

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри
к.ф.-м.н., І.І. Чичура

«__» _____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

на тему:

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОДУЛЬ МОНІТОРИНГУ ШВИДКОСТІ ТА
НАПРЯМКУ ВІТРУ**

Виконав:

Дриль Андрій Ігорович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник:

Мешко Р.О., викладач
(вчене звання, ПШБ, посада)

_____ (підпис)

Ужгород – 2023

Ужгородський національний університет

Інженерно-технічний факультет

Кафедра приладобудування

Освітньо-кваліфікаційний рівень "БАКАЛАВР"

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

канд. ф.-м.н., ст.викл. Ігор ЧИЧУРА

" 19 " червня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

студенту Дрилю Андрію Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема КБР: Автоматизований модуль моніторингу швидкості та напрямку вітру

керівник роботи: Мешко Р.О. ст. викладач . каф. ПБ,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені Розпорядженням по ІТФ від " 12 " травня 2023 року № 16 .

2. Строк подання студентом роботи " 10 " червня 2023 року.

3. Вихідні дані до роботи:

Провести огляд літератури за темою роботи, дослідити сучасні рішення, що використовуються при побудові автоматизованих вимірювачів швидкості та напрямку вітру. Розробити простий та ефективний пристрій для автоматизованого моніторингу напрямку та швидкості вітру.

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

вступ, огляд літератури по темі КБР, вибір складових та компонування системи, розрахунки необхідні для побудови проектного пристрою, програмування контролера висновки, перелік посилань, додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

схема електрична структурна, схема електрична принципова, системи алгоритм роботи пристрою.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Електроніка та схемотехніка	ст. викл. Чичура І.І.		

7. Дата видачі завдання " 22 " лютого 2022 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання КБР	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд літератури	до 1/03/23	
2	Розробка структурної та принципової схеми	до 15/03/23	
3	Вибір елементної бази	до 10/04/23	
4	Розробка друкованої плати	до 30/04/23	
5	Розробка програмного забезпечення	до 10/05/23	
6	Оформлення креслень	до 25/05/23	
7	Оформлення текстової частини	до 10/06/23	

Студент

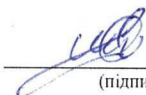


Андрій Дриль

(підпис)

Ім'я ПРІЗВИЩЕ

Керівник КБР



Роман МЕШКО

(підпис)

Ім'я ПРІЗВИЩЕ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 50 с., 12 рис., 3 додатків, 9 посилань.

Об'єкт проектування – автоматизований модуль моніторингу швидкості та напрямку вітру.

Спроектований пристрій призначено для дистанційного моніторингу швидкості та напрямку вітру для накопичення статистичних даних створення мап оптимального розміщення вітрогенераторів та вітрових електростанцій. Пристрій забезпечує цілодобовий моніторинг швидкості та напрямку вітру та фіксує покази із заданою періодичністю. Даний пристрій побудовано на базі сучасного мікроконтролера з автономним джерелом живлення та сонячною панеллю для тривалої автономної роботи. Дані про швидкість та напрямок вітру фіксуються на змінний носій пам'яті формату micro-SD з запрограмованою періодичністю.

Ключові слова: автоматичний анемометр, швидкість вітру, автоматичний анемометр.

ABSTRACT

Explanatory note: 50 p., 12 fig., 3 appendices, 9 references.

The design object is an automated module for monitoring wind speed and direction.

The designed device is intended for remote monitoring of wind speed and direction to accumulate statistical data for creating maps of optimal placement of wind generators and wind power plants. The device provides round-the-clock monitoring of wind speed and direction and records readings at a given frequency. This device is built on the basis of a modern microcontroller with an autonomous power source and a solar panel for long-term autonomous operation. Data on wind speed and direction are recorded on a micro-SD removable storage medium with a programmed frequency.

Keywords: automatic anemometer, wind speed, automatic anemometer.

ЗМІСТ

Вступ		6
1 Огляд літератури і аналіз аналогів об'єкта проектування		7
1.1. Трубчастий анемометр		7
1.2 Тепловий анемометр		9
1.3 Ультразвуковий анемометр		11
1.4 Лазерний доплерівський анемометр		14
1.5 Анемометр нажимної пластини		17
1.6 Звуковий анемометр – термометр		18
1.7 Акустичний резонансний анемометр		19
1.8 Аналоги об'єкта проектування		24
2 Проектно-конструкторський розділ		26
2.1 Розробка конструкції пристрою		26
2.1.1 Конструкція флюгера та анемометра для проєктованого пристрою		26
2.2 Розробка електронного блоку пристрою		31
2.2.1 Розробка структурної схеми пристрою		31
2.2.2 Розробка принципової електричної схеми пристрою		34
3 Алгоритм роботи та програмування контролеру		39
Висновки		46
Перелік джерел посилань		47
Додатки		48

КБР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ								
Вим,	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизований модуль моніторингу швидкості та напрямку вітру Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Дриль А.І.					У	5	50
Перевірів	Мешко Р.О.							
Н. Контр.	Чичура І.І.							
Затвердив	Чичура І.І.							
					УжНУ, ІТФ, курс 5, спец. АКІТз			

ВСТУП

У наш час відновлювані джерела енергії набувають дедалі більшого поширення. Постійне підвищення вартості енергоносіїв та зростання забрудненості нашої планети через спалювання вуглеводнів для генерування енергії спонукають людство до постійного пошуку нових та вдосконалення існуючих способів отримання альтернативної «зеленої» енергії. Серед таких способів, одним з найбільш поширених є вітроенергетика. Малі та великі вітрові електростанції розміщують у зонах найбільш сприятливих для тривалої та ефективної генерації.

Великі вітрогенератори розміщують переважно в степових регіонах, де присутні постійні вітри з достатньою швидкістю для ефективного генерування енергії у великих об'ємах. Малі вітрогенератори зазвичай встановлюють у гібридних системах в комбінаціях, разом з сонячними панелями та іншими відновлюваними джерелами енергії для створення більш стабільної та ефективної системи генерування, що використовується для власних потреб невеликим господарством або приватним помешканням.

У наш час доступні сучасні програмні продукти які дозволяють здійснити моделювання ефективності встановлення тієї чи іншої системи відновлюваної енергетики, де можна наближено оцінити ефективність генерування сонячних панелей чи вітрогенератора за введеними координатами локації майбутньої системи. Зазвичай такі програмні продукти використовують загальнодоступні дані з сейсмологічних баз даних для теоретичної оцінки ефективності системи. Для більш точного отримання інформації, щодо оптимального місця встановлення вітрогенератора та висоти на якій можна отримати достатній рівень генерації доцільно використовувати спеціалізовані вимірювальні пристрої, що нададуть більш точну інформацію. Одним з таких є автоматизований модуль вимірювання швидкості та напрямку вітру, що запропоновано у даній роботі.

					КБР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ І АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

Термін Вітер - називають горизонтальне переміщення повітря відносно земної поверхні. Швидкістю вітру називають горизонтальну складову швидкості переміщення повітря відносно нерухомої точки земної поверхні.

Параметри вітрового потоку (швидкість, напрямок вітру) змінюються постійно. Характер мінливості швидкості вітру, залежить від метеорологічних умов і характеру місцевості. Миттєві значення швидкості вітру є нестійкими характеристиками вітру. Значення їх параметрів коливаються близько середніх значень, стійких протягом досить великого відрізка часу.

Швидкість вітру прийнято усереднювати в десяти хвилинному інтервалі часу (іноді в двох хвилинному).

Миттєвою швидкістю прийнято вважати швидкість, яка визначається внаслідок інерційності вимірюваного приладу, за інтервал часу 2-5с.

Прилади для вимірювання швидкості вітру називаються анемометрами. У наш час існує безліч способів визначити швидкість вітру які побудовані на різних принципах та використовують різні фізичні явища та ефекти для забезпечення контролю цього параметру. Розглянемо для порівняння найбільш поширені та перспективні пристрої контролю швидкості та напрямку вітру.

1.1. Трубчастий анемометр

Класичний, трубчастий анемометр складається зі скляної трубки U, в якій розміщений рідинний манометр, одна частина якого зігнута в горизонтальному напрямку, для того щоб протистояти потоку вітру, а інша частина залишається паралельна вітровому потоку.

Вітровий потік у горловині, призводить до підвищення тиску на одній зі сторін манометра. На іншій стороні манометра, над відкритим кінцем вертикальної трубки, викликає не значну зміни тиску. Остаточна різниця в висоті рівня у обох колінах U-трубки являється показником швидкості вітру. З

					КБР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

метою покращення характеристик точності вимірювання потрібно, щоб не значна швидкість потоку вітру викликала значні відхилення в показниках.

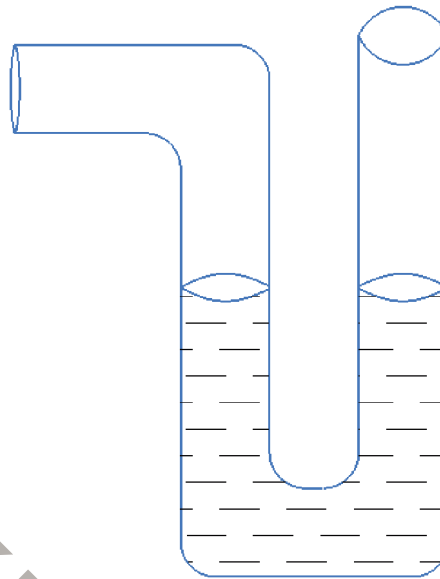


Рисунок 1.1 – Трубчастий анемометр

Тиск в трубці яка паралельна вітру є сума тиску вітру та атмосферного тиску. Таким чином

$$P_1 = P_A + C_1 \frac{1}{2} \rho_a V^2.$$

Отже в трубці, перпендикулярній вітру, тиск

$$P_2 = P_A - C_2 \frac{1}{2} \rho_a V^2,$$

де P_A – атмосферний тиск ,

а C_1 і C_2 – коефіцієнти.

Віднімаємо P_2 від P_1 і отримуємо рішення для V

$$V = \left[\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho_a (C_1 + C_2)} \right]^{0.5},$$

Тоді, вимірюючи різницю тисків всередині двох трубок, швидкість вітру може бути визначена.

					КБР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

Основна перевага вказаного методу – це відсутність будь-яких рухомих частин. Але на відкритій місцевості має обмежене застосування, через присутність вологи, пилу, комах, що можуть суттєво вплинути на його точність.

Ще один прототип трубчатого анемометра має подібну конструкцію реагуючи на незначні зміни тисків між відкритим патрубком та іншим кінцем приладу. Конструктивно труба закрита на верхньому рівні. Обидва встановлені на однаковій висоті. Щоб зафіксувати різницю тиску потрібні певні засоби. Рекордер містить в собі поплавець який знаходиться в герметичній камері, частково заповненій водою. Тоді як з верхньою частиною герметичної камери з'єднана труба. Труба з менших трубок направляє в нижню частину всередину поплавця. Так як різниця тисків визначає положення поплавця по вертикалі, це є показником швидкості вітру [5].

Основна перевага трубчатого анемометра це те, що відкрита деталь навіть при встановленні на значній висоті не потребує обслуговування протягом багатьох років роботи та розмістити реєструючу частину в будь-якому положенні.

Хоча трубчастий анемометр і має точність вимірювання близько 1% при швидкості 10 км / год, він не коректно реагує на низьку швидкість вітру через незначну реакцію саме плоскої пластини, яка необхідна для реєстрації потоку. Тому для застосування у вимірюваннях швидкості вітру 2-5 км/год, класичні конструкції анемометрів не підходять.

1.2 Тепловий анемометр

Основний принцип роботи вказаного типу анемометра - залежність опору металів від швидкості вітру (повітряного потоку).

Головний елемент – розігрітий електричним струмом, тонкий вольфрамовий провідник, товщиною декілька мікрометрів. Через те, що електричний опір в більшості металів напряму залежить від його температури, то можна отримати співвідношення швидкості потоку повітря та

					КБР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

опором проводу[1]. При протіканні повітря повз дріт (нагрівник), відбувається його охолодження.

Конструктивно датчиком виступає тонкий металевий дріт або плівка, виготовлена з матеріалу який має високий температурний коефіцієнт опору, наприклад платина-вольфрам, платина-іридій і платина-родій.

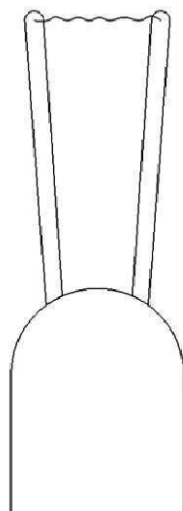


Рисунок 1.2 – Тепловий анемометр

Для теплового анемометра таке основне рівняння

$$\frac{dE}{dt} = W - H.$$

В цьому рівнянні E – це збережена в проводі тепла енергія

$$E = C_w T,$$

В цьому рівня C_w - це теплоємність дроту,
а W - потужність, яка генерується Джоулем обігріву

$$W = I^2 R_w,$$

H – величина тепла, що передається оточенню.

Здебільшого товщина провідника- датчика варіюється від 1 до 10 мкм при діаметрі D (0,5 - 2 мм). Несучими конструкції є штирі з нержавіючої сталі до яких приварено термочутливий датчик - провідник.

Крім датчиків у вигляді провідника використовуються тонко плівкові конструкції з товщиною близько 1-5 мкм напилену на плоску підкладку (основу) з можливістю вимірювання спаду напруги.

					КБР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

Вимірювання падіння напруги на провіднику - датчика дає також додаткові можливості визначити локальну швидкість рідини. Два основні режими роботи: режим постійного струму коли коливання напруги на датчику обумовлені зміною температури та опором самого провідника. Режимом постійної температури який підтримується системою зворотного зв'язку зі змінним струмом, яка і нагріває датчик. Той чи інший режим можна використовувати в залежності від конкретного типу вимірювань.

Отже, вихідна напруга обох типів анемометрів є результатом внутрішньої схеми пристрою, яка підтримує сталу температуру чи струм за законом Ома.

Крім вказаних конструкцій існують анемометри з широтно-імпульсною модуляції, де швидкість нагрівання залежить від часових параметрів напруги живлення датчика, імпульсу струму, від якого встановлюється певний опір провідника може підтримуватись на певному рівні при досягнення певного значення температури (режим стабілізації).

Підводячи підсумок розглянутих типів датчиків - анемометра з гарячим провідником які володіють точною просторовою роздільною здатністю у порівнянні з іншими методами вимірювання, і надзвичайно високу частотну характеристику (суттєвою частотою вимірювання). Надзвичайно універсальні для детального вивчення параметрів турбулентних потоків повітряних мас.

Основний недолік термоанемометрів – це низька механічна міцність, через застосування тонкого дроту, можливість окислення та забруднення гарячого провідника.

1.3 Ультразвуковий анемометр

Принцип роботи ультразвукових анемометрів полягає у використанні ультразвукових хвиль для вимірювання швидкості вітру. Між парою датчиків перетворювачів (приймач - передавач) заміряється швидкість вітру яка залежить від часу проходження звукових імпульсів. Для того щоб проводити вимірювання швидкості в багатовимірному потоці можна об'єднати вимірювання з декількох датчиків орієнтованих у різних площинах.

					КБР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

Роздільна здатність встановлюється за допомогою довжини шляху між перетворювачами, яка в більшості випадків становить 10-20 см. Частота опитування датчиків в ультразвукових анемометрів становить від 20 Гц і вище, що робить їх чудовими пристроями для вимірювань явища - турбулентності.

Відсутність будь-яких рухомих частин допомагає зменшити кількість сервісних обслуговувань на відкритих автоматичних метеорологічних станціях та на погодних буюх, де солоне повітря або пил несприятливо впливають на точність і надійність звичайних чашково-крильчатих анемометрів.



Рисунок 1.3- Типовий ультразвуковий анемометр:

- 1- блок де знаходяться датчики; 2 – пристрій для обробки інформації;
3 - компас електромагнітний; (4-9) – декілька ультразвукових датчиків

Зм.	№ докум.	Підпис	Дата	

КБР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ

Арк.
12

Ультразвукові анемометри використовують кінетичну енергію вітру. Додаткове джерело енергії їм не потрібне. Також, є й інші типи анемометрів, які використовують додаткові джерела в якості параметрів швидкості вітру, як швидкість звуку. В повітрі, звук поширюється при зміні тиску повітря уздовж напрямку руху звуку. Швидкість звуку за нормальних умов становить 330м/с при температурі 15 °С.

Класично поширення звуку описується хвильовими законами. При збільшенні температури, швидкість звуку збільшується.

Рівняння для розрахунку швидкості звуку в сухому повітрі

$$V_s = 331.3 \frac{\text{м}}{\text{с}} * \sqrt{\frac{T_K}{273.15^\circ\text{C}}} = 331.3 \frac{\text{м}}{\text{с}} \sqrt{1 + \frac{T_c}{273.15^\circ\text{C}}}$$

де температура в градусах Цельсія - це T_c ,

а T_K – температура в Кельвінах [2].

Застосувавши ряд Тейлора [3], перетворимо цей вираз у простішу форму.

Так як мікроконтролер (МК) має обмежені обчислювальні можливості та витрачає значний машинний час на складні математичні обрахунки, доцільно спростити це рівняння.

Якщо перші два компоненти степеневого ряду Тейлора застосувати до рівняння 1.0, то одержимо перетворення:

$$V_s = 331.3 \frac{\text{м}}{\text{с}} \left(1 + \frac{T_c}{2 * 273.15} \right) = 331.3 + 0.606 T_c \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right),$$

Коли звук і вітер рухаються в одному напрямку, результуюча швидкість саме звукових хвиль (V_1) становитиме:

$$V_1 = V_s + V.$$

Отже, результуюча швидкість звуку (V_2), якщо напрям вітру протилежний напрямку поширення звукових хвиль, становить

$$V_2 = V_s - V.$$

Так як швидкість звуку змінюється з температурою і майже статична при зміні тиску, ультразвукові анемометри можна використовувати в якості термометрів. Застосування їх можливе у: авіації, метеорологічних станціях, метеорологічних буюх, судноплавстві та вітряних турбінах,

Щоб провести моніторинг вітрових турбін знадобиться частота оновлення швидкості вітру від 3 Гц, що досягається за допомогою акустичних анемометрів доволі легко.

Двовимірні датчики вітру поділяють на два типи:

Перший тип має два ультразвукові канали (2-х мірний): і такий тип має 4 важеля (кріплення датчиків). Головний недолік – порушення вітрового потоку плечами кріплення при русі вітру в напрямку ультразвукового шляху, цим самим знижуючи точність отриманого вимірювання.

Три ультразвукові канали (3-х мірний) мають 3 важеля. Цей тип має покращену точність та набагато меншу аеродинамічну турбулентність через те, що дають одностороннє вимірювання.

Головний недолік ультразвукових анемометрів - це викривлення самого потоку конструкцією, яка підтримує перетворювачі і вимагає корегування, параметрів досліджених у аеродинамічній трубі, щоб зменшити вплив конструкції.

1.4 Лазерний доплерівський анемометр

Принцип роботи лазерних доплерівських анемометрів полягає в розділенні променя світла лазера на два промені, один з яких виходить з анемометра. Частинки матеріалу або просто частинки, які протікають всі разом з частинками повітря поряд з місцем, де промінь виходить, віддзеркалюють розсіювання світла до детектору, де він вимірюється відносно вихідного лазерного променя. Частинки розсіювання знаходяться у русі, вони ж і викликають доплерівський зсув, який застосовується для розрахунку швидкості частинок, а отже, і повітря навколо анемометра[4].

					КБР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

Головними перевагами цього методу є: високе просторове та тимчасове розширення, неінтрузивне вимірювання, відсутня потреба в калібруванні та можливості вимірювання в реверсивних потоках.

Головна конфігурація лазерного доплерівського анемометра складається з таких компонентів:

- Безперервної лазерної хвилі.
- Передавальна оптика, з роздільником променя і фокусувальною лінзою.
- Сигнальний кондиціонер та процесор сигналів.
- Приймальна оптика, що містить фокусувальною лінзу, інтерференційний фільтр з фотоприймачем.

Комірка Брегга часто використовується як роздільник променя, який виглядає як скляний кристал з вібруючим п'єзокристалом. Через вібрацію генеруються акустичні хвилі, які діють як оптична решітка. Сигнал на виході решітки Брегга рівний двом пучкам з частотами f_0 і $f_{зсув}$ рівної інтенсивності. Орієнтовані вони на оптичні волокна, доводячи їх до зонду.

Паралельні вихідні промені в зонді з волокон сфокусовані лінзою для перетину в обсязі зонда. Сам об'єм зонду складає декілька міліметрів. Через інтерференції між лазерними променями модулюється інтенсивність світла, що призводить до створення так званих смуг, паралельних площин високої інтенсивності світла. Відстань між смугами d_f залежить від довжини хвилі лазерного випромінювання і кута між променями:

$$d_f = \frac{\lambda}{2\sin(\frac{\theta}{2})}$$

в якому кут між променями – це θ ,

а λ – довжина хвилі.

Через кожен прохід частинок розсіюється світло, яке пропорційне локальній інтенсивності світла.

Інформація про швидкість потоку надходить від світла, розсіяного маленькими частинками, які при русі за об'ємом зонду переносяться в рідині. Доплерівський зсув міститься в розсіяному світлі яке ще і містить,

					КБР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

доплерівську частоту f_D , яка залежить від компоненти швидкості перпендикулярна бісектрисі двох лазерних променів.

Світло яке розсіялось збирається приймальною лінзою і фокусується на фотодетекторі. Необхідна довжина хвилі пропускається через фільтр перешкод до фотодетектору. Це видаляє шум від зовнішнього світу та від хвиль іншої довжини. Сигнал обробляється в лазерному доплерівському анемометрі покроково. Змінна інтенсивність світла перетворюється фотодетектором в доплерівський вибух, електричний сигнал, який є синусоїдальним з гаусовим розподілом.

В процесорі сигналів, доплерівські сплески фільтруються і відправляються, що визначає f_D для кожної частинки. Таким чином інтервал d_f інформує про відстань, пройдену часткою. Доплерівська частота f_D інформує про час

$$t = \frac{1}{f_D}.$$

Так як швидкість дорівнює відстані, поділеній на час, тоді вираз для швидкості запишемо.

$$V = d_f * f_D.$$

Можна додати два додаткових промені до оптики в площині щоб виміряти дві компоненти швидкості, перпендикулярній першим пучкам.

Два окремі зонди можуть виміряти всі три компоненти швидкості, причому всі промені перетинаються в загальному об'ємі. Для розділення вимірюваних компонентів потрібно використовувати різні довжини хвиль. Для того щоб виявити розсіяне світло трьох довжин хвиль потрібно використовувати три фотодетектора з відповідними фільтрами перешкод.

Теперішні системи лазерних доплерівських анемометрів використовують компактний передавач, який містить кольорові світло-розділювачі та Бреґівську комірку. Кольорові світло-розділювачі потрібні для генерації до 6 променів: кожен з яких буде зміщений. До зондів ці промені пропускаються через оптичні волокна.

					КБР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

1.5 Анемометр нажимної пластини

Анемометри нажимної пластини – один із перших сучасних анемометрів. Їх конструкція складаються з плоскої пластини, підвішеної зверху, так щоб вітер відхиляв саму пластину. Новіші версії цієї форми склалися з плоскої пластини, круглої або квадратної форми, що підтримується вітром. Тиск вітру на головній пластині компенсується пружиною. Саме стиснення пружини визначає фактичне зусилля, яка залежить від впливу вітру на пластину, яке зчитується на рекордері. Основний недолік таких приладів – це відсутня реакція на легкі вітри, проблеми з точністю при високих показаннях швидкості вітру і занадто повільна реакція на зміну вітру.

Анемометр нажимної пластини в більшості складається з гойдаючої пластини, яка утримується в кінці горизонтального важеля, прикріпленого до вертикального валу, де плече може вільно обертатися навколо осі. За допомогою флюгеру плитка завжди перпендикулярна до вітрового потоку.

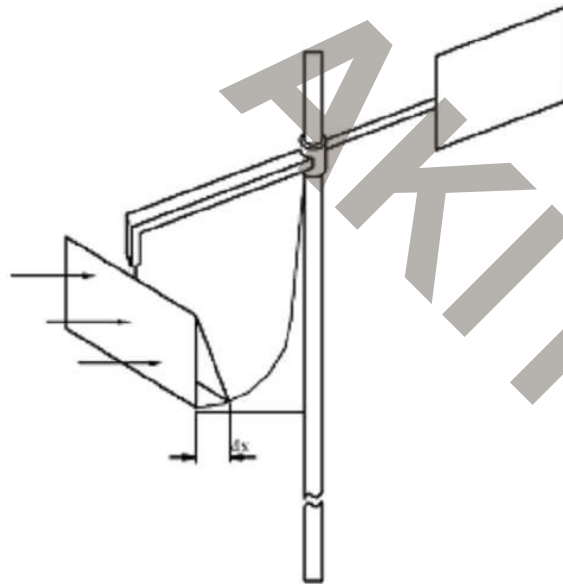


Рисунок 1.4 - Анемометри нажимної пластини.

Так як коефіцієнт опору пластини можна прийняти за одиницю тиску, що діє на пластину, можна визначити P як

					КБР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	№ докум.	Підпис	Дата			17

$$P = \frac{1}{2} \rho_a V^2,$$

в якому швидкість вітру – це V ,

а ρ_a – щільність повітря.

Тиск змушує пластину переміщатися всередину. В термінах швидкості вітру її можна відкалібрувати як відстань, де від сили вітру залежить коливання пластини. Для вимірювання привітвітріу та передбачення вітрових аварій на мостах, анемометри нажимної пластини підходять ідеально.

1.6 Звуковий анемометр - термометр

Звуковий анемометр - термометр, вимірює час проходження відомої відстані акустичним сигналом. Обчислити середню швидкість уздовж цього шляху можна двома методами: імпульсний та безперервної хвилі. Основна частина комерційних пристроїв сьогодні використовує імпульсний метод.

Такий пристрій описується Каймалом і Бусінджером [6], що складається з декількох передавальних і приймаючих перетворювачів, які просторово рознесені. Ці випромінювачі випромінюють безперервно, а випромінювання між собою не гармонійно пов'язані. Імпульси представлені як переміщення між самими одиницями. Час, який витрачається на саму передачу сигналу, рівний t_1 і t_2

Відстань яка буде пройдена в цьому часі позначається як похідна швидкості та часу.

Тоді

$$t_1 = \frac{d}{c \cos \alpha + \omega}; \quad t_2 = \frac{d}{c \cos \alpha - \omega},$$

де c – крутість,

d - поділ між одиницями,

α - кут відхилення, викликаний по потоку.

Отже

$$\sin \alpha = \frac{u}{c},$$

					КБР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	№ докум.	Підпис	Дата			

i

$$\cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha,$$

суму та різницю часу транзиту можна розрахувати за формулами

$$t_1 - t_2 = \frac{2d\omega}{c^2 - v^2}, \quad (1.1)$$

$$t_2 + t_1 = \frac{2d\cos\alpha}{c^2 - v^2}. \quad (1.2)$$

Розглянувши рівняння 1.1 можна помітити залежить від потоку, в той же час рівняння 1.2 – не залежить. Тоді для отримання «акустичної температури» можна використати рівняння 1.1.

Коли $v \ll c$, згідно Коппіні і Тейлору [8], рівняння 1.1 перетворюється на

$$\omega = \frac{c^2}{2d}(t_2 - t_1), \quad (1.3)$$

тоді можна обчислити c як

$$c = 20.067 \sqrt{T(1 + 0.32 \frac{e}{p})}, \quad (1.4)$$

де c – атмосферний тиск,

T - абсолютна температура,

e - тиск пару води.

Коппін і Тейлор [7] стверджують, що прилади, які були засновані на цьому методі, можуть показувати дрейф при зміні елементів навколишнього середовища.

1.7 Акустичний резонансний анемометр

Акустичний резонансний анемометр визначає фазові зміни, викликані через потік акустичного резонансу в каналі. Вбудований резонатор в анемометр складається з масиву ультразвукових перетворювачів, які в свою чергу використовуються як окремі шаблони на ультразвукових частотах. При

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проходженні вітру всередині порожнини, відбувається зсув фаз. Після вимірювання величинизсуву фази в прийнятих сигналах кожним перетворювачем, та застосувавши математичну обробку даних, можна досягнути точного визначення напрямку вітру та швидкості.



Рисунок 1.5 - Акустичний резонансний анемометр

За допомогою технології акустичного резонансу можна визначати показиусередині невеликої порожнини, через це датчики мають менший розмір, ніж інші ультразвукові датчики. Компактні розміри роблять їх стійкішими до обмерзання, легкими, конструктивно - міцними. При такій комбінації характеристик зрозуміло, що вони стають доступними по вартості і чудовопідходять для управління вітровими турбінами та інших застосувань, денеобхідні маленькі надійні датчики.

Головна проблема цього датчика в порівнянні з каліброваним механічним датчиком - точність вимірювання. Для багатьох інших застосуваньця проблема нівелюється довговічністю сенсора та тим фактом, що після встановлення він не потребує повторного калібрування.

Під час роботи, поки на одному перетворювачі відбувається перетворення даних, інший акустичнийперетворювач використовується для збудження акустичного резонансу. Длятого щоб обчислити компоненти швидкості

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поток, використовується різниця фаз, а робота двох перетворювачів міняються місцями.

Третій перетворювач використовується для визначення компонента потоку в іншому напрямку (орієнтації). Через відсутність рухомих деталей та компактний дизайн пристрій буде надійний, а за допомогою методу акустичного резонансу, шляхом забезпечення безперервного калібрування, ще й зменшує похибку вимірювання, викликані змінами температури, тиску навколишнього середовища. Покращення характеристик сигналу(сигнал / шум), буде лінійно пов'язане між швидкістю і фазою та впливати на інші частоти вимірювань.

Сила опору можна записати як

$$F_D = C_D \frac{1}{2} A \rho_a V^2, \quad (1.5)$$

де V - швидкість вітру,

ρ_a - щільність повітря,

A - площа чаші, на яку впливає вітер,

C_D - коефіцієнт опору.

Так як коефіцієнт опору увігнутої поверхні набагато більше, ніж опуклої частини, чаша з увігнутою стороною, орієнтована до вітру, має більшу силу опору. Через це чашки змушені обертатися на своїй центральній осі. Швидкість та інтенсивність обертання пропорційне швидкості потоку вітру.

Додатково проводиться калібрування по швидкості вітру, яка у подальшому може бути записана та виміряна.

Розглянутий варіант анемометра може працювати в різних екстремальних умовах. Чашковий анемометр може швидко прискорюватись при появі вітру, але довго сповільнюється, коли вітру немає. Тому чашкові анемометри не дають точних результатів вимірювання при пориві вітру. Через те, що сила опору

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прямо пропорційна щільності, при будь-яких змінах щільності повітря буде змінюватися і точність вимірної швидкості.

Незважаючи на ці обмеження, чашкові анемометри використовуються для вимірювання швидкості вітру як в вітроенергетичних застосуваннях, так і в метеорологічних.

Швидкість яку ми виміряли за допомогою чашкового анемометра - це усереднена одновимірна величина. Інтерпретація цієї величини - це важливе значення для розробки класифікації за параметрами.

Відомі два способи для визначення швидкості вітру. Найбільш часто розглядається горизонтальна складова швидкості вітру. Виміряємо компоненти горизонтальної швидкості вітру, такі як довжина вектору швидкості вітру та ін.

$$|\vec{U}| = \int_t \sqrt{u^2 + v^2}.$$

Якщо чашковий анемометр має косинусний кутовий відклик, то його вертикальна складова w автоматично фільтрується.

Інше значення містить в собі вертикальну складову w . Хоч і вимірюється тільки один параметр, величина векторна, так як величина має всі три складові вектора, його називають тривимірною усередненою величиною.

$$|\vec{U}| = \int_t \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}.$$

Основна різниця між цими визначеннями полягає в інтенсивності турбулентності. Для турбулентності 15% в рівнинній місцевості різниця становить близько 0,5%, в той час як для турбулентності 30% це близько 1%. Тут і криється основна відмінність між двома визначеннями.

Отже, середній момент аеродинамічних сил, які діють на вітроприймач анемометра, пропорційний квадрату швидкості вітру V і ковзання. Квадрат швидкості рівний відносному відхиленню ω від статичного значення ω_0 , в

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залежності від діючого значення швидкості вітру. І тоді в цьому випадку рівняння руху вітроприймача записується

$$I \frac{d\omega}{dt} = AV^2 \left(\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \right), \quad (1.6)$$

де момент інерції ротора анемометра – I ,

V – швидкість вітрового потоку,

A – коефіцієнт пропорційності.

Якщо розглядати роботу анемометра в періодичному змінному потоці можна перейти до рівняння, записаному в безрозмірному вигляді, а отже використаємо наступні співвідношення і запишемо змінні величини в відносних одиницях

$$\bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_0},$$

$$\bar{V} = \frac{V}{V_0},$$

$$\bar{t} = \frac{t}{T},$$

в якому час – це t ,

ω_0 – кутова швидкість, яка рівна середньому

T – період коливання потоку.

Перейшовши від кутових швидкостей до окружних, рівняння 1.6 можна перетворити наступним чином

$$\frac{d\bar{U}}{d\bar{t}} = 2\pi k (\bar{V}^2 - \bar{V}\bar{U}), \quad (1.7)$$

в якому k – коефіцієнт вітроприймача.

k для чашкових анемометрів визначається виразом

$$k = \frac{\rho V_0 T a^2 r^2 \alpha \lambda_0}{4I}, \quad (1.8)$$

в якому a – радіус півсфери чашкового анемометра,

ρ – щільність повітря,

r – відстань осі анемометра до центру чашки.

$$\lambda_0 = \frac{V_0}{U_0},$$

α – аеродинамічний коефіцієнт, який залежить від конструкції,

U_0 – лінійна швидкість.

Необхідною характеристикою анемометра являється параметр k , який показує його інерційність, а також умови роботи в змінному потоці.

Зв'язок між шляхом синхронізації L та параметром k

$$k = \frac{V_0 T}{2\pi L},$$

Максимальне відхилення швидкості вітру, описується експлуатаційними стандартами у порівнянні з реальною швидкістю вітру[8].

1.8 Аналоги об'єкта проектування

Запропонований аналог - метеодатчик МД 03.001 використовується як обладнання систем раннього виявлення НС та оповіщення (СРВНСО). Призначений для вимірювання швидкості, напрямку вітру, температури повітря.

Датчик трилопатевий з флюгером, із цифровим уніфікованим виходом - інтерфейсом RS485. Така реалізація дає можливість підключатися до персонального комп'ютера за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

У таблиці 1.1 наведено короткі технічні характеристики модуля.

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 Технічні характеристики метеодатчика МД 03.001 [9]

Напруга живлення , В	10...30 постійного струму
Споживана потужність, Вт	не більш 1,2
Діапазон вимірювання швидкості вітру , м/с	0...50 ± 10 %
Діапазон вимірювання температури, град	-40...+80
Вимірювання напрямку вітру	дискретне, 16 положень
Інтерфейс для зв'язку з пристроями	RS485
Протокол для зв'язку з пристроями	MODBUS RTU (10й адрес)
Габаритні розміри, мм	178x76x214
Вага, кг	не більш 0,2

2ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1Розробка конструкції пристрою

На основі проведеного аналізу інформації про існуючі способи отримання даних про швидкість вітру та його напрямок було обрано оптимальний спосіб одержання цієї інформації для нашого пристрою. Виходячи з поставленої задачі найбільш оптимальним способом є використання чашкового анемометра з флюгером для визначення напрямку вітру. Даний спосіб є досить поширений, відносно простий у реалізації, достатньо точний та чутливий і може бути реалізованим на основі готових компонентів без необхідності проектування чашок та проведення складних математичних розрахунків. До недоліків цієї конструкції можна віднести необхідність складної конструкції підшипників з високою точністю механічної обробки для забезпечення високої точності та чутливості механічної частини датчика до швидкості вітру (можливість вимірювання малої швидкості вітру).

2.1.1Конструкція флюгера та анемометра для проектованого пристрою

Конструктивно датчик можна розділити на дві частини – флюгер або прапорець, що відстежує напрямок вітру, з відповідною електронною частиною, яка перетворює переміщення у електричні сигнали для мікроконтролера. Відповідно чашковий анемометр, фіксує швидкість вітру пропорційну швидкість обертання чашок, де за допомогою електронного тахометра інформація про швидкість обертання перетворюється та передається також мікроконтролеру.

Флюгер.

У даній конструкції основою флюгера як і датчика швидкості, який описано нижче, служить П-подібна скоба з дюралю Д-16, зображена на рисунку 2.1. У нижнє заглиблення встановлено полімерну втулку, із ступінчастим

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заглибленням діаметром 2 та 3 мм. У це заглиблення гострим кінцем вставляється вісь (для флюгера — з латуні). Зверху вона вільно проходить через отвір діаметром 8 мм. Над цим отвором гвинтами М2 до скоби прикріплюється деталь з фторопласту завтовшки 4 мм так, щоб він перекривав отвір. У фторопласті зроблено отвір точно по діаметру осі 6 мм (розташоване точно по загальній осі отворів рисунок 2.1). Фторопластова втулка вгорі та внизу відіграє роль підшипників ковзання.

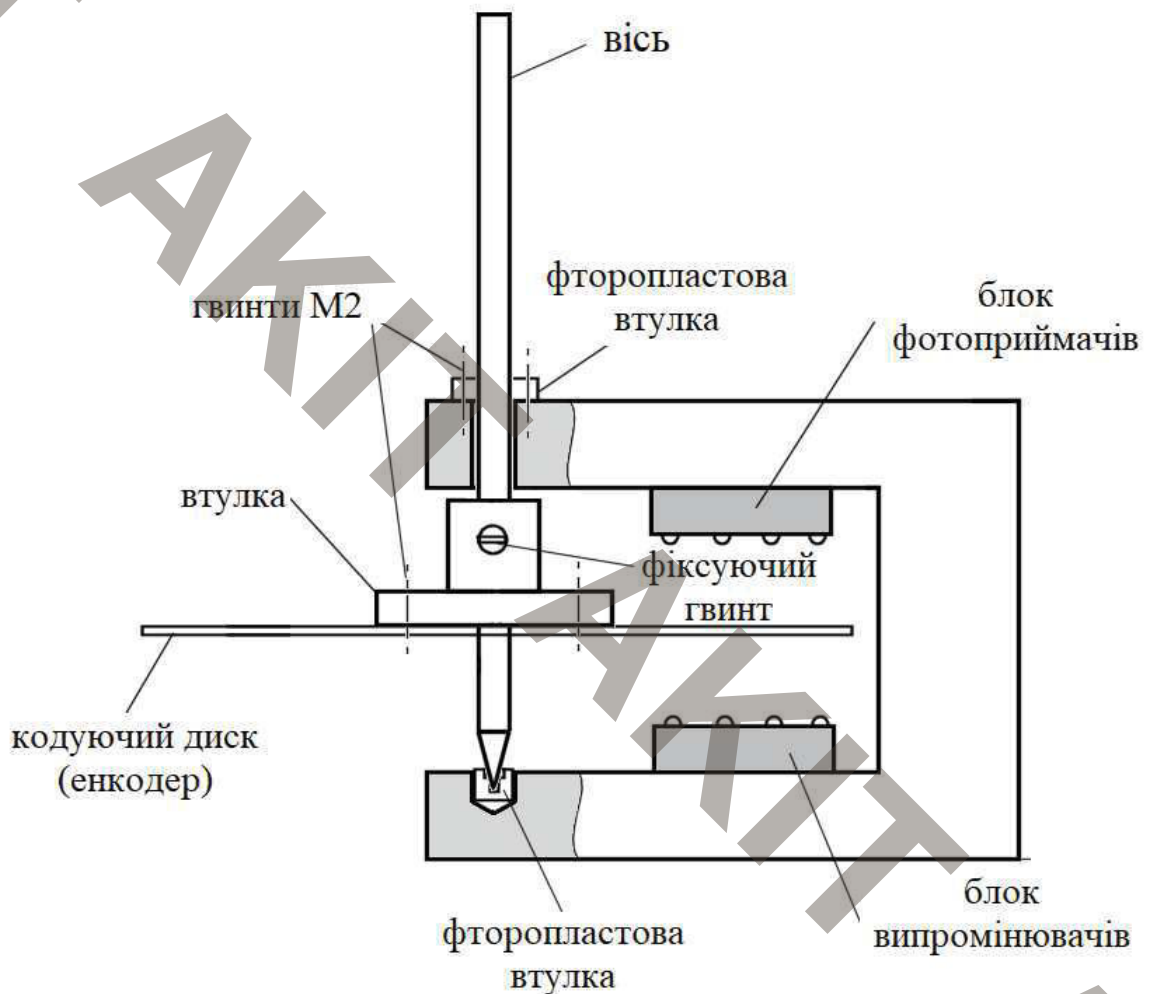


Рисунок 2.1 Конструкція флюгера проектованого датчика

Вісь в місці тертя із фторопластом необхідно відполірувати, а площу тертя мінімізувати. Для флюгера це не відіграватиме особливої ролі — незначне

«гальмування» йому навіть корисна, а для анемометра важливим, зменшити тертя та інерцію.

Для фіксування показів кута повороту флюгера було використано класичну схему конструкцію енкодера Гряз 16-тю положеннями. Конструкція диску енкодера показано на рисунку 2.2.

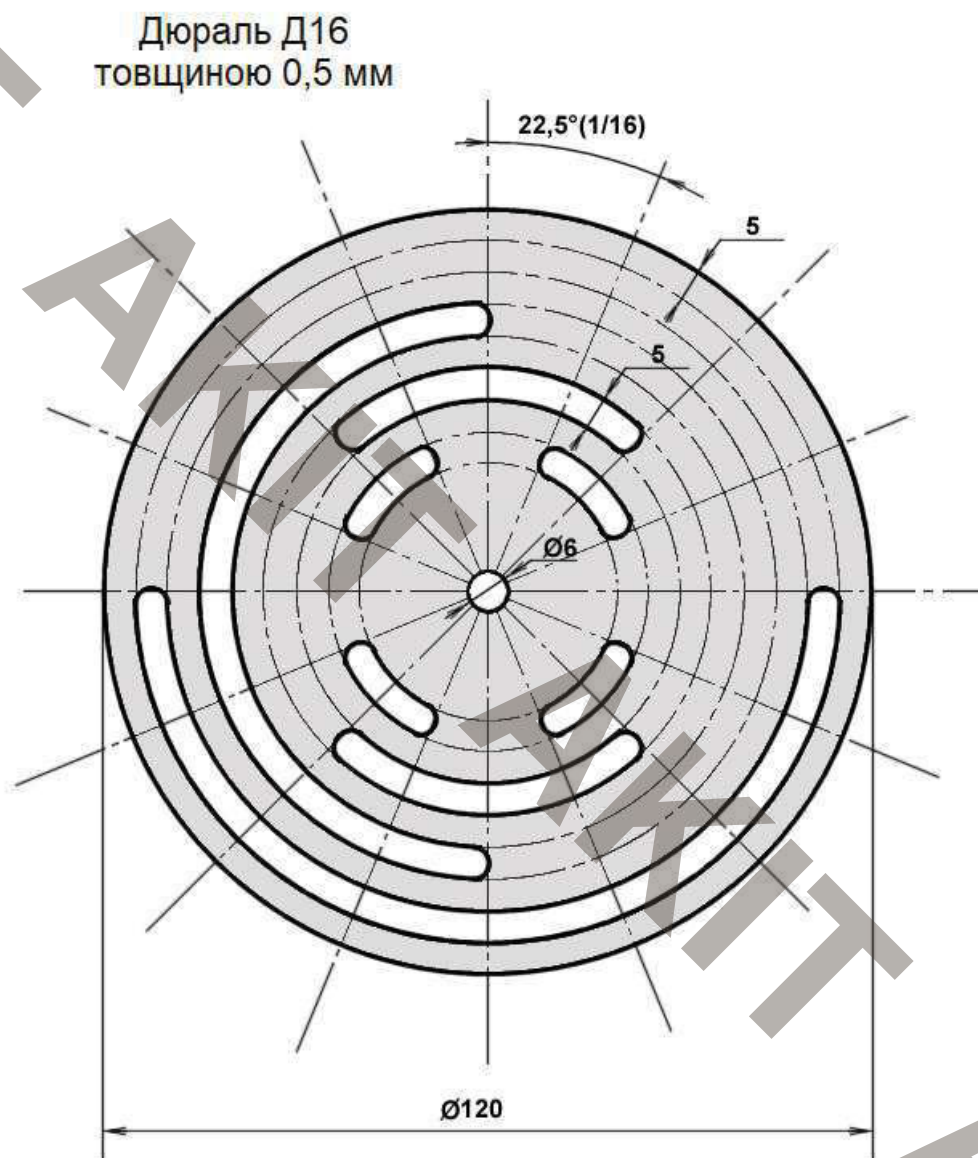


Рисунок 2.2 Конструкція кодуєчого диску -енкодера для флюгера

Розмір диска було обрано, виходячи з умови надійної оптичної ізоляції пар випромінювачів один від одного. При такій конфігурації щілини шириною 5 мм розташовуються з проміжком 5 мм, а оптичні пари розташовані на відстані рівно

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

10 мм. Розміри скоби, до якої кріпиться флюгер, були розраховані виходячи з діаметра диска 120 мм. Розміри диску можливо зменшити, використовуючи оптопари меншого розміру при необхідності мінімізації розмірів датчика.

На складальному кресленні вище показано кріплення диска до осі. Ретельно відцентрований диск кріпиться гвинтиками М2 до полімерної втулки. Втулка розміщується на осі так, аби верхній проміжок був мінімальним (1-2 мм). Тоді вісь в нормальному положенні оберталася вільно, а при перевероті вістря не випадало з гнізда униз. Блоки фотоприймачів та випромінювачів кріпиться до скоби зверху та знизу диска, більш конкретно про їх конструкцію далі.

Вся конструкція поміщається у пластиковий корпус 150×150×90 мм.

Анемометр.

Основа для датчика швидкості з метою уніфікації була обрана та сама, що й для флюгера. Але вимоги до конструкції тут дещо інші: з метою зниження порога спрацювання анемометр має бути максимально полегшений. Тому, зокрема, вісь для нього зроблена з дюралю, диск з отворами (для вимірювання частоти обертання) зменшений у діаметрі.

Якщо для 4 - бітного енкодера треба потрібно чотири оптопари, то для датчика швидкості всього одна. По колу диска на рівній відстані просвердлено 16 отворів, таким чином один оберт диска в секунду еквівалентний (16 імпульсам /оберт).

Датчик даного типу має поріг спрацювання не менше (0,5 - 1)м/сек, чутливість знизити можна якщо радикально змінити конструкцію, що не має необхідності, так як жоден вітрогенератор не здатен працювати при таких малих швидкостях вітру.

У чашкового датчика різниця сил опору потоку, який викликає крутний момент, відносно невелика - вона досягається виключно за рахунок різної форми поверхні яка контактує з набігаючим потоком повітря (тому форма чашок повинна бути якомога більш обтічної - в ідеалі це половинка яйця або кулі). У пропелера крутний момент, набагато більше, його можна зробити набагато меншим за вагою, тоді саме виготовлення простіше. Але пропелер потрібно встановлювати за

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напрямом потоку повітря, наприклад, розмістивши його на кінці того ж флюгера. Головне питань при цьому: як передавати показання з датчика, який обертається навколо вертикальної осі? Дана задача є надзвичайно складною і суттєво збільшить вартість пристрою. Зважаючи на те, що професійні чашкові конструкції досі поширені і дана конструкція цілком задовольняє поставлену задачу, питання зниження вартості пристрою є набагато актуальнішим.

У якості чашок може бути використана готова конструкція, або деталь виготовлена на 3D принтері.

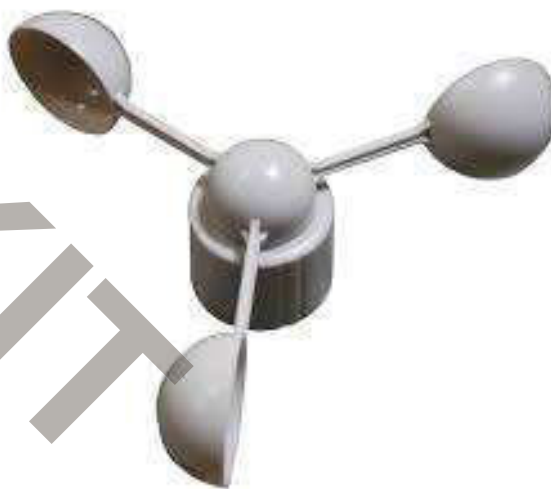


Рисунок 2.3 Конструкція чашок анемометра

Конструкція тримача чашкового анемометра повністю повторює конструкцію тримача флюгера, яка зображена на рисунку 2.1

Анемометр та флюгер розміщені в двох окремих корпусах розміром 150×150×90 мм.

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розробка електронного блоку пристрою

2.2.1 Розробка структурної схеми пристрою

Проектований пристрій в цілому складається з двох основних модулів: зовнішнього блоку, який взаємодіє з обома датчиками вітру (анемометр і флюгер), а також зчитує показання із зовнішнього датчика температури та вологості, і основного модуля з дисплеями.

Зовнішній блок обладнаний бездротовим передавачем для передачі даних, встановлений усередині з зовнішньою антеною. Основний модуль приймає дані від виносного блоку, приймач для зручності орієнтації винесений на кабелі в окремий блок, а також зчитує показання з внутрішнього датчика температури та вологості і відображає на дисплеї. Окрема складова основного блоку — годинник з календарем, який для зручності загального налаштування пристрою обслуговується окремим контролером ArduinoMini, і має свій дисплей.

У запропонованому модулі всі величини приймаються, розшифровуються, перетворюються за допомогою МКі відображаються на цифрових дисплеях.

Приймач винесений за межі корпусу основного модуля станції та поміщений у малогабаритний корпус з кріпленням. Антена виведена назовні, усі отвори в корпусі герметичні. Контакти приймача виведені через роз'єм типу PC-4, з боку приймача він підключений через екранований AV-кабель.

По одному із провідників кабелю знімається сигнал, по іншій подається (9 VDC) від модуля живлення. Інший модуль живлення побудовано на стабілізаторі LM-2950-5.0.

Дисплеїв типу OLED чотири: два жовті обслуговують метеодані, два зелені години і календар.

Структурна схема запропонованого пристрою наведена на рисунку 2.4.

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

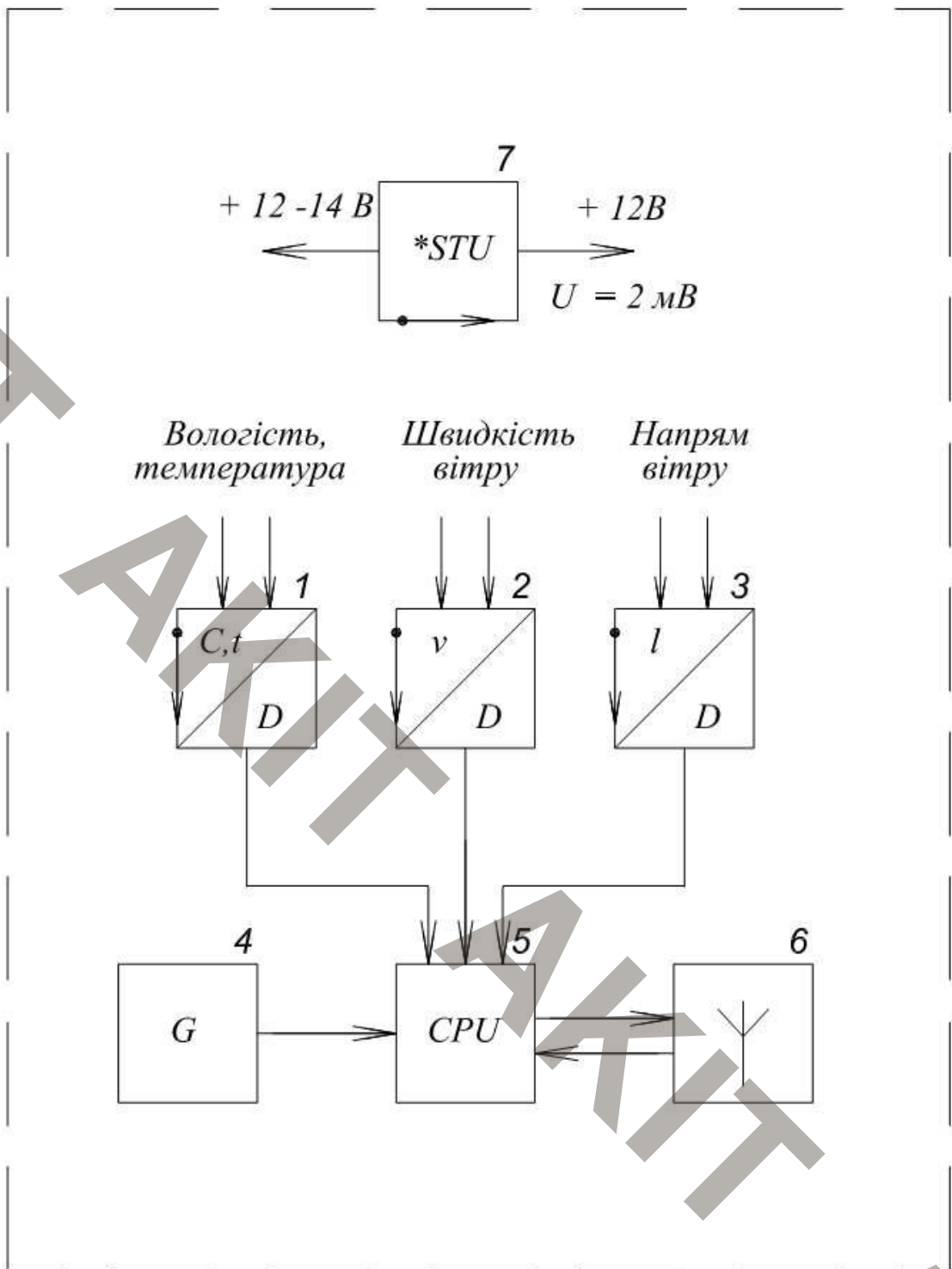


Рисунок 2.4 Структурна схема виносного модуля - 1:

1 – датчик вологості і температури, 2 – датчик швидкості вітру, 3 – датчик напрямку вітру, 4 – тактовий генератор, 5 – мікроконтролер, 6 – радіо модуль передавача, 7- стабілізатор напруги.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

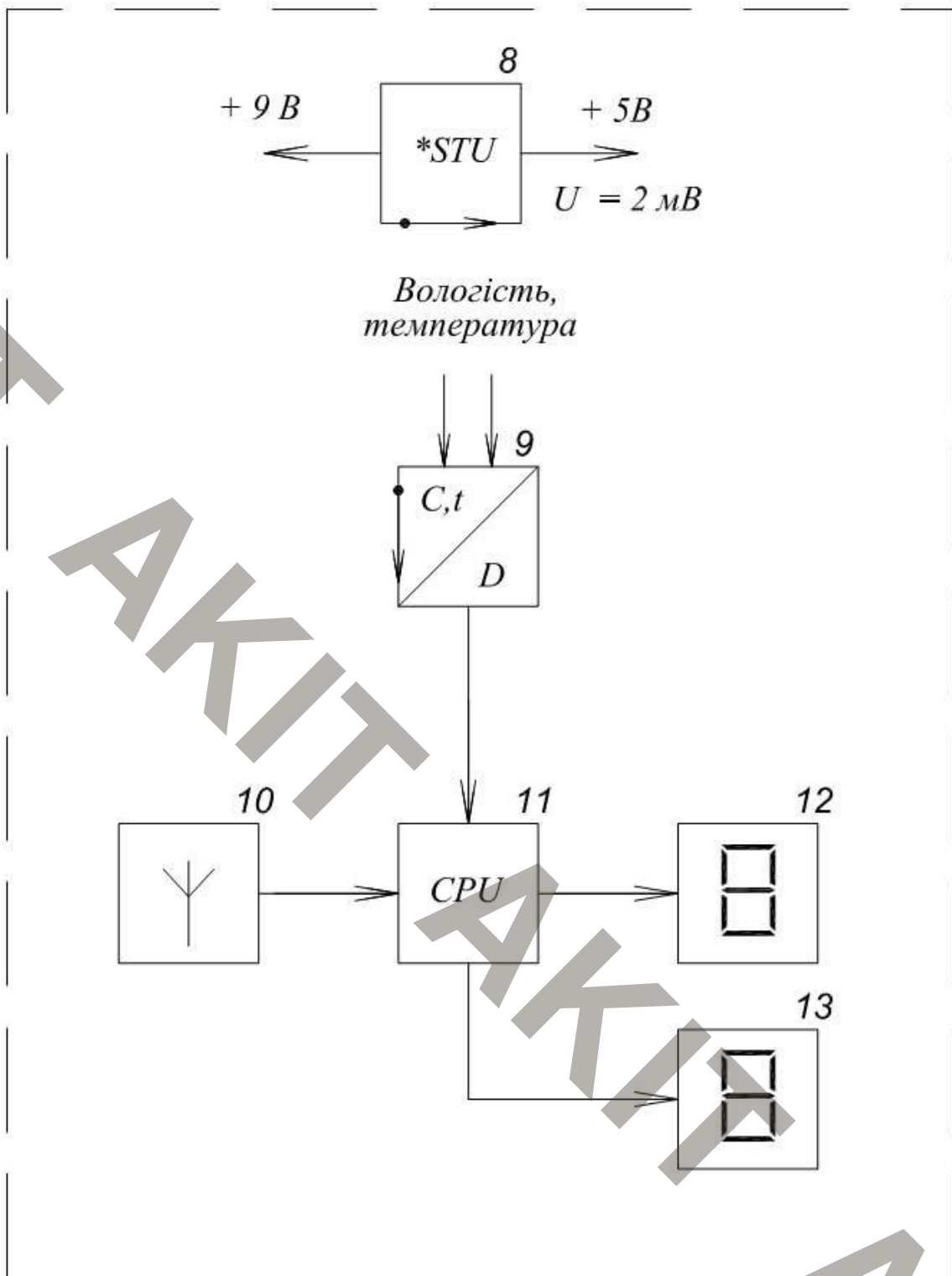


Рисунок 2.5 Структурна схема основного модуля - 2:

8 – стабілізатор напруги, 9 – датчик вологості і температури, 10 – радіо модуль приймача, 11 – мікроконтролер, 12 – індикатор 1, 13 – індикатор 2.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ

Арк.

33

2.2.2 Розробка принципової електричної схеми пристрою

Вимірювальний блок пристрою:

У якості джерела випромінювання були обрані світлодіоди ІЧ-діапазону АЛ-107Б, із мініатюрним корпусом діаметром 2,4 мм які здатні пропускати імпульсний струм до 600 мА.

Світлодіодоптопаридатчику швидкості живиться постійним струмом 20 мА (струмообмежуючий резистор - 150 Ом при живленні 5 вольт), датчик живиться імпульсним струмом близько 65 мА (прямокутні імпульсир зі шпаруватістю 2), струмообмежуючий резистор - 150 Ом при напрузі 12 вольт. Середній струм через один світлодіод датчика напрямку становить 33 мА, загальне число каналів – 4, у такому випадку загальний струм становить - 130 мА.

У якості фотоприймача, було обрано фототранзистор L-32P3C в корпусі діаметром 3 мм. Сигнал знімається з колектора, навантаженого на резистор 1,5 - 2 кОм при напрузі живленні 5 В. Ці параметри підібрані таким чином, щоб на відстані ~20 мм між фотовипромінювачем та приймачем на вхід контролера надходив відразу повнорозмірний логічний сигнал TTL рівня необхідності додаткового перетворення. Значення струмів у колах датчиків носять імпульсний характер з тривалістю кількома мілісекунд так, що загальне споживання залишається незначним (менше 1 - Вт).

Подільник напруги, підключений до виводу А0 контролера, призначений для контролю напруги джерела живлення.

У схемі використовується контролер Atmega328 в DIP-корпусі, запрограмований за допомогою платформи Arduino Uno та встановлений на змінну панельку. Такі контролери із запрограмованим у Arduino-завантажувачем, доступні у продажі і суттєво знижують кінцеву вартість пристрою. Контролер зручно програмувати у середовищі (Arduino IDE). Схема безбодаткових компонентів платформи стає дешевшою, займає менше місця (не потрібно зайві компоненти).

Розглянемо функціонування схеми.

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робота контролера застосовує вбудований сторожовим таймером WDT, включений у режимі виклику переривання. WDT виводить контролер із режиму сну через задані проміжки часу. У разі, якщо у викликаному перериванні таймер перезапускається заново, перезавантаження з нуля не відбувається, усі глобальні змінні залишаються без змін. Це дозволяє накопичувати дані між пробудженнями і у певні моменти обробляти їх (усереднювати). У пристрої програмно реалізовано цикли пробудження та сну контролера кожні 4 секунди для збору даних швидкості та напрямку вітру.

Неперервний запис показів швидкості вітру при тривалому моніторингу потребував би значного об'єму пам'яті і значно підвищить енергоспоживання системи, при цьому зменшивши тривалість автономної роботи.

Споживання енергії виносного блоку можемо оцінити таким чином:

- 20 мА (випромінювач) за кожні чотири секунди - в середньому $40/16 = 2,5$ мА;

- 130 мА (випромінювачі) протягом 2 мс кожні 16 секунд - в середньому $150/16/50 \approx 0,2$ мА;

Додавши до цього розрахунку споживання контролера при зчитуванні даних із датчика температури та вологості при роботі передавача, середнє споживання становитиме 4 мА (при піковому близько 150 мА). У якості джерела живлення можуть бути використані батарейки типу АА у кількості 8 шт. Для напруги живлення 12 В можна застосувати літієву батарею напругою 12 В яка може бути додатково оснащена сонячною панеллю для збільшення автономності роботи. При вказаному споживанні 4 мА, якщо ємності батареї 1300 мА*Год вистачить на два тижні.

Відзначимо, що максимальна напруга акумулятора може становити до 14 вольт. На цей випадок використаємо стабілізатор 12 вольт, щоб запобігти виходу із ладу передавача і не перевантажувати основний 5 вольтовий стабілізатор напруги.

До зовнішнього блоку у пластиковому корпусі під'єднано кабель живлення від акумулятора та з'єднано з датчиком вітру. Основна складність у тому, що

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

схема чутлива до вологості повітря тому обов'язковим є герметизація корпусу. Всі роз'єми в місці входу в корпус також герметизуються, це стосується всіх гвинтів, виходу антени і кабелю живлення.

Електрична принципова схема основного модуля.

Слід звернути увагу на прокладання ліній живлення - дисплеї живляться від окремого стабілізатора типу 5 В - LM1085. Від нього заживимо дисплеї годинника, проте в цьому випадку контролер годинника також повинен житись від цієї ж напруги, причому через вивід 5 В, а не Vin.

На стабілізаторі LM1085 при підключенні всіх чотирьох дисплеїв виділятиметься потужність біля 1- вата, тому його слід встановити на маленький радіатор близько 5-10 см² із алюмінієвої або мідної пластини.

Для модуля приймача із каналом на частоті 433 МГц, застосуємо типове включення, описане у різних джерелах на базі платформи Arduino з радіоканалом зв'язку.

Електрична принципова схема проєктованого пристрою наведена на рисунку 2.5.

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

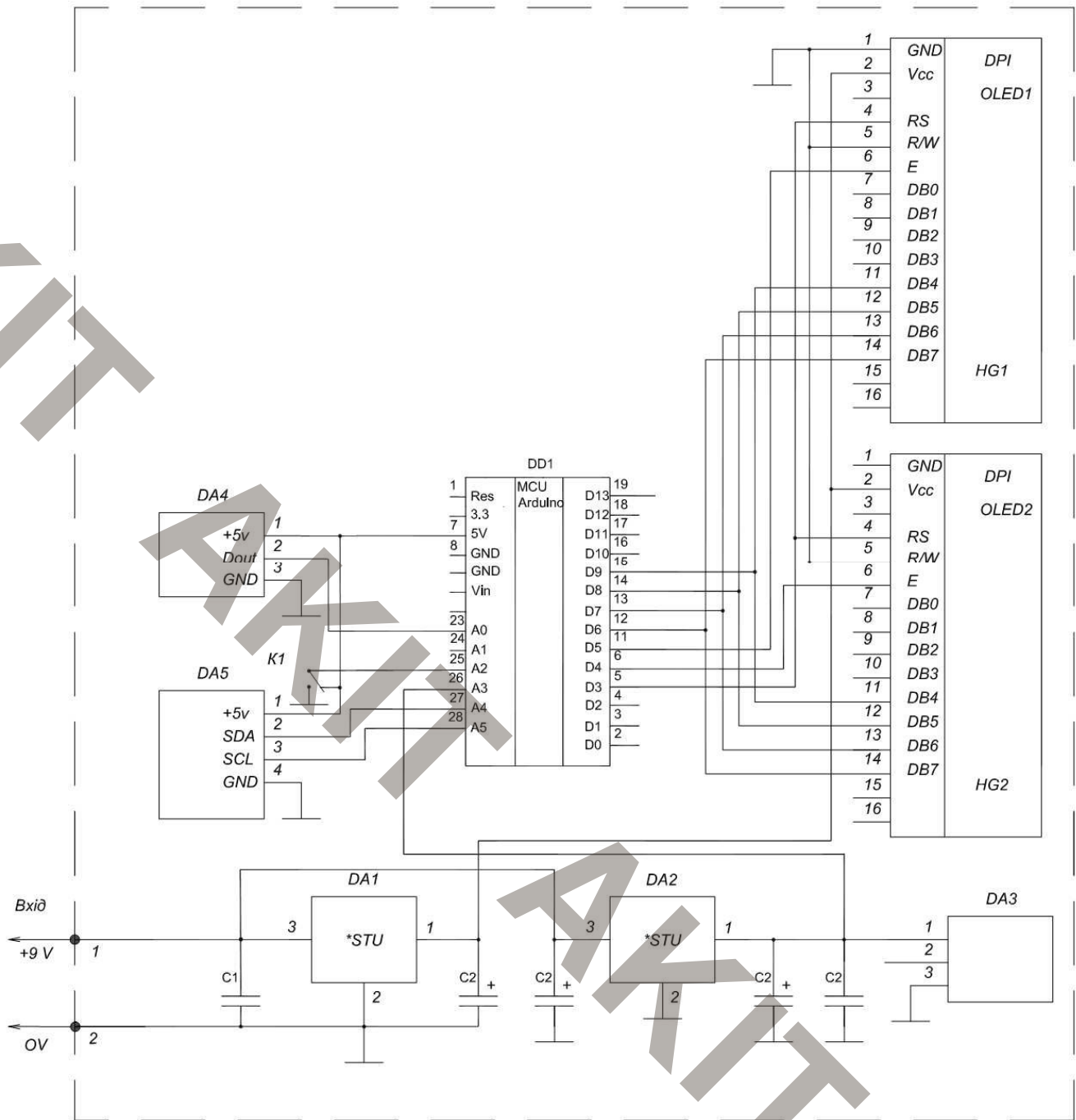


Рисунок 2.6 Електрична принципова схема виносного блоку проектованого пристрою.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ

ЗАЛГОРИТМ РОБОТИ ТА ПРОГРАМУВАННЯ КОНТРОЛЕРУ

Розглянемо основні функції роботи пристрою:

Робота мікроконтролера у виносному модулі регламентується таймером WDT, включеним в режим виклику переривання. WDT виводить контролер із режиму сну через задані проміжки часу. У випадку, якщо у викликаному перериванні таймер заводиться заново, перезавантаження з нуля не відбувається, всі глобальні змінні залишаються без змін. Це дозволяє накопичувати дані між пробудженнями та у певні моменти обробляти їх — наприклад, усереднювати значення.

У програмі спочатку зроблені наступні оголошення бібліотек і глобальних змінних:

```
#include<VirtualWire.h>
#include<avr/wdt.h>
#include<avr/sleep.h>
.....
#define ledPin 13 //вивід світлодіода (PB5 вивід 19 ATmega)
#define IR_Pin 10 //управління транзистором IRLU (PB2 вивід 16 Atmega)
#define in_3p 9 //вхід приймача розряду 3
#define in_2p 8 // вхід приймача розряду 2
#define in_1p 7 // вхід приймача розряду 1
#define in_0p 6 // вхід приймача розряду 0
#define IR_PINF 5 //(PD5,11) вивід для ІЧ-світлодіода частоти
#define IN_PINF 4 //(PD4,6) вхід виявлення частоти

volatile unsigned long ttime = 0; //Період спрацювання датчика
float ff[4]; //значення частоти датчика швидкості для усереднення
char msg[25]; //меседж, що посилається
byte count=0; //лічильник
int batt[4]; //для усереднення батарейки
byte wDir[4]; //масив напрямку вітру
byte wInd_Gray=0; //байт коду напрямку вітру
```

Для ініціації режиму сну та WDT (пробудження кожні 4 с) служать такі процедури:

```
// Переведення системи в режим сну
void system_sleep() {
    ADCSRA &= ~(1 << ADEN); //екв. cbi(ADCSRA,ADEN); виключимо АЦП
    set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN); // режим сну
    sleep_mode(); // система засинає
    sleep_disable(); // система продовжує роботу після переповнення watchdog
```

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    ADCSRA |= (1 << ADEN); / Екв. sbi(ADCSRA,ADEN); включаємо АЦП
}

//*****
// ii: 0 = 16ms, 1 = 32ms, 2 = 64ms, 3 = 128ms, 4 = 250ms, 5 = 500ms
// 6 = 1 sec, 7 = 2 sec, 8 = 4 sec, 9 = 8sec
voidsetup_watchdog(int ii) {
bytebb;
if (ii > 9) ii=9;
bb=ii& 7;
if (ii > 7) bb|=(1<<5); //в bb - код періоду
bb|=(1<WDCE);
MCUSR &= ~(1<<WDRF);
// запуск таймера
WDTCSR |= (1<<WDCE) | (1<<WDE);
// Установка періоду спрацьовування сторожового таймера
WDTCSR = bb;
WDTCSR |= (1<WDIE); //переривання WDT
}
//*****
// Обробка переривання сторожового таймера
ISR(WDT_vect) {
wdt_reset();
}

```

Датчик швидкості видає частоту переривання оптичного каналу порядку 1-10 Гц. Тут вибрано метод через модифіковану функцію pulseInLong(), який не прив'язує вимірювання до певних виводів контролера.

У функції setup() оголошуються лінії порту (I/O), ініціалізуються бібліотека передавача 433 МГц та WDT таймера (рядок для IN_PINF фактично є зайвим і вставлений тільки для пам'яті):

```

voidsetup() {
pinMode(IR_PINF, OUTPUT); //на вихід
pinMode(IN_PINF, INPUT); //Виведення виявлення частоти на вхід
pinMode(13, OUTPUT); //Світлодіод
vw_setup(1200); // швидкість з'єднання VirtualWire
vw_set_tx_pin(2); //D2, PD2(4) висновок передачі VirtualWire
// Serial.begin(9600); // Serial-порт для контролю при налагодженні
setup_watchdog(8); //WDT період 4 с
wdt_reset();
}

```

В основному циклі програми ми при кожному пробудженні (інтервал 4 секунди) зчитуємо напругу та реєструємо частоту датчика швидкості вітру:

```

voidloop() {

```

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

```

wdt_reset(); //обнулюємо таймер
digitalWrite(ledPin, HIGH); //включаємо світлодіод для контролю
batt[count]=analogRead(0); //читаємо та зберігаємо поточний код батареї
/*==== частота ===== */
digitalWrite(IR_PINF, HIGH); //включаємо ІЧ-світлодіод датчика швидкості
float f = 0; //Змінна для частоти
ttime=periodInLong(IN_PINF, LOW, 250000); //Чекання 0,25 сек
// Serial.println(ttime); //Для контролю при налагодженні
if (ttime!=0) { //на випадок відсутності частоти
    f = 1000000/float(ttime);} // обчислюємо частоту сигналу в Гц
digitalWrite(IR_PINF, LOW); //Вимикаємо ІЧ-світлодіод
ff[count]=f; //зберігаємо обчислене значення в масиві
.....

```

Час свічення ІЧ-світлодіода, буде максимальним за відсутності обертання диска датчика і становить при цьому близько 0,25 секунди. Мінімальна частота, що вимірюється, таким чином, становитиме 4 Гц (1/4 оберта диска в секунду при 16 отворах). Як з'ясувалося при калібруванні датчика, це відповідає 0,2 м/с швидкості вітру. Зауважимо, що це мінімальна вимірювана величина швидкості вітру.

При обертанні датчика, час вимірювання, відповідно, час свічення LED пропорційно зменшуватиметься, а роздільна здатність — збільшується.

Далі виконуються процедури, кожне четверте пробудження (тобто кожні 16 секунд). Значення частоти обