

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**МЕТЕОРОЛОГІЧНА СИСТЕМА НА ОСНОВІ
МОДУЛІВ ARDUINO**

**METEOROLOGICAL SYSTEM BASED ON
ARDUINO MODULES**

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи КІз-41
Мосійчук Ігор Валерійович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Терлецький Тарас Володимирович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
« 06 » червня 2025 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Т. Терлецький

« 10 » 01 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Мосійчуку Ігорю Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Метеорологічна система на основі модулів Arduino

Керівник роботи к.т.н., доцент Терлецький Тарас Володимирович

затвержені наказом закладу вищої освіти від «04» січня 2025 року № 11/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 10.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області та різні інтернет-ресурси технічного спрямування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ, технічна характеристика та службове призначення об'єкту розроблення, аналіз існуючих аналогів метеорологічних систем, обґрунтування теми кваліфікаційної роботи бакалавра та постановка задачі на проектування, розробка функціональної схеми метеорологічної системи, конструювання зовнішнього та базового блоків системи, Практична реалізація системи на програмному рівні, висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

набір слайдів презентації кваліфікаційної роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Аналітичний стан предметної області</i>	<i>Терлецький Т.В., доцент</i>		
<i>Техніко-економічне обґрунтування</i>	<i>Терлецький Т.В., доцент</i>		
<i>Проектування метеорологічної системи</i>	<i>Терлецький Т.В., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Лавренчук С.В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>		_____%	
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Міскевич О.І., ст. викладач</i>		

7. Дата видачі завдання 10.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми, аналіз предметної області та наявних рішень</i>	до 10.02.2025 р.	Виконано
2.	<i>Розробка функціональної схеми метеорологічної системи</i>	до 10.03.2025 р.	Виконано
3.	<i>Розробка зовнішнього та базового блоків системи</i>	до 25.04.2025 р.	Виконано
4.	<i>Висновки</i>	до 28.04.2025 р.	Виконано
5.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	до 30.04.2025 р.	Виконано
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	до 05.05.2025 р.	Виконано
8.	<i>Представлення остаточного варіанту кваліфікаційної роботи керівникові</i>	до 10.05.2025 р.	Виконано
9.	<i>Нормоконтроль</i>	до 15.05.2025 р.	Виконано
10	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 30.05.2025 р.	Виконано
11.	<i>Здача кваліфікаційної роботи та всіх супровідних документів на кафедру</i>	до 10.06.2025 р.	Виконано

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Мосійчук І.В.

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Терлецький Т.В..

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Мосійчук І. В. Метеорологічна система на основі модулів Arduino. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

У даній роботі в першому розділі подано основні технічні характеристики та службове призначення проекрованої метеорологічної системи. Також проведено аналіз існуючих різновидів таких систем та їх функціональних можливостей і характерних особливостей. Здійснено порівняльний аналіз існуючих аналогів, встановлено їх переваги та недоліки. Визначено основні вимоги до проекрованої системи та обґрунтовано доцільність її впровадження.

У другому розділі розроблено функціональну схему метеорологічної системи і описано принцип її роботи. Також здійснено вибір та обґрунтування необхідних функціональних модулів Arduino, розглянуто принцип їх побудови. Розроблено схеми підключення цих модулів до мікроконтролерів зовнішнього та базового блоків.

Третій розділ присвячений питанням практичної реалізації системи на програмному рівні. Описано особливості програмування мікроконтролера Arduino Pro Mini для керування роботою датчиків, модуля BMP180, датчика відносної вологості та температури повітря DHT22, радіомодулів nRF2401 до Arduino Pro Mini та Arduino Mega.

Ключові слова: метеорологічна система, мікроконтролер, блок, схема підключення, програмування, радіомодуль.

ANNOTATION

Mosiiychuk I. V. Meteorological system based on Arduino modules.

Qualifying work of a bachelor of EP Computer Engineering specialty 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, a references.

In this work, the first section presents the main technical characteristics and service purpose of the designed meteorological system. An analysis of existing varieties of such systems and their functional capabilities and characteristic features is also carried out. A comparative analysis of existing analogues is carried out, their advantages and disadvantages are established. The main requirements for the designed system are determined and the feasibility of its implementation is justified.

In the second section, a functional diagram of the meteorological system is developed and the principle of its operation is described. The necessary Arduino functional modules are also selected and justified, and the principle of their construction is considered. The schemes for connecting these modules to the microcontrollers of the external and base units have been developed.

The third section is devoted to the issues of practical implementation of the system at the software level. The features of programming the Arduino Pro Mini microcontroller for controlling the operation of the sensors, the BMP180 module, the DHT22 relative humidity and air temperature sensor, and the nRF2401 radio modules for the Arduino Pro Mini and Arduino Mega are described.

Keywords: meteorological system, microcontroller, unit, connection scheme, programming, radio module.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	7
1.1 Технічні характеристики та службове призначення об'єкту розробки	7
1.2 Аналіз існуючих аналогів метеорологічних систем	7
1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи бакалавра та постановка задачі на проектування.....	21
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ РЕАЛІЗАЦІЇ	23
2.1 Розробка функціональної схеми метеорологічної системи	23
2.2 Конструювання зовнішнього блока.....	24
2.3 Конструювання базового блока	34
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ	40
3.1 Завантаження програми в плату Arduino Pro Mini	40
3.2 Програмування датчика атмосферного тиску	43
3.3 Програмування датчика відносної вологості та температури повітря DHT22	45
3.4 Під'єднання радіомодуля nRF2401 до Arduino.....	46
ВИСНОВКИ	49
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	51

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Технічні характеристики та службове призначення об'єкту розробки

Об'єктом розроблення є метеорологічна система на основі модулів «Arduino», яка повинна вимірювати кліматичні параметри навколишнього середовища такі як температура та відносна вологість повітря, швидкість вітру, атмосферний тиск та вологість ґрунту і відображати їх на дисплеї основного пристрою.

Базові технічні характеристики згідно завдання на кваліфікаційну роботу, які планується закласти в метеорологічну систему, подано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики метеорологічної системи

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювання відносної вологості повітря, %	20...100
Діапазон вимірювання температури повітря, °C	-40...+60
Діапазон вимірювання швидкості вітру, м/с	0...30
Діапазон вимірювання атмосферного тиску, мм рт. ст.	700...800
Діапазон вимірювання вологості ґрунту, %	20...95

Дану систему пропонується до застосування в фермерських чи агротехнічних господарствах для встановлення оптимальних кліматичних умов оброблення ґрунту.

1.2 Аналіз існуючих аналогів метеорологічних систем

Усі метеорологічні системи вирішують коло завдань, пов'язаних зі збором, обробкою, передачею, зберіганням, пошуком і видачою різноманітної інформації людині.

Метеорологічні системи, які призначені для одержання й обробки вимірювальної інформації із застосуванням мікроконтролера і спеціалізованого програмного забезпечення, одержали назву комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем.

Такі системи можуть об'єднувати низку модулів і перетворювачів, кожний з яких виконує свої специфічні та відносно прості функції. При цьому вони являють собою не просто поєднання незалежних модулів, а їх об'єднання у взаємозалежність, що беруть участь у спільному виконанні деякої складної функції або низки функцій. Для таких систем характерне автоматичне виконання всіх функцій, починаючи від збору інформації й закінчуючи її відображенням або введенням в ЕОМ.

Відповідно до ДСТУ 2681-94 «Інформаційно-вимірювальна система (ІВС) – це сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних, обчислювальних та інших допоміжних технічних засобів для одержання вимірювальної інформації, її перетворення, обробки з метою подання споживачеві в необхідному виді або автоматичному здійсненні функції контролю, діагностики, ідентифікації» [1].

Проектована комп'ютеризована ІВС, згідно завдання, повинна виконувати наступні функції:

- збирати необхідну інформацію про властивості об'єкта спостереження;
- обробляти її та передавати на відстань.

У подальшому інформацію про значення вимірюваних величин або про результати їхньої оброблення використовуватиметься для відповідних дій над об'єктами спостереження або накопичуватиметься з метою наступного формування тих або інших характеристик об'єктів, зведених статистичних відомостей тощо.

Кінцева мета отримання метеорологічної інформації, як правило, полягає у тому, щоб прямо або дотично сприяти активній діяльності людини.

Наша проектована ІВС має представляти вимірювальну інформацію людині у зручній формі для сприйняття – таким чином вона в остаточному

вигляді повинна бути виражена у формі, яку буде сприймана органами її чуттів – очима.

Візуальне відтворення можливе в аналоговій або цифровій формі за допомогою показуючих чи реєструючих модулів.

Модулі, що показують, застосовуються у тому випадку, коли інформація використовується людиною безпосередньо при її одержанні.

Модулі, що реєструють, застосовуються тоді, коли інформація призначається для подальшого використання. При цьому, як правило, інтерес представляє зміна вимірюваних величин у часі, так що прилади, які реєструють, видають при аналоговому відтворенні двокоординатні криві (за однією координатою – час, за іншою – вимірювана величина), при цифровому відтворенні – таблиці, у яких кожному дискретному значенню вимірюваної величини відповідає значення часу.

Якщо інформація надходить у регулюючі або керуючі пристрої, в ПОМ (комп'ютер) або в пристрої довгострокового зберігання, то вона представляється на виході ІВС у вигляді електричних сигналів – аналогових або цифрових. При цьому ті дані, які призначаються не для оперативного використання при їхньому одержанні, запам'ятовуються разом з координатами часу, що вводять у пристрої зберігання також у вигляді цифрових електричних сигналів.

Загалом розрізняють декілька різновидів ІВС: вимірювальні системи, системи автоматичного контролю, системи розпізнавання образів та телевимірювальні системи [2].

Функція вимірювальних систем полягає в одержанні кількісної інформації про значення фізичних величин шляхом прямих, сукупних, непрямих вимірів.

Функція систем автоматичного контролю полягає у встановленні відповідності між станом об'єкта й заданою нормою й у виробітку судження про даний або/чи про майбутній стан об'єкта.

За допомогою таких систем вимірюються фізичні величини, що характеризують стан об'єкта, і результати вимірів порівнюються зі значеннями, які прийняті за норму.

Функція системи розпізнання образів полягає у встановленні відповідності між досліджуваним об'єктом і заданим образом. У якості образу можуть бути «людина», «буква», «цифра», «стан об'єкта контролю» тощо.

Особливе місце серед ІВС займають телевимірювальні системи, функції яких звичайно такі ж, як у вимірювальних систем і систем автоматичного контролю. Однак вони мають істотну особливість – у них інформація про значення вимірюваних величин сприймається на відстані.

ІВС може існувати й використовуватися самостійно, але може й входити як складова частина в більшу складну інформаційну систему, що виконує збір і обробку не тільки вимірювальної, але й іншої інформації, або в керуючу систему, що виконує не тільки збір і обробку інформації, але й активний вплив на об'єкти.

Зазначимо деякі характерні особливості ІВС:

1) ІВС властива централізована структура. Інформаційні потоки спрямовані в один центральний пункт, рідше – у кілька центрів, взаємно координуваних. В ієрархічних системах керування інформація направляється спочатку в підлеглі пункти керування, а з них частина інформації або результати її обробки надходять у центральний пункт керування;

2) призначення ІВС переважно полягає в тому, щоб поставляти інформацію для активного використання в тих або інших випадках людської діяльності. Ця особливість проявляється в остаточному підсумку навіть у тих ІВС, які збирають інформацію дослідницького характеру;

3) стосовно ІВС, що збирають інформацію про велику кількість величин (наприклад, параметрів технологічного процесу), характерне використання загальних блоків, пристроїв або приладів, які по чергово передають, перетворюють, обробляють сигнали від різних датчиків. Кожний такий загальний блок обслуговує, таким чином, безліч окремих інформаційних

каналів. Системи, які містять загальні блоки, що обслуговують багато інформаційних каналів, називаються багатоканальними. Як правило, більшість ІВС є багатоканальними, як це буде і у нашій проектованій системі;

4) у тих випадках, коли інформацію доводиться передавати на значні відстані, з'являється досить складна проблема організації й раціонального використання каналів зв'язку. З одного боку, потрібно використати канали ощадливо, обходячись мінімальною їхньою кількістю при мінімальній ширині займаної ними частотної смуги. З іншого боку, потрібно забезпечувати при цьому певні характеристики швидкодії, точності й вірогідності передачі. А канали лімітують швидкість передачі, і тим сильніше, чим менше ширина їхньої частотної смуги, і наявність перешкод у каналі приводить до спотворень сигналів;

5) при побудові ІВС економіко-технічні показники мають набагато більше значення, ніж при побудові окремих вимірювальних модулів. Від правильного вибору структури ІВС часто істотно залежить її вартість й всієї системи в цілому. Наприклад, у системі, що містить первинні вимірювальні перетворювачі (давачі) з різними видами й діапазонами вихідних сигналів, потрібно приводити всі ці сигнали до одного виду й діапазону. При цьому можливі два рішення: використання індивідуальних перетворювачів або використання групових перетворювачів. Груповий перетворювач обслуговує групу однотипних, первинних перетворювачів (давачів) з однаковими діапазонами сигналів. Звичайно він складніше індивідуального перетворювача, і розробка його може скласти важке завдання. Але зате ІВС із груповими перетворювачами може виявитися дешевшою, ніж ІВС із індивідуальними перетворювачами;

б) На вибір виду й структури ІВС можуть істотно впливати певні обмеження, зв'язані зі специфікою керованих або досліджуваних об'єктів: по масі, габаритам, по вибухобезпечності, по кліматичних умовах, по виду наявного енергоживлення тощо.

В ІВС знаходять застосування різні вимірювальні перетворювачі й прилади. Серед них виділяють аналого-цифрові, цифро-аналогові перетворювачі (давачі) та цифрові. Без елементів цифрової техніки неможливо організувати ІВС у сучасному їхньому виді й різноманітності, хоча в найпростішому варіанті й можлива побудова ІВС з одних лише аналогових модулів.

Згідно завдання, наша проектована метеорологічна ІВС має побутове призначення.

Сучасний ринок таких ІВС представлений широким спектром різноманітних виробів. Їхня функціональна можливість напряду впливає на вартість.

Метеостанція LA CROSSE «WS9057IT» (рис. 1.1) – це багатофункціональна бездротова ІВС, яка має вигляд квадратної панелі-рамки «під дерево» [3]. Метеостанція складається з двох функціональних блоків: базової станції, яка встановлюється в приміщенні або на горизонтальну поверхню, або вішається на стіну та виносного блоку з метеодавачами.



Рисунок 1.1 – Метеостанція LA CROSSE «WS9057IT» [3]

На дисплеї базової станції відображається поточний час, дата, день тижня, піктограма поточної фази Місяця, значення вимірюваних температур (в

°C або °F) і вологості (у %) повітря всередині і зовні приміщення, рівень комфорту в приміщенні, короткостроковий прогноз погоди (пиктограми «ясно», «хмарно» або «дощ»), вимірюване значення атмосферного тиску, гістограма зміни атмосферного тиску за останні 24 години (табл. 1.2). При цьому користувач має можливість встановлювати рівень чутливості датчика атмосферного тиску для більш точного прогнозу погоди.

Таблиця 1.2 – Основні технічні параметри метеостанції LA CROSSE «WS9057IT»

Параметри базової станції	Значення
Діапазон вимірювання кімнатного термометра	від -9,9 до +59,9°C
Дискретність шкали/похибка термометра	0,1°C / н/д
Оновлення показів термометра	15 с
Діапазон вимірювання кімнатного гігрометра	від 1 до 99 %
Дискретність шкали/похибка гігрометра	1 % / ±3 %
Оновлення показів гігрометра	20 с
Діапазон вимірювання кімнатного барометра	н/д
Дискретність шкали/похибка барометра	н/д
Оновлення показів барометра	15 с
Наявність прогнозу погоди	є (до 12 годин)
Наявність місячного календаря	є (12 фаз)
Індикація часу сходу / заходу сонця	ні
Додаткові функції	годинник, календар, будильник, індикатор комфорту, діаграма тиску
Електроживлення базової станції	батареїка «С» (2 шт.)
Час роботи від одного комплекту батарей	до 1 року
Зв'язок з комп'ютером	ні
Розміри базової станції	190x37x190 мм
Вага базової станції	380 г
Параметри виносного давача	Значення
Діапазон вимірювання вуличного термометра	від -39,9 до +59,9°C
Дискретність шкали/похибка термометра	0,1°C / н/д
Оновлення показів термометра	4 с
Діапазон вимірювання вуличного гігрометра	від 1 до 99 %
Дискретність шкали/похибка гігрометра	1 % / ±3 % (±5 %)

Продовження таблиці 1.2

Параметри виносного давача	Значення
Оновлення показів гігрометра	4 с
Інформаційний екран на датчику	є
Передавання даних на базову станцію	радіоканал (868 МГц)
Максимальна дальність передавання даних	до 100 м
Електроживлення виносного датчика	батареяка "АА" (2 шт.)
Час роботи від одного комплекту батарей	до 1 року

У метеостанції передбачена автоматична реєстрація мінімальних і максимальних значень температури і вологості з часом і датою реєстрації, а також відображення тенденції зміни атмосферного тиску («стабільно», «росте» або «падає»). Додаткові функції – синхронізація годинника по сигналу із Франкфурта DCF-77 і будильник з функцією повторного спрацьовування сигналу. Є регулювання контрастності LCD дисплея і індикатор розряду батарей.

Метеостанція комплектується одним датчиком TX29DTH, який передає інформацію на дисплей базової станції за радіоканалом і має власний невеликий дисплей на якому відображаються вимірювані значення. При необхідності, кількість датчиків, що підключаються може бути розширено до трьох.

З аналізу технічних характеристик IBC LA CROSSE «WS9057IT» видно, що вимірювання таких параметрів як швидкість вітру, вологість та температура ґрунту не передбачено, а максимальна відстань передачі даних від зовнішніх метеодавачів становить лише 100 метрів.

Метеостанція Bresser MyTime Jumbo LCD (рис. 1.2) відображає прогноз на найближчі години [4]. Ця погодна станція дає уявлення про такі кліматичні параметри, як температура і вологість (табл. 1.3). Великий контрастний дисплей має великі кути огляду.



Рисунок 1.2 – Метеостанція Bresser MyTime Jumbo LCD [4]

Таблиця 1.3 – Технічні параметри метеостанції Bresser MyTime Jumbo LCD

Параметри	Значення
Температура повітря в приміщенні	-5° C до 50° C (23° F до 122°F)
Похибка виміру	+/- 1° C або +/- 2° F
Температура повітря зовні приміщення	-40° C до + 60° C (-14° F до 140° F)
Похибка виміру	+/- 1° C або +/- 2° F
Вологість повітря в приміщенні	20 % до 90 %
Похибка вимірювання	+/- 5 %

Дана станція здатна фіксувати зміни барометричного тиску і на підставі цих змін виводити на дисплей короткостроковий прогноз на найближчий час у вигляді барометричних символів прогнозу погоди. На дисплеї відображаються символи (ясно, мінлива хмарність, хмарно, дощ, злива).

Недоліком вище згаданої метеорологічної ІВС (при вартості 3999 гривень) є мала кількість визначення кліматичних параметрів і то лише один зовні приміщення.

Інша метеостанція «Stratos» (рис. 1.3), як і проєтована нами ІВС, є бездротовою системою. Вона здійснює передачу даних із зовнішніх датчиків на базову станцію по радіочастоті 868 МГц на відстань до 100 метрів [5].



Рисунок 1.3 – Метеорологічна ІВС «Stratos» [5]

До комплекту «Stratos» входять термо-гідро-давач, анемометр та давач дощу. На центральний блок виводяться наступні дані:

- зовнішня температура і вологість повітря;
- кімнатної температура і вологість повітря;
- абсолютний і відносний атмосферний тиск;
- прогноз погоди і тенденції зміни атмосферного тиску;
- графічне відображення зміни атмосферного тиску за минулі 24 години;
- відображення кількості опадів, швидкості і температури вітру;
- max і min –значень з датою і часом реєстрації.

Вразі різкої зміни атмосферного тиску (штормове попередження) і температури ІВС подає звуковий попереджувальний сигнал.

Діапазон вимірювання зовнішньої температури $-40...+65^{\circ}\text{C}$ ($-40...+149^{\circ}\text{F}$), кімнатної $0...+60^{\circ}\text{C}$ ($32...+40^{\circ}\text{F}$), одиниця виміру $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$, вологості 10 ... 99%.

Як і у попередніх метеорологічних ІВС у даній системі не передбачено визначення вологості та температури ґрунту, що важливо для фермерських і агротехнічних господарств.

Інша повнофункціональна бездротова ІВС моделі Davis 6162EU (рис. 1.4) містить комплект метеодавачів куди входить 24-годинний аспіраційний

вентилятор з додатковими пластинами для захисту від сонячної радіації; активний захист зменшує вплив сонячного випромінювання і, відповідно, підвищує точність вимірювання температури і вологості; вентилятор працює 24 години на день, 7 днів на тиждень живлячись від сонячної (вдень) і акумуляторної (вночі) батарей; потік аспірації (обдування) становить 2,5 м/с вдень і 1,4 м/с вночі; якщо рівень освітленості (в зимовий час, в періоди важкого хмарного покриву) недостатній для роботи вентилятора, то вентилятор зупиняється, витративши заряд акумулятора; оскільки рівень освітленості знижується, то потреба в активному захисті від сонячної радіації також зменшується [6].



Рисунок 1.4 – Метеорологічна IBC Davis 6152EU [6]

Як більш доступний варіант захисту датчиків температури і вологості можна розглянути Davis 6152EU Wireless Vantage Pro2 з Davis 7747; додаткове обладнання Davis 7747, у вигляді активного захисту зовнішнього датчика температури і вологості від впливу сонячного випромінювання, є більш простим і менш ефективним (75 % захист) рішенням; комплект включає вентилятор, сонячну батарею, додаткові радіаційні пластини щита і монтажні деталі; акумуляторної батареї немає, тому при низькому рівні освітленості (вночі) вентилятор зупиняється.

Консоль управління має п'ять режимів роботи:

- налаштування (забезпечує доступ до конфігурації і дозволяє визначити правила функціонування станції);

- поточна метеоданих (дозволяє переглядати одночасно до 10 змінних величин, а також дату, час, місячну фазу, прогноз погоди і графік однієї з обраних величин; змінювати одиниці вимірювання; видаляти, калібрувати і переміщати метеозмінні);

- максимум і мінімумів (відображає максимальні і мінімальні значення вимірюваних параметрів за день, місяць або рік);

- сигналізації (дозволяє встановлювати й відключати сигналізацію при досягненні граничних значень по всіх вимірюваних параметрах);

- графічний (за допомогою 24-х точок відображаються один або кілька досліджуваних параметрів; вибір інтервалу часу: 24 години, 24 дня, 24 місяці або 24 роки; десятки видів графіків без приєднання до персонального комп'ютера).

Вимірювання поточного атмосферного тиску давачем, вбудованим в корпус консолі і відображення тенденції його зміни за останні три години: у вигляді однієї з 5-ти стрілок (росте швидко, зростає повільно, не міняється, падає повільно або падає швидко); швидка зміна тиску означає ріст або падіння на 1,5 або більш мм. рт. ст., повільне: на 0,5 мм. рт. ст.

Збереження в пам'яті максимальних і мінімальних значень атмосферного тиску із зазначенням часу і дати реєстрації (за день, місяць і рік); побудова графіків зміни атмосферного тиску (за 15 хв., за годину; максимальних або мінімальних значень за день, за місяць); звукова сигналізація при падінні і / або зростанні атмосферного тиску.

Символьний прогноз погоди (на майбутні 12 годин: ясно, мінлива хмарність, хмарно, дощ або сніг) з удосконаленим алгоритмом на підставі показань і тенденції атмосферного тиску, швидкості і напрямку вітру, рівня опадів, температури, вологості, географічної широти і довготи, пори року; оновлення прогнозу: один раз на годину; можливе відображення прогнозу погоди на найближчі 48 годин.

Вимірювання температури повітря в приміщенні датчиком, вбудованим в корпус консолі; діапазон виміру: $0 \dots +60^{\circ} \text{C}$, точність: $\pm 0,5^{\circ} \text{C}$.

Блок метеодавачів (ISS, 6322) має два варіанти встановлення: всі давачі разом або анемометр винесений окремо на довжину кабелю або зовсім далеко (можливо до анемометра підключити блок передавача Davis 6332).

Станція оптимізована для роботи з мінімальним споживанням енергії і не потребує обов'язкового використання блоку живлення; 3 лужні батареї типу «С» забезпечують роботу консолі приблизно протягом 12 місяців; живлення блоку метеодавачів і анемометра здійснюється за допомогою сонячної і літєвої батарей.

Консоль бездротової станції Vantage Pro2 має можливість приймати інформацію про погоду максимум від 8 передавачів, існує межа кількості кожного типу датчиків: блок метеодавачів (1 шт.), блок передавача анемометра (1 шт.), станція вимірювання вологості листя, температури і вологості ґрунту (1-2 шт., в залежності від комплектації), станція збору даних про температуру (8 шт.), станція збору даних про температуру і вологість (8 шт.); використання інтерфейсу і програмного забезпечення Weather Link накладає свої обмеження на максимальну кількість додаткових датчиків температури і вологості: 3-и станції збору даних про температуру або одна станція збору даних про температуру і дві станції збору даних про температуру і вологість.

Консоль може передавати метеодані (від вбудованих і зовнішніх давачів) на інші бездротові консолі Vantage Pro або Weather Envoy 6316, може також і приймати від них інформацію про погоду.

Частота прийому/передачі: 868,35 МГц, сертифікована в ЄС мала потужність: менш 8 mW; дальність зв'язку в прямої видимості: до 300 м., при наявності перешкод відстань скорочується в рази (наявність стін скорочує відстань зазвичай до 60-120 м.); є можливість збільшити дальність зв'язку за допомогою ретрансляторів Davis 7626, 7627, 7653, 7654, в цьому випадку максимально можливу відстань в прямої видимості між консоллю і передавальним пристроєм (при ідеальних умовах) 3000 м.

Вимірювання температури і відносної вологості повітря зовні приміщення за допомогою зовнішнього датчика, розташованого в блоці метеодавачів (під дощовим колектором) в стандартному вентилярованому і екранованому корпусі, що мінімізує вплив сонячного випромінювання; діапазон виміру температури: $-40...+65^{\circ}\text{C}$, точність: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, інтервал: 10-12 секунд; діапазон виміру відносної вологості: $0...100\%$, точність: $\pm 3\%$, інтервал: 50...60 секунд.

Визначення температури точки роси (за показаннями зовнішнього датчика температури і вологості); діапазон виміру: $-76...+54^{\circ}\text{C}$, інтервал: 10 секунд.

Визначення індексу нагрівання (за показаннями зовнішнього датчика температури і вологості); індекс нагрівання – це «відчувається» температура теплого повітря: при низьких значеннях вологості випар поту вище, створюється відчуття більш низької температури, при високих значеннях вологості потовиділення сповільнюється і створюється відчуття більш високої температури; діапазон виміру: $+14...+52^{\circ}\text{C}$ (у діапазоні $-40...+14^{\circ}\text{C}$ індекс нагрівання дорівнює поточній температурі і втрачає свій сенс).

Вимірювання швидкості і напрямку вітру за допомогою анемометра Davis 7911 з довжиною кабелю 12 м. Індикація швидкості вітру за останні 10 секунд; діапазон виміру швидкості вітру: $1...68\text{ м/с}$, точність: $\pm 5\%$ або 1 м/с , інтервал: 2,5-3 секунд.

Відображення напрямку вітру із зазначенням шести домінуючих напрямків (за останні 10 хвилин) по шкалі компаса: 16 розподілів; відображення напрямку вітру (від 0° до 360°) замість індикації швидкості; точність: $\pm 7^{\circ}$; побудова графіків зміни напрямку вітру (поточне, за день, за місяць, за рік) і домінуючого напрямку вітру (середнє значення поточне, за годину; за день, за місяць).

Вимірювання кількості опадів, що випали за день або за певний період (сумарне значення з моменту останнього скидання лічильника) за допомогою дощового колектора з блоку метеодавачів; одиниці виміру: дюйми або мм.

Вимірювання кількості опадів, що випали за час дощу (з перших двох крапель до відсутності дощу протягом 24-х годин) і за добу: до 999,9 мм, за місяць (календарний) і за рік (з 1-ого числа обраного місяця): до 19999 мм, точність: +/- 4 %.

Можливість підключення до ПК при використанні інтерфейсу і програмного забезпечення: 6510USB Weather Link, при цьому погодні дані, що збираються консоллю, постануть на екрані у вигляді зручних для аналізу таблиць, графіків і діаграм; дозволяє зберігати інформацію про погоду навіть при вимкненому комп'ютері.

1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи бакалавра та постановка задачі на проектування

Оцінку доцільності впровадження чи ефективності нової розробки можна подати у вигляді порівнянні показників проєктованого з базовим (існуючим) варіантом (аналогом).

Метою техніко-економічного обґрунтування є встановлення прогресивності даного заходу – розробки метеорологічної ІВС на базі модулів «Arduino», яка дозволить визначати важливі для фермерських та агротехнічних господарств кліматичні параметри.

Проектowana метеорологічна система повинна відповідати наступним вимогам:

- отримувати інформацію від датчиків про навколишнє середовище за бездротовим зв'язком на відстані 500 і більше метрів;
- бути енергоефективною;
- визначати параметри вологості повітря та ґрунту, температури повітря, швидкості вітру і атмосферний тиск.

Проведемо порівняльну характеристику базового і пропонованого варіантів ІВС.

Базовий (аналог ІВС на базі модулів «Тройка») варіант інформаційно-вимірювальної системи може визначати ті ж кліматичні параметри, але вартість цих модулів, енергоспоживання та принцип програмування відрізняється.

У базовому варіанті винесення зовнішніх давачів було можливо на відстань до 350 м, а у проєктованому ця відстань буде суттєво збільшена – 500 і більше метрів.

Проєктований варіант передбачає скорочення витрат за рахунок застосування стандартних модулів «Arduino», які є порівняно не дорогими та менше споживають електроенергії.

Таким чином, річний економічний ефект планується отримати як у сфері виготовлення так і сфері експлуатації.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ РЕАЛІЗАЦІЇ

2.1 Розробка функціональної схеми метеорологічної системи

До складу майбутньої метеорологічної системи мають входити декілька основних модулів: первинні (зовнішні) та базовий (знаходиться у середині приміщення).

До складу зовнішніх модулів потрібно застосувати п'ять датчиків, мікроконтролер, радіомодуль і автономне джерело живлення.

Для вимірювання потрібних параметрів, зазначених у таблиці 1.1, планується застосувати наступні модулі:

- анемометр (модуль Vortex);
- атмосферного тиску (модуль BMP180);
- вологості ґрунту (модуль на основі компаратора LM393);
- відносної вологості і температури повітря (модуль DHT 22).

Ці модулі потрібно підключити до плати мікроконтролера в якості якого планується використати Arduino Pro Mini. Ця плата мікроконтролера отримуватиме інформацію з датчиків, обробляти її і подавати у потрібній формі до радіомодуля nRF2401. Останній має зовнішньою антену через яку буде надсилатися інформація до базового (основного) блоку.

В якості блока живлення зовнішніх модулів пропонується 4 Ni-Mh акумуляторні батареї ємністю 2500 mAh кожна.

Акумулятори Li-ion для нашого проекту не підходять за низки причин:

- висока вартість;
- падіння потужності за низьких температур на 40...50%.

Із урахуванням вище поданого розроблено функціональну схему системи, яку подано на рисунку 2.1.

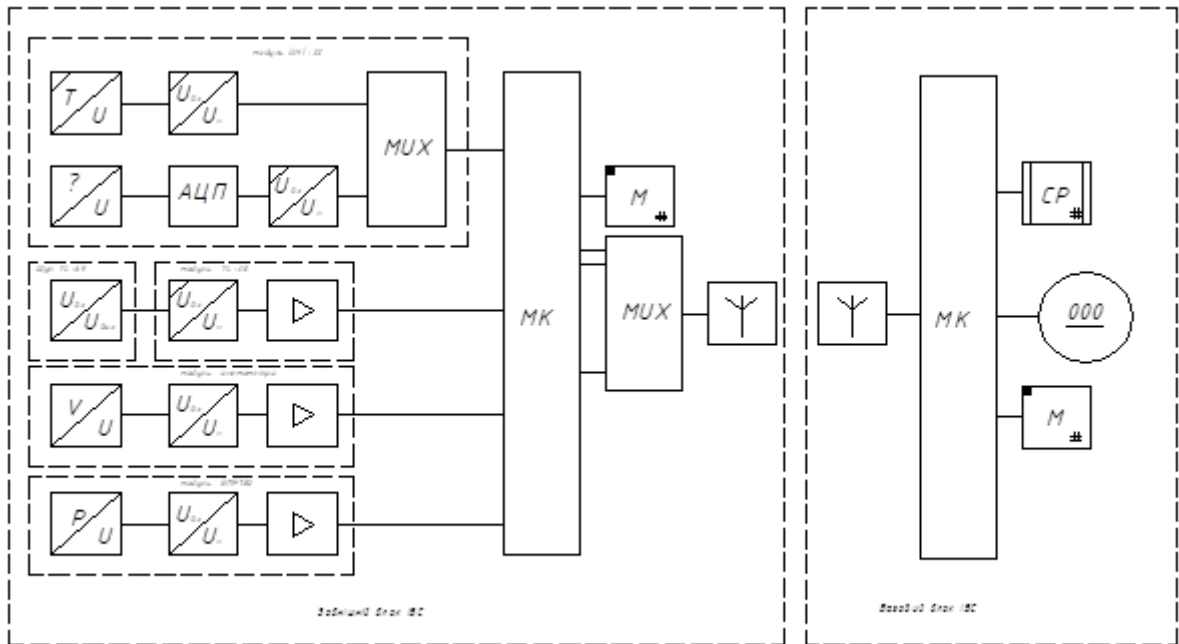


Рисунок 2.1 – Функціональна схема метеорологічної системи

Центральний блок, який планується побудувати на основі плати Arduino Mega, сприйматиме інформацію через приймач nRF24L01+, оброблятиме та виводитиме на дисплей.

Живлення центрального блока здійснюватиметься від загальної мережі 220 В через блок живлення Power Supply Module, що видає на виході 12 В, 450 mA, 5 W.

2.2 Конструювання зовнішнього блока

2.2.1 Обґрунтування вибору модуля мікроконтролера та його будова

Вибір мікроконтролера Arduino Pro Mini пояснюється його мініатюрністю у порівнянні з Arduino UNO та меншим енергоспоживанням.

Arduino Pro Mini існують двох видів:

- з напругою живлення 5 В і частотою 15 МГц;
- з напругою живлення 3,3 В і частотою 8 МГц.

Оскільки радіомодуль nRF24L01 потребує живлення 3,3 В, а швидкодія у нашому випадку не важлива, то зупиняємо свій вибір на другому виді Arduino Pro Mini на 8 МГц і 3,3 В.

Arduino Pro Mini – модуль Arduino виробництва фірми Sparkfun. Він відноситься до класу основних модулів Arduino, використовуваних при проектуванні мікроелектроніки на основі мікроконтролера ATmega368. Застосовується для проектування систем з можливістю отримання даних від різних датчиків і управління роботою різних пристроїв [7].

Arduino Pro Mini це базовий мікроконтролерний модуль з відкритим програмним забезпеченням, що дозволяє програмувати його під свої потреби. Пристрої, зібрані із застосуванням Arduino Pro Mini, можуть функціонувати самостійно або взаємодіяти з програмами, розміщеними в персональному комп'ютері.

Призначення виходів плати Arduino Pro Mini подано на рисунку 2.2.

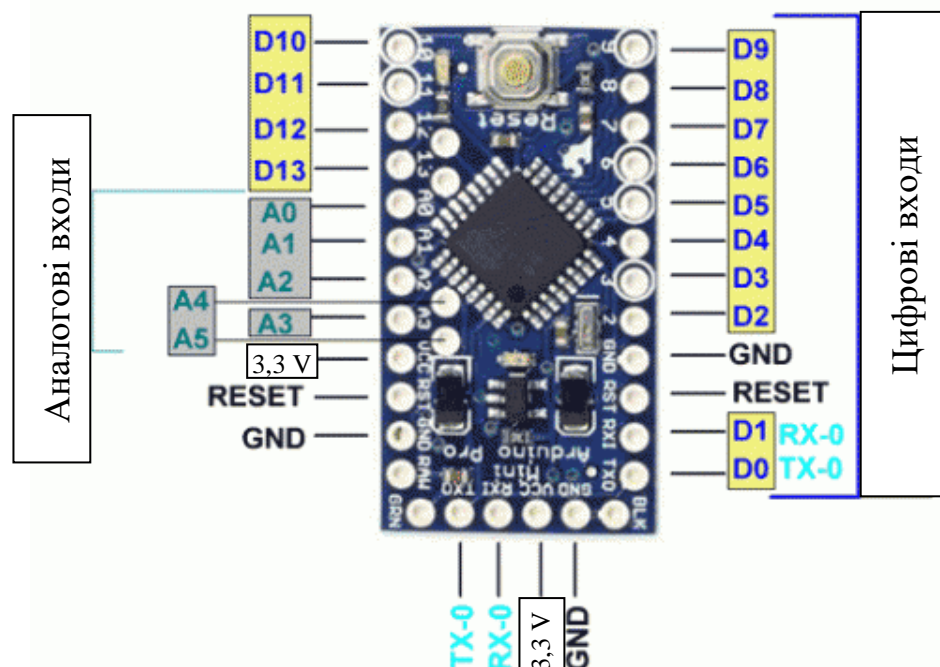


Рисунок 2.2 – Призначення пінів Arduino Pro Mini [7]

Платформа містить 14 цифрових входів і виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ, 6 або 8 аналогових входів (залежно від

модифікації) і кварцовий генератор 8 МГц. Програмується за допомогою адаптера Mini USB або будь-якого перетворювача USB або RS232 в TTL.

Плата поставляється без впаяних роз'ємів. Це дає можливість вибрати свій спосіб підключення плати: впаяти роз'єми або виконати з'єднання пайкою проводів.

Основні технічні характеристики модуля подано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики модуля Arduino Pro Mini

Тип мікроконтролера	ATmega368
Архітектура	AVR
Напруга живлення мікроконтролера	3,3 В
Тактова частота	8 МГц
Об'єм оперативної пам'яті (SRAM)	2 кБ
Об'єм пам'яті програм (FLASH)	32 кБ
Об'єм енергонезалежної пам'яті (EEPROM)	1 кБ
Дискретні входи/виходи	14 (6 можуть бути використані для генерування ШІМ сигналів)
Аналогові входи	6 або 8

Живлення модуля буде здійснюватися від стабілізованого джерела живлення (акумуляторів) через вивід VCC.

Принципова схема блока живлення Arduino Pro Mini подана на рисунку 2.3.

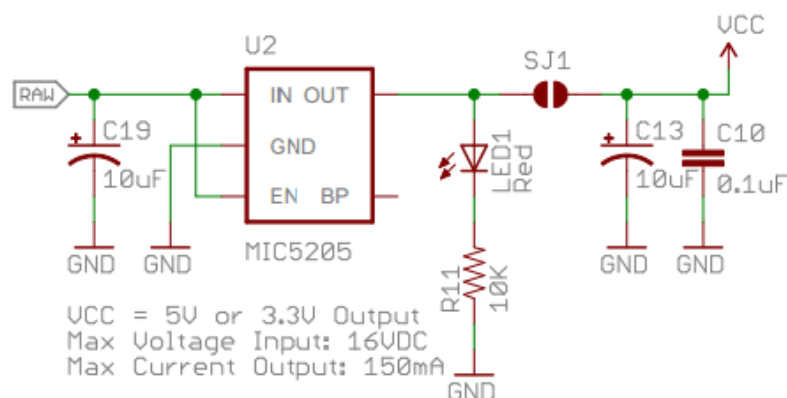


Рисунок 2.3 – Принципова схема живлення плати Arduino Pro Mini [7]

Перемичка SJ1 використовується для відключення внутрішнього стабілізатора плати в додатках з низьким енергоспоживанням.

В якості стабілізатора напруги живлення мікроконтролера використовується мікросхема MIC5205. Це лінійний стабілізатор з низьким падінням напруги.

При зовнішньому живленні плати через вивід RAW цей стабілізатор може бути використаний для живлення зовнішнього пристрою через вивід VCC. Струм споживання обмежений здатністю навантаження MIC5205 і не повинен перевищувати 150 мА. Крім того необхідно враховувати максимально-допустиму потужність розсіювання стабілізатора. Всі виходи, аналогові або цифрові, можуть функціонувати в діапазоні від 0 до 3,3 В.

Якщо на будь-який аналоговий або дискретний вхід подати напругу нижче 0 В або понад 3,3 В, то вона буде обмежено захисними діодами мікроконтролера.

Послідовний інтерфейс UART: виводи 0 (RX) і 1 (TX). Використовуються для обміну даними по інтерфейсу UART і завантаження програми в мікроконтролер з Arduino IDE. Плата не містить перетворювача інтерфейсу USB-UART. Для зв'язку з комп'ютером необхідно використовувати зовнішній конвертер інтерфейсів.

Входи зовнішніх переривань: виводи 2 і 3. До них можуть бути підключені сигнали зовнішніх апаратних переривань.

ШІМ виводи – 3, 5, 6, 9, 10 і 11. На цих виводах може бути сформований апаратним способом сигнал ШІМ. Після скидання в системі встановлюються параметри ШІМ: 8 біт, 500 Гц.

Інтерфейс SPI – виводи 10 (SS), 11 (MOSI) і 13 (SCK). Виводи апаратного послідовного інтерфейсу SPI.

Інтерфейс I2C – виводи 4 (SDA) і 5 (SCL). Сигнали апаратного інтерфейсу I2C.

Світлодіод – вивід 13. До цього виводу підключений світлодіод загального призначення. Світиться при високому рівні сигналу на виводі 13.

Аналогові входи – A0...A6. Це входи, призначені для вимірювання напруги. Розрядність АЦП 10 біт, що відповідає 1024 градаціях сигналу. Час

вимірювання близько 100 мкс. Для збереження точності вихідний опір джерела сигналу не повинен перевищувати 10 кОм.

RST – кнопка скидання програми мікроконтролера. Низький рівень призводить до перезавантаження системи. Вивід RST на 6 контактному роз’ємі має дещо інше призначення і використовується при завантаженні програми в мікроконтролер.

Мікроконтролер включений за стандартною схемою, практично всі його виводи безпосередньо підключені до виводів плати.

2.2.2 Обґрунтування вибору датчика атмосферного тиску

В якості датчика атмосферного тиску використано модуль BMP180, що являє собою барометр, чутливий елемент якого побудовано на п’єзорезистивному методі. У цьому методі використовується ефект зміни опору матеріалу під дією деформуючих сил.

Основні технічні характеристики датчика BMP180 наступні [8]:

- діапазон вимірюваних значень: від 300 гПа до 1100 гПа (від -500 м від +9000 м над рівнем моря);
- напруга живлення: від 1,62 до 5 Вольт;
- сила струму 5 мА при частоті опитування 1 Герц.

На модулі крім самого датчика встановлено лінійний стабілізатор на мікросхемі XC6206P332MR в корпусі SOT-23 (падіння напруги на стабілізаторі становить всього 250 мВ, власне споживання 1μА.)

Принципова схема модуля BMP 180 подана на рисунку 2.4.

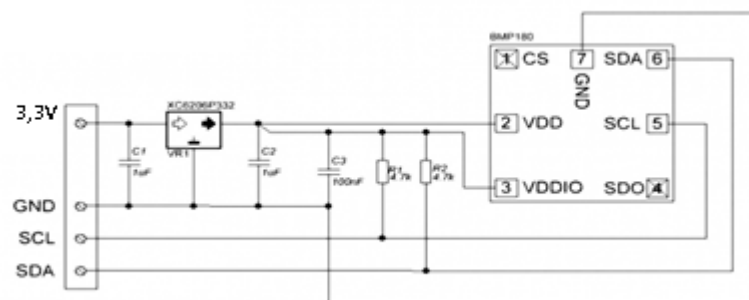


Рисунок 2.4 – Принципова схема модуля BMP 180 [8]

Конденсатори C1 і C2 на схемі це обвіс лінійного стабілізатора, а C3 – на живлення даташини BMP 180. Резистори R1 і R2 – підтяжка до живлення лінії шини I2C.

Інтерфейс давача тиску BMP 180 має 4-и виводи: VCC – напруга живлення; SDA – I2C інтерфейс (виведення даних); SCL – I2C інтерфейс (виведення тактових імпульсів); GND – загальний вивід (земля).

Сумісність виводів давача BMP 180 до модуля Arduino Pro Mini подано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розведення виводів модуля BMP 180 до Arduino Pro Mini

BMP 180	GND	VCC	SDA	SDL
Ардуіно	GND	+3V	A4	A5

Для запуску модуля BMP 180 у подальшому потрібна його бібліотека Adafruit-BMP085-Library [9]. Дана програма зчитує і виводить у відналагоджувальний порт дані тиску. Для прошивання Arduino потрібно обрати з випадяючого списку назву плати, вказати порт і натиснути Run on Arduino.

2.2.3 Принцип роботи та під'єднання давача відносної вологості і температури повітря

Давач відносної вологості та температури повітря DHT22 це два датчика в одному корпусі, результати вимірювання яких передаються на цифровий блок з аналого-цифровим перетворювачем (для датчика відносної вологості) і на виході з датчика виходить цифровий сигнал (контакт DATA) [10]. Для роботи датчика на контакт VCC подається напруга 3,3В. DHT22 має дуже низьке енергоспоживання. Датчик відкалібрований на заводі.

Основу першого давача складає полімерний ємнісний конденсатор. За його допомогою вимірюється відносна вологість повітря з похибкою не більше 2 %.

Давач температури – цифровий, побудований на базі чипа DS18B20. Він дозволяє вимірювати температуру в діапазоні від -55 до +125° С.

Чип DS18B20 цифровий термометр з програмувальним розширенням від 9 до 12-bit, яке може зберігатися в EEPROM пам'яті приладу. DS18B20 обмінюється даними по 1-Wire шині і при цьому може бути як єдиним пристроєм на лінії так і функціонувати в групі. Всі процеси на шині управляються центральним мікропроцесором.

Діапазон вимірювань від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ і точністю $0,5^{\circ}\text{C}$ в діапазоні від -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$. DS18B20 може живитися напругою лінії даних (parasite power), за відсутності зовнішнього джерела напруги.

Кожен DS18B20 має унікальний 64-бітний послідовний код, який дозволяє, спілкуватися з безліччю датчиків DS18B20 встановлених на одній шині.

Загалом послідовність операцій звернення до DS18B20 складається з декількох етапів: ініціалізація, команда ROM (пошук даних), функціональна команда DS18B20 (видача даних).

Передані дані містять як цілу, так і дробову частину цифрових даних про температуру/вологості. Загальний обсяг переданої інформації становить 40 біт: 1 і 2 байт містять відповідно цілу і дробову частину інформації про вологість, 3 і 4 байт містять цілу і дробову частину інформації про температуру і в 5 байті передається контрольна хеш-сума, яка вдає із себе останні 8 біт від складання попередніх 4 байт.

Після передачі пакета даних датчик переходить в сплячий режим, до наступного запиту з боку мікроконтролера.

2.2.4 Принцип роботи та під'єднання давача вологості ґрунту

Давач вологості ґрунту складається з двох частин – чутливого виносного елемента (контактного щупа) YL-69, дротів відведення і самого давача YL-38.

Давач YL-38 побудований на базі компаратора LM393 і видає на виході модуля два види сигналу – аналоговий та цифровий.

Компаратор являє собою пристрій, який порівнює між собою два електричних сигнали і виводить цифровий сигнал, який вказує на збільшення

одного вхідного сигналу над іншим. Компаратор має два аналогових входи і один цифровий вихід.

Компаратор, як правило, побудований на диференціальному підсилювачі з високим коефіцієнтом посилення. Компаратори широко використовуються в пристроях, які вимірюють і оцифровують аналогові сигнали, наприклад, в аналого-цифрових перетворювачів (АЦП).

Тут задіяна одна частина LM393 (IC1), яка функціонує в якості комутатора напруги. Опорна напруга на вході інвертується (вивід 2 IC1) і встановлюється за допомогою багатооборотного потенціометра (P1). Коли аналогове значення, що вводиться в неінверсний вхід (вивід 3 мікросхеми IC1) від чутливого елемента буде виходити за встановлений пороговий рівень, з IC1 буде виходити цифрове значення для активізації чи дезактивації виконавчого пристрою.

Зелено-світлодіод (LED1) виконує функцію індикатора включення живлення, а червоний світлодіод (LED2) вказує на робочий стан ланцюга чутливого елемента.

Аналоговий сигнал (pin A0 на платі давача YL-38) призначений для передачі інформації на блок Arduino (рис. 2.5). У цьому випадку між двома електродами давача створюється невелика напруга. Якщо ґрунт сухий, а опір великий то струм буде меншим, якщо ж земля волога – опір менший, а струм – більший. За підсумковим сигналом визначається вологість ґрунту в %.

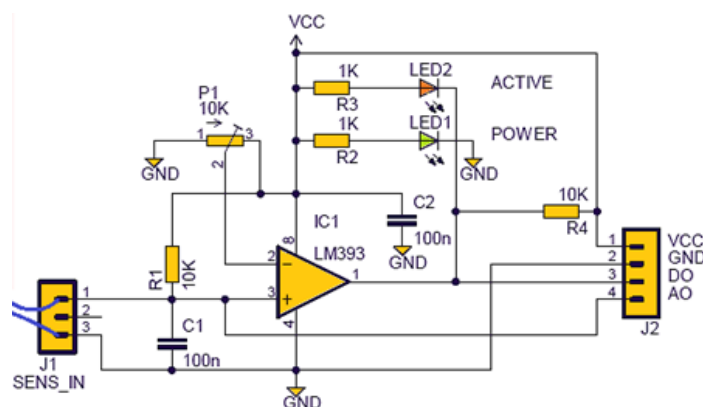


Рисунок 2.5 – Принципова схема давача YL38

Цифровий сигнал (pin D0) призначений для керування зовнішніми пристроями без блока Arduino, хоча і його можна використати і разом з цим блоком замість аналогового – приєднавши до відповідного цифрового піна блока мікропроцесора. У цьому випадку можна буде тільки вмикати чи вимикати зовнішній пристрій (наприклад полив) коли на виході буде видавати логічну 1 (грунт вологий) чи 0 (сухий).

Оскільки нас цікавить рівень вологості ґрунту в % – використовуємо аналоговий вихід давача.

Отже, вивід давача YL-38 VCC з'єднуємо з піном плати Ардуіно 3,3 В, вивід GND – з GND, а аналоговий вивід A0 – з відповідним піном A0 плати.

2.2.5 Принцип роботи та під'єднання анемометра

Усередині анемометра знаходиться контролер, який відсіває перешкоди і видає надійний, підсилений, доступний для вимірювань сигнал. При цьому між зміною швидкості вітру і появою сигналу затримка становить всього 1 секунду.

Електронна начинка сенсора захована всередину водонепроникного корпусу. Роз'єм шнура живлення і сигналу теж водонепроникний. Сам анемометр зроблений з металу. Все це дозволяє використовувати сенсор під відкритим небом.

Підключення анемометра потрібно здійснювати у відповідності до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розведення дротів анемометра

Колір дроту	Призначення (вивід на Ардуіно)
Червоний	Живлення «+» (3,3 V)
Чорний	Живлення «-» (GND)
Жовтий	Інформаційний аналоговий сигнал –(A1)
Синій	Не використовується

Анемометр видає на виході аналоговий сигнал. Швидкість вітру вираховується шляхом множення отриманої вихідної напруги на коефіцієнт 6, що прописується у кодї програми.

2.2.6 Принцип роботи та під'єднання радіомодуля nRF2401

Зустрічаються декілька різновидів розведення друкованої плати і відповідно розпінування підключення відрізняється. Для збільшення максимальної відстані існують також радіомодулі з підсилювачем і зовнішньою антеною.

Модуль функціонує на частоті 2.4 ГГц і підтримує швидкість передачі до 2М bps. Радіоканал радіомодуля може обмінюватися інформацією в обидва напрямки.

Заявлена виробником дальність до 1100 метрів при швидкості 250 кбіт, при 1 Мбіт – 750 метрів, а при швидкості 2 мбіт – 520 метрів. Це цілком нас влаштовує.

Принципова схема цього модуля подано на рисунку 2.6.

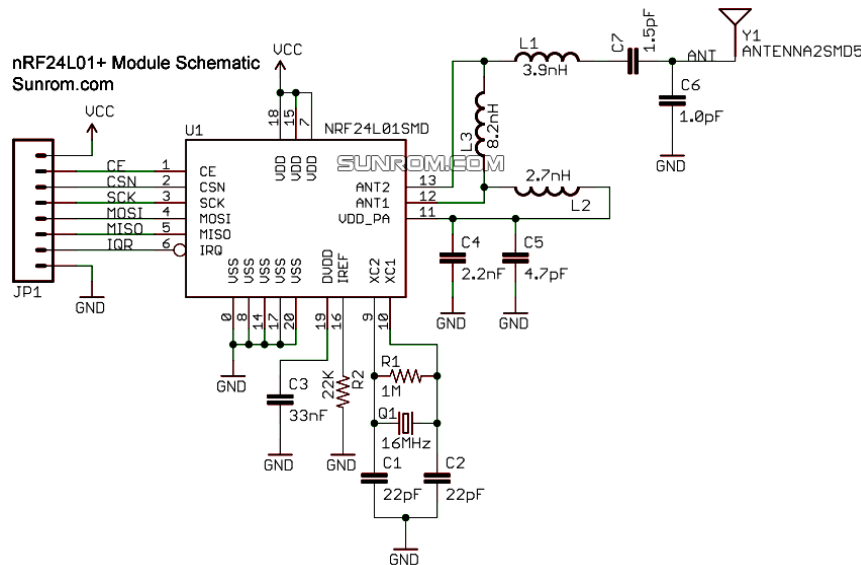


Рисунок 2.6 – Принципова схема радіомодуля nRF24L01

Онову модуля складає мікросхема nRF24L01+. Вона містить: синтезатор частоти, підсилювач потужності, генератор, демодулятор, модулятор та інші частини, що утворюють багатофункціональний трансивер. Зв'язок відбувається в діапазоні частот 2,4-2,4835 ГГц. Частота, на якій будуть функціонувати модулі, визначається номером каналу. Вони мають крок 1 МГц. Каналу 0 відповідає частота 2,4 ГГц, каналу 76 частота 2,476 ГГц. При швидкості

250 Кбіт зв'язок можливий на більшій дистанції. У режимі прийому даних RX споживання струму вище, ніж в режимі передачі TX. Модуль функціонує в чотирьох режимах: Power Down – вимкнений, Standby – сплячий режим, RX Mode – приймач, TX Mode – передавач. Мікросхема nRF24L01+ має функції енергозбереження.

Модуль має наступні контакти:

GND – загальний провід;

VCC – живлення 3,3 V;

CE – керує радіо інтерфейсом. В режимі приймання «прослуховує» ефір в пошуках призначеного йому пакета, в режимі передачі короткочасний імпульс передає вміст буфера;

CSN – Chip Select Not, активний низький рівень. Якщо встановлений низький рівень, то модуль відповідає на SPI команди. Це більш важливий сигнал вибору МК ніж сигнал CE;

SCK – трактування (синхронізація) шини SPI, до 10 МГц;

MOSI – використовується для передачі даних від мікроконтролера до пристрою;

MISO – для передачі даних з пристрою в мікроконтролер;

IRQ – вихід сигналу для запиту переривання при відправці та отриманні пакету (частіше за все не використовується). Потрібний для миттєвої реакції МК для прийому нового пакета даних.

Виводи CE та CSN призначаються на будь-які вільні цифрові піни.

2.3 Конструювання базового блока

Як було зазначено у п. 2.1, центральний блок, який побудовано на основі плати Arduino Mega і розташовується у приміщенні, сприймає інформацію через приймач nRF24L01+, обробляє та виводить на дисплей.

2.3.1 Схема базового модуля мікроконтролера та призначення його виводів

В основі базового модуля лежить блок мікроконтролера Arduino Mega 2560. Він надає можливість для здійснення зв'язку з комп'ютером, ще з одним Ардуіно або іншими мікроконтролерами. Ядром плати є мікроконтролер ATmega2560, який має чотири апаратних приймача UART для реалізації послідовних інтерфейсів (с логічним рівнем TTL 5В). Мікроконтролер ATmega16U2 (або ATmega8U2 на платах версії R1 і R2) забезпечує зв'язок одного з приймачів з USB-портом комп'ютера, і при підключенні до ПК дозволяє Ардуіно визначатися як віртуальний COM-порт (для цього операційній системі Windows потрібно відповідний .inf-файл, на відміну від OSX і Linux, де розпізнавання плати в якості COM-порту відбувається автоматично). У пакет програмного забезпечення Ардуіно входить спеціальна програма SerialMonitor, що дозволяє зчитувати і відправляти на Ардуіно прості текстові дані [11].

Бібліотека Software Serial дозволяє реалізувати послідовний зв'язок на будь-яких цифрових виводах Mega2560.

Принципова схема плати Arduino Mega 2560 подана на рисунку 2.7.

Мікроконтролер має 54 цифрових входів/виходів (з яких 15 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 16 аналогових входів, 4 UART (апаратних приймачів для реалізації послідовних інтерфейсів), кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм ICSP для внутрисхемного програмування і кнопку скидання.

Для початку роботи з пристроєм досить подати живлення від AC/DC-адаптера або батарейки, чи підключити його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю. Arduino Mega сумісний з більшістю плат розширення, розроблених для Arduino Duemilanove і Diecimila.

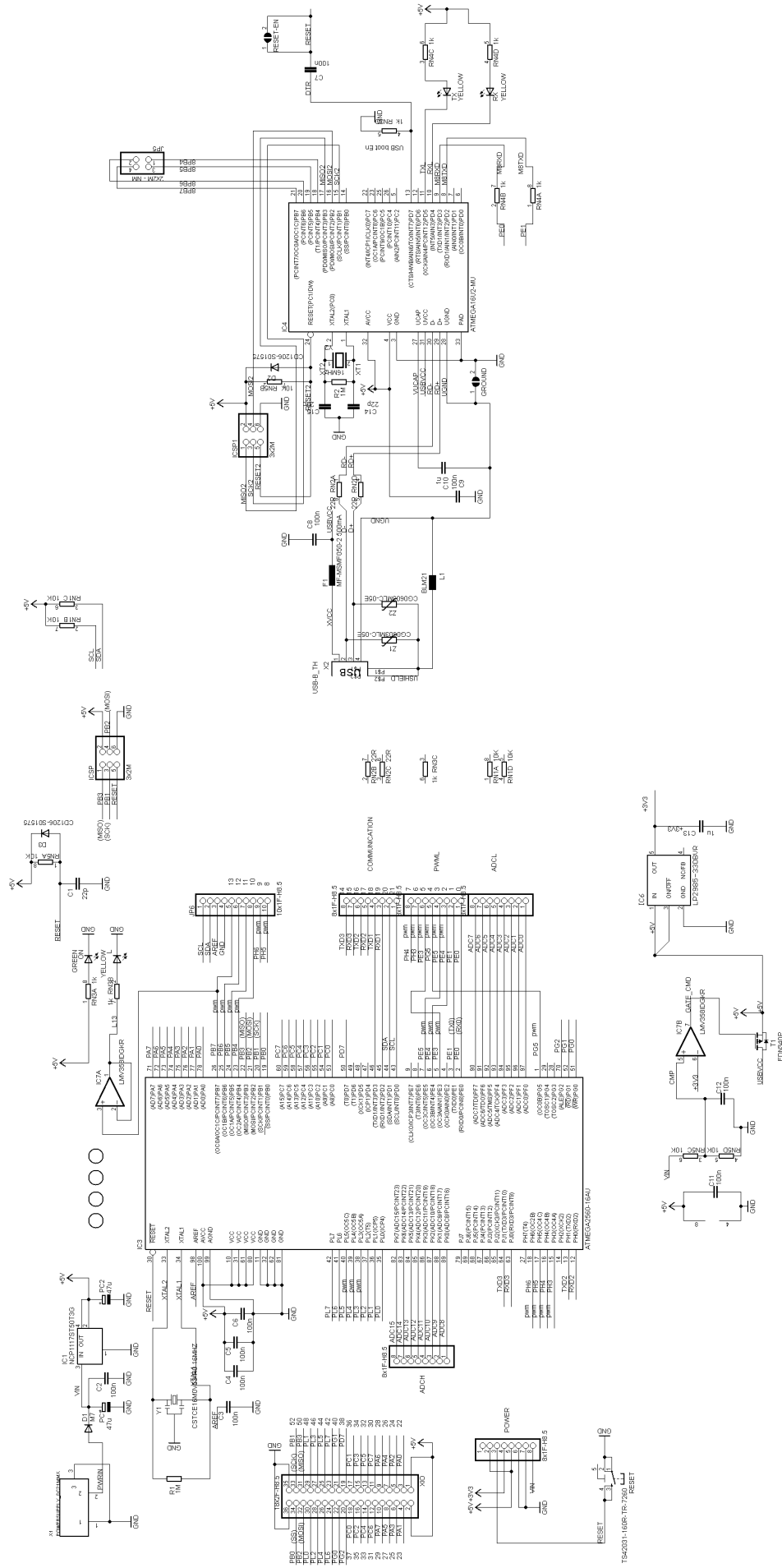


Рисунок 2.7 – Принципова схема модуля Arduino Mega 2560 [11]

Ардуіно Mega 2560 відрізняється від усіх попередніх плат тим, що в ньому для перетворення інтерфейсів USB-UART замість мікросхеми FTDI використовується мікроконтролер ATmega16U2 (ATmega8U2 в версіях плати R1 і R2). На платі Mega 2560 версії R2 доданий резистор, підтягаючий до землі лінію HWB мікроконтролера 8U2. Подібний захід дозволяє спростити процес оновлення прошивки і перехід пристрою в режим DFU.

Напруга зовнішнього джерела живлення може бути в межах від 6 до 20 В. Однак, зменшення напруги живлення нижче 7 В призводить до зменшення напруги на виводі 5 V, що може стати причиною нестабільної роботи пристрою. Використання напруги більше 12 В може призводити до перегріву стабілізатора напруги і виходу плати з ладу. З огляду на це, потрібно використовувати джерело живлення з напругою в діапазоні від 7 до 12 В.

Виводи живлення, розташовані на платі, перераховані нижче:

- VIN. Напруга, що надходить в Arduino безпосередньо від зовнішнього джерела живлення (не пов'язане з 5 В від USB або іншим стабілізованою напругою). Через цей вивід можна як подавати зовнішнє живлення, так і споживати струм, коли пристрій живиться від зовнішнього адаптера;

- 5 V. На цей вивід надходить напруга 5 В від стабілізатора напруги на платі, незалежно від того, як живиться пристрій: від адаптера (7-12В), від USB (5 В) або через вивід VIN (7-12 В);

- живити даний пристрій через виводи 5 V або 3,3 V не рекомендується, оскільки в цьому випадку не використовується стабілізатор напруги, що може привести до виходу плати з ладу;

- 3,3 V. 3,3 В, що надходять від стабілізатора напруги на платі. Максимальний струм, споживаний від цього виводу, становить 50 мА;

- GND. Вивід землі;

- IOREF. Цей вивід надає платам розширення інформацію про робочу напругу мікроконтролера Ардуіно. Залежно від напруги, зчитаної з виведення IOREF, плата розширення може переключитися на відповідне джерело

живлення або задіяти перетворювачі рівнів, що дозволить їй працювати як з 5 В, так і з 3,3 В пристроями.

До цієї плати можна під'єднати дисплей типу LCD1604, який має 4 рядка по 16 символів у кожному, для відображення метеорологічної інформації, що надходитиме з виносного модуля за радіоканалом nRF24L01+.

2.3.2 Підключення модуля nRF24L01+ до базового модуля мікроконтролера

Принципова схема даного модуля, принцип роботи і призначення його виводів описано у п. 2.2.6 даної роботи.

Принцип підключення радіомодуля до базової плати мікроконтролера подано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Підключення модуля nRF24L01+ до Arduino Mega 2560

Піни Arduino Mega	Піни nRF24L01+
3,3 В	VCC пін 2
пін D8	CE пін 3 (chip enable in)
SS пін D53	CSN пін 4 (chip select in)
SCK пін D52	SCK пін 5 (SPI clock in)
MOSI пін D51	SDI пін 6 (SPI Data in)
MISO пін D50	SDO пін 7 (SPI data out)
–	IRQ пін 8 (Interrupt output) не використовується
GND	GND пін 1 (ground in)

2.3.3 Схема підключення дисплея типу LCD1604 до базового модуля мікроконтролера

Знакосинтезуючі або символні індикатори відображають інформацію в вигляді знакомиці певної розрядності. Одне знакомище відображає один символ. Кількість знакомиць визначає розрядність індикатора. Інформація на індикаторах може виводитися в декількох рядках, тому для індикаторів такого типу завжди вказується число символів в рядку і число рядків.

Відображення інформації відбувається на рідкокристалічній матриці зі світлодіодним підсвічуванням. Підсвічування буває самих різних кольорів, що значно оживляє монохромну текстову інформацію.

Для управління рідкокристалічною матрицею і організації інтерфейсу індикатора використовується вбудований контролер HD44780 або його повні аналоги. Цей контролер визначає сигнали інтерфейсу індикатора і команди управління.

HD44780 став де-факто стандартом для символьних рідкокристалічних (LCD) дисплеїв.

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

Усі модулі керуються мікроконтролерами спеціалізованим програмним забезпеченням на мові C/C++, яке вводиться до них з Arduino IDE.

Arduino IDE являє собою безкоштовне середовище написання програм для плат Arduino. Інтерфейс Arduino IDE містить такі основні елементи як текстовий редактор для написання коду, область для виведення повідомлень, текстову консоль, панель інструментів із традиційними кнопками та головне меню. Даний софт дозволяє взаємодіяти з Arduino як передачі даних, так прошивки коду в контролер.

Програмуванню підлягають обидва блоки мікроконтролерів Arduino Pro Mini та Arduino Mega. Приклад скетчів окремих модулів наводиться нижче.

3.1 Завантаження програми в плату Arduino Pro Mini

На платах Arduino з вбудованим конвертером інтерфейсів ця операція відбувається наступним чином. Плата підключається стандартним кабелем до USB порту комп'ютера, натискається кнопка в Arduino IDE і програма автоматично завантажується в плату.

З платою Arduino Pro Mini все складніше. Нікуди підключати стандартний USB кабель.

При натисканні кнопки «Завантаження» в Arduino IDE відбувається компіляція скетчу. Про що повідомляє напис «Компіляція скетчу» в нижній частині вікна (рис. 3.1).

Потім автоматично з'являється повідомлення «Завантаження».

У цей момент Arduino IDE ініціює імпульс низького рівня на виході DTR. DTR це один із сигналів управління передачею даних COM порту. Зазвичай він формується на виході вбудованого перетворювача інтерфейсів USB-UART.

У всіх платах Ардуіно сигнал DTR підключений до виводу скидання мікроконтролера через конденсатор ємністю 0,1 мкФ. Виходить найпростіша диференціююча ланка з постійною часу 1 мс.

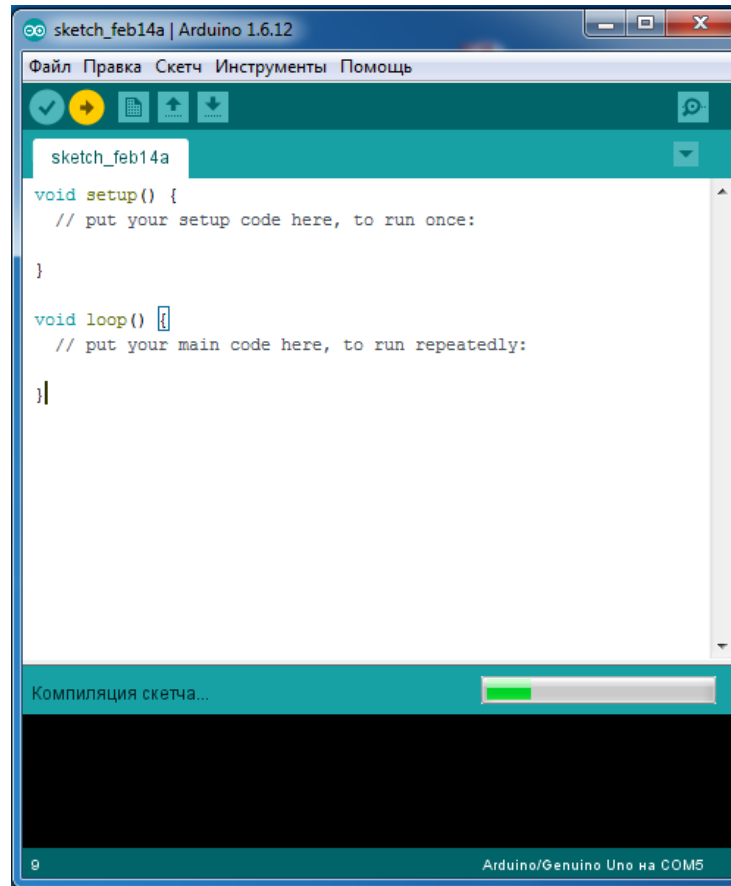


Рисунок 3.1 – Приклад компіляції скетчу

У плати Arduino Pro Mini внутрішнього конвертера інтерфейсів немає, тому сигнал DTR виведений на 6 контактний роз'єм. Схема скидання від сигналу DTR для Arduino Pro Mini виглядає наступним чином.

Незалежно від тривалості імпульсу DTR на вході «RESET» мікроконтролера буде сформований короткий імпульс для скидання (рис. 3.2).

При будь-якому скиданні мікроконтролер передає управління програмі завантажувача. Протягом приблизно 1 секунди завантажувач очікує зв'язку з комп'ютером по протоколу STK500. Якщо дані від комп'ютера надходять, то відбувається завантаження програми з Arduino IDE.

Якщо ж протягом секунди дані від комп'ютера не приходять, то управління передається для користувача програмі мікроконтролера. Так

відбувається, наприклад, при включенні живлення. Секунду плата очікує, чи не збираються в неї завантажувати дані, а потім виконується вже завантажена програма.

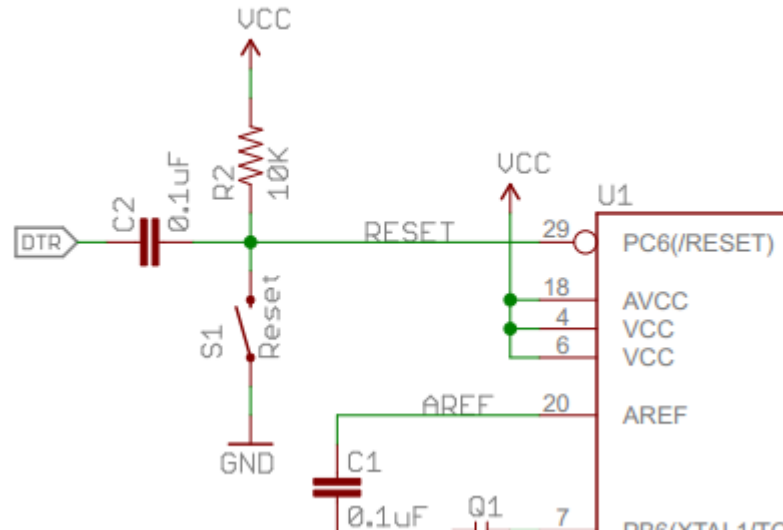


Рисунок 3.2 – Принципова схема скидання від сигналу DTR для Arduino Pro Mini

З вище сказаного випливає, що якщо плату Arduino Pro Mini підключити через повноцінний конвертер інтерфейсів з сигналами RXD, TXD і DTR, то завантаження буде відбуватися абсолютно так само, як і в інших платах Arduino з вбудованим перетворювачем інтерфейсів. Додатково можна використовувати для живлення плати сигнал 5 В інтерфейсу USB, або 3,3 В для плат з живленням 3,3 В.

Для підключення зовнішнього перетворювача інтерфейсів призначений 6 контактний роз'єм (рис. 3.3) плати Arduino Pro Mini (при необхідності його можна впаяти). Роз'єм містить всі сигнали, необхідні для завантаження програми в плату.

Треба враховувати, що на деяких платах сигнали RXI і TXO 6 контактного роз'єму можуть відповідати сигналам RXD і TXD мікроконтролера, а можуть і бути включені навпаки.

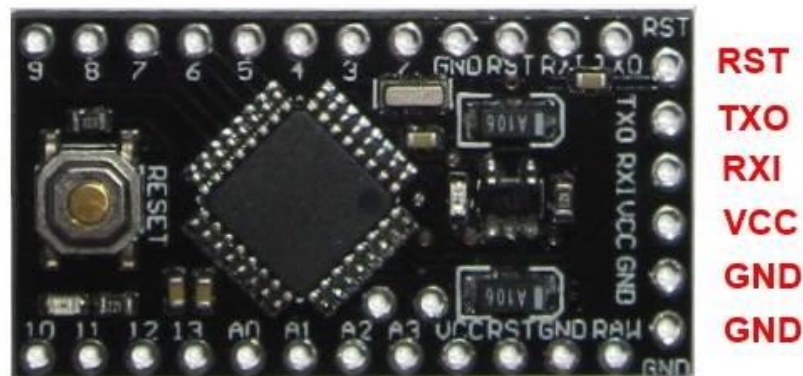


Рисунок 3.3 – Розпінування контактів для підключення зовнішнього перетворювача інтерфейсу

Потрібно враховувати, що сигнал DTR треба підключати до виводу RST саме на 6 контактному роз'ємі. Він з'єднаний з входом скидання мікроконтролера через диференційний конденсатор. На платі є ще один вивід RST. Він підключений безпосередньо до входу «RESET» мікроконтролера.

В якості зовнішнього USB-UART конвертера можна використовувати будь-який модуль, наприклад, PL2303 USB-UART BOARD або модуль CH340.

3.2 Програмування давача атмосферного тиску

Для роботи з давачем тиску нам потрібна бібліотека BMP180_Breakout_Arduino_Library [9].

Дана бібліотека попередньо встановлюється до Arduino IDE. Тепер все готово для написання потрібної програми.

У лістингу 3.1 подано програму для отримання значені температури і тиску з давача BMP180.

Процедура отримання тиску з датчика BMP180 складається з декількох етапів. У спрощеному вигляді алгоритм виглядає так:

- запит у барометра даних вбудованого давача температури;
- очікування протягом часу A, поки давач оцінює температуру;

- отримання значення температури;
- запит у барометра тиск;
- очікування протягом часу В, поки давач визначає тиск;
- отримання значення тиску;
- повертаємо значення тиску з функції.

Лістинг 3.1 – Скетч для давача тиску повітря BMP180

```

include <SFE_BMP180.h>
#include <Wire.h>

SFE_BMP180 pressure;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pressure.begin();
}

void loop(){
  double P;
  P = getPressure();
  Serial.println(P, 4);
  delay(100);
}

double getPressure(){
  char status;
  double T,P,p0,a;
  status = pressure.startTemperature();
  if (status != 0){
    // очікування заміру температури
    delay(status);
    status = pressure.getTemperature(T);
    if (status != 0){
      status = pressure.startPressure(3);
      if (status != 0){
        // очікування заміру тиску
        delay(status);
        status = pressure.getPressure(P,T);
        if (status != 0){
          return(P);
        }
      }
    }
  }
}

```

кінець лістингу 3.1

Час В залежить від точності вимірювань, яка задається в функції startPressure. Єдиний аргумент цієї функції може приймати значення від 0 до 3, де 0 – найгрубіша і найшвидша оцінка, 3 – найточніша оцінка тиску.

Завантажуємо програму на Ардуіно, і спостерігаємо потік вимірювань атмосферного тиску.

3.3 Програмування давача відносної вологості та температури повітря DHT22

Перш ніж написати скетч необхідно встановити бібліотеку, яка потрібна для роботи з давачами вологості та температури [9].

Папку з бібліотекою, яку завантажили під назвою DHT-sensor-library-master, потрібно переназвати на DHT і помістити до папки libraries, що знаходиться в корені папки Arduino IDE. Після цього необхідно завантажити наявний скетч або можна створити його.

Типовий Arduino скетч, призначений для роботи з давачем DHT22 подано на лістингу 3.2.

Лістинг 3.2 – Скетч для давача вологості і температури повітря DHT22

```
// Оголошення змінних:
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
// Ініціалізація датчика
//DHT dht(DHTPIN, DHT22);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
}
void loop() {
  delay(2000); // 2 секунди затримки
  float h = dht.readHumidity(); // Вимірюємо вологість
  float t = dht.readTemperature(); // Вимірюємо температуру
  if (isnan(h) || isnan(t)) { // Перевірка. Якщо не вдається
рахувати показання, виводиться «Помилка зчитування», і програма завершує
роботу
    Serial.println("Помилка зчитування ");
    return;
  }
  Serial.print("Вологість: ");
```

```

Serial.print(h);
Serial.print(" %\t");
Serial.print("Температура: ");
Serial.print(t);
Serial.println(" *C "); // Виведення показників на екран
}

```

кінець лістингу 3.2

Для роботи з давачем DHT22 використовують клас DHT, який містить кілька функцій:

- 1) функція DHT.begin() здійснює ініціалізацію роботи давача;
- 2) функція DHT.readTemperature(bool Scale) вимірює температуру повітря: параметри Scale можуть бути: false – температура за Цельсієм, true – температура за Фаренгейтом;
- 3) функція DHT.convertFtoC(float temp) перетворює значення температури за Фаренгейтом (temp) в температуру за Цельсієм (temp (float));
- 4) функція DHT.convertCtoF(float temp) перетворює значення температури за Цельсієм (temp) в температуру за Фаренгейтом (temp (float));
- 5) функція DHT.readHumidity() вимірює вологість повітря.

3.4 Під'єднання радіомодуля nRF2401 до Arduino

Щоб передавати інформацію від зовнішнього модуля Arduino та приймати її базовим модулем Arduino через радіомодуль nRF24L01 необхідно спочатку правильно підключити його до Arduino, а потім завантажити потрібну програму. Остання має містити код для ініціалізації радіомодуля, його налаштування та відправлення/отримання даних між передавальним та приймаючим пристроєм. У нашому випадку ми маємо два радіомодуля nRF24L01 – один передавальний, а інший приймальний.

Для роботи радіомодуля nRF24L01 можна використати RF24 бібліотеку [9]. Завантаживши та встановивши цю бібліотеку в Arduino IDE її потрібно привести для кожного модуля у свою відповідність

Для трансмітера (передавача) скетч подано в лістингу 3.3.

Лістинг 3.3 – Скетч трансмітера на базі радіомодуля nRF24L01

```

#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#define CE_PIN 9
#define CSN_PIN 10
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);
const byte address[6] = "00001";
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  if (!radio.begin()) {
    Serial.println("nRF24L01 не запускається!");
    while (1);
  }
  radio.openWritingPipe(address);
  RF24_PA_MAX
  radio.setPALevel(RF24_PA_LOW);
  radio.setDataRate(RF24_2MBPS);
  radio.stopListening();
  Serial.println("Передавач готовий до роботи...");
}
void loop() {
  const char text[] = "Привіт Arduino!";
  bool success = radio.write(&text, sizeof(text));
  if (success) {
    Serial.print("Відправлено: ");
    Serial.println(text);
  } else {
    Serial.println("Помилка відправки.");
  }
  delay(1000); // Затримка 1 секунда між відправками
}

```

кінець лістингу 3.3

Радіомодуль NRF24L01 належить до напівдуплексних пристроїв. Це означає, що одночасно він може або передавати, або приймати інформацію. Щоб забезпечити двосторонній зв'язок, наші модулі мають перемикатися з одного режиму до іншого. Оскільки, чіп може передавати дані на встановленій частоті від 2,400 до 2,525 ГГц – це означає, що доступно 126 діапазонів. Тобто крок між сусідніми каналами становить 1 МГц.

У пристрої реалізовані контрольні суми, підтвердження передачі пакетів та повторна посилка. Все це можна налаштувати. Наприклад, можна вказати, скільки разів і з якою частотою робити повторне посилання, або змінити розмір контрольної суми. Використовуючи один канал, пристрій дозволяє будувати мережі типу зірка 1:6. З мікроконтролером пристрій спілкується протоколом SPI.

Для ресивера (приймача) скетч подано в лістингу 3.4.

Лістинг 3.4 – Скетч ресивера на базі радіомодуля nRF24L01

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#define CE_PIN 9
#define CSN_PIN 10
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);
const byte address[6] = "00001";
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  if (!radio.begin()) {
    Serial.println("nRF24L01 не запускається!");
    while (1);
  }
  radio.openReadingPipe(0, address); // 0 - номер (може бути 0-5)
  radio.setPALevel(RF24_PA_LOW);
  radio.setDataRate(RF24_2MBPS);
  radio.startListening();
  Serial.println("Приймач готовий до роботи...");
}
void loop() {
  if (radio.available()) {
    char text[32] = "";
    radio.read(&text, sizeof(text));
    Serial.print("Отримано: ");
    Serial.println(text);
  }
}
```

кінець лістингу 3.4

Хоча NRF24L01 і призначений для живлення від напруги 3,3 В, але він більш коректно обробляє подачу на сигнальні піни при напрузі у 5 В.

ВИСНОВКИ

1. Для реалізації поставленого завдання потрібно два основні блоки – первинний (зовнішній) та базовий (знаходиться у середині приміщення), зв'язок між якими здійснюється через радіомодулі nRF24L01. Застосування даного типу радіомодуля дозволяє передавати сигнал на відстань до 1100 метрів.

2. В якості блока живлення зовнішнього блока доцільно застосувати 4 Ni-Mh акумуляторні батареї ємністю 2500 мАh кожна.

3. Оскільки радіомодуль nRF24L01 потребує живлення 3,3 В, а швидкодія у нашому випадку не важлива, достатньо застосувати в якості МК Arduino Pro Mini на 8 МГц і 3,3 В.

4. Вигин мембрани давача атмосферного тиску залежить від різниці між навколишнім тиском і тиском в камері, а вихідний сигнал з тензомоста залежить від тиску навколишнього середовища.

5. Цифровий сигнал (pin D0) призначений для керування зовнішніми пристроями без блока Arduino, хоча і його можна використати і разом з цим блоком замість аналогового – приєднавши до відповідного цифрового пінa блока мікропроцесора. У цьому випадку можна буде тільки вмикати чи вимикати зовнішній пристрій (наприклад полив) коли на виході буде видавати логічну 1 (грунт вологий) чи 0 (сухий). Оскільки нас цікавить рівень вологості ґрунту в % – використовуємо аналоговий вихід давача.

6. Усі давачі мають дуже низьке енергоспоживання і не потребують калібрування, оскільки вони відкалібровані на заводі, що робить систему енергоефективною.

7. Напруга зовнішнього джерела живлення базового МК може бути в межах від 6 до 20 В. Однак, зменшення напруги живлення нижче 7 В призводить до зменшення напруги на виводі 5 В, що може стати причиною нестабільної роботи пристрою. Використання ж напруги більше 12 В може призводити до перегріву стабілізатора напруги і виходу плати з ладу. З огляду

на це, рекомендується використовувати джерело живлення з напругою в діапазоні від 7 до 12 В

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення. З Поправкою (ІПС № 8-96) URL: <https://surl.lu/ryifyi> (дата звернення: 05.04.2025).
2. ДСТУ 4134-2002 Метрологія. Канали вимірювальні вимірювальних інформаційних систем та автоматизованих систем керування технологічними процесами. Вимоги до структури та змісту методик виконання вимірювань URL: <https://surl.li/thmsyg> (дата звернення: 05.04.2025).
3. Метеостанція LA CROSSE WS9057IT-O-BRA. URL: https://oz.com.ua/pr-la_crosse_ws9057it-o-bra.html (дата звернення: 05.04.25).
4. Метеостанція BRESSER MyTime Jumbo LCD Black. URL: <https://oz.com.ua/pr-meteostantsia-bresser-mytime-jumbo-lcd-black.html>. (дата звернення: 05.04.2025).
5. Метеостанція TFA Stratos. URL: <https://oz.com.ua/pr-meteostantsia-tfa-stratos.html>. (дата звернення: 05.05.2025).
6. Метеостанція Davis 6162EU. URL: <https://opticalmarket.com.ua/meteostanziya-davis-6162eu.html> (дата звернення: 20.05.2025).
7. Arduino Pro Mini 8 МГц 3,3 В. URL: <https://waslleh.com/product/arduino-pro-mini-8mhz/> (дата звернення: 20.05.2025).
8. GY-68 BMP180 датчик температури та атмосферного тиску. Сайт «Мій проект». URL: <https://myproject.com.ua/gy-68-bmp180-datchik-temperaturi-ta-atmosfernogo-tisku-ua.html> (дата звернення: 20.05.2025).
9. Бібліотека Adafruit-BMP085-Library. Сайт *GitHub*. URL: <https://github.com/adafruit/Adafruit-BMP085-Library> (дата звернення: 20.05.2025).
10. Датчик вологості та температури DHT22. Сайт *Arduino.ua*. URL: <https://surl.li/ihlltc> (дата звернення: 20.05.25).
11. Arduino Mega 2560 Rev3. Сайт *Arduino*. URL: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3> (дата звернення: 20.05.2025).

12. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 Інформаційні технології спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія денної та заочної форм навчання / уклад. С.В. Лавренчук, Н.В. Багнюк. Луцьк : ЛНТУ, 2024. 56 с.

13. ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».

14. ДСТУ 3008:2015 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення».