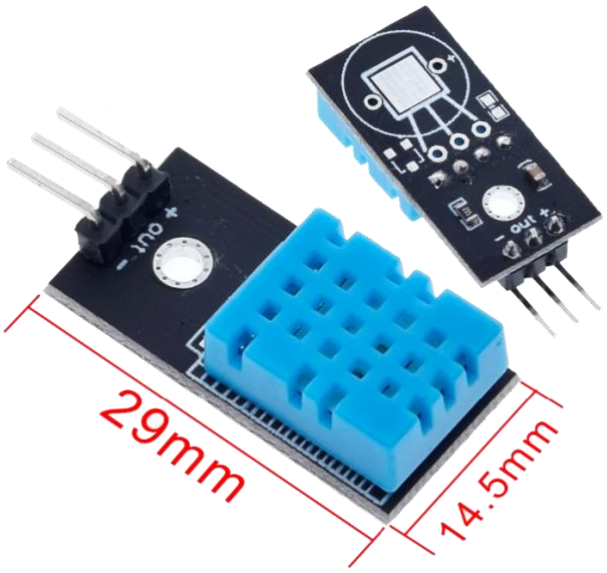


Рисунок 2.23 – Датчик DHT11

Він має наступні характеристики:

– напруга живлення від 3,3В до 5В
– вимір температури від 0°С до + 50°С
– точність при вимірюванню температури ± 2°С
– діапазон вимірювання відносної вологості від 20% до 95%
– точність вимірювання відносної вологості: ± 5%
– підключення по цифровому каналу [10]

Підключення датчика не сильно відрізняється від вже раніше описаних. Схема підключення наведена на рис. 2.24.

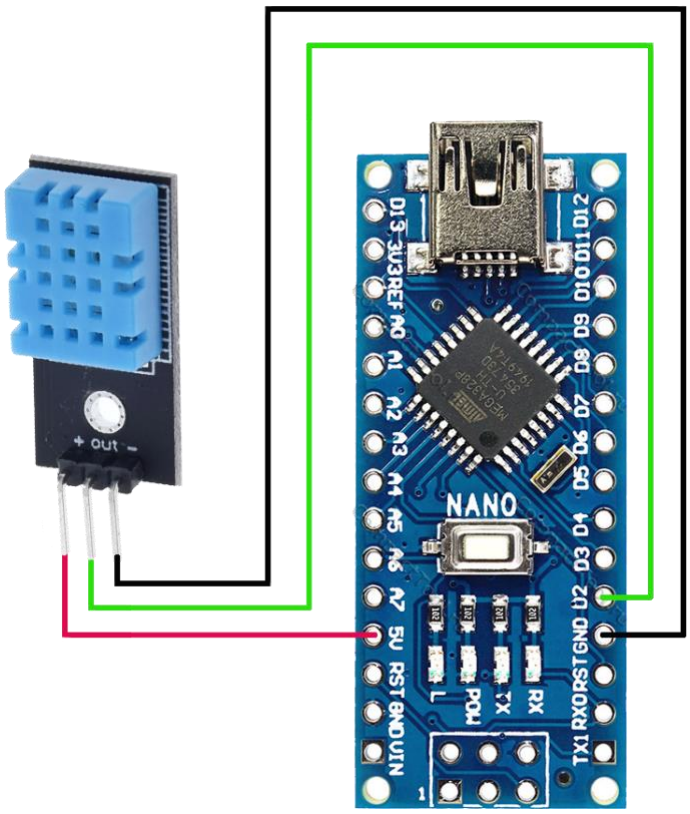


Рисунок 2.24 – Схема підключення датчика DHT11

Плюс та мінус живлення промаркіровані відповідними символами на датчику та підключаються до контактів 5V та GND на Arduino відповідно. Данні вимірів передаються з піну OUT датчика на пін D2 на Arduino.

Напишемо не складну програму для роботи з датчиком (рис. 2.25).

```
#include "DHT.h" //підключення бібліотеки для роботи з датчиком
#define DHTPIN 2 //вказуємо пін до якого підключено датчик
DHT dht(DHTPIN, DHT11); // вказуємо бібліоткці модель датчика

void setup() {
  Serial.begin(9600);// відкриваємо монітор порту
  dht.begin(); // пвдключаємо датчик
}
void loop() {
  delay(2000); // затримка 2 секунди
  float h = dht.readHumidity(); //вимір вологи
  Serial.print("Волога: ");
  Serial.println(h); //друк в монітор порту вимірів
}
```

Рисунок 2.25 – Програма для зчитування вологості датчиком DHT11

В моніторі порту отримуємо виміри (рис. 2.26).

```
Волога: 57.00
Волога: 57.00
Волога: 57.00
Волога: 57.00
Волога: 65.00
Волога: 67.00
Волога: 66.00
Волога: 66.00
```

Рисунок 2.26 – Результати роботи програми

При зміні вологи датчик дійсно реагує на її зміни, отже програма працює правильно.

2.5 Резистивний датчик вологості MH-RD

Датчиком виступає двостороння друкована плата з багатьма доріжками (рис. 2.27) принцип дії якої нагадує змінний резистор. Волога, потрапляючи на плату, замикає між собою доріжки, це спричиняє зміну опору.

Для перетворення показів з датчика в сигнал від 0 до 5 вольт використовуємо здвоєний компаратор (LM393). Живиться датчик напругою від 3,3 до 5 вольт. Підключаємо датчик за наступною схемою (рис. 2.28).

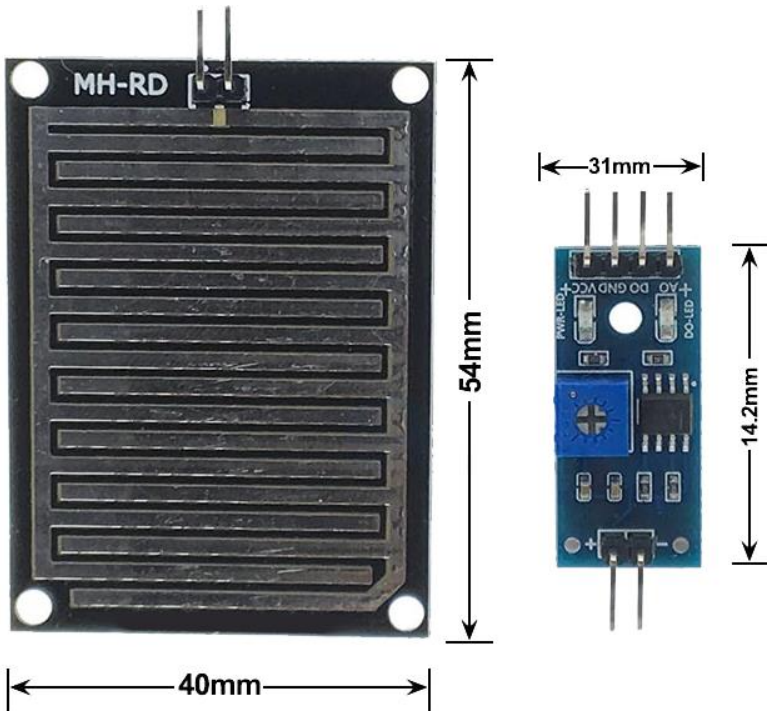


Рисунок 2.27 – Датчик MH-RD з здвоєним компаратором

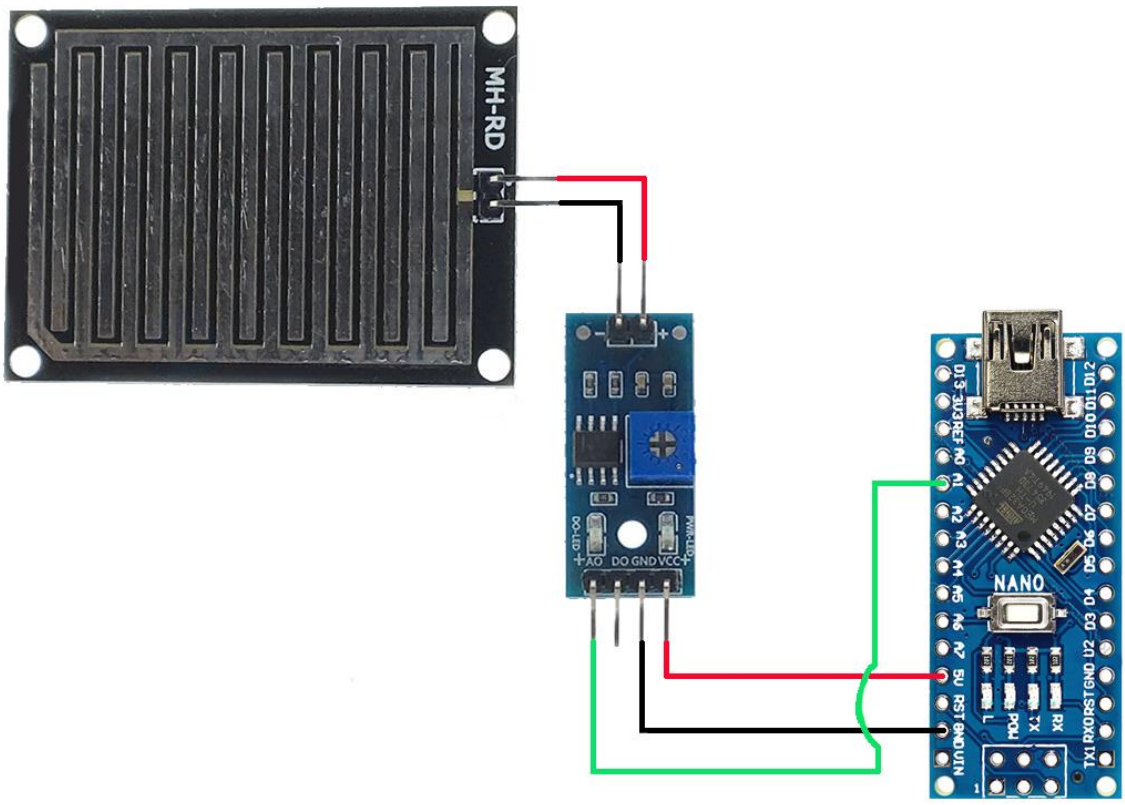


Рисунок 2.28 – Схема підключення датчика MH-RD

Підключення відбувається за схемою, подібною до раніше описаних. Контакти компаратора VCC, GND, A0 підключаються до контактів на Arduino – 5V, GND, A1 відповідно. Виміряні данні передаються в аналоговому вигляді до контакту A1 на Arduino. 5V, GND слугують для живлення компаратора. До контактів компаратора «+» та «–» підключений безпосередньо датчик MH-RD.

Даний компаратор дозволяє виконати підключення по цифровому порту D0 на компараторі, в такому випадку датчик буде подавати високу чи низьку напругу (логічну 1 чи 0) на відповідний цифровий контакт Arduino (наприклад на D6). Поріг спрацювання компаратору можна налаштувати за допомогою підстроювального резистора на його платі. Та нам підходить саме аналоговий метод зчитування показів, адже він видає данні в діапазоні від 0 до 1023 одиниць, що і дозволить перевести кількість вологи в потрібні нам відсотки, як вже робили в випадку з датчиком SEN0193.

