

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

Фізико-технічний факультет

Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Пакіж Артур Васильович

Pakizh Arthur

УДК 004:42

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Кваліфікаційна робота

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

Мобільна метеостанція з магнітним датчиком і Bluetooth каналом

Mobile weather station with magnetic sensor and Bluetooth channel

Науковий керівник:

Доцент Голота В.І.

Рецензент:

Д.ф.-м.н., Рачій Б.І.

Івано-Франківськ

2024

Формат	Поз.	Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
A4			Структурна схема метеостанції	1	
A4			Електрична принципова схема метеостанції	1	
A4			Пояснювальна записка	45	

					123.КІ-41.3			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Пакиж А.В.				Специфікація	Лім.	Арк.	Аркушів
Перевірів	Голота В.І.						2	1
Н. Контр.								
Затвердив								

АНОТАЦІЯ

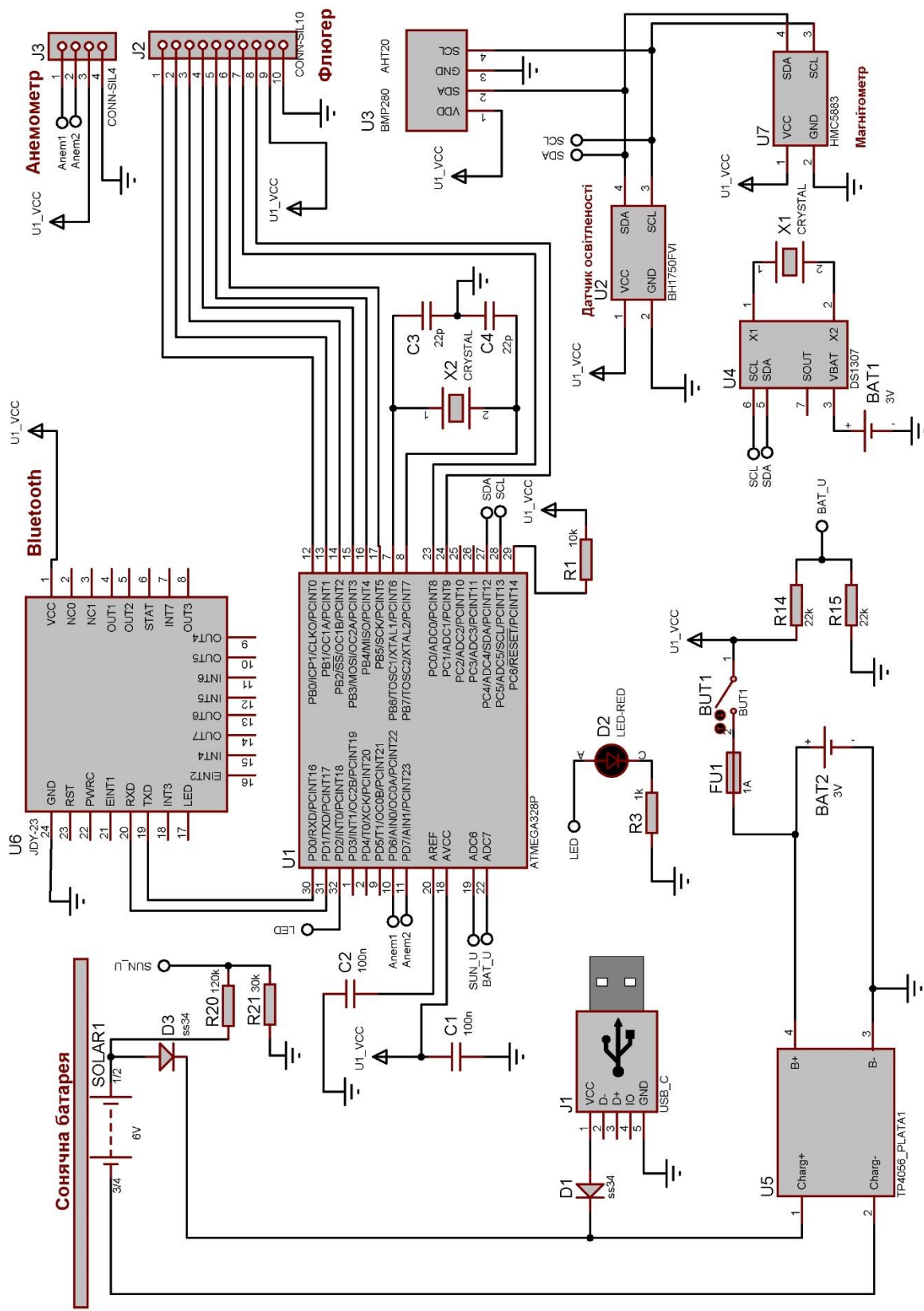
Сучасні системи моніторингу погоди часто залишаються недоступними для дрібних користувачів і місцевих громад через їх високу вартість і складність. Ця робота розв'язує важливу проблему, представляючи економічно ефективну, просту у використанні місцеву метеостанцію. Використовуючи недорогі датчики, ця метеостанція є ключовим інструментом для того, щоб зробити моніторинг навколишнього середовища більш доступним і зручним. В роботі пропонується ефективні вимірювання на місці різноманітних параметрів навколишнього середовища, таких як температура, відносна вологість, атмосферний тиск, швидкість та напрям вітру, магнітне поле землі. Станція дає можливість контролювати ці параметри віддалено. Крім того, використання станцією інтегрованої авторегресійної моделі ковзаючого середнього дозволяє складати короткострокові прогнози, важливі для застосування в сільському господарстві, транспорті та військовій справі. Запропонована автоматична метеостанція не тільки пропонує економічне рішення для моніторингу навколишнього середовища, але також має зручний безпроводний інтерфейс для безперебійного обміну даними між сенсорною платформою та кінцевими користувачами на відстань до 100 м.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Пакіж А.В.			Анотація	Літ.	Арк.	Аркушіє
Перевірив		Голота В.І.					3	1
Н. Контр.								
Затвердив								

ABSTRACT

Modern weather monitoring systems often remain out of reach for small users and local communities due to their high cost and complexity. This work solves an important problem by presenting a cost-effective, easy-to-use local weather station. Using low-cost sensors, this weather station is a key tool in making environmental monitoring more accessible and convenient. The work offers effective on-site measurements of various environmental parameters, such as temperature, relative humidity, atmospheric pressure, wind speed and direction, and the earth's magnetic field. The station provides an opportunity to control these parameters remotely and provide. In addition, the station's use of an integrated autoregressive moving average model allows for short-term forecasts that are important for applications in agriculture, transportation, and the military. The proposed automatic weather station not only offers a cost-effective solution for environmental monitoring, but also has a convenient wireless interface for seamless data exchange between the sensor platform and end users at a distance of up to 100 m.

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
Розробив		Пакіж А.В.			<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
Перевірів		Голота В.І.			4	1	
					Abstract		
Н. Контр.							
Затвердив							



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив	Пакіж А.В.			
Перевірив	Голота В.І.			
Н. Контр.				
Затвердив				

Електрична принципова
схема метеостанції

Лім.	Арк.	Аркушів
	6	1

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи

на тему:

«Мобільна метеостанція з магнітним давачем і Bluetooth каналом»

					123.KI-41.3			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розробив	Пакіж А.В.				Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Перевірив	Голота В.І.						7	75
Н. Контр.								
Затвердив								

ЗМІСТ

Вступ.....	9
Розділ 1. Вимірювання та вплив погодних факторів	13
1.1. Класичні метеофактори та їх вплив на людину та її діяльність	13
1.2. Магнітне поле землі та магнітні бурі	24
1.3. Огляд існуючих рішень та метеостанцій.....	26
Розділ 2. Концепція та компоненти мобільної метеостанції	29
2.1. Концепція та структурна схема метеостанції.....	29
2.2. Вибір мікроконтролера	30
2.3. Система безпроводного зв'язку	33
2.4. Система живлення.....	35
2.5. Розробка удосконаленого давача метеоданих.....	36
2.6. Особливості вимірювання магнітного поля за допомогою триосьових давачів.....	40
Розділ 3. Розробка мобільної метеостанції з магнітним давачем	43
3.1. Розробка електричної принципової схеми та топології плати.....	43
3.2. Розробка програмного забезпечення.....	45
Висновки.....	49
Список використаної літератури.....	50

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Моніторинг місцевого середовища є надзвичайно важливим заходом, який забезпечує кращий рівень розуміння викликів зміни клімату та як на них реагувати. Зміни навколишнього середовища зазвичай стосуються змін у природному оточенні Землі, які можуть статися через різні фактори, такі як діяльність людини, зміна клімату, стихійні лиха та інші природні процеси. Ці зміни можуть значно вплинути на навколишнє середовище та вплинути на багато сфер, включаючи екосистеми, біорізноманіття, водні ресурси та здоров'я людини [1]. Однією з основних сфер, на яку впливають зміни навколишнього середовища, є екосистеми. Також розуміння змін погоди, а відповідно і мобільна метеостанція, особливо з можливістю визначення напрямку і швидкості вітру є важливим для військових, зокрема, артилеристів.

Водні ресурси також зазнають впливу змін навколишнього середовища. Зміни температури, режиму опадів і землекористування можуть вплинути на наявність і якість водних ресурсів. Наприклад, зміна клімату може призвести до зміни режиму опадів, що може вплинути на доступність води та призвести до посух і повеней. Забруднення внаслідок діяльності людини також може забруднювати джерела води та впливати на здоров'я водних екосистем. Крім того, зміни навколишнього середовища також можуть мати значний вплив на здоров'я людини. Забруднення повітря, наприклад, може спричинити проблеми з диханням, тоді як вплив хімічних речовин та інших забруднюючих речовин може призвести до довгострокових проблем зі здоров'ям, таких як рак і репродуктивні проблеми [2]. Температура й режим опадів також можуть впливати на поширення таких захворювань, як малярія [3,4]. У результаті зміни навколишнього середовища можуть суттєво вплинути на багато сфер, включаючи екосистеми, біорізноманіття, водні ресурси та здоров'я людини.

Звернення до цих змін і робота над стійкими рішеннями є важливими для забезпечення здорової та придатної для життя планети. На жаль, існуючі рішення для моніторингу погоди обмежені високою вартістю, пов'язаною з датчиками,

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

цифровими системами, пристроями зв'язку, джерелами живлення, навченим персоналом для обслуговування та експлуатації, обмеженим покриттям і недостатнім обміном даними з громадськістю [5]. Ці обмеження заважають дрібним користувачам, таким як фермери, транспортні компанії та місцеві урядові установи, отримати доступ до надійних і доступних даних про погоду. Технологія моніторингу погоди постійно розвивається, щоб подолати ці обмеження та надати кращі рішення для користувачів.

Актуальність економічно ефективного моніторингу погоди очевидна в сучасному кліматичному ландшафті. Такий моніторинг є ключовим, особливо з огляду на виклики швидких змін навколишнього середовища та потребу в своєчасному реагуванні. Однією з важливих тенденцій у технології моніторингу погоди є бездротові сенсорні мережі, рішення, яке є доступним і ефективним [6] складаються з невеликих малопотужних датчиків, розподілених на великій території та зв'язаних із центральною базовою станцією для передачі даних [7]. Ця технологія збирає дані з високою роздільною здатністю в режимі реального часу та зменшує вартість традиційних рішень для моніторингу погоди та потреби в обслуговуванні [8].

Еволюція обміну даними, сприяла прогресу як державних, так і приватних онлайн-платформ, гарантує, що користувачі отримують інформацію в режимі реального часу, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень у різних секторах [9]. У результаті дані про погоду можна використовувати для розробки програм, які надають цінну інформацію та підтримку прийняття рішень для різних галузей промисловості.

Для комплексного вирішення складнощів екологічного моніторингу важливо розуміти різноманітність технологічних систем і методологій, що застосовуються в цій галузі:

- **Стационарні станції:** Наземні станції, які приймають і передають сигнали до і від супутників.
- **Мобільні станції:** Станції, які можуть рухатися та використовуються в системах мобільного супутникового зв'язку, таких як супутникові телефони та

					123.KI-41.3	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристрої GPS.

- **Дистанційне зондування:**Процес збору даних про Землю на відстані, зазвичай за допомогою супутників або літаків. Дистанційне зондування можна використовувати для різних застосувань, наприклад для моніторингу навколишнього середовища та картографування землекористування.
- **Спостереження Землі:**Використання супутників та інших платформ для моніторингу та вивчення поверхні Землі, атмосфери та океанів. Спостереження Землі можна використовувати для різних цілей, таких як прогноз погоди, реагування на стихійні лиха та управління сільським господарством. Місцеві метеостанції надають точні дані в реальному часі для різних застосувань, від сільського господарства до міського планування. Однак із швидкими змінами умов навколишнього середовища та зростанням складності погодних умов зростає потреба в розширених вимірюваннях та інноваційних методах моніторингу. Останні досягнення, такі як інтеграція машинного навчання з міськими автобусами, показали багатообіцяючі результати в моніторингу та прогнозуванні погоди в режимі реального часу, підкреслюючи важливість локалізованого збору даних [10]. Крім того, включення бездротових сенсорних мереж у процеси управління сільським господарством підкреслює важливість індивідуальних вимірювань на місцях для оптимізації виробництва та забезпечення екологічної стійкості [11].
- Станіонарні станції — це наземні станції, призначені для прийому та передачі сигналів із супутників. Ці станції зазвичай мають системи супутникового зв'язку, такі як супутникове телебачення та Інтернет-послуги. Станіонарні станції станіонарні і не рухаються, що робить їх ідеальними для встановлення стабільного зв'язку із супутниками та тривалих досліджень.
- З іншого боку, супутникові зображення - це фотографії Землі, зроблені з космосу за допомогою супутників. Ці зображення можна використовувати для різних цілей, наприклад для прогнозування погоди, міського планування та управління природними ресурсами.

Але цих засобів недостатньо, особливо в тому випадку коли погоду потрібно

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

знати в конкретному місці перебування. Наприклад швидко визначати поточну швидкість і напрямок вітру для розрахунку поправок при пострілі.

Основні цілі цього дослідження зосереджені навколо розробки та впровадження мобільної метеостанції з можливістю вимірювання магнітного поля землі, який пропонує економічно ефективне рішення для моніторингу навколишнього середовища, особливо для невеликих користувачів. Крім того, проектування, розробка та оцінка цієї метеостанції служать моделлю для майбутніх недорогих і ефективних систем моніторингу. Її доступність, доступність і можливості моніторингу в реальному часі можуть значно сприяти просуванню зусиль щодо сталого розвитку та пом'якшенню несприятливих наслідків зміни клімату. Комплексний підхід у проектуванні, розробці та оцінці цього пристрою містить цінну інформацію для розробки аналогічних недорогих і ефективних систем моніторингу, що в кінцевому підсумку сприяє стійкості та пом'якшенню впливу зміни клімату.

Метою роботи є розробка недорогої автономної метеостанції яка має бездротову передачу даних і мале споживати електроенергії.

Об'єкт дослідження – параметри клімату та магнітного поля землі.

Предмет дослідження – розробка структурної та принципової схеми системи моніторингу параметрів клімату та магнітного поля Землі.

Для досягнення поставленої мети в роботі визначені і розв'язані такі **завдання:**

1. Аналіз методів вимірювання параметрів клімату та магнітного поля Землі.
2. Розробка структурної та принципової електричної схеми автономної метеостанції.
3. Розробка програмного забезпечення та алгоритмів обробки даних.

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

РОЗДІЛ 1.

ВИМІРЮВАННЯ ТА ВПЛИВ ПОГОДНИХ ФАКТОРІВ НА ЛЮДИНУ ТА ЇЇ ДІЯЛЬНІСТЬ

Метеорологічні спостереження проводяться в силу цілого ряду причин. Дані такі спостереження використовуються для підготовки в режимі реального часу метеорологічного аналізу, прогнозів і попереджень про неблагоприятну погоду, для дослідження клімату, в поточній діяльності відростків економіки, залежних від погоди (наприклад, забезпечення польотів повітряних суден на місцевих аеродромах, будівельні роботи на суші і на морі), для цілей гідрології та сільськогосподарської метеорології та для проведення наукових досліджень в області метеорології та кліматології.

1.1. Класичні метеофактори та їх вплив на людину та її діяльність

Особливе значення для інструментальних вимірювань мають забезпечення та підтримку якості. Розглядаючи питання про те, як виникають похибки, зручно в якості прикладу брати температуру повітря; але при цьому важко адаптувати приведені нижче аргументи до атмосферного тиску, вітру та іншим метеорологічним величинам. У разі температури джерелами похибок при індивідуальних вимірах діють наступні фактори:

- погрешності в національних і робочих еталонах і при співставленні між ними. Ці похибки практично не можна приймати в розрахунок для метеорологічних застосувань;

- похибки, що виникають під час проведення зрівнянь між робочими еталонами, транспортними еталонами та/або еталонами перевірки та польовими приладами в лабораторіях або у польових умовах. Якщо всі дії виробляються відповідним чином, то ці похибки незначні;

- нелінійність, дрейф, повторюваність і відтворюваність у використовуваному термометрі;

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

- ефективність теплообміну між елементом термометра та повітрям у метеорологічній будці, яка повинна забезпечувати тепловий баланс між термометром та повітрям. У добре сконструйованій, вентильованій психрометричній будці ця похибка буде зовсім незначною, однак у протилежному випадку вона може бути серйозною;

- ефективність психрометричної будки, яка повинна забезпечувати рівність температури повітря всередині неї та температуру повітря, безпосередньо навколишнього будку. У добре сконструйованій будці ця похибка невелика, однак у конкретних обставинах різниця температури в ефективній і неефективній будці може досягати 3 °С і навіть більше.

- установка метеостанції, яка повинна забезпечувати її розміщення в репрезентативних температурних умовах місцевості. Значення поблизу джерел і поглиначів тепла і топографії можуть викликати значні похибки.

Термометри повинні бути захищені екраном від сонячного випромінювання. Екрани повинні бути спроектовані таким чином, щоб забезпечити огорожений простір, що має рівномірну температуру, яка є такою ж, як температура навколишнього повітря. Захист повинен повністю оточити термометри та виключати можливість впливу на них теплового випромінювання, опадів та інших явищ, які можуть викликати вплив на вимірювання. Екрани з примусовою вентиляцією, при використанні яких повітря направляється на елемент термометра за допомогою вентилятора, можуть допомогти уникнути похибок випромінювання в тих випадках, коли мікроклімат всередині відхиляється від мікроклімату навколишнього повітря. Таке відхилення виникає тільки при дуже низькій швидкості природного вітру (< 1 м/с). При використанні штучної вентиляції слід прийняти заходи, щоб запобігти охолодженню аерозолями і каплями дощу на датчик температури, під впливом яких температура, показана датчиком, знижується. В якості матеріалу для захисту підходить неокислений метал з дуже чистою відполірованою поверхнею, тому що він має високу відбиваючу здатність і низьку теплоємність. Однак краще використовувати термоізоляційний матеріал у зв'язку з нескладними вимогами до його технічного обслуговування. Якщо

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

система заснована на принципі природної вентиляції, то в обов'язковому порядку слід використовувати термоізоляційний матеріал.

Ефективність роботи захисту (реагування на вплив і мікрокліматичні фактори, ведучі до небажаних похибок вимірювання) залежить, головним чином, від її конструкцій, в яких необхідно забезпечити як захист від сонячного випромінювання, так і достатній рівень вентиляції.

У більшості різних типів жалюзійної будки використовується принцип природної вентиляції. Бажано, щоб стінки такої будки мали подвійні жалюзі. Можна знайти й інші типи конструкцій, що відповідають вищевказаним вимогам. Криша повинна бути двошарової з вентиляльованим повітряним простором між шарами. В умовах холодного клімату із-за високої відбиваючої здатності снігу (до 88%) будка повинна мати подвійну підлогу.

Розміри і конструкція будки повинні бути такими, щоб забезпечити більш низьку теплоємність, а також достатній простір між приладами і стінами. Останнє вимога виключає всю ймовірність безпосереднього контакту чутливих елементів термометра зі стінами і набуває особливу важливість у тропіках, де сонячне випромінювання може нагріти стени до такого ступеня, що викликає помітний градієнт температури в будці. Далі слід позбутися також безпосереднього контакту між чутливими елементами і кріпленням термометра. Будка повинна бути пофарбована всередині і ззовні білою негіроскопічною фарбою.

При подвійних стінах повітря між ними служить для зменшення кількості тепла, яке в протилежному випадку відбувалося за рахунок теплопровідності від зовнішньої стіни всередині будки, особливо при значній сонячній радіації. При вітрі повітря між стінами постійно змінюється і поступ тепла від зовнішніх стін всередині будки ще сильніше зменшується.

Вільна циркуляція повітря в будці сприяє тому, що температура внутрішньої стіни змінюється відповідно до змін температури оточуючого повітря. Таким чином, зменшується вплив внутрішньої стіни на температуру термометра. Крім того, вільна циркуляція повітря всередині будки здатна тому, що термометр швидше реагує на зміну температури навколишнього повітря, ніж в умовах тільки

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

радіаційного обміну. Однак повітря, що циркулює в будці, певний час контактує із зовнішніми стінами, і тому його температура може відрізнятись від температури повітря.

Конструкція психрометричної будки для розміщення датчика температури має велике значення для точності вимірювання.

Для мобільної метеостанції класична психрометрична будка є занадто великою і оптимальним у цьому випадку є поєднання всіх датчиків в єдину конструкцію, наприклад як на рис. 1.1. Психрометрична будка може бути зменшена у розмірі і розміщена в одному корпусі з датчиками швидкості і напрямку вітру.



Рис. 1.1 Варіанти конструкції вимірювальних датчиків для мобільної метеостанції.

Таку конструкцію легко можна підняти на потрібну висоту за допомогою телескопічної скловолоконної або алюмінієвої мачти, зокрема в польових умовах, наприклад, для внесення поправок при стрільбі.

Атмосферний тиск – це сила, що діє на одиницю площі поверхні, обумовлена вагою атмосферного повітря. Крім фактичного тиску, слід також визначати зміну тиску або баричну тенденцію. Барична тенденція - це характер і величина зміни атмосферного тиску за 3 години або інший конкретний період часу, що закінчується в період спостереження. Барична тенденція складається з двох частин, а саме, зміна тиску та характеристика зміни тиску. Значення баричної тенденції визначається як різницю між показниками атмосферного тиску на

					123.КІ-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

початку та в кінці зазначеного інтервалу часу. Характеристика атмосферного тиску показує, як змінювався тиск за цей період часу, наприклад, падіння, потім зростання, або зростання і потім більш швидкий зростання.

Високий атмосферний тиск або антициклон може суттєво впливати на самопочуття, особливо у людей із групи ризику. Навіть здорові люди можуть відчувати неприємні відчуття, а для деяких це може представляти реальну небезпеку. Метеочутливість зустрічається у людей усіх вікових груп, але особливо характерна для осіб похилого віку. Може виникнути головна біль, слабкість, перепади настрою, шум у вухах. Особливо чутливі до таких змін пацієнти з легеневиими захворюваннями: бронхіальною астмою, хронічними бронхітами та дихальною недостатністю. Часто при підвищенні тиску також змінюється температура повітря, підвищується рівень вологи, що ще більше затрудняє адаптацію до факторів навколишнього середовища. У пацієнтів з бронхолегеневиими захворюваннями часто втрачається дихальна недостатність. Люди з гіпотонією відзначають різкі перепади артеріального тиску, що може загрожувати транзиторною ішемічною атакою або навіть інсультом. Також при погодних змінах погіршується самопочуття у людей із серцево-судинними захворюваннями.

Як уже було показано, в умовах антициклона падає вміст кисню в повітрі, але крім того, він ще і гірше засвоюється тканинами організму. Це додатковий фактор погіршення стану пацієнтів з ішемічною хворобою серця. Люди зі стенокардією – особиста група ризику.

Вимірювання **вологості повітря**, а часто і її постійна реєстрація вимагаються в більшості областей метеорологічної діяльності. На практиці для цього використовується багато різних методів.

Відносна вологість повітря – це процентне відношення тиску наявної в повітрі водяної пари до тиску водяної пари, насиченої щодо води, при однакових значеннях температури та тиску.

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Точка роси – це температура, при якій відношення суміші вологого повітря, насиченого щодо води при заданому тиску, дорівнює заданому відношенню суміші.

Вплив вологості повітря на властивості матеріалів. Переважна більшість неорганічних і органічних матеріалів, речовин і компонентів має той чи інший ступінь гігроскопічності, тобто, мають властивість поглинати водяну пару з повітря. Для всіх пористих матеріалів існує певна залежність між кількістю поглиненої ними вологи (так званою гігроскопічною вологістю) та відносною вологістю навколишнього повітря. Максимальна гігроскопічна вологість матеріалів відповідає максимальній 100% вологості повітря.

Небажане підвищення гігроскопічної вологості матеріалів призвести до: збільшення ваги та (або) обсягу (зміни щільності); зміни електричної провідності; зміни теплопередачі та тепловіддачі; перебігу хімічних реакцій; зміни якості продукту; зміну ефективності процесу; зміни в'язкості рідин; зміни межі міцності на розрив; зміни пружності та пластичності; зміни умов зростання бактерій та мікроорганізмів.

Вплив надмірно вологого повітря є небезпечним не тільки для гігроскопічних матеріалів. Матеріали з мізерно малою гігроскопічністю також схильні до впливу водяної пари вологого повітря, яке спочатку проявляється в поверхневих шарах. Вплив відносної вологості повітря на швидкість корозії заліза (крива Арреніуса) рис. 1.2.

За високої вологості повітря погіршується якість опору електроізоляційних матеріалів, у т.ч. повітря як електроізолятора. Це призводить до неконтрольованих відмов, які можуть перейти у великі аварії та катастрофи, насамперед через короткі замикання.

При відносній вологості вище 70% створюються сприятливі умови для швидкого зростання плісняви, спори якої є скрізь. При менших значеннях вологості ріст плісняви повністю припиняється.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

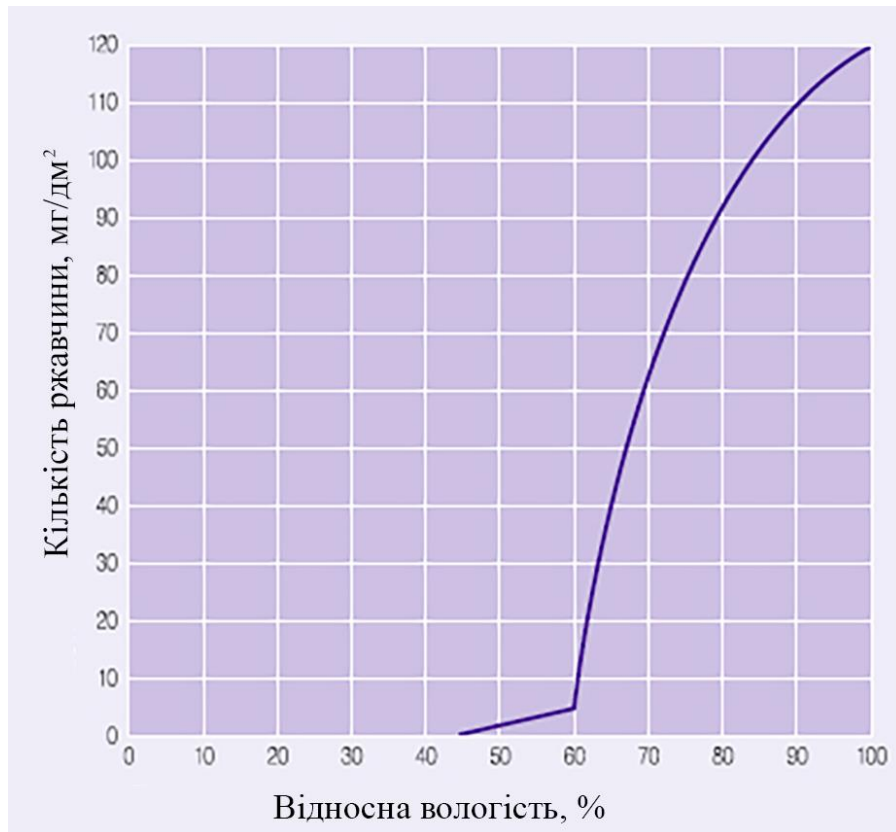


Рис. 1.2. Вплив відносної вологості повітря на швидкість корозії заліза (крива Арреніуса)

Надмірна вологість продуктів погіршує їхню якість і призводить до псування, в т.ч. з причин: прискореного бактеріологічного росту, зміни хімічного складу при реакціях з водяною парою, спостереження та комкування порошкоподібних та сипких продуктів та ін.

Метали, що практично не мають гігроскопічності, на повітрі схильні до корозії, інтенсивність якої залежить також і від вологості повітря. Низька вологість гарантує низьку інтенсивність корозії. У заліза корозія практично відсутня при відносній вологості до 40-45%. Незначна корозія заліза починається у разі підвищення відносної вологості від 40–45 % до 60–70 % (так званого «критичного» значення вологості). Вище цього значення швидкість корозії заліза різко збільшується (за логарифмічною залежністю) і відбувається швидке руйнування металу. Ці явища графічно проілюстровані рис. 1.2. Значення «критичної» вологості залежать від природи металу та від наявності домішок в атмосфері,

наприклад, за наявності навіть малих кількостей газоподібних реагентів (насамперед, SO₂, а також SO₃, NO_x та ін.) «Критична» вологість повітря для заліза та багатьох інших металів суттєво знижується.

Ще один прояв високої вологості повітря спостерігається при охолодженні насиченого вологою повітря (100% RH). Повітря тоді стає пересиченим вологою, і вона починає виділятися з нього у вигляді туману або роси. За рахунок утвореної різниці парціальних тисків атмосферної вологи і насиченої пари відбувається конденсація пари на поверхнях, температура яких нижче точки роси повітря, що призводить до їх намокання або утворення інею. Тоді вищенаведені наслідки настають значно раніше і виявляються інтенсивніше. Можна виділити дві конкретні причини випадання конденсату, з якими найчастіше доводиться стикатися.

По-перше, це холодні поверхні устаткування, низька температура яких обумовлена технологічними процесами. Наприклад, всілякі трубопроводи, ємності тощо. Оптимальним методом запобігання випаданню конденсату є правильний підбір теплоізоляції. Але цей шлях не завжди прийнятний та виправданий. Коли це неможливо, слід осушувати повітря до стану, щоб точка роси була нижчою за температуру найхолоднішої поверхні.

По-друге, випадання конденсату пов'язане з добовим зміною температур атмосферного повітря, яке є найбільш різко вираженим в умовах континентального клімату. Масивні металеві частини конструкцій та обладнання вихолоджуються в нічний годинник і, завдяки значній теплоємності, залишаються переохолодженими в ранковий і, частково, денний годинник.

На людину вологість повітря також має певний вплив. Низька вологість повітря сушить шкіру, слизові оболонки. У горлі, носі, очах може з'являтися сухість та неприємні відчуття. Людина стає вразливою для вірусів та бактерій. Низька вологість особливо гостро відчувається взимку. Морозне повітря містить дуже мало вологи.

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Висока вологість підвищує віддачу тепла від тіла людини. Самопочуття погіршується, з'являється слабкість. Надлишок вологи може спричинити загострення серцево-судинних захворювань.

Швидкість вітру - це тривимірний векторна величина з випадковими дрібномасштабними коливаннями у просторі та часі, накладеними на великомасштабний організований потік. Таке визначення вітру використовується, наприклад, стосовно аналізу забруднення повітря і при забезпеченні посадки літаків. Але часто приземний вітер розглядається в основному як двовимірний векторна величина, задана двома числовими значеннями, що характеризують напрям і швидкість. Короткоперіодні пульсації вітру характеризують його пориви.

Більшості користувачів інформації про вітер потрібні середній горизонтальний вітер, зазвичай представлений у полярній системі координат значеннями швидкості та напрямку. У дедалі більшій кількості сфер застосування даних про вітер потрібна інформація про мінливість або пориви вітру. З цією метою використовуються три параметри, а саме: максимальний порив і середні квадратичні відхилення швидкості та напрямки вітру.

Середні значення - це значення (наприклад, горизонтальної швидкості вітру), які середні за період часу від 10 до 60 хв. Найчастіше ми маємо справу переважно з усередненням за період 10 хв, що необхідно для цілей прогнозу. Кліматичні узагальнення зазвичай вимагають усереднення за повну годину чи добу. Для аеронавігаційних цілей та коректування стрільби часто використовуються короткі періоди усереднення. Періоди опосередкування менше кількох хвилин недостатньо згладжують природні турбулентні пульсації вітру, тому значення вітру, усередненого за 1 хв, слід розглядати як тривалий порив вітру.

Максимальний порив – це максимальна спостерігається швидкість вітру за певний період часу. При щогодинних спостереженнях максимальний порив є граничним значенням швидкості вітру за останню повну годину.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

Тривалість пориву - це міра тривалості максимального пориву, що спостерігається. Тривалість пориву визначається чутливістю вимірювального пристрою. Повільно спрацьовують пристрої згладжують екстремальні значення і вимірюють тривалі згладжені пориви; швидко спрацьовують пристрої можуть реєструвати різкі пориви малої тривалості на фронті хвилі.

Для визначення тривалості пориву використовується ідеалізований вимірювальний ланцюжок, а саме, одиничний фільтр ковзаючого середнього коливань вітру. Максимальні значення вітру, одержані на виході такого фільтра, вважаються максимальними поривами вітру.

Швидкість вітру вказується в метрах за секунду з роздільною здатністю 0,5 м/с із заокругленням до найближчої одиниці вимірювання, і, у разі включення до синоптичних зведень, середня за 10 хв. Для аеронавігаційних цілей і при вирахуванні поправок при стрільбі можуть бути потрібні середні значення за більш короткий період часу.

Напрямок вітру слід вказувати в градусах з точністю до 10° з усередненням за 10 хвилин. Напрямок вітру визначається як напрям, звідки дме вітер, і вимірюється за годинниковою стрілкою від географічної півночі, точніше, істинної півночі.

Термін «штиль» повинен застосовуватися в тому випадку, коли середня швидкість вітру менше 0,5 м/с. У цьому випадку напрямок вітру кодується 00.

Напрямок вітру на станціях, що лежать у межах 1° від Північного полюса або 1° від Південного полюса, повинен вимірюватися таким чином, щоб нуль азимутного кола збігався з 0° за Грінвічським меридіаном.

Зазвичай для вимірювання швидкості приземного вітру використовуються флюгер і чашковий або крильчатий анемометри рис 1.3.

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22



Рис. 1.3. Флюгер і чашковий анемометр.

Потоки електромагнітного випромінювання, що приходять до Землі і які від неї, є найважливішими змінними складовими теплового балансу Землі загалом і кожного окремого місця на земної поверхні й у атмосфері. Насправді найчастіше вимірюють енергетичну **освітленість**, створювану радіаційними потоками. Вимірювання сонячного випромінювання мають велике значення для наступних цілей:

- дослідження перетворення енергії в межах системи Земля - атмосфера та її змін у просторі та часі;
- аналіз властивостей та розподілу в атмосфері таких складових, як аерозолі, водяна пара, озон та ін;
- задоволення потреб фахівців у галузі біології, медицини, сільського господарства, архітектури та промисловості щодо даних про радіацію;
- сонячна енергетика.

Така програма вимагає отримання на широкій мережі актинометричних станцій регулярних рядів даних спостережень за різними видами короткохвильового та довгохвильового випромінювання, а також забезпечення репрезентативних оцінок їх сумарного впливу.

Світло – це електромагнітне випромінювання, видиме оком людини. Спектральна область видимого випромінювання називається спектральною світловою чутливістю очей стандартного спостерігача. Нижня межа видимого випромінювання знаходиться між 360 і 400 нм, а верхня - між 760 і 830 нм (ІСІ,

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		23

1987). Радіація із довжиною хвилі менше 400 нм називається ультрафіолетовою (УФ), а з довжиною хвилі понад 800 нм - інфрачервоною радіацією.

Вимірювання освітленості здійснюють сучасними цифровими давачами. На основі вимірювання освітленості також визначають тривалість світлового дня та кількість сонячних днів у році.

1.2. Магнітне поле землі та магнітні бурі

Магнітне поле Землі – це силове поле, виникнення якого зумовлене джерелами, що знаходяться в земній кулі та навколоземному просторі, зокрема, магнітосфері та іоносфері [12]. У навколоземному космічному просторі магнітне поле Землі утворює магнітосферу. Спрощено магнітне поле Землі можна представити як поле магнітного диполя, нахиленого під кутом $11,5^\circ$ відносно осі обертання Землі та віддаленого на 300 км від геомагнітного центра Землі.

Інтенсивність магнітного поля Землі змінюється в межах від 23 мкТл в районі магнітного екватору до 61 мкТл в районі магнітних полюсів [12] рис. 1.4.

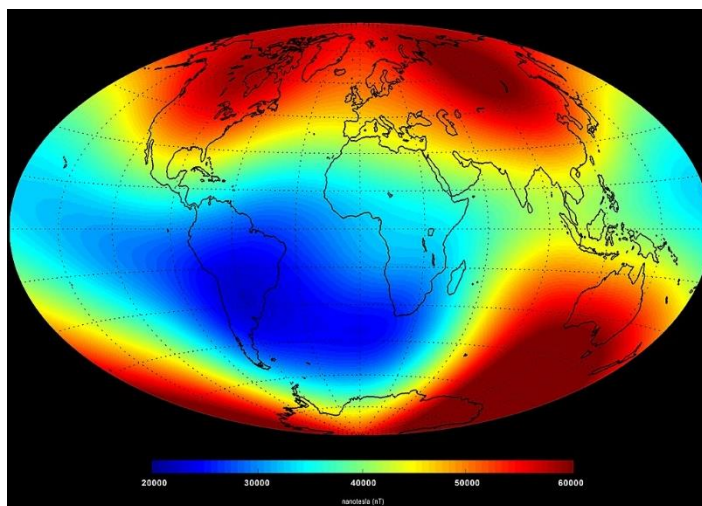


Рис. 1.4. Магнітне поле землі.

Магнітні бурі – це геофізичні явища, що виникають внаслідок змін у сонячній активності та взаємодії сонячного вітру з магнітосферою Землі. Вимірювання магнітних бурь важливі для прогнозування їх впливу на земну

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

іоносферу, електромагнітні поля та технології, зокрема супутникові зв'язок і електроенергетичні мережі.

Для вимірювання магнітних бурь використовуються магнітні спостереження, які проводяться за допомогою магнітних датчиків, розташованих у різних точках Землі. Ці дані збираються і аналізуються спеціалізованими науковими організаціями, такими як Національне управління океанічних та атмосферних досліджень (NOAA) в США або Європейське космічне агентство (ESA).

Збір даних про магнітні бурі допомагає науковцям розуміти їх природу, прогнозувати їх виникнення та розвивати стратегії мінімізації можливих негативних впливів на технологічні системи та інфраструктуру.

Вимірювання магнітних бурь може бути цікавим та доступним проектом для ентузіастів та дослідників, та хорошим доповненням мобільної метеостанції.

Нормальні значення магнітного поля можуть значно варіюватися залежно від географічного положення, а також від сонячної активності та інших факторів. Для орієнтування, ось деякі загальні значення магнітного поля Землі:

Середні значення магнітного поля: Зазвичай магнітне поле Землі складає близько 25 до 65 мікротесла (μT) на поверхні Землі. Однак це значення може бути різним в різних точках планети.

Під час магнітних бурь можуть спостерігатися значні зміни в магнітному полі. Середні значення можуть підвищуватися на кілька до десятків мікротесла. Наприклад, під час сильних геомагнітних бурь може спостерігатися значне зростання магнітного поля, яке може досягати сотень мікротесла.

Значення магнітного поля можуть різко відрізнятись в різних місцях планети. Наприклад, на магнітному екваторі магнітне поле може бути найсильнішим, тоді як на магнітних полюсах воно може бути найслабкішим.

Крім того, важливо враховувати, що магнітне поле Землі може зазнавати змін не тільки через магнітні бурі, але й через різні геофізичні процеси, такі як рухи магматичних порід у внутрішніх шарах Землі.

На Сонці є плями - зони зі зниженою температурою. Там формуються області так званої особливої магнітної активності, які вивергають хмари з магнітними

					123.KI-41.3	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частинками. Вони швидко рухаються у бік Землі. Досягнувши нашої планети, вони впливають на її магнітне поле, що, у свою чергу, може навіть виводити з ладу електричні пристрої.

Доказова медицина досі ставить під сумнів, що геомагнітні бурі можуть впливати на здоров'я, оскільки зміни в космічній погоді надто віддалені і чинять на людину значно менший вплив, ніж, наприклад, щоденне фізичне навантаження.

Але, якщо частота коливань геомагнітного поля становить 1–2 секунди, що збігається з ритмом серцевих скорочень, у людей із патологіями серця та судин може погіршитися самопочуття. Це пояснює, чому близько 70% інсультів, інфарктів та гіпертонічних кризів відбувається під час магнітних бур.

За різними даними магнітні бурі також можуть: посилювати проблеми з тиском, провокувати безсоння, викликати тахікардію.

1.3. Огляд існуючих рішень та метеостанцій.

Проведено систематичний огляд, щоб забезпечити повне розуміння методів побудови сучасних метеостанцій. Проаналізовано цільові авторитетні наукові журнали, доступні різні бази даних, зосереджуючись на статтях, що наголошують на інноваційних методах або пристроях моніторингу погоди. Синтезовані дані дали зрозуміти досягнення та проблеми недорогого місцевого прогнозування погоди. Рис. 1.5 зображено порівняння вартості між комерційними метеостанціями та прототипами.

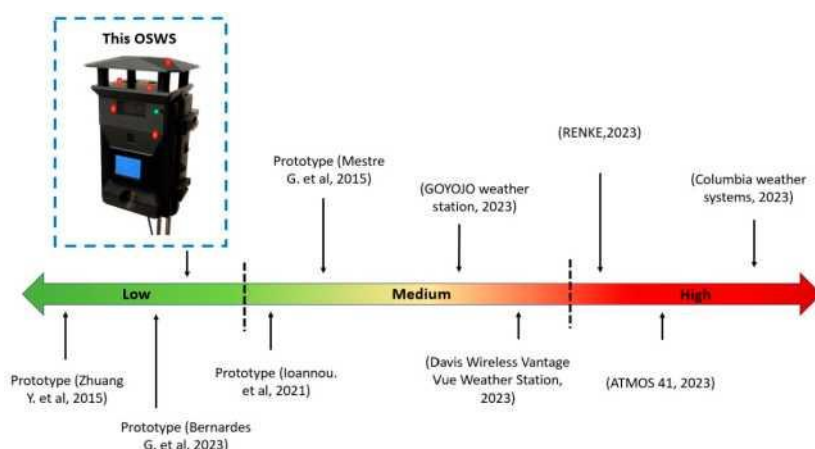


Рис. 1.5. Порівняння вартості різних метеостанцій[13,14].

Рис 1.6. показує професійні приклади метеостанцій. Можна побачити, що більшість із них побудовано подібним чином, наприклад SparkFun Electronics (1), Sectron (2) і Weatherspares (4). Метр (3) виглядає компактніше.



Рис. 1.6. Відображення професійних метеостанцій

Для прикладу більш детально розглянемо характеристики професійної метеостанції MISOL HP2550 рис. 1.7.



Рис. 1.7. Професійна метеостанція MISOL HP2550

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MISOL HP2550 – це професійна метеостанція для самостійного вистежування та прогнозування погодних умов. Висока точність датчиків дає можливість отримувати прогноз, який не поступається точністю великим професійним метеостанціям.

Метеостанція складається з великого дисплею (приймача), зовнішнього датчика та внутрішнього датчика (термогігрометра).

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		28

РОЗДІЛ 2.

КОНЦЕПЦІЯ ТА КОМПОНЕНТИ МОБІЛЬНОЇ МЕТЕОСТАНЦІЇ

2.1. Концепція та структурна схема метеостанції

Враховуючи особливості мобільних метеостанцій та сучасні потреби, зокрема для оперативного визначення швидкості та напрямку вітру у польових умовах розроблено концепцію та спроектовано мобільну метеостанцію, структурну схему якої зображена на рис. 2.1.

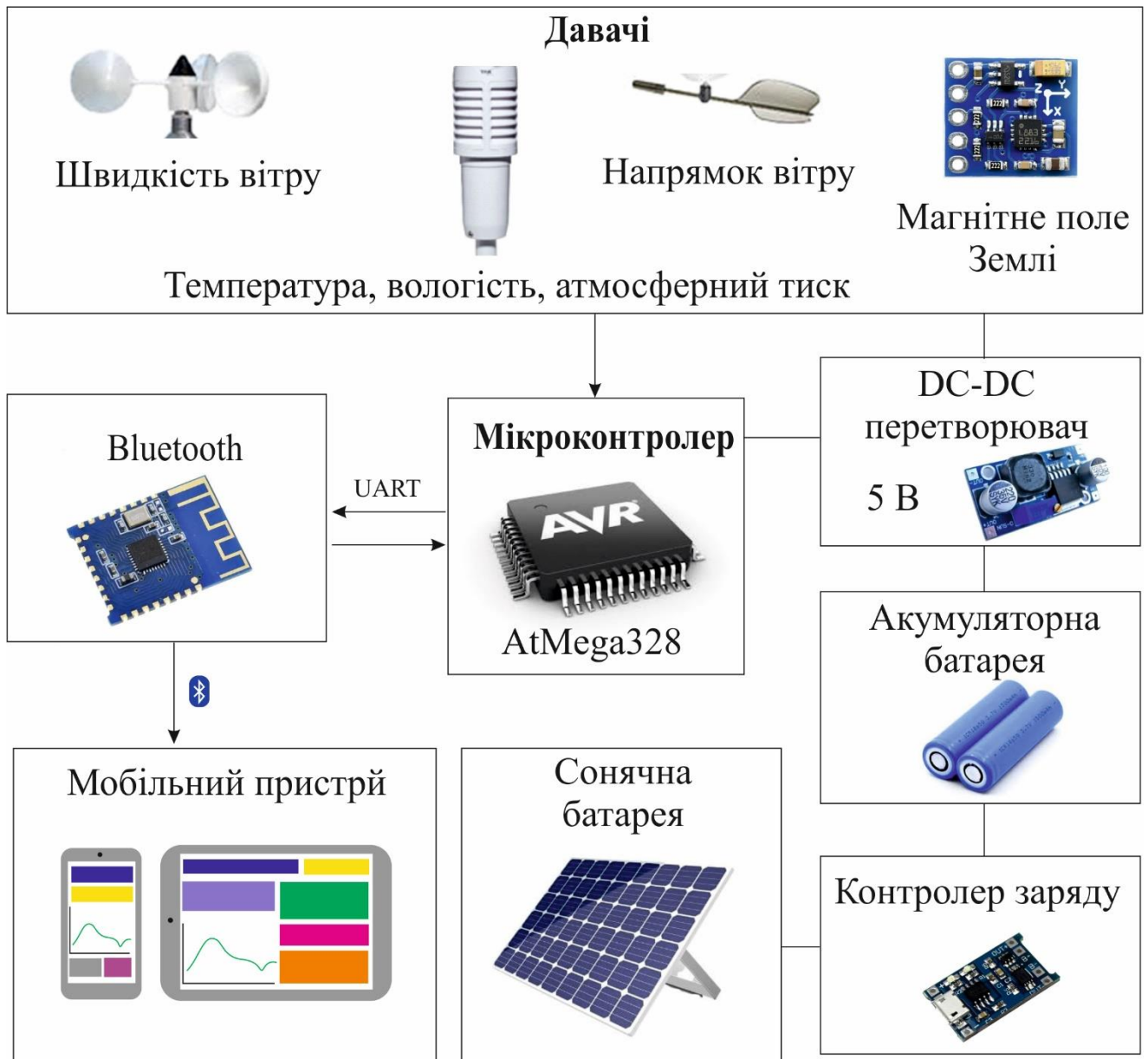


Рис. 2.1. Структурна схема мобільної метеостанції

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Метеостанція складається з давачів, зокрема компактної жалюзевої будки з давачем температури повітря, вологості повітря та атмосферного тиску. Окремо винесено давач швидкості, напрямку вітру, давач освітленості та магнітного поля землі. Окремо варто звернути увагу, на розміщення давача магнітного поля землі так як він чутливий до наявності металу, магнітів та електромагнітних завад, його слід розміщувати в неметалевому корпусі подалі від зовнішніх магнітних полів та інших давачів.

Обробку сигналів від давачів здійснює 8 розрядний мікроконтролер. Такий вибір цілком обґрунтований, тому що, його функції тільки прийняти сигнали від давачів, перевести їх у стандартні фізичні величини та передати по UART інтерфейсу. 8 розрядного мікроконтролера для таких завдань більш ніж достатньо, так як в подальшому дані передаються через Bluetooth на мобільний пристрій, де і відбувається їх подальша обробка і візуалізація.

Так як передбачене використання мобільної метеостанції в польових умовах то вона обладнана акумуляторною батареєю від якої може працювати до 10 діб. Заряджання акумуляторної батареї відбувається через USB-C роз'єм від стандартного зарядного пристрою чи повербанку. Опціонально, передбачено можливість заряджання від сонячної батареї, яка при площі 1 дм.кв. забезпечить безперервну роботу метеостанції.

2.2. Вибір мікроконтролера

Як мікроконтролер вибрано мікросхемі AtMega328 яка є одним із найпоширеніших і доступних 8 розрядних мікроконтролерів. Цьому сприяють достатньо висока продуктивність та мале енергоспоживання, а також застосування його в Arduino, і відповідно наявність великої кількості бібліотек для давачів та периферійних пристроїв.

Основні характеристики мікроконтролера:

Тактова частота: до 20 МГц\

Обсяг Flash-пам'яті: 32 кб

Обсяг пам'яті SRAM: 2 кб

					123.KI-41.3	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обсяг пам'яті EEPROM: 1 кб

Широкий діапазон напруги живлення: 1,8 - 5,5 В

Споживання струму в режимі роботи: 0,2 мА (1 МГц, 1,8 В)

Споживання струм в режимі сну: 0,75 мкА

Кількість лічильників/таймерів: 2 восьмирозрядних та 1 шістнадцятирозрядний

Загальна кількість портів вводу-виводу: 23

Кількість виходів з апаратною підтримкою PWM: 6

Кількість каналів АЦП (аналогові входи): 6

Кількість апаратних USART портів: 1

Кількість апаратних SPI: 1

Кількість апаратних I²C / SPI: 1

Роздільна здатність АЦП: 10 біт

Опорна напруга АЦП: 1,1 В

На рис. 2.2. представлено розміщення виводів мікроконтролера.

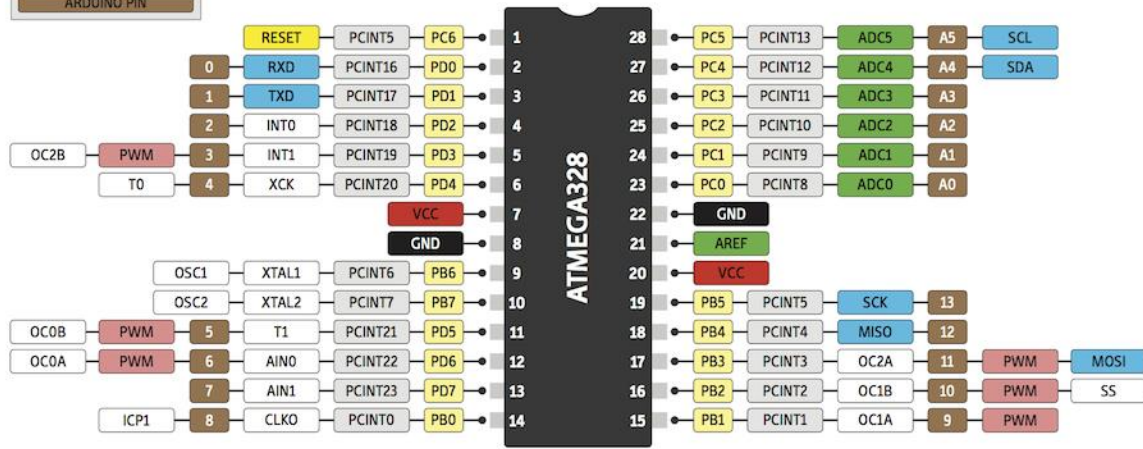
Для макетування більш зручним є контролер в DIP корпусі (рис. 2.2., а), а для розробки готового пристрою на друкованій платі краще застосовувати SMD варіант (рис. 2.2., б).

Для трактування мікроконтролера необов'язково застосовувати кварцовий резонатор, але враховуючи необхідність використання UART порту з інтенсивним обміном, для зменшення ймовірності помилок краще застосувати кварцовий резонатор з частотою кратною частоті обміну даними по UART.

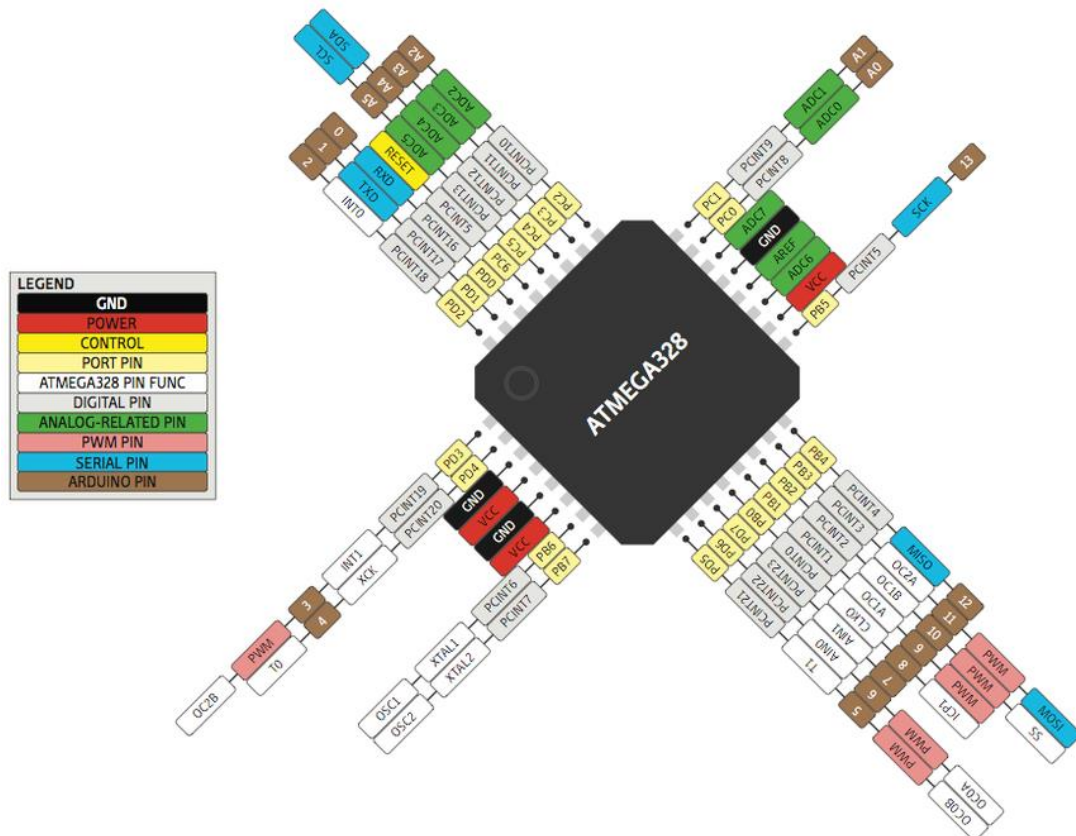
					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

LEGEND	
	GND
	POWER
	CONTROL
	PORT PIN
	ATMEGA328 PIN FUNC
	DIGITAL PIN
	ANALOG-RELATED PIN
	PWM PIN
	SERIAL PIN
	ARDUINO PIN

THE
UNOFFICIAL
ARDUINO
&
ATMEGA328
PINOUT DIAGRAM



а



б

Рис. 2.2. Розміщення виводів мікроконтролера

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

123.KI-41.3

Арк.

32

2.3. Система безпроводного зв'язку

Для забезпечення безпроводного зв'язку між мобільною метеостанцією та смартфоном чи планшетом вибрано Bluetooth.

Bluetooth це виробнича специфікація бездротових персональних мереж Bluetooth забезпечує обмін інформацією між такими пристроями як персональні комп'ютери (настільні та ноутбуки), мобільні телефони, планшети, навушники, гарнітури та акустичні системи на надійній, безкоштовній, доступній радіочастоті для ближнього зв'язку. Bluetooth дозволяє пристроям повідомляти, коли вони знаходяться один від одного в радіусі близько 100 м у старих версіях протоколу і до 150 м починаючи з версії Bluetooth 5. Дальність залежить від наявності перешкод.

Принцип дії ґрунтується на використанні радіохвиль. Радіозв'язок Bluetooth здійснюється в ISM-діапазоні, який використовується в різних побутових приладах та бездротових мережах. Частоти Bluetooth: 2,402-2,48 ГГц. У Bluetooth застосовується метод розширення спектру зі стрибкоподібною перебудовою частоти. Цей простий у реалізації, забезпечує стійкість до широкосмугових перешкод, а обладнання недороге.

В Bluetooth несуча частота сигналу стрибкоподібно змінюється 1600 разів на секунду, виділяється 79 робочих частот шириною в 1 МГц. Послідовність перемикання між частотами для кожного з'єднання є псевдовипадковою і відома тільки передавачу та приймачеві, які кожні 625 мкс (один часовий слот) синхронно перебудовуються з однієї несучої частоти на іншу. Таким чином, якщо поряд працюють кілька приймачів-передавачів, то вони не перешкоджають один одному. Цей алгоритм є також складовою системи захисту конфіденційності інформації, що передається: перехід відбувається за псевдовипадковим алгоритмом і визначається окремо для кожного з'єднання. При передачі цифрових даних використовуються різні схеми кодування: аудіосигнал не повторюється, а цифрові дані у разі втрати пакета інформації будуть передані повторно.

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Протокол Bluetooth підтримує не лише з'єднання точка–точка, але й точка–декілька точок.

Для передачі інформації від мобільної метеостанції до смартфона чи планшета зручно застосовувати модуль інтерфейсу UART Bluetooth, наприклад JDY-23, що підтримує Bluetooth 5.0 BLE, та сумісний як з операційною системою Android так і iOS.

Модуль призначений для організації прозорого обміну UART через Bluetooth 5.0 радіоканал. Робочий діапазон модуля 2.4ГГц із режимом модуляції GFSK. Максимальна потужність передавача 4 db та максимальна відстань передачі даних до 60 метрів. Модуль конфігурується за допомогою команд AT. Конфігуруються: ім'я модуля, швидкість передачі тощо. Модуль може підтримувати підключення до мобільного телефону та комп'ютера.

Модуль можна використовувати як передачі даних між контролерами так обмінюватись даними зі смартфонами. Використання простого та поширеного інтерфейсу спрощує використання та мінімізує кількість висновків для підключення.

Характеристики:

Модель: JDY-23

Робоча частота: 2.4ГГц

Потужність передачі: 4 дБ

Комунікаційний інтерфейс: UART

Робоча напруга: 1,8 В - 3,6 В

Робоча температура: -40 °С – 80 °С

Антенa: Вбудована

Чутливість приймача: -97дбм

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		34

Дальність передачі: 60 метрів

Підтримка «ведучий-відомий»: є

Розмір модуля: 19,6x14,94x1,8 мм (довжина, ширина та висота)

Версія Bluetooth: BLE 5.0 (сумісний з BLE4.0, BLE4.2)

Струм стану пробудження: 800µA (в режимі передачі)

Струм стану сну: <50µA

Струм глибокого сну: 9µA

Збереження параметрів: Зберігаються дані щодо зниженого енергоспоживання конфігурації параметрів

Температура паяння SMT: <260°C

Піковий струм rf-TX/RX: 5mA

2.4. Система живлення

Так як метеостанція розроблялася як мобільна, з можливістю використання у польових умовах, то системі живлення приділено особливу увагу.

Як основне живлення застосований літій-іонний акумулятор достатньо великої ємності, якій зібрано з двох комірок формату 21700 ємністю 5000 мА год кожна, що у конфігурації 1S2P дало ємність акумулятора 10 А год. При споживанні метеостанції близько 10 мА такого акумулятора вистачить не менше як на 1 місяць автономної роботи.

Для заряду акумулятора передбачена класична схема заряду на основі 2 А DC-DC контролера заряду, з виходом USB-C, що дало можливість заряджати метеостанцію, як в стаціонарних умовах від стандартного адаптера 220 В – 5В, так і в польових умовах від повербанку.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		35

При необхідності неперервної роботи станції на протязі тривалого часу передбачена можливість підключення сонячної панелі невеликої потужності.

Акумулятор забезпечує широкій робочий температурний діапазон від -30 до 50 С та великий термін експлуатації до 5 років і більше.

2.5. Розробка удосконаленого давача метеоданих.

На відміну від стаціонарних метеостанцій, для мобільної метеостанції розмістити давачі у повнорозмірній жалюзевій метеобудці, яка забезпечить максимальну точність і довговічність давачів, неможливо, потрібні більш компактні варіанти. Класично у промислових метеостанціях використовують мініатюрну жалюзеву будку з анемометром зверху, або окремо анемометр і флюгер які розміщені горизонтально. Для мобільної метеостанції дуже важливим є розробити компактний давач метеоданих, який при прийнятній точності буде зручний у перенесенні та швидко розгортатиметься в робоче положення. Відповідно до цих вимог розроблено концепцію і конструкцію давача, яка полягає у тому щоб розмістити всі давачі на одній вертикальній осі, к вигляді компактної конструкції з малою парусністю, яку можна швидко підняти на потрібну висоту за допомогою легкої композитної телескопічної щогли (рис 2.3.).

Жалюзєва будка виконується з білого пластику, у вигляді циліндра з жалюзєвими прорізами. В залежності від клімату можлива реалізація з подвійними жалюзєями. В низу будки розміщується циліндричний відсік для електронних компонентів, по боках якого можливо встановити сонячну батарею малої потужності. В середині будки розміщують давачі температури, вологості повітря, атмосферного тиску. Знизу під відсіком для електронних компонент і плат розміщується флюгер. Флюгер гухається на упорному підшипнику з малим тертям, що дає можливість вимірювати напрямок вітру при швидкості починаючи від 0,3 м/с.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36



Рис. 2.3. Конструкція компактного давача метеоданих. 1 – жалюзева будка з давачами температури, вологості повітря, атмосферного тиску; 2 – Відсік для електронних компонентів, 3 – флюгер, 4 – чашечковий анемометр, 5 – давач освітленості та магнітометр на телескопічній стійці. Всі проводи протягнуті всередині трубки до якої кріпиться телескопічна щогла.

За аналогічним принципом над жалюзеву будку розміщується чашечковий анемометр, а вище нього давач освітленості та магнітного поля. Оскільки всі електронні компоненти та акумулятор розміщені в середині відповідного відсіку, а дані передаються безпроводним зв'язком за допомогою Bluetooth, то на землю проводів не потрібно. Конструкція просто кріпиться до телескопічної щогли і піднімається на потрібну висоту. Завдяки компактным розмірам, а саме, довжина флюгера 30 см, діаметр жалюзеву будки 15 см, висота конструкції 50 см, метеостанція легко переноситься і швидко розгортається в робоче положення. Давач освітлення виведено в найвищу точку так щоб його не затіняли інші компоненти.

					123.KI-41.3	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для визначення напрямку вітру на зовнішню рухому циліндричну частину флюгера закріплено маленький магніт, а на внутрішні розміщено 8 цифрових давачів Холла, як показано на рис. 2.4.

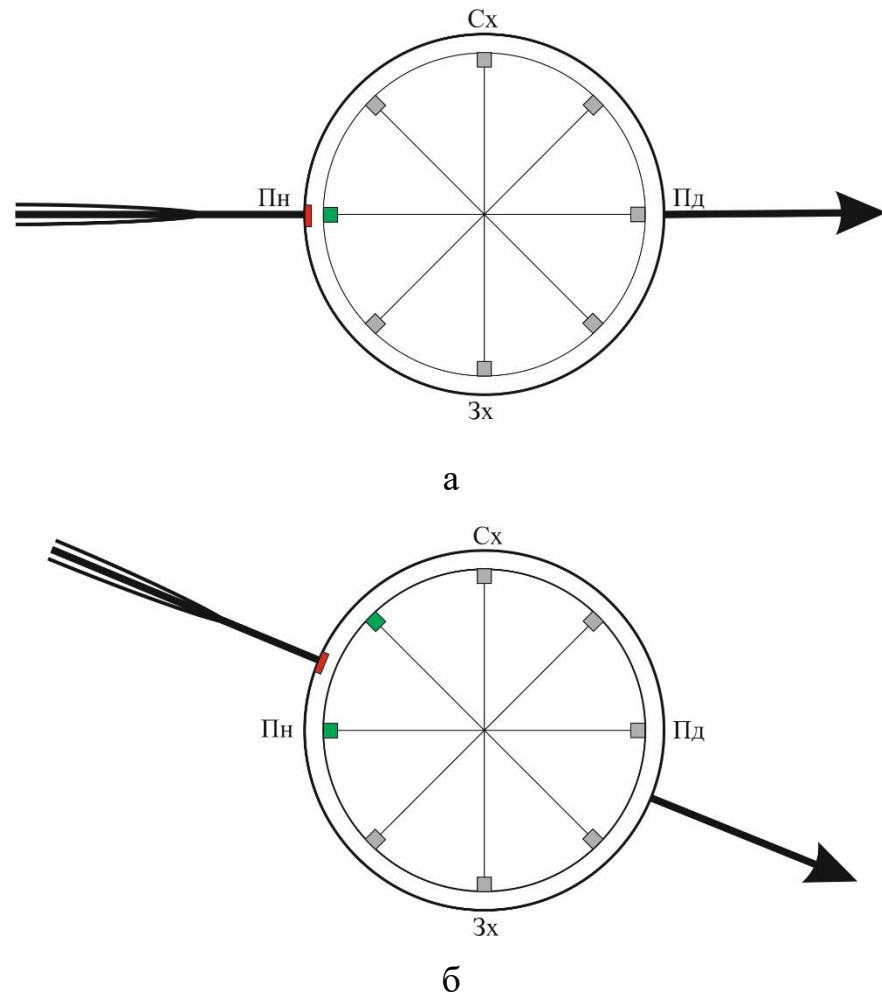


Рис. 2.4. Схематичний переріз флюгера на давачах Холла: ■ – магніт, ■ – активований давач Холла, ■ – неактивований давач Холла.

Як давачі Холла застосовано інтегральний цифровий А3144. Величину і відстані підібрано так, що коли магніт знаходиться навпроти давача Холла то спрацьовує лише той давач навпроти якого знаходиться магніт, коли магніт знаходиться приблизно посередині між двома давачами Холла, то спрацьовують обидва давачі. Таким чином за допомогою 8 давачів можна отримати 16 позицій. Це дало змогу визначати напрямок вітру з дискретністю 22,5 °. При потребі

збільшивши кількість давачів можна збільшити точність визначення напрямку вітру.

Важливою перевагою розробленої метеостанції є наявність магнітометра, таким чином немає потреби точно виставляти її за компасом, так як магнітний давач розміщений нерухомо відносно корпусу станції, метеостанція сама визначить сторони горизонту та зробить відповідні поправки. Дані про напрямок вітру завжди відповідатимуть реальним сторонам горизонту. В такій конструкції необхідно забезпечити достатню відстань між давачем магнітного поля і магнітом анемометра. Це досягається виконанням верхньої стійки на якій розміщено магнітометр і датчик освітленості, в телескопічному вигляді, яка має два фіксовані положення, складене транспортне та розкладене робоче, аналогічно як реалізовано в антенах радіоприймачів.

Аналогічно зроблено і анемометр, тільки для отримання високої точності про швидкість вітру достатньо двох давачів Холла, таким чином ми отримаємо два імпульси на один оберт анемометра.

Інші датчики застосовано класичні. Як датчик температури і вологості застосовано АНТ10. Це високоточний цифровий давач температури та вологості. Цей давач базується на принципі зміни електричного опору в залежності від температури та вологості. АНТ10 забезпечує вимірювання температури в діапазоні від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ та десертністю вимірювання вологості $0,1^{\circ}\text{C}$, вимірювання вологості здійснюється в діапазоні від 0% до 100% з точністю $\pm 2\%$. Датчик має зручний цифровий інтерфейс I2C.

Як давач атмосферного тиску застосовано барометричний датчик BMP280.

Дачач забезпечує діапазон вимірюваного тиску: 300 – 1100 гектопаскаль, напруга живлення складає 1,62 – 3,6 В, споживання струму в режимі «низької споживання»: 0,5 мА, інтерфейси: I2C, точність вимірювання тиску: 0,1 гектопаскаль, точність виміру температури: $0,1^{\circ}\text{C}$; робоча температура: $-40 - 85^{\circ}\text{C}$.

Як давач освітленості, застосовано ВН1750, який є компактним і дуже чутливим давачем, призначеним для вимірювання рівня освітленості в навколишньому середовищі. Дачач ВН1750 використовує принцип роботи, що

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

ґрунтується на вимірюванні інтенсивності світла, яка падає на поверхню фоторезистора. Інтерфейс зв'язку I2C. Вимірювальний діапазон 0 - 65535 люкс.

Застосування всіх датчиків з інтерфейсом зв'язку I2C дало можливість всі датчики підключити до одного апаратного I2C порту мікроконтролера, і таким чином зекономити виводи, щоб виділити цілий порт (8 виводів) на флюгер, і два виводи на анемометр.

2.6. Особливості вимірювання магнітного поля за допомогою триосьових датчиків.

Трьохосьовий магнітометр HMC5883L досить поширений. Хоча даний датчик і не є цифровим компасом, але аналізуючи величину магнітного поля по трьох осях, при відсутності зовнішніх магнітних завад, можна досить точно визначити сторони горизонту.

Для підключення до мікроконтролера магнітометр HMC5883 має інтерфейс I2C. Схема підключення наведена на рис. 2.5.

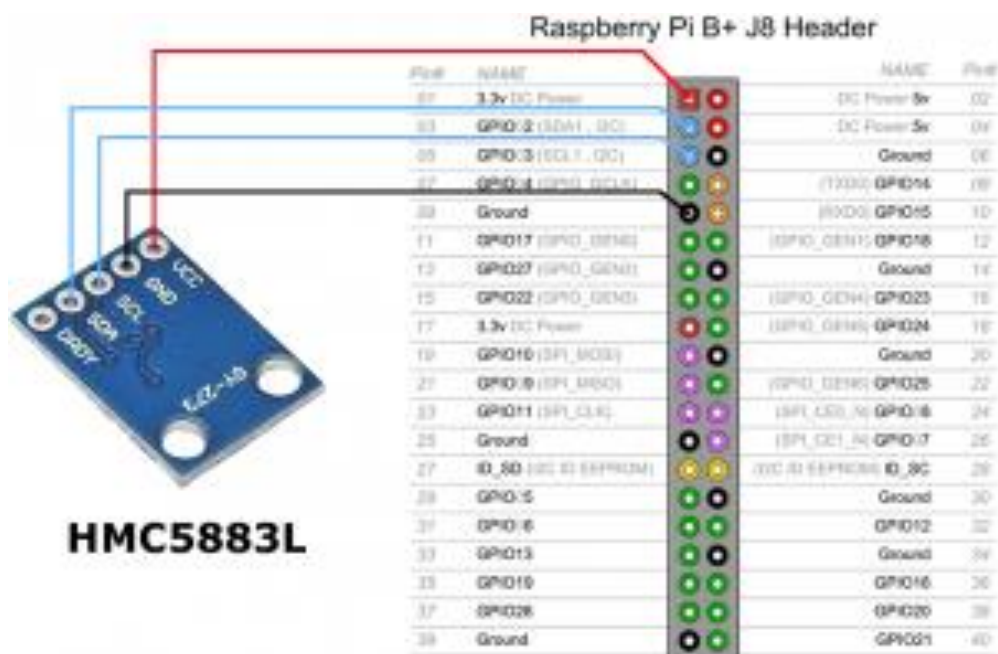


Рис. 2.5. Схема підключення магнетометра.

При повороті магнітометра у магнітному полі Землі покази на його трьох осях змінюються. Використовуючи отримані дані, можна обчислити напрямок магнітометра відносно напрямку на магнітний полюс Землі. Зчитавши показання з осей X і Y, можна обчислити кут, який і буде кутом відхилення від напрямку на північ.

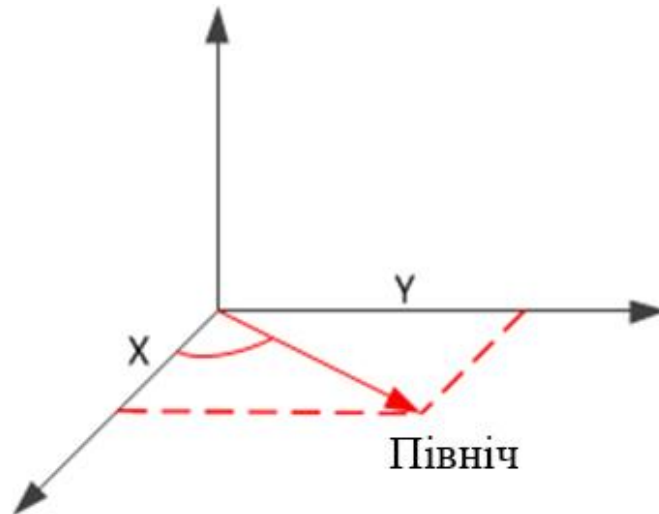


Рис. 2.6. Визначення сторін горизонту за даними магнітометра.

Однак, з заводу дані давачі йдуть погано відкалібровані, і їх потрібно калібрувати один раз в процесі налаштування метеостанції. Без калібрування його виміри дуже не точні.

Задачею калібрування є отримання коригувальної матриці із значенням зсувів за трьома осями, і в подальшому, за її допомогою обчислювати актуальні значення. Обчислений результат отримується шляхом множення значень зчитаних з датчика на коригувальну матрицю.

Під час калібрування рекомендується зібрати масив значень при різних положеннях датчика. Чим більше значень, тим точніше буде обчислено коригувальні дані. Рекомендується зібрати кілька тисяч значень, під час збору даних для калібрування датчик треба обертати у всіх напрямках близько однієї хвилини. Після калібрування покази магнітометра повторюють покази магнітної стрілки компаса. Але у магнітометра як і у магнітного компаса спостерігається значна похибка при нахилах. При цьому чим ближче до полюса, тим більш помітний цей ефект, на екваторі він практично відсутній. Це викликано тим що

лінії магнітного поля Землі проходять паралельно поверхні тільки на екваторі. Для метеостанції це не критично так як вона на щоглі розміщується вертикально і незначні відхилення не випнуть на точність визначення напрямку вітру.

Також магнітометр дозволяє фіксувати зміни в магнітному полі землі та визначати магнітні бурі.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		42

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОЇ МЕТЕОСТАНЦІЯ З МАГНІТНИМ ДАВАЧЕМ

3.1. Розробка електричної принципової схеми та топології плати.

На основі наведеної у розділі 2 структурної схеми розроблено принципову електричну схему метеостанції. Основою є мікроконтролер AtMega328 та відповідні давачі. Мікроконтролер трактується від кварцового резонатора частотою 14,31818 МГц для забезпечення мінімальної втрати пакетів при обміні даними з модулем Bluetooth через UART. Опорною напругою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) встановлено напругу внутрішнього джерела опорної напруги 1.1 В. На два канали АЦП заведено напругу акумулятора та сонячної батареї, для можливості дистанційного відслідковування режимів заряду. Індикаторний дисплей відсутній, так як всі дані передаються через Bluetooth. Для індикації режимів роботи та помилок встановлено світлодіод D2.

Щоб метеостанція могла зберігати журнал при відсутності з'єднання встановлено мікросхему годинник реального часу U4, та резервну 3 В батарейку.

Усі цифрові давачі під'єднані до апаратного порту I2C.

Модуль Bluetooth приєднано до апаратного порту UART, для обміну даними між метеостанцією та мобільним пристроєм.

Живлення здійснене напряму від акумулятора через запобіжник та кнопку увімкнення пристрою.

Усі давачі до плати приєднуються шлейфами з роз'ємами різної форми, щоб унеможливити неправильне під'єднання.

Модуль Bluetooth розпаюється на плату і на вбудованій антені забезпечує зв'язок на відстані до 60 м, передбачено можливість підключення зовнішньої антени що збільшить відстань передачі даних до 100-120 м.

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

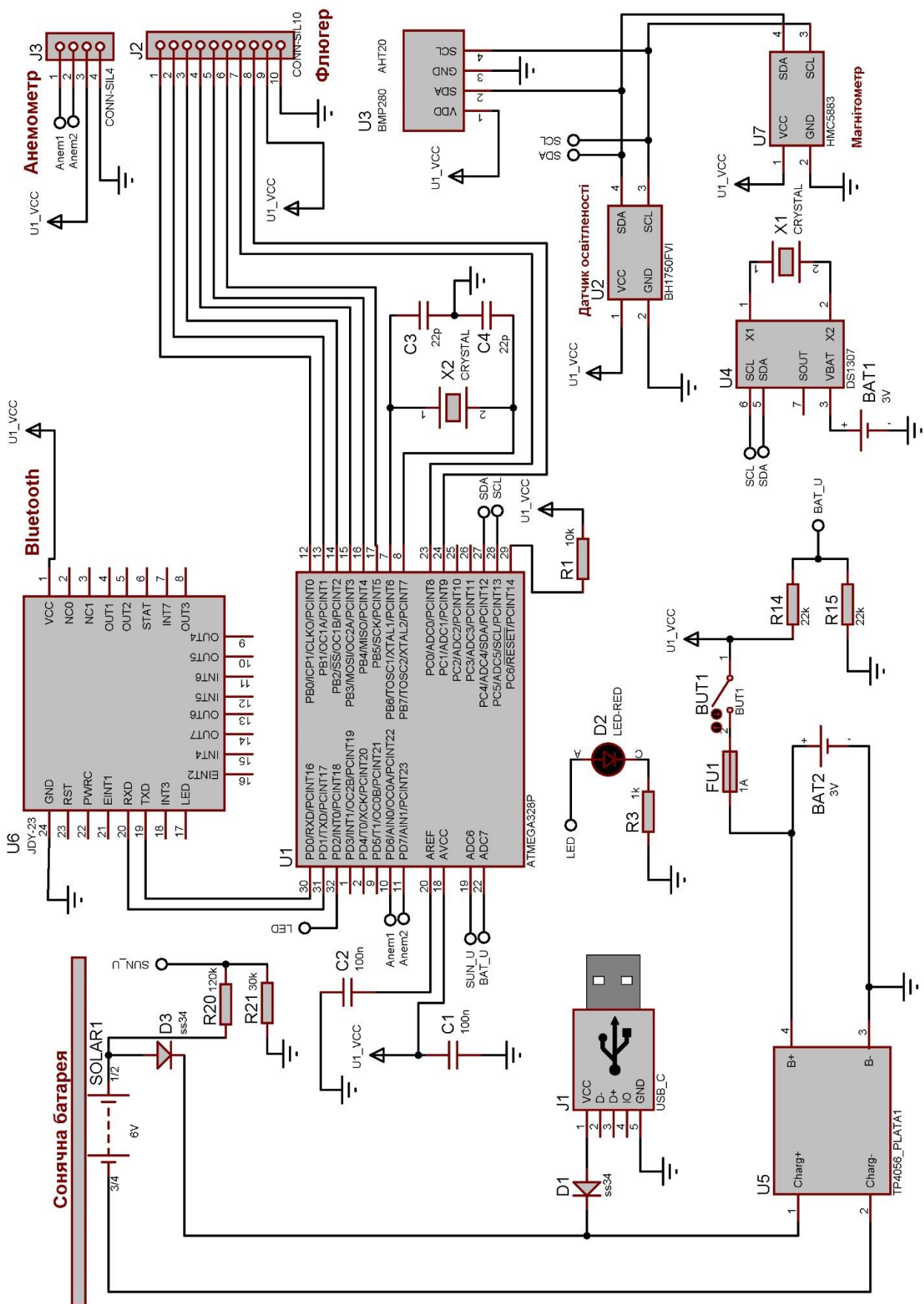


Рис. 3.1. Електрична принципова схема метеостанції

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

На основі розробленої схеми спроектовано друковану плату (рис. 3.2.). Відсік акумуляторів розміщено на зворотній стороні плати. Плата розміром 100x100 мм, спроектована так щоб поміститися в відсік для електронних компонентів розробленого компактного давача метеоданих.

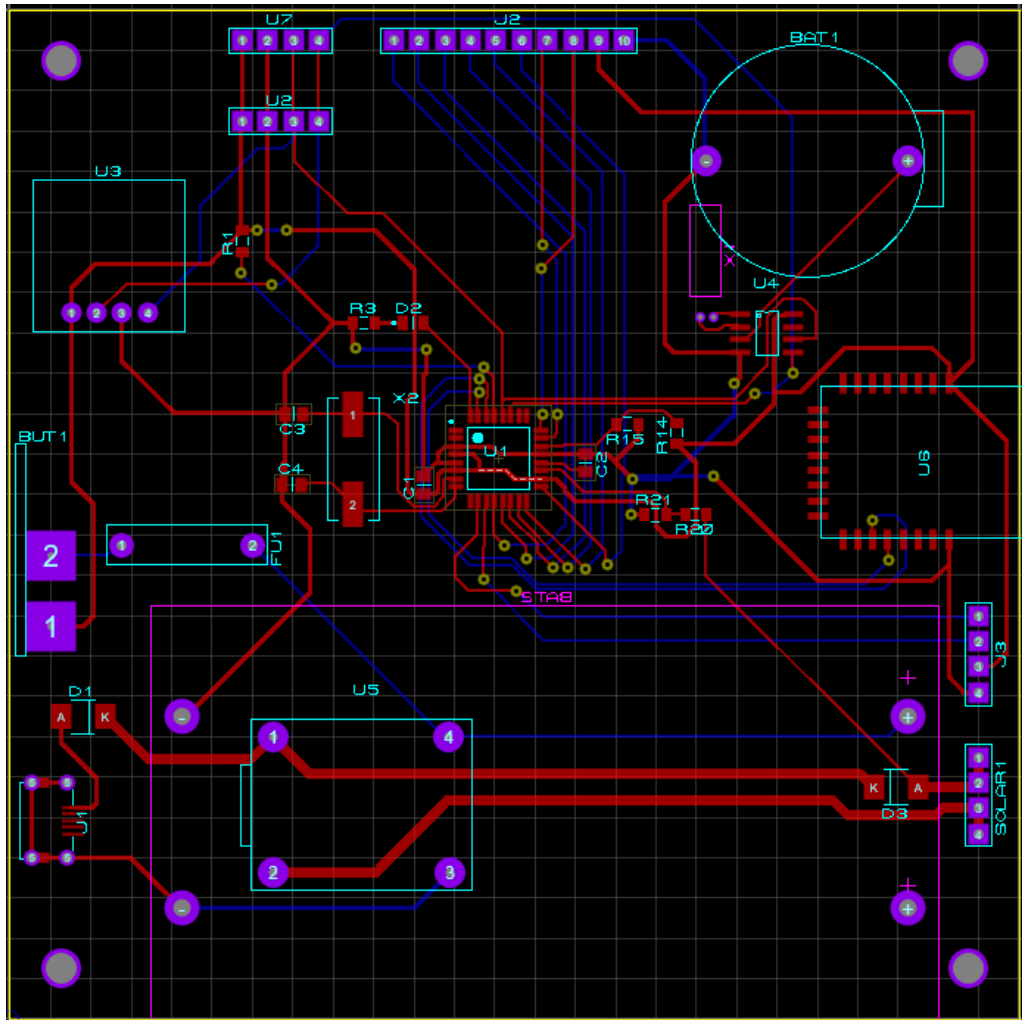


Рис. 3.2. Топологія друкованої плати прототипу метеостанції.

При проектуванні плати всі давачі виведено на окремі роз'єми з врахуванням майбутнього розміщення давачів, так щоб проводи не перепліталися і не створювали електромагнітні наведення один на одного.

3.2. Розробка програмного забезпечення.

Програмна частина написана на мові Arduino. Годинник реального часу та давачі температури, вологості повітря та атмосферного тиску опитуються з використанням стандартних бібліотек.

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

```

#include <GyverBME280.h>
#include <iarduino_RTC.h>
iarduino_RTC watch(RTC_DS1307);
#include <QMC5883LCompass.h>

QMC5883LCompass compass;
GyverBME280 bme;

long x=0, y=0, z=0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Weather Station ");
  if (!bme.begin(0x76)) Serial.println("Error!");
}

void loop() {
  // температура
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.println(bme.readTemperature());
  // вологість
  Serial.print("Humidity: ");
  Serial.println(bme.readHumidity());
  // атмосферний тиск
  Serial.print("Pressure: ");
  Serial.println(bme.readPressure());
  x = compass.getX();
  y = compass.getY();
  z = compass.getZ();
  Serial.println(watch.gettime("d-m-Y, H:i:s, D"));
}

```

					<i>123.KI-41.3</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

```
Serial.println();  
delay(1000);  
{
```

Також мікроконтролер вимірює напругу на акумуляторі та інформує про його розряд. За наявності сонячної панелі вимірюється і передаються також її параметри.

При опитуванні анемометра мікроконтролер за допомогою вбудованого таймера вираховує час між імпульсами, звідки знаходить швидкість обертання анемометра та за відповідними калібровочними рівнянням, вираховує швидкість вітру.

Напрямок вітру визначається в залежності від того які датчі хола спрацювали, згідно рис. 2.4. З поправкою на положення метеостанції відносно сторін горизонту.

```
Int f, w;  
//f - дані з флюгера,  
//w - напрям вітру в градусах відносно північного напрямку  
If (f==(00000001)) {w=0}; //Пн  
If (f==(00000011)) {w=22.5};  
If (f==(00000010)) {w=45}; //Пн-Сх  
If (f==(00000110)) {w=67,5};  
If (f==(00000100)) {w=90}; //Сх  
If (f==(00001100)) {w=112,5};  
If (f==(00001000)) {w=135}; //Пд-Сх  
If (f==(00011000)) {w=157,5};  
If (f==(00010000)) {w=180}; //Пд  
If (f==(00110000)) {w=202,5};  
If (f==(00100000)) {w=225}; //Пд-Зх  
If (f==(00100000)) {w=247,5};
```

					123.КІ-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

```
If (f==(01100000)) {w=270}; //Зх
If (f==(01000000)) {w=292,5};
If (f==(11000000)) {w=315}; //Пн-Зх
If (f==(10000000)) {w=337,5};
```

Дані передаються через UART і відповідно модуль Bluetooth на мобільний пристрій де можуть прийматися будь яким термінльним застосунком, наприклад, Serial Bluetooth Terminal (Android) чи BLE Terminal (IOS). Зараз ведеться робота над розробкою власного застосунка для операційної системи Android зі зручним графічним інтерфейсом, графіками та статистичними погодними даними.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз методів вимірювання метеорологічних показників та їх впливу на людину та її діяльність. Показано недоліки існуючих метеостанцій.

2. Запропоновано концепцію та розроблено конструкцію компактного давача метеоданих. Показано його переваги, зокрема в швидкості розгортання метеостанції в польових умовах.

3. Вдосконалено конструкцію флюгерного датчика, зокрема, показано що застосування давачів Холла замість класичних гронів значо спрощує конструкцію і підвищує її надійність.

4. Розроблено прототип метеостанції з вбудованим Bluetooth та триосьовим магнітометром, що дало можливість правильно визначати напрямок вітру незважаючи на те як повернута сама метеостанція.

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Rivera, A.; Ponce, P.; Mata, O.; Molina, A.; Meier, A. Local Weather Station Design and Development for Cost-Effective Environmental Monitoring and Real-Time Data Sharing. *Sensors* 2023, 23, 9060. <https://doi.org/10.3390/s23229060>
2. US EPA. Introduction to Indoor Air Quality. Available online: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>.
3. How Climate Change Affects Vector-Borne Diseases|News|Wellcome. Available online: ([accessed on 2 October 2023](https://wellcome.org/news/how-climate-change-affects-vector-borne-diseases)) <https://wellcome.org/news/how-climate-change-affects-vector-borne-diseases>.
4. Kulkarni, M.A.; Duguay, C.; Ost, K. Charting the Evidence for Climate Change Impacts on the Global Spread of Malaria and Dengue and Adaptive Responses: A Scoping Review of Reviews. *Glob. Health* 2022, 18, 1. <https://globalizationandhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12992-021-00793-2>
5. Weather Forecast with Meteodrones Weather Drones Meteomatics. Available online: <https://www.meteomatics.com/en/meteodrones-weather-drones/>.
6. Demetillo A.T., Japitana M.V., Taboada E.B. A System for Monitoring Water Quality in a Large Aquatic Area Using Wireless Sensor Network Technology. *Sustain. Environ. Res.* 2019, 29, 12. <https://sustainenvironres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42834-019-0009-4>
7. AE521/AE521: What Is a Wireless Sensor Network? Available online: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AE521>.
8. Pule M., Yahya A., Chuma J. Wireless Sensor Networks: A Survey on Monitoring Water Quality. *J. Appl. Res. Technol.* 2017, 15, 562-570. <https://jart.icat.unam.mx/index.php/jart/article/view/762>
9. Newlands N.K. Model-Based Forecasting of Agricultural Crop Disease Risk at the Regional Scale, Integrating Airborne Inoculum, Environmental, and Satellite-

					123.KI-41.3	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Based Monitoring Data. *Front. Environ. Sci.* 2018, 6, 63.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00063>
10. Huang, Z.-Q.; Chen, Y.-C.; Wen, C.-Y. Real-Time Weather Monitoring and Prediction Using City Buses and Machine Learning. *Sensors* 2020, 20, 5173.
<https://doi.org/10.3390/s20185173>
 11. Bencini, L.; Palma, D.D.; Collodi, G.; Manes, A.; Manes, G.; Bencini, L.; Palma, D.D.; Collodi, G.; Manes, A.; Manes, G. Wireless Sensor Networks for On-Field Agricultural Management Process. In *Wireless Sensor Networks: Application—Centric Design*; IntechOpen: London, UK, 2010. <https://doi.org/10.5772/13001>
 12. Магнітне поле Землі. Словник-довідник з екології: навч.-метод. посіб. / уклад. О. Г. Лановенко, О. О. Остапішина. — Херсон : ПП Вишемирський В. С., 2013. — С. 120.
 13. Zhuang Y., Lin F., Yoo E.-H., Xu W. AirSense: A Portable Context-Sensing Device for Personal Air Quality Monitoring. In *Proceedings of the 2015 Workshop on Pervasive Wireless Healthcare, Hangzhou, China, 22 June 2015; MobileHealth '15; Association for Computing Machinery: New York, NY, USA, 2015; pp. 17-22.* <https://doi.org/10.1145/2757290.2757293>
 14. Mestre G., Ruano A., Duarte H., Silva S., Khosravani H., Pesteh S., Ferreira P.M., Horta R. An Intelligent Weather Station. *Sensors* 2015, 15, 31005-31022.
<https://doi.org/10.3390/s151229841>.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		51