Створюємо та завантажуємо наступну програму (рис. 2.29).

```
#define PIN_ANALOG_RAIN_SENSOR A1  // вказуємо що датчик на аналоговому вході A1

void setup(){
   Serial.begin(9600); //відкриваємо монітор порту
}
void loop(){
   int sensorValue = analogRead(PIN_ANALOG_RAIN_SENSOR); // Зчитуємо дані з аналогового входу
   Serial.print("Значення датчику: ");
   Serial.println(sensorValue); // Виводимо аналогове значення в монітор порту
   delay(1000); // затримка 1 секунда перед повтором програми
}
```

Рисунок 2.29 – Програма для зчитування аналогових даних з датчика MH-RD

Зануривши датчик в воду, отримаємо данні при умовній 100% вологі. В середньому ця цифра склала 190 пунктів. Для сухого датчика данні становлять 1012 пунктів (волога в приміщенні складала 61% згідно з показами датчика DHT11).

Виходячи з отриманих даних, створюємо відповідні правки в програмі для відображення вологи в відсотках, як раніше робили в випадку датчика SEN0193 (рис. 2.30).

```
#define PIN_ANALOG_RAIN_SENSOR A1  // вказуємо що датчик на аналоговому вході A1

const int suho = 1012; // низ датчика 61% вологості
const int nesuho=190; //датчик занурений в воду

void setup(){
   Serial.begin(9600); //відкриваємо монітор порту
}
void loop(){
   int sensorV = analogRead(PIN_ANALOG_RAIN_SENSOR); // Зчитуємо дані з аналогового входу
    int vologaProcent=map(sensorV,nesuho,suho,100,61); //покази в відсотках
   Serial.print("Значення датчику: ");
   Serial.println(vologaProcent); //друк в монітор порту вимірів MH-RD в відсотках
    Serial.println(sensorV); // Виводимо аналогове значення в монітор порту
      Serial.println("=-=--=-=-=-");
   delay(2000); // затримка 2 секунди перед повтором вимірі
}
```

Рисунок 2.30 – Модифікація програми для відображення відсотків вологи

2.6 Об’єднання всіх датчиків для тестування їх можливостей

Для коректного порівняння можливостей датчиків та їх програм роботи необхідно об’єднати всі минулі напрацювання в один проект.

Нажаль, після настроювання датчика SEN0193 датчик AHT10 через декілька днів перестав видавати данні. Через це можемо завчасно зробити висновки, що датчик нездатний витримувати навіть короткочасні потоки гарячої водяної пари. Такий датчик не може задовільнити мету даної роботи, тому в наступних випробуваннях не будемо його використовувати. Висновки по іншим датчикам зробимо після їх спільного тестування.

Об’єднаємо всі датчики за схемою на рис. 2.31. Датчики мають живлення 5 Вольт та підключаються до спільних пінів живлення, а саме, 5V та GND на Arduino Nano. Живлення плати Arduino відбувається від 5 В, яке надходять в її mini USB порт.

Датчики закріплені на одному рівні. Дистанція між кожним з них 4 сантиметри. Всі датчики знаходяться в закритій зверху та по всіх боках стінками випробувальній камері. Знизу камери знаходиться нагрівна поверхня без відкритого вогню. Поступово камера буде наповнюватись гарячим повітрям. Конструкція тестової камери дозволяє в будь-який час додати краплі води на нагрівну поверхню для підвищення вологи в камері з датчиками. Всі данні з датчиків будуть виведені в монітор порту та перенесені в програмне забезпечення Microsoft Excel для подальшої побудови графіків. [12]

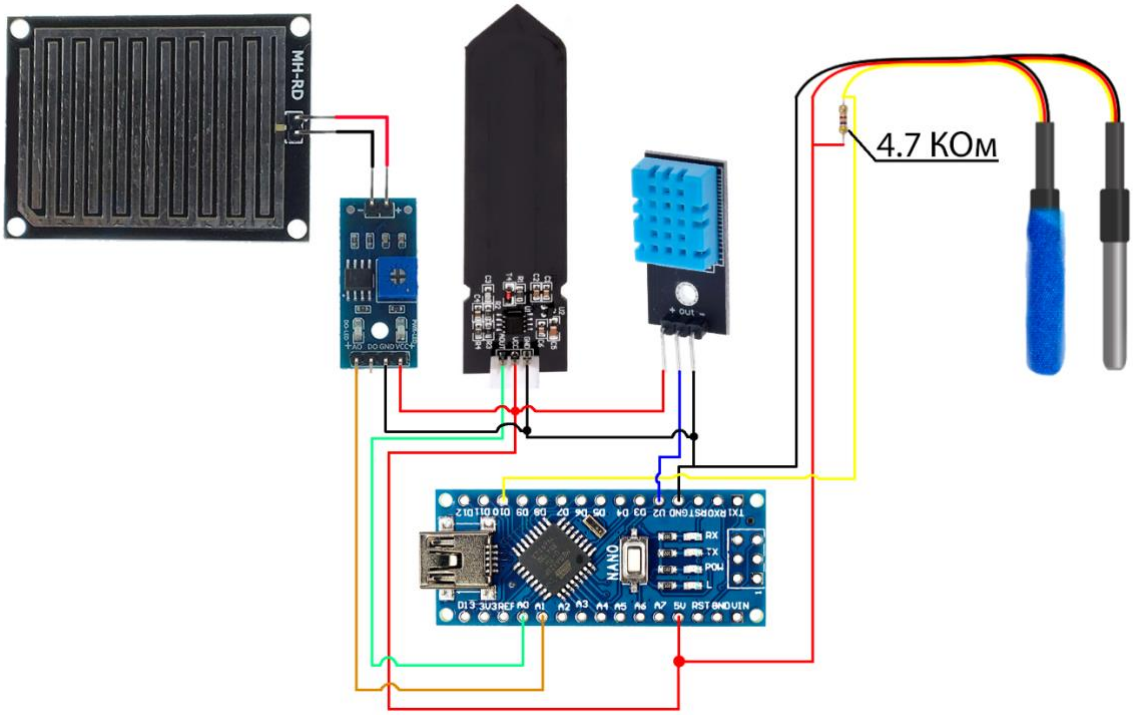


Рисунок 2.31 – Схема підключення датчиків DS18B20, SEN0193, DHT11 та MH-RD до Arduino Nano

В цьому пункті ми об’єднаємо раніше створені програми в одну для майже одночасного зчитування даних з всіх датчиків. Датчик SEN0193 перекалібруємо по датчику DHT11. Данні в монітор порту виводяться без текстового супроводу та в одну строку для простоти переносу вимірів в

Microsoft Excel. Затримка між вимірами 5 секунд. Код програми наведено в додатку.

Тестування датчиків відбувалось на протязі 15 хвилин 30 секунд. За час тестування було досягнуто максимальної температури в камері 73,44 ℃ по Цельсію (згідно з вимірами сухого датчика DS18B20). Після досягнення температури 50 градусів по Цельсію (час на графіку - 4 хвилини 30 секунд) було почато додавання води на нижню нагрівну поверхню для запобігання пересушення повітря. Після досягнення температури в 73,44 ℃, нижня нагрівна поверхня була демонтована, через що можна спостерігати різке падіння температури після 10 хвилин 30 секунд на рис. 2.32. [11]

В результаті експерименту отримали наступні результати.

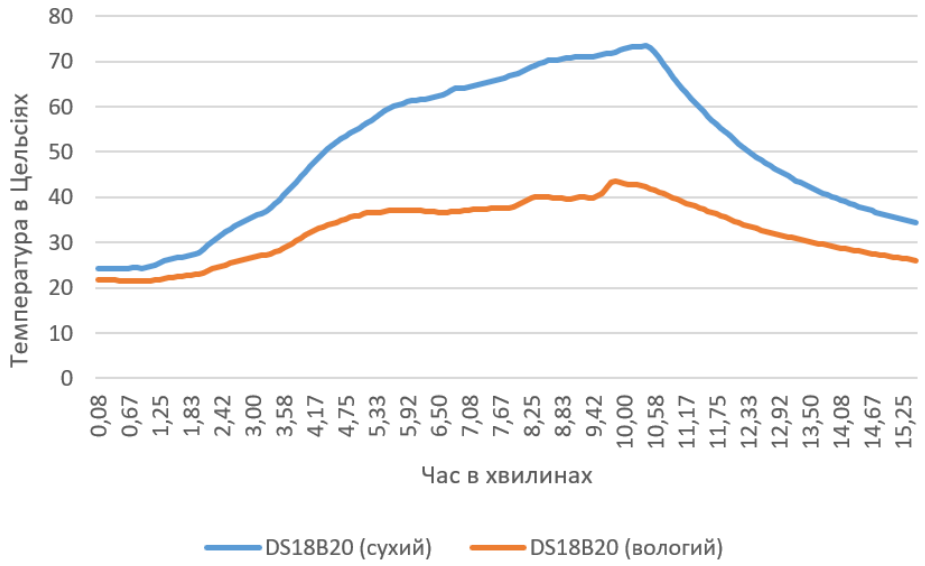


Рисунок 2.32 – Виміри температур DS18B20

Розрахували вологу психрометричним датчиком (рис. 2.33).

Як можемо спостерігати, вологий датчик стабілізував свої покази після досягнення температури в камері на рівні 50 ℃. Через даний фактор розрив показів між сухим та вологим датчиком почала різко збільшуватись аж до 31,18 ℃ на дев’ятій хвилині експерименту. Даний фактор заважає правильно вираховувати вологість.

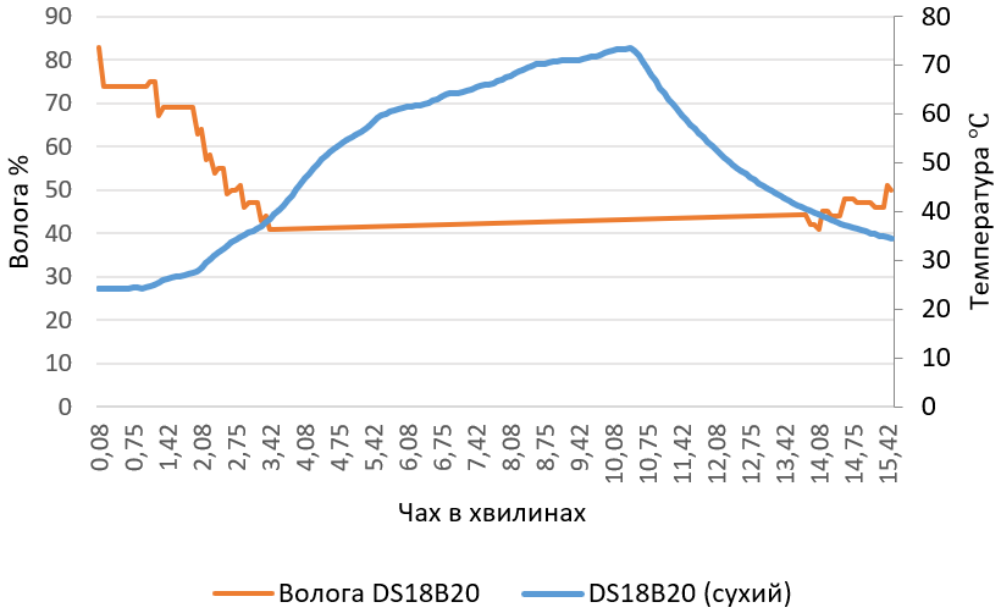


Рисунок 2.33 – Розрахунок вологи психрометричного датчика

Як бачимо, після досягнення температури вище 40 ℃ вимір вологи не розраховується, адже різність показів сухого і вологого датчика вже складала 12 ℃, а більшість психрометричних таблиць розраховані на температуру не більше 60 ℃, або на різність температур не більше 16,5 ℃ (у нашому випадку спостерігалось збільшення різниці показів до 31,18 ℃).

Даний метод вимірів вологи не залежить від агресивності середи, в якій він знаходиться, адже датчик знаходиться в захисній капсулі. Та він не позбавлений проблем окрім розрахунку вологи при занадто високих температурах. Так, наприклад, вологий датчик потребує частого підбавляння води в резервуар для змочування тканини, що його огортає. Навіть якщо автоматизувати даний процес, встановивши датчик рівня води та умовний клапан для поповнення резервуару, з якого зволожується тканина, нам ніяк не уникнути того фактору, що при 100 ℃ вода просто закипить, що унеможливить виміри взагалі, навіть якщо ми матимемо розширену психрометричну таблицю.

Так як датчик AHT10 завчасно показав себе нездатним вимірювати вологу в умовах підвищених температур, то було прийнято рішення замінити

його іншим відкаліброваним з заводу датчиком, а саме DHT11. Нижче розглянемо його покази (рис. 2.34). Далі в графіках будемо використовувати датчик DS18B20 (сухий) для відображення температури в випробувальній камері.

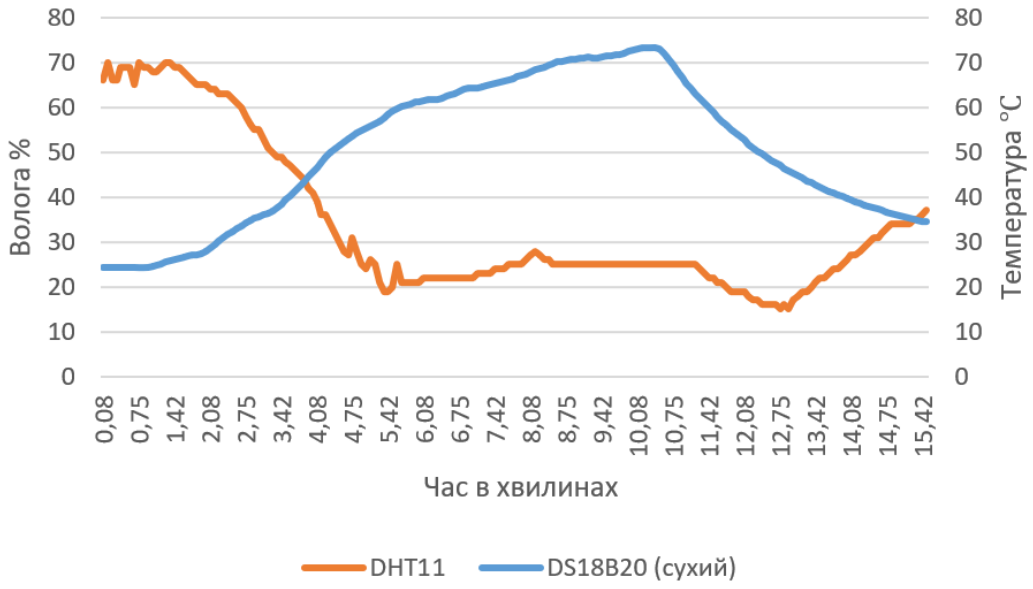


Рисунок 2.34 – Виміри вологи датчиком DHT11

Даний датчик показав себе доволі стабільно. За весь час вимірів з 186 показів він лише декілька разів видавав хибні дані (різкі зміни показів), які були виключені з графіку. Так як цей датчик видає правдоподібні данні, то з ним будуть порівнюватись наступні датчики, адже їх налаштування при зануренні в воду не дало на практиці бажаного результату. Датчики SEN0193 та MH-RD повинні були накопити на собі конденсат, щоб їх покази змінились суттєво. Та ми можемо працювати навіть з тим, що отримали, адже прямі зняття вимірів з цих двох датчиків також відображають зміну вологи, без використання їх повного діапазону .

Оскільки датчик показує високі значення при високій вологі та низькі значення при низькій, то графік виглядає перевернутим в порівняні з DHT11 (рис. 2.35).

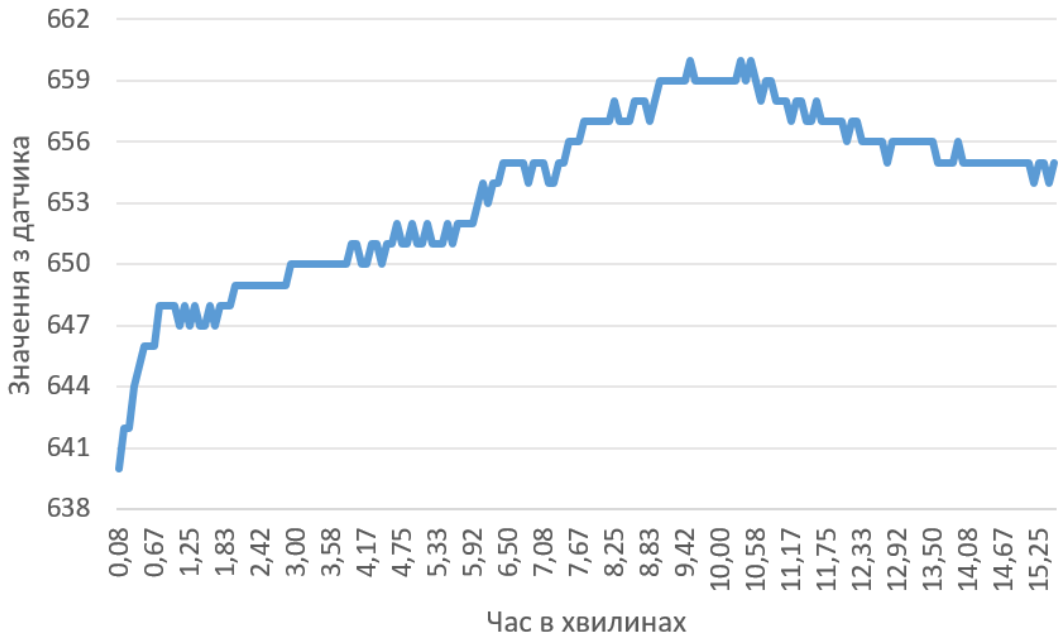


Рисунок 2.35 – Прямі виміри з датчика SEN0193

Для кращого порівняння перевернемо графік та накладемо на покази DHT11 (рис. 2.36). Як бачимо , форма вимірів обох датчиків має дуже схожу тенденція зростань та падінь, хоч в показах SEN0193 і прослідковується менш швидка реакція на зміни вологи ніж у DHT11. Не можна не відмітити що датчик також має більший розкид по верхнім і нижнім показам вологи та неплавну лінію вимірів з невеликими скачками, а ці фактори вказують на меншу його точність. Якщо змінити в коді програми нижню та верхню шкалу вологи в відсотках на основі отриманих вимірів, то такий датчик має право бути. Особливості його будови дозволяють використовувати його в більш екстремальних умовах, та звісно, він більше підходить для виміру вологи в матеріалах, з якими має безпосередній контакт, наприклад будь-які сипучі суміші.

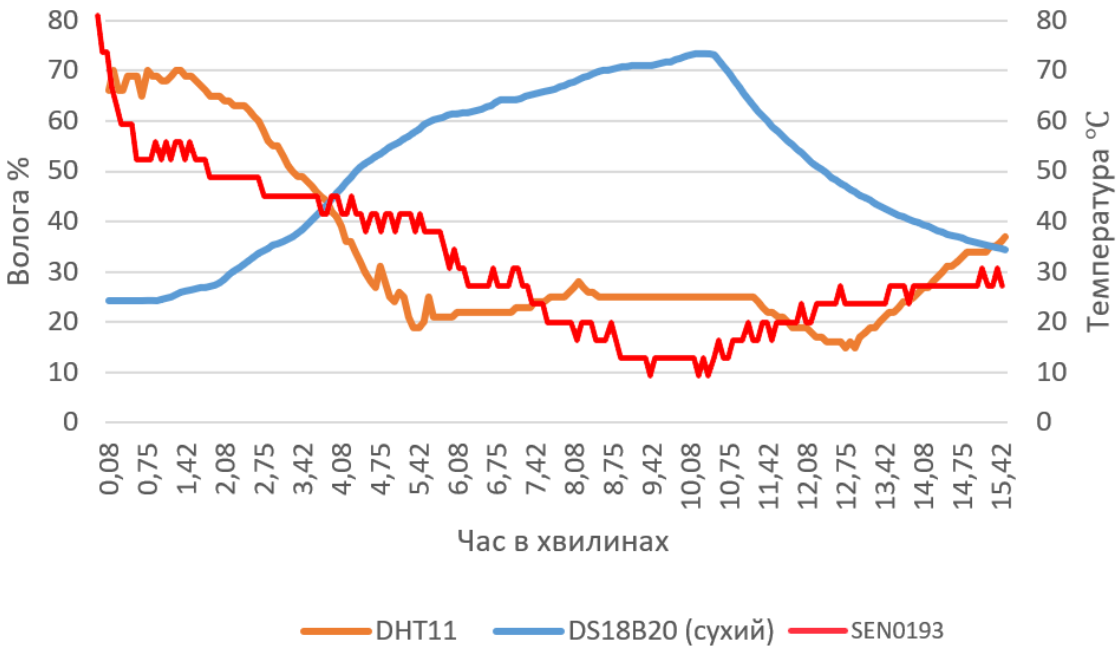


Рисунок 2.36 – Порівняння вимірів SEN0193 та DHT11

Як і в випадку SEN0193, датчик MH-RD не використовував повний свій діапазон, на який ми розраховували калібруючи його на 100% вологість занурюючи в воду. Та завдяки тому, що в монітор порту ми виводили і прямі покази з датчика, то можемо без проблем спостерігати тенденцію на зміну вологи при підвищених температурах, як і в минулому пункті, порівнюючи з показами DHT11 (рис. 2.37, 2.38).

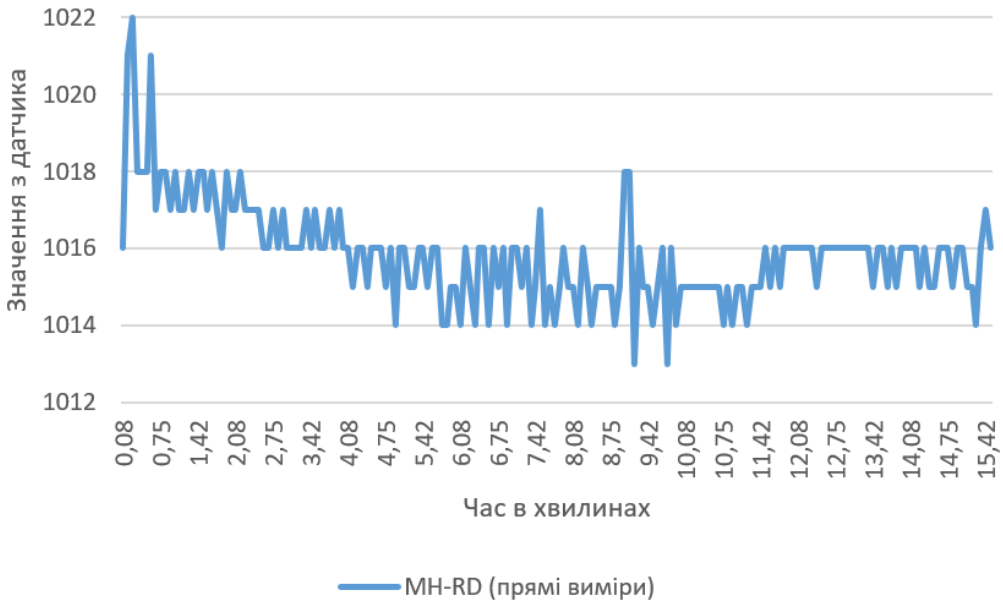


Рисунок 2.37 – Прямі виміри з датчика MH-RD

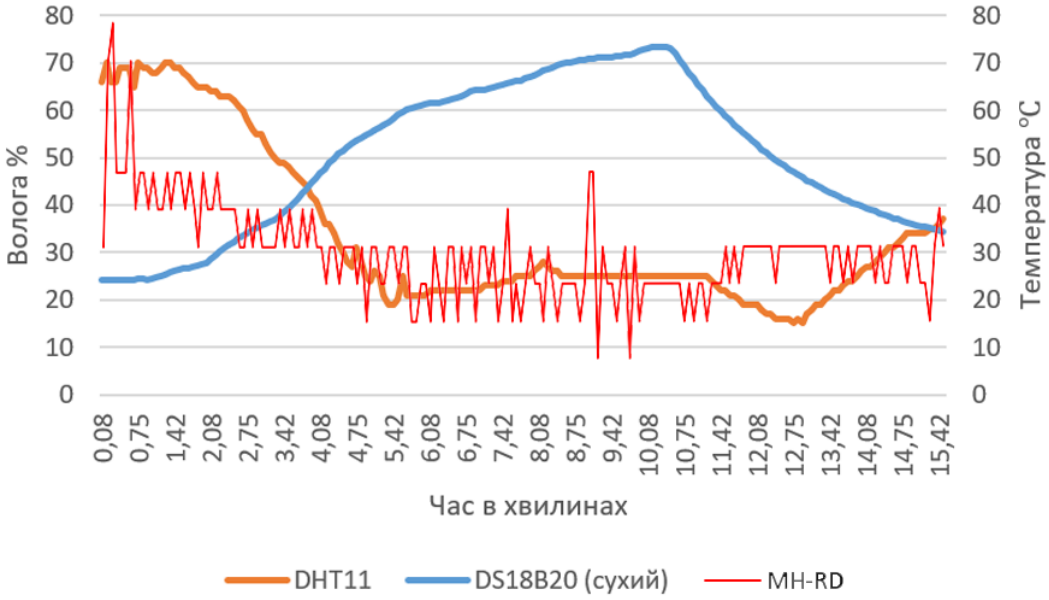


Рисунок 2.38 – Порівняння MH-RD з DHT11

Як бачимо, датчик MH-RD був дуже близький до показів DHT11 в середині вимірів, але в початку і під кінець виміри досить неточні. Його суттєва проблема - це високі скачки показів на протязі всього експерименту. Їх амплітуда навіть перевищує аналогічні скачки, які спостерігались у датчика SEN0193. За допомогою програмного коду на Arduino Nano можна розбити виміри на певні ділянки, які потім усереднити для згладжування вихідних даних. Проте, враховуючи графік, з 11 хвилини по 14 хвилину датчик не помітив жодних змін в вологості, а отже навіть при згладжуванні ми би отримали майже пряму лінію на графіку в тому проміжку часу.

Не зважаючи на простоту конструкції, яка дозволяє використовувати датчик MH-RD при температурах більших за 100 °C, він нажаль, показав найгірші результати.

2.7 Створення готового пристрою для вимірювання вологи при підвищених температурах

Через те, що кожен датчик має вузький діапазон точного виміру вологи, було запропоновано використання двох різних датчиків в одному приладі. На основі отриманих даних можемо підібрати найкращі рішення для виготовлення приладу. Так, наприклад, найстабільніші данні були отримані з датчика DHT11. Згідно з його технічною специфікацією точність цього датчику знижується за температури більше 50 ℃.

За допомогою датчика DS18B20 буде відслідковуватись перевищення допустимого значення температури. До фіксації показів менше 50 ℃ програма буде фіксувати та виводити на дисплей покази з датчика DHT11. Після перевищення температурного порогу прилад починає виводити данні з другого датчику, а саме з ємнісного датчика вологості SEN0193, так-як він не боїться підвищених температур, хоч і не такий точний як DHT11. [16]

Таким чином отримаємо готовий пристрій за допомогою якого можна буде дізнаватись вологу в реальному часі навіть за високих температур.

Для проекту необхідно використати Arduino Nano, датчики DS18B20, DHT11, SEN0193 та LCD дисплей 1602A з I2C модулем для зменшення кількості портів, які займе дисплей на Arduino. Живлення від стабілізованих 5 вольт по miniUSB кабелю, або як альтернатива від 6-20 вольт нестабілізованої напруги поданої на 30 вивід VIN та GND. Таким чином буде створений гігрометр з комбінованим методом вимірювання вологи та з демонстрацією температури. Схема підключення модулів наведена на рисунку 2.39.

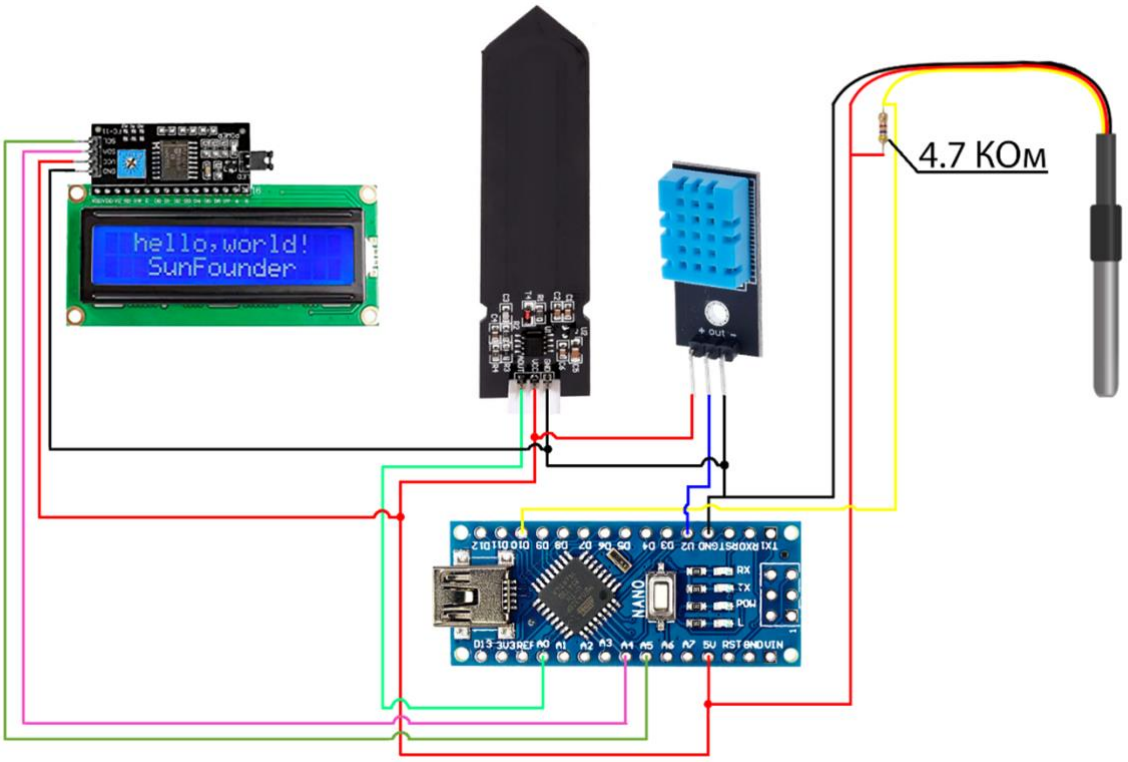


Рисунок 2.39 — Схема підключення готового приладу

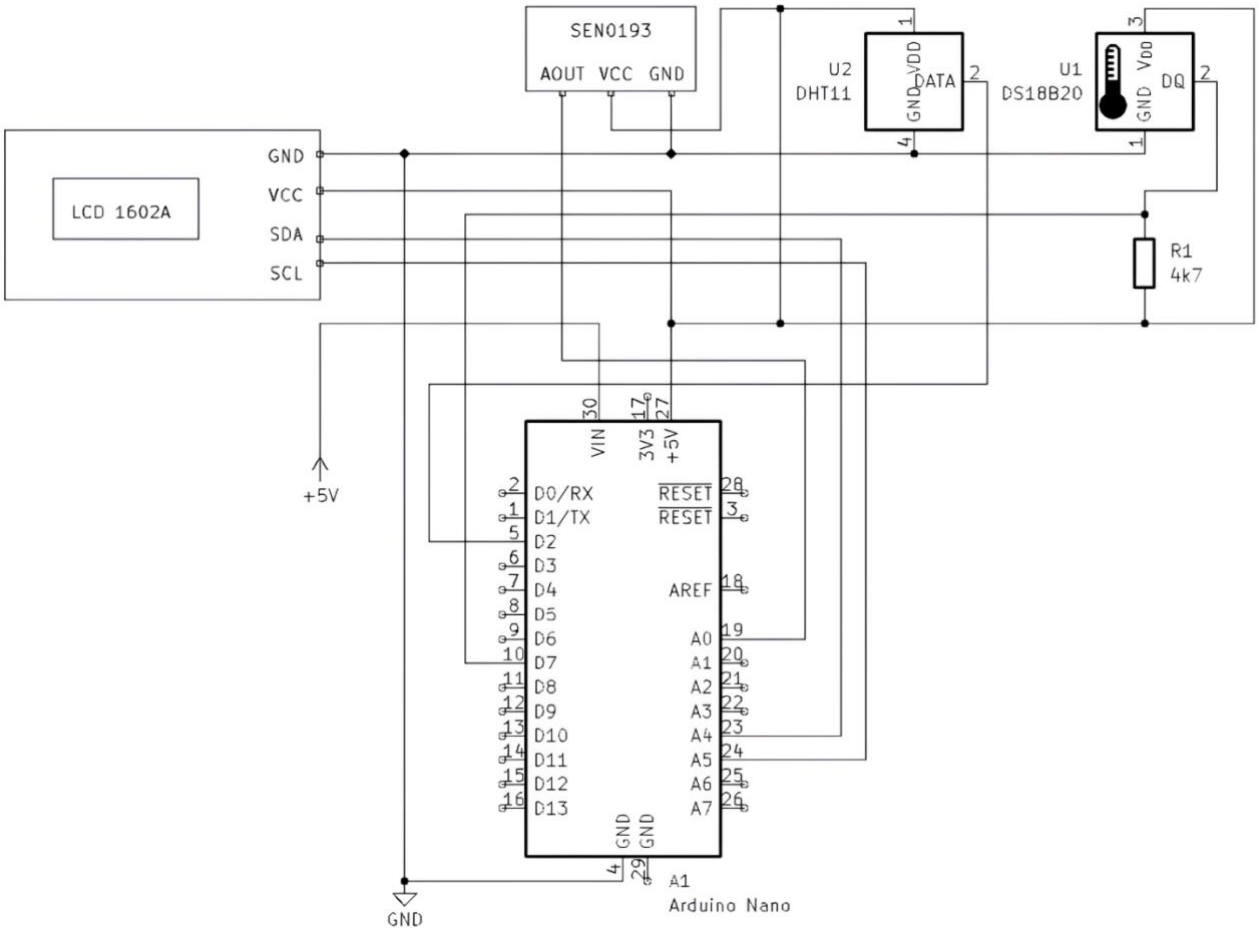


Рисунок 2.40 – Принципова схема готового приладу

Підключення аналогічне, змінилось лише те, що було відключено один вологий термометр DS18B20 та датчик MH-RD. Також був доданий дисплей, який працює через модуль I2C.

LCD дисплей 1602A з I2C підключається по чотирьом контактам. VCC з I2C модуля до 5V на Arduino Nano. GND до GND. SDA та SCL на I2C до A4 та A5 відповідно на Arduino Nano.

Варто зазначити, що рамки показів SEN0193 були знову відредаговані, враховуючи дані. Нові граничні рамки справедливими тільки при підвищеній температурі, яка була досягнута при тестах. Якщо локально нагріти датчик DS18B20 до температури більше 50 °C, щоб переключити виміри на датчик SEN0193, то покази будуть далекі від дійсності. Але навіть в одній партії можуть бути різні покази з однакових на перший погляд датчиків, тому їх потрібно калібрувати в індивідуальному порядку. За бажанням можна використати в проекті більш дорогі і точні датчики, як для першого датчика вологи (для низьких температур), так і для другого датчику (для високих температур). В такому разі потрібно трохи змінити програму роботи з датчиками та підрахувати чи буде такий пристрій мати сенс з економічної сторони.

Для стабільнішої роботи приладу необхідно розділити керуючу систему та датчики в різні корпуси з з'єднанням по кабелю типу вита пара FTP c.5E 4 x 2 x 0.51 мм² (рис. 2.41). В блоці №1 знаходиться Arduino Nano та LCD дисплей. В блоці №2 винесені датчики DHT11, SEN0193 та термодатчик DS18B20.

Живлення відбувається через кабель miniUSB, що підключений до гнізда Arduino Nano, а з іншої сторони до переносного джерела живлення 5 В. Згідно з вимірами, пристрій споживає 5 В та 0,02 А.

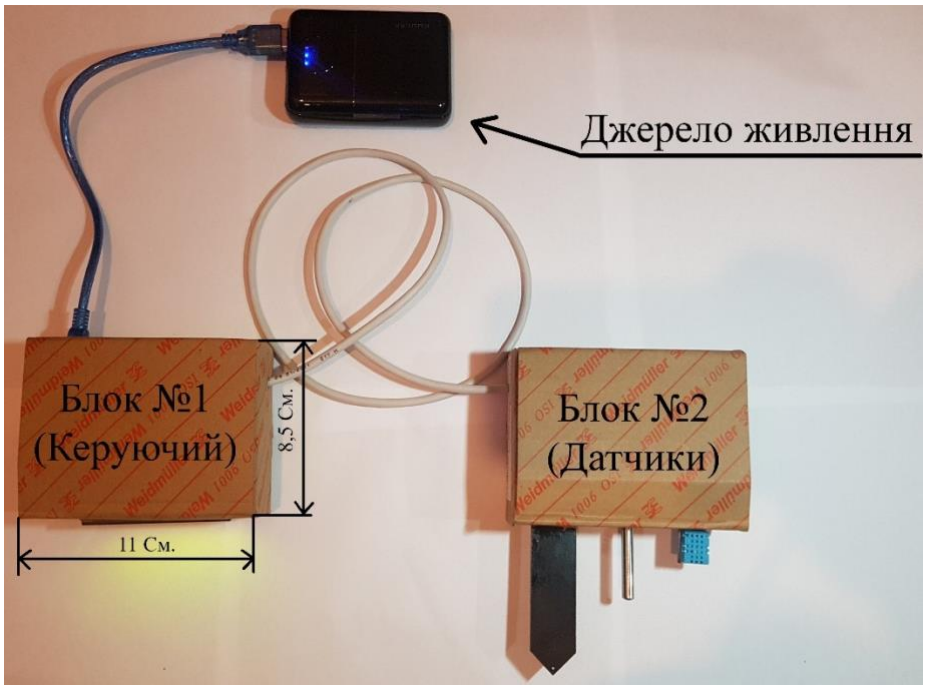


Рисунок 2.41 – Приклад готового приладу

Покази температури та вологи оновлюються на дисплеї (рис. 2.41) кожні 5 секунд.



Рисунок 2.42 – Покази на LCD дисплеї

Програма для роботи приладу з коментарями коду знаходиться в додатку Б.

У процесі аналізу сучасних сенсорів для вимірювання вологості повітря було досліджено різні типи датчиків. Особливу увагу приділено побудові психрометричного датчика на основі Arduino Nano та цифрового

термодатчика DS18B20, що дозволило створити просту й наочну модель для оцінки вологості за точкою роси. Такий підхід підтвердив ефективність психрометричного методу у простих кліматичних системах.

Проведено практичне порівняння їхніх можливостей, зокрема в умовах підвищеної температури, що дозволило визначити найдоцільніші варіанти для застосування в бюджетних рішеннях. Було встановлено, що незважаючи на низьку вартість, деякі датчики демонструють стабільні результати, але потребують ретельного калібрування, оскільки можуть мати значні відхилення в межах однієї партії.

На основі досліджень створено комбінований пристрій, у якому об'єднано кілька типів датчиків для одночасного вимірювання вологості й температури з метою перевірки їх взаємодії, швидкодії та точності, та програму до нього.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Проектування, виготовлення, випробування та налаштування проходять в лабораторії.

В робочій зоні знаходяться декілька обчислювальних пристроїв для програмування та налагодження продукції що випускається. Також використовуються інші електроінструменти для монтажу елементів в корпусі та з’єднання між собою. Всі ці електронні прибори створюють електромагнітне випромінювання.

По природі виникнення небезпечних та шкідливих факторів їх поділяють на категорії:

– біологічні з підвищеним вмістом мікроорганізмів в повітрі та хімічні з підвищеним вмістом шкідливих речовин;

– фізичні, що представляють високі чи низькі рівні температури повітря, високу запиленість чи загазованість повітря;

– психофізіологічні пов’язані з розумовим та нервово-емоційним перевантаженням.

Враховуючи невелике приміщення та умови праці для робітника, можна зробити висновок відносно найбільш значимих аспектів що впливають на роботу персоналу. Найбільшу небезпеку можуть становити: ураження струмом при використанні електричних приборів; погана

ергономічність робочого місця; недостатнє освітлення чи погана вентиляція хоч і не здаються дуже значимими, проте це не так, адже також є причиною проявів хвороби пов'язаних з зором чи імунітетом працівника відповідно.

Як вже зазначалось, електрика становить одну з найбільших небезпек при виробництві електронних приладів в невеликому приміщенні.

Електроживлення електрообладнання в приміщенні з ПК відбувається за допомогою мережі змінного струму 220 Вольт та частотою 50 Герц. Згідно з вимогами «ПУЕ», електрообладнання в приміщенні з ПК, характеризується як електроустановки до 1000 В, виходячи з цього, за вимогами глави 1.7 «ПУЕ», величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення з ПК має не перевищує – 4 Ом при будь-якій порі року. В нашому випадку опір в робочій кімнаті склав 3,5 Ом. В приміщені присутні вимикачі, пристрої заземлення контуру.

Для зменшення небезпеки при експлуатації електронних пристроїв, всі вони мають заземлення та використовують систему TN через що потрапляють в категорію I захисту від ураження струмом.

Живлення приладів відбувається за допомогою спеціального кабелю з подвійною ізоляцією, трифазною проводкою а сам кабель має чотири жили. Вся електропроводка розміщена в спеціальних протипожежних коробах. Всі розетки знаходяться на висоті одного метра від підлоги, а вимикачі на висоті 1,2 метри. Все живлення вмикається та вимикається рубильником. Данні міри електробезпеки цілком відповідають міжнародному стандарту CE для побутових приладів

Відповідно до ДСТУ 7237:2011 «СИСТЕМА СТАНДАРТІВ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА», були розроблені заходи для підтримання електробезпеки. [17]

Щоб запобігти ураження електричним струмом працівника при виконанні робочих завдань, необхідно використовувати наступне:

– персональні розетки на кожне робоче місце з електронно обчислювальною машиною;

– захисне заземлення;

– триполюсні вилки та розетки для підключення електронних пристроїв з заземленням;

– мережевий фільтр з підключеними до нього блоками живлення всіх електронних пристроїв;

– шунтуючий конденсатор під’єднаний на дріт заземлення для боротьби з високочастотними перешкодами в випадку підключення декількох пристроїв в однин мережевий фільтр;

– ізольована підлога за допомогою лінолеуму;

– спеціальний провід на загальному контурі для ліквідації проблеми з різницею потенціалів.

Перед початком роботи та через певний період повторно повинен проводитись інструктаж персоналу з правил технічної безпеки при використанні електроустановок. Особи що не пройшли відповідний інструктаж не мають права приступати до роботи з використанням електроінструментів.

3.2 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Згідно з вимогами ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» та МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» були прийняті правила та норми поведінки працівника на робочому місці при роботі з

обчислювальною технікою з охопленням аспектів щодо гігієни праці та виробничої санітарії.

Робота всіх працівників в більшу частину робочої зміни проходить за одним робочим місцем та сидячи. Специфіка робочого процесу не передбачає тяжких фізичних навантажень та має тип операторської роботи який входить в категорію 1а. Робочі місця кожного працівника персональні для кожного та постійні. Оскільки робота може проводитись в різні пори року, то потрібно підтримувати один оптимальний мікроклімат.

Відповідно до ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» для забезпечення правильних повітряних характеристик в робочому приміщенні, приймаємо наступні параметри мікроклімату: в холодну пору року температура повітря від 22 °С до 24 °С з відносною вологістю від 40% до 60%; в теплу пору року температура повітря від 23 °С до 25 °С з відносною вологістю від 40% до 60%. Бажана швидкість повітря складає 0,1 м/с.

Розрахуємо повітрообмін по вмісту шкідливих речовин

За формулою можемо розрахувати необхідний об’єм повітря для розбавлення шкідливих речовин:

$$L = \frac{y}{A1-A2}, \tag{3.1}$$

де: L – кількість повітря за одиницю часу, необхідне для зменшення шкідливої речовини, м^3/год;

y – виділена у приміщенні за годину кількість шкідливої речовини, мг/год;

$A1$ – виділена концентрація шкідливої речовини у повітрі (≤ ГДК), мг/м^3;

$A2$ – подане в приміщення концентрація шкідливої речовини у повітрі ($A2 \leq 0{,}3$ ГДК), мг/м3 ($A2 = 0{,}3 \cdot$ А1)

$$L = \frac{12000}{50 \cdot 0{,}7} = 12000 \cdot 35 = 342{,}8 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}, \quad (3.2)$$

Розрахував повітрообмін за газовиділенням, розрахуємо кратність повітрообміну *K*:

$$K = \frac{L}{V}, \quad (3.3)$$

де *K* – кратність повітрообміну (год$^{-1}$)

L – припливне повітря (м^3/год)

V – об'єм приміщення (м^3)

$$V = a \cdot b \cdot h = 5 \cdot 9 \cdot 3{,}2 = 144 \text{ м}^3, \quad (3.4)$$

$$K = \frac{342{,}8}{144} = 2{,}3 \text{ год}^{-1}, \quad (3.5)$$

Можемо зробити висновок що протягом години необхідно три рази замінити все повітря в кімнаті для досягнення нормального мікроклімату.

Згідно з ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» існують норми рівня негативних та позитивних іонів (n- та n+ відповідно) у повітрі в робочій кімнаті де встановлена вимірювальна апаратура та високовольтні прилади. Для позитивних іонів цей рівень становить 1500-30000 (шт. на 1см^3), а для негативних 3000-5000 (шт. на 1см^3). За допомогою біполярних коронних аероіонізаторів підтримується оптимальний рівень легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі в робочому приміщенні. В разі зниження температур нижче норми в холодну пору року, використовується система водяного опалення.

Приміщення оснащене по вимогам ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», пристроями вентиляції, кондиціонування, дезодорації повітря та опалювання.

Оскільки площа кімнати складає 45 м^2, а один апарат кондиціонування типу «спліт-система» розрахований на 18 м^2 , то використовується таких три прилади. Завдяки ним забезпечується підтримка температури повітря на рівні 24°С в спекотну пору року.

Згідно з ДСН 3.3.6-039-99. «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» та ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» необхідно забезпечувати оптимальний рівень шумів та звукового тиску в октавних смугах частот на робочому місці. Оскільки при надмірному рівні шумі у працівника зменшується увага, можуть порушитись фізіологічні функції, з’явиться втома через підвищенні втрати енергії чи навіть може погіршитись мовна комутація. Отже, для підтримання оптимального рівня шумів для робочого персоналу, потрібно дотримуватись наступних пунктів:

– розмістити високовольтну апаратуру спільного використання, окремо від основного скупчення робочих місць та на максимально доступному віддаленні;

– використовувати найбільш сучасне обладнання;

– використовувати ту апаратуру, блоки живлення якої обладнані охолоджувальними вентиляторами на гумових підвісах, або тільки на радіаторному охолоджені.

Однією з причин появи професійних захворювань є постійне інтенсивне електромагнітне випромінювання підчас роботи персоналу з випробувальною та вимірювальною технікою. Данна техніка за визначенням потрапляє. в 5-й діапазон що представляє низькі частоти. Для зниження шкідливого випромінювання від моніторів, потрібно використовувати сучасну техніку основану на технології рідких кристалів.

Відповідно з вимогами регламентованими в ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» прийняті відповідні дії по забезпеченню якісного освітлення робочого приміщення персоналу. Приміщення має природне освітлення яке надходить з вікон, та доповнене штучним, щоб компенсувати слабе природне освітлення, спричинене погодними умовами чи іншими факторами. Таким чином в робочому приміщені освітлення суміщене. Коефіцієнт природного освітлення в середньому становить 1,1% згідно з ДБН В.2.5-28:2018 . Для запобігання відблисків та для постійності в освітленні, робочі місця розташовані таким чином, щоб робітнику в поле зору не потрапляли світильники чи світло відбивні поверхні. [18]

3.3 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Найбільша загроза для електронних приладів в робочій кімнаті – це пожежа. Оскільки через пожежу може бути знищено велику кількість майна, а це в свою чергу спричинить високі матеріальні втрати.

Пожежа може бути спричинена різноманітними факторами: несправне електрообладнання (кабель чи розетка),коротке замикання, порушення правил пожежної безпеки чи використання не справного електроустаткування.

Періодично проводять профілактичні інструктажі, для того щоб персонал знав правила поведінки при пожежі, міг запобігти небезпечні ситуації та в разі необхідності знав як безпечно локалізувати та ліквідувати джерела поширення пожежі.

Робоча кімната, де проводиться виготовлення та налагодження приладу, згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень,

будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», відноситься до категорії «П-IIа». Клас можливості виникнення пожежі «А» та «Е». згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

Категорія виробництва по вибухопожежній небезпекі – «Г», а вогнетривкості споруди – III. Для ліквідації пожежі на початковому етапі, персонал застосовує первинні засоби пожежогасіння.

Робоче приміщення має площу 45 $м^2$, то згідно з вимогами п. 3.8 розділу «Типові норми належності вогнегасників» ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги» для того щоб загасити електроустановки, які під напругою, потрібно мати 1-2 вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 та порошковий ВП-3 (один вогнегасник з вогнегасною речовиною 3 кг. і більше, на 20 $м^2$ площі приміщення). Відстань між вогнегасником та місцем можливого загоряння не має бути більше 15 м.

Евакуаційні виходи потрібно мати вільними та легкодоступними. При прийнятті на роботу та протягом всього терміну перебування робітника на підприємстві, необхідно проводити інструктаж та тестування знань на пожежну безпеку.

Людина, відповідальна за протипожежний стан робочого приміщення, повинна не рідше одного разу на місяць перевіряти працездатність протипожежних систем, таких як автоматичне вимкнення системи вентиляції та вогнедимозатримувальних пристроїв. Ремонт обладнання повинен проводитись в безпечних умовах, щоб вірогідність пожежі звести до можливого мінімуму.

Щоб попередити виникнення пожеж та правильно реагувати на їх появу, необхідно дотримуватись таких правил і заходів:

– мати шляхи евакуації при виникненні пожежі;

– проводити обов'язковий інструктаж персоналу з питань охорони праці;

– мати системи автоматичної пожежної сигналізації з димовими пожежними оповіщувачами;

– забороняти залишати без нагляду електричну апаратуру, що використовується;

– забороняти користуватися груповими розетками на горючій панелі;

– забороняти використовувати килими та доріжки із синтетичних матеріалів;

– забороняти застосовувати електронагрівальні побутові прилади;

– забороняти ставити на вікна глухі грати;

– розмістити схеми евакуації людей при пожежі і ознайомити з нею персонал;

В разі пожежі, персоналу необхідно:

– вжити заходи щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;

– негайно зателефонувати за номером телефону – 101 та повідомити службу порятунку про пожежу;

– вжити заходи гасіння пожежі з використанням вогнегасників.

– В свою чергу керівник при виникненні пожежі повинен:

– переконатись що викликані рятувальні служби;

– відключити електроенергію в приміщенні;

– перевірити чи людей оповіщено про пожежу;

– забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у гасінні пожежі;

– організувати евакуацію працівників;

– забезпечити пожежно-рятувальним підрозділам безперешкодний доступ до місця виникнення пожежі.

Захисні споруди призначені для захисту людей від наслідків аварій і стихійних лих та дії зброї масового ураження. Споруди захисту розрізняють за:

– місцем знаходження – метрополітен, у гірських виробках, вбудовані, відокремлені;

– захисними властивостями – найпростіше укриття як відкриті щілини і перекриті, або протирадіаційні укриття (ПРУ) сховища;

– призначенням – для захисту населення, розміщення органів управління, вузла зв'язку чи для медичних закладів;

– терміном будівництва – швидко зведені чи завчасно.

Щілини – це самі масові захисні споруди, що захищають людей від уламків зруйнованих будинків, ударної хвилі, світлового випромінювання, понижують дію проникаючої радіації та вибуху. Вони можуть бути збудовані у самий коротший термін.

Щілини бувають перекритими і відкритими.

Перекриті, повністю захищають від світлового випромінювання, від проникаючої радіації у 200-300 разів, а від ударної хвилі у 1,5 рази. Вона надійно захищає від осколкових і кулькових бомб, від запалювальних засобів.

Відкриті щілини в 1,5-3 рази зменшують ймовірність ураження ударною хвилею, а також знижують вплив світлового випромінювання і проникаючої радіації.

Щілини будують в ґрунті у вигляді вузьких ровів зі зломами під кутом 90-120^{o}. Довжина прямого відрізка не більше 15 м. Глибина від 1,8 до 2,0 м. Ширина зверху від 1,1 до 1,3 м. , а на дні 0,8 м. Стінки щілини укріплюють різноманітним наявним матеріалом (жердинами чи дошками).

Вхід роблять у перекритті щілини з однієї або двох сторін з дверима і тамбуром для вентиляції де встановлюють витяжну коробку.

Місткість щілини від 10-50 чоловік. Робиться один вхід, а за необхідності, при більшій місткості може бути два входи.

Протирадіаційні укриття (ПРУ) – це споруди що забезпечують захист людей від дії іонізуючого випромінювання, при радіоактивному зараженні місцевості, для перебування в них протягом 1-2 доби.

До ПРУ відносяться, крім спеціально збудованих споруд, також підпілля, овочесховища чи погреби чи навіть звичайні житлові будівлі. Якщо вони розраховані на 50 і більше чоловік, то улаштовується не менше двох входів в протилежних кутах укриття, а ширина входу від 1 до 1,80 метрів. В приміщені забивають вікна, зайві двері та насипають шар гнуту на перекриття. Також замуровують щілини, тріщини, отвори у стінах і стелях. Приміщення, які пристосовуються під ПРУ, повинні бути забезпечені опаленням, вентиляцією, освітленням і каналізацією. Норма води для однієї людини складає 25 літрів на добу. Встановлюють лавки для відпочинку та стелажі для продуктів харчування.

Сховища ЦО – це споруди, що забезпечують комплексний захист людей від дій отруйних та сильнодіючих отруйних речовин, ядерного вибуху, бактеріальних засобів, а також обвалів будівель і високих температур.

Воно обладнане комплексом інженерних споруд, які забезпечують необхідні умови життєдіяльності: фільтровентиляційна камера, шлюзові камери, медична кімната, санітарно побутові відсіки, захисні герметичні двері, основне приміщення для людей, аварійний вихід, комора для продуктів харчування.

По місцю знаходження, сховища бувають відокремленими та вбудованими у підвалах будинків. Також сховища бувають: малі (150-300 чол.), середні (300-600 чол.) та великі (більше 600 чол.).

За сигналами ЦО, населення укривається у захисних спорудах. Заходити до них необхідно швидко, організовано та без паніки. В кожній групі призначають старшого. У сховище потрібно приходити зі своїми продуктами харчування, засобами індивідуального захисту органів дихання та з документами. Забороняється приносити з собою громіздкі речі, які мають сильний запах, а також брати легкозаймисті речі чи приводити тварин. Всі у сховищі зобов'язані виконувати розпорядження чергового по сховищу. Не можна шуміти, курити чи виходити назовні без дозволу коменданта. [19]

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У результаті дослідження різних типів датчиків гігрометра було розроблено багатофункціональний прилад для вимірювання параметрів мікроклімату на базі Arduino Nano. Проведено аналіз сенсорів вологості, встановлено доцільність комбінованого використання датчиків DHT11 та SEN0193 для забезпечення стабільної роботи в широкому температурному діапазоні (0–120 °C).

Розроблено електронну схему, корпус, програмне забезпечення з функцією автоматичного перемикання датчиків і передачею даних.

Пристрій є бюджетним, адаптивним і придатним для побутового, промислового та наукового застосування з можливістю подальшої модернізації.

Результати роботи були представлені на XVIII університетській науково-практичній конференції студентів аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2025», що проходила 14-18 квітня 2025 року (Додаток В).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Заблоцький В. О. Електроніка: навчальний посібник. Львів: ЛНУ, 2019. 310 с.
2. Брюханова Н. М., Чумаченко С. М. Метеорологія, кліматологія та агрометеорологія: підручник. Харків.: ХНАУ, 2012. 56 с.
3. Опис можливостей плати Arduino Nano українською мовою. URL: https://robotclass.ru/articles/arduino-nano-opys-ta-mozhlyvosti/. (дата звернення: 1 квітня 2025 року)
4. Офіційна документація Arduino Nano. URL: https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoNano. (дата звернення: 12 квітня 2025 року)
5. Огляд основних сенсорів для Arduino. URL: https://itvdn.com/ua/blog/article/sensors-for-arduino. (дата звернення: 9 квітня 2025 року)
6. Гринь А. С. Сенсори та датчики у вимірювальній техніці. Київ: НаУКМА, 2020. 198 с.
7. Гузій С. М. Програмування мікроконтролерів AVR. Київ.: Основа, 2020. 180 с.
8. Практика використання датчиків температури та вологості з Arduino. URL: https://uartlib.org/arduino/127-vymiryuvannya-volohosti-i-temperatury.html. (дата звернення: 5 квітня 2025 року)
9. Інформація про сенсор SEN0193. URL: https://embedded.org.ua/articles/sen0193-vysokotemperaturnyy-sensor-volohosti. (дата звернення: 6 травня 2025 року)
10. Технічні характеристики та використання DHT11. URL: https://sted.com.ua/blog/sensor-dht11-ta-yogo-zastosuvannya/. (дата звернення: 4 травня 2025 року)

11. Базилевич В. Д. Основи побудови вбудованих систем. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. 228 с.
12. Дяченко С. І. Системи збору і обробки даних. Харків: УІПА, 2017. 212 с.
13. Литвиненко О. П. Теорія автоматичного керування та мікропроцесорна техніка. Київ.: КПІ, 2022. 304 с.
14. Бондаренко В. В. Мікроконтролери в системах автоматики. Київ: Либідь, 2019. 96 с.
15. Шевченко Ю. І. Мікроконтролери в автоматизованих системах. Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. 284 с.
16. Остапчук А. М. Прилади для контролю мікроклімату в технологічних середовищах. Чернівці: ЧНУ, 2021. 225 с.
17. ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці електробезпека».
18. ДСТУ ISO 45001:2019 «Системи управління охороною праці та безпекою здоров’я. Вимоги та настанови щодо застосування».
19. Кодекс цивільного захисту України (Затверджено Законом України №5403-VI від 02.10.2012.

ДОДАТКИ

Додаток А

Код програми для тестування датчиків DHT11, DS18B20, SEN0193 та MH-RD:

```
//DS18B20
#include <OneWire.h>//підключення бібліотеки
#include <DallasTemperature.h>//підключення бібліотеки
//лінія даних підключена до цифрового виходу 10 Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 10
//настройка об'єкта oneWire для зв'язку з будь-яким пристроєм OneWire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
// передати посилання на oneWire бібліотеці DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);
// адреси двох термо-датчиків DS18B20
uint8_t sensor1[8] = { 0x28, 0xD4, 0xF5, 0x07, 0xD6, 0x01, 0x3C, 0xE5 };
uint8_t sensor2[8] = { 0x28, 0x35, 0x06, 0x95, 0xF0, 0x01, 0x3C, 0xB0 };

//SEN0193
const int suho = 642; // низ датчика 61% вологості
const int nesuho=282; //датчик занурений в воду

//DHT11
#include "DHT.h" //підключення бібліотеки для роботи з датчиком
#define DHTPIN 2 //вказуємо пін до якого підключено датчик
DHT dht(DHTPIN, DHT11); // вказуємо бібліоткці модель датчика

//MH-RD
#define PIN_ANALOG_RAIN_SENSOR A1  // вказуємо що датчик на аналоговому вході A1
const int suho2 = 1012; // низ датчика 61% вологості
const int nesuho2=190; //датчик занурений в воду
```

```
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600); //відкриваємо порт для роботи з монітором порту
  sensors.begin(); // пвдключаємо датчик DS18B20
  dht.begin(); // пвдключаємо датчик DHT11
}

int masiv [21][11]={ //масив з психрометричною таблицею
{90,81,71,63,54,0,0,0,0,0,0},
{90,81,72,64,55,47,0,0,0,0,0},
{91,82,73,64,56,48,41,0,0,0,0},
{91,82,74,65,58,50,42,0,0,0,0},
{91,83,74,66,59,51,44,0,0,0,0},
{91,83,75,67,60,52,45,38,0,0,0},
{92,84,76,69,61,54,49,41,35,29,23},
{92,84,77,69,62,55,50,43,36,30,25},
{92,84,77,70,63,56,51,44,38,32,27},
{92,85,78,71,64,57,52,45,39,34,28},
{92,85,78,71,65,58,53,46,41,35,30},
{93,85,78,72,65,59,54,47,42,36,31},
{93,86,79,72,66,60,55,48,43,38,33},
{93,86,79,73,67,61,56,49,44,39,34},
{0,86,80,73,67,61,57,50,45,40,35},
{0,86,80,74,68,62,57,51,46,41,36},
{0,87,80,74,68,63,58,52,47,42,38},
{0,87,81,75,69,63,59,53,48,43,39},

{0,87,81,75,70,64,59,54,49,44,40},
{0,87,81,76,70,65,60,55,50,45,41},
{0,88,82,76,70,65,61,55,51,46,42}
};
int Col; //номер стовбця
int Row; //номер колонки

void loop(void)
{
  delay(5000);//затримка 5 секунд перед наступним циклом
  //DS18B20
sensors.requestTemperatures(); //запит температур з датчиків
Serial.print(sensors.getTempC(sensor1));//друк в монітор порту данних з першого датчика
Serial.print(" ");// пробіл для розмежування показань
Serial.print(sensors.getTempC(sensor2));//друк в монітор порту данних з другого датчика
//призначаємо перемінній "Tsuxoy" данних з першого секнсора
 float Tsuxoy=sensors.getTempC(sensor1);
    //призначаємо перемінній "Tvlagniy" данних з другого секнсора
    float Tvlagniy=sensors.getTempC(sensor2);
    float dT=(Tsuxoy-Tvlagniy); //знаходимо дельту
    //округлюємо та мінус температура початкова таблиці
    Row = round(Tsuxoy)-20;
    Col = round(dT)-1; //округлюємо та мінус 1 через нумерацію з нуля
  int H=masiv[Row][Col]; //присвоєння змінній "H" значень з масиву психрометричної таблиці
  Serial.print(" ");// пробіл для розмежування показань
  Serial.print(H);//друк в монітор порту отриманої вологості
  Serial.print(" ");// пробіл для розмежування показань

  //SEN0193
  int sensorV=analogRead(A0); //зчитуємо покази з датчика
  int vologaProcent=map(sensorV,nesuho,suho,100,61); //покази в відсотках
    Serial.print(analogRead(A0));//друк данних датчика SEN0193
    Serial.print(" ");// пробіл для розмежування показань
    Serial.print(vologaProcent);
    Serial.print(" ");// пробіл для розмежування показань
```

```
  //DHT11
   float h = dht.readHumidity(); //вимір вологи
  Serial.print(h); //друк в монітор порту вимірів DHT11
  Serial.print(" ");// пробіл для розмежування показань

  //MH-RD
int sensorV2 = analogRead(PIN_ANALOG_RAIN_SENSOR); // Зчитуємо дані з аналогового входу
int vologaProcent2=map(sensorV2,nesuho2,suho2,100,61); //покази в відсотках
    Serial.print(sensorV2); // Виводимо аналогове значення в монітор порту
    Serial.print(" ");// пробіл для розмежування показань
    Serial.println(vologaProcent2);//друк в монітор порту вимірів MH-RD в відсотках
}
```

Додаток Б

Код програми для роботи готового приладу:

```
#include <LCD_1602_RUS.h> //бібліотека для роботи з дисплеєм
#include <Wire.h> //бібліотека для роботи з I2C інтерфейсом
LCD_1602_RUS lcd(0x27, 16, 2); //налаштування дисплею

//DS18B20
#include <OneWire.h>//підключення бібліотеки
#include <DallasTemperature.h>//підключення бібліотеки
//лінія даних підключена до цифрового виходу 10 Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 10
//настройка об'єкта oneWire для зв'язку з будь-яким пристроєм OneWire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
// передати посилання на oneWire бібліотеці DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);
// адреса термо-датчика DS18B20
uint8_t sensor1[8] = { 0x28, 0xD4, 0xF5, 0x07, 0xD6, 0x01, 0x3C, 0xE5 };

//SEN0193
const int suho = 659; // близько 20% вологи
const int nesuho=650; // 45% вологості

//DHT11
#include "DHT.h" //підключення бібліотеки для роботи з датчиком
#define DHTPIN 2 //вказуємо пін до якого підключено датчик
DHT dht(DHTPIN, DHT11); // вказуємо бібліоткці модель датчика

void setup(void){
  sensors.begin(); // пвдключаємо датчик DS18B20
  dht.begin(); // пвдключаємо датчик DHT11

  Wire.begin();
  lcd.init();   // ініціалізація дисплею
  // друк повідомлення на дисплей
  lcd.backlight();
   lcd.clear();//очистка дисплею
  lcd.setCursor(2, 0);
  lcd.print(L"ЗАВАНТАЖЕННЯ");
  lcd.setCursor(3, 1);
  lcd.print(L"(^.^)");
}

void loop(void){
  delay(5000);//затримка 5 секунд для точності показів

 //DS18B20
sensors.requestTemperatures(); //запит температур з датчиків

  if (sensors.getTempC(sensor1)< 50){
  //DHT11
  lcd.clear();//очистка дисплею
   float h = dht.readHumidity(); //вимір вологи
```

```
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(2, 0);
  lcd.print( String("")+"Темп. "+sensors.getTempC(sensor1)+"°C");//дисплей
  lcd.setCursor(3, 1);
  lcd.print(String("")+"Волога "+h+"%"); //дисплей
}
else{
  //SEN0193
  lcd.clear();//очистка дисплею
  int sensorV=analogRead(A0); //зчитуємо покази з датчика
  int vologaProcent=map(sensorV,nesuho,suho,45,20); //покази в відсотках

     lcd.backlight();
  lcd.setCursor(2, 0);
  lcd.print( String("")+"Темп."+sensors.getTempC(sensor1)+"°C");//дисплей
  lcd.setCursor(3, 1);
  lcd.print(String("")+"Волога "+vologaProcent+"%"); //дисплей
}

}
```

Додаток В

SCI-CONF.COM.UA

GLOBAL TRENDS IN SCIENCE AND EDUCATION



PROCEEDINGS OF I INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE FEBRUARY 10-12, 2025

KYIV
2025

ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ НА БАЗІ ARDUINO NANO

Тимофєєв Костянтин Сергійович,
здобувач освіти кафедри електроніки,
інформаційних системи та програмного забезпечення
Небеснюк Оксана Юріївна,
к.т.н., доцент, доцент кафедри
електроніки, інформаційних системи та програмного забезпечення
Інженерний навчально-науковий інститут
ім. Ю. М. Потебні
Запорізький національний університет
м. Запоріжжя, Україна

Актуальність. Сучасні тенденції в екології, автоматизації та забезпеченні здорового способу життя висувають високі вимоги до параметрів мікроклімату в приміщеннях. Мікроклімат значно впливає на комфорт, продуктивність праці, здоров'я людей, а також на збереження продукції та матеріалів у різних галузях, таких як: сільське господарство, складське господарство, медицина тощо.

Традиційні прилади для вимірювання параметрів мікроклімату часто є дорогими, громіздкими або мають обмежені функціональні можливості. До того ж, їх інтеграція з сучасними системами автоматизації часто потребує додаткових витрат на адаптацію та сумісність.

У зв'язку з розвитком технологій «Інтернету речей» (IoT) та доступністю апаратної платформи Arduino Nano, з'явилася можливість створення недорогих, універсальних та компактних приладів для вимірювання ключових параметрів мікроклімату. Arduino Nano є ідеальним вибором завдяки своїй малій вазі, розміру, низькому енергоспоживанню та широкому вибору сумісних датчиків.

Таким чином, розробка приладу для вимірювання параметрів мікроклімату на базі Arduino Nano є актуальною та перспективною задачею, яка відповідає викликам сучасного світу. Його використання дозволить здійснювати оперативний моніторинг параметрів середовища в реальному часі,

50. ***Ковальчук В. С.*** МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЧИННИКІВ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ 250
51. ***Козар Л. М., Кузьмяк Н. В.*** УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ВІДВАЛОМ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ 253
52. ***Козир А. В., Небеснюк О. Ю.*** ПРИСТРІЙ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ВТРАТ ТЕПЛА ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ 255
53. ***Кротюк О. І., Дворкін Л. Й.*** АНАЛІЗ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ТА РЕГРЕСІЙНОЇ МОДЕЛЕЙ ВОДОВІДДІЛЕННЯ ТАМПОНАЖНОГО ЦЕМЕНТУ, ЩО ВРАХОВУЮТЬ ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ 258
54. ***Кунанець Н. Е., Павлів І. І.*** РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ МЕДИЧНИХ ПОСЛУГ НА БАЗІ BIG DATA 263
55. ***Лужанська Г. В., Сорокопуд М. М., Шилов Д. О., Ігнатенко Д. С., Рак О. В.*** ЗАСТОСУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА У СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ 269
56. ***Марценюк Є. В.*** ДОСЛІДЖЕННЯ СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ ВИКЛЮЧЕННЯМИ ПРИ ПОБУДОВІ ХМАРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ 273
57. ***Мороз Л. Б., Селінний Є. М.*** ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІДИН ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРИВУ ПЛАСТА 279
58. ***Сайчук О. В., Скофенко С. М., Сліпченко М. В., Каліберда Л. М.*** ДО СКЛАДАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ РУХУ ДВОМАСОВОЇ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИ НЕСТІЙКОМУ РУСІ 283
59. ***Самофал З. В., Ніконова З. А.*** ТЕРМОСТАБІЛІЗАТОР З РОЗШИРЕНИМ ФУНКЦІОНАЛОМ 287
60. ***Семенцов В. К., Цапар В. С.*** ЗАСТОСУВАННЯ RFID-ІДЕНТИФІКАЦІЇ В ПРОМИСЛОВОСТІ 291
61. ***Терновий М. І., Білик А. С., Дауров М. К.*** ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ СТАЛЕВИХ ФЕРМ ПОКРИТТЯ З УРАХУВАННЯМ ДІЇ ІМПУЛЬСНОГО ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ 294
62. ***Тимофєєв К. С., Небеснюк О. Ю.*** ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ НА БАЗІ ARDUINO NANO 299

забезпечити локальний або віддалений доступ до даних через IoT-технології, зменшити витрати на обладнання завдяки використанню доступних компонентів і інтеграцію в розумні системи керування будинками.

Мета. Розробка компактного, енергоефективного, точного, зручного у використанні та бюджетного приладу для вимірювання температури, вологості повітря та освітленності на базі Arduino Nano.

Матеріали та методи./Materials and methods. Гігрометр (чи вологомір) – це прилад для вимірювання вмісту вологості в повітрі. На початку 2000 років найпоширенішими пристроями для вимірювання вологи були волосяні гігрометри та психрометри (рис. 1). З розвитком технологій все більше популярності отримують електронні гігрометри, принцип роботи яких заснований на вимірюванні величини ємності або опору, що змінюються під дією вологи. Спеціалісти також використовують оптичні конденсаційні датчики вологи, ціна та складність конструкції яких набагато вища від попередніх приладів.

Волосяний гігрометр має діапазон робочих температур від мінус 35 до плюс 45 °С. Принцип його дії полягає в властивостях людської волосини змінювати свою довжину під впливом вологи. Волосся повинне бути обезжиреним та під'єднаним до стрілки, яка рухається по відповідній шкалі для відображення вологості. Чим більше вологість, тим довшим стає волосся та сильніше відхиляється стрілка пристрою.



Рис. 1. Популярні типи гігрометрів [1].

Психрометричний гігрометр має малий діапазон робочих температур, через особливості своєї конструкції. Залежно від моделі пристрою, діапазон становить від 0 до 50 °С. Принцип дії полягає в вираховуванні різниці показів двох термометрів. Один термометр вимірює температуру навколишнього середовища. Другий, хоч і знаходиться поруч з першим, але огорнений в вологу тканину, яка його охолоджує. Знаючи температуру середовища та різницю показів датчиків, скориставшись психрометричною таблицею, можна дізнатись виміряний відсоток вологи. На точність вимірів сильно впливають багато факторів: швидкість повітря, що обдуває термометр; чистота води та тканини, що огортає термометр; атмосферний тиск.

Ємнісний датчик вологості має діапазон робочих температур, що відрізняється залежно від способу його виробництва, та в середньому складає від 0 до 85 °С. Принцип його будови нагадує конденсатор з повітряним зазором, або ще й з діелектриком в цьому повітряному зазорі, який змінює свою діелектричну проникність під дією вологи. Також існують ємнісні тонкоплівкові гігрометри, що мають структуру двох гребінчастих електродів.

Резистивний датчик вологості має просту конструкцію, який дозволяє використовувати його при досить високих температурах. Так є варіант виготовлення підкладки, на яку нанесені два електроди, поверх яких наносять матеріал з низьким опором (наприклад, оксид алюмінію), який при поглинанні вологи змінює свій опір [2].

Принцип роботи оптичного конденсаційного гігрометра полягає в знаходженні точки роси (ТР). Всередині приладу знаходиться дзеркальце, на яке світить лазерний промінь. Відбиваючись від дзеркальця, промінь потрапляє на фоторезистор.

Для пошуку ТР, дзеркальце підігрівають чи охолоджують. При знаходженні ТР дзеркальце запотіває, що, в свою чергу, збиває лазерний промінь. Пристрій фіксує це та в подальшому намагається стабілізувати даний стан. На основі температури середовища, при якій дзеркальце запотіло, пристрій може зробити розрахунок відсотку вологості.

Висновки./Conclusions. На базі апаратної платформи Arduino Nano авторами запропоновано прилад, що для забезпечує ефективне вимірювання таких параметрів мікроклімату як: температура, вологість, освітленість. Основними компонентами є сенсори для вимірювання ключових параметрів мікроклімату: для визначення температури та вологості використовується датчик DHT22; для вимірювання рівня освітленості застосовуються спеціалізований модуль BH1750, що забезпечує цифровий вихід для зручності інтеграції.

Дані, отримані з сенсорів, у реальному часі виводяться на LCD-дисплей. Для живлення приладу може використовуватися акумулятор або USB-з'єднання, що забезпечує гнучкість у виборі джерела енергії.

Програмна частина, за допомогою середовища розробки Arduino IDE, реалізована на мові програмування C++ і забезпечує обробку даних з сенсорів, вивід інформації на дисплей та, за необхідності, передачу до зовнішніх пристроїв. Подальша модернізація розробки спрямована на інтеграцію з бездротовими модулями (Wi-Fi, Bluetooth) для віддаленого моніторингу та збереження даних у хмарному середовищі.

ЛІТЕРАТУРА./REFERENCES

1. Автоматизація процесів керування мікрокліматом житлових приміщень. URL: https://surl.li/atmjtx (дата звернення: 23.01.2025)
2. Сучасні проблеми в радіоелектроніці, телекомунікаціях. URL: https://surl.li/kiauoz (дата звернення: 23.01.2025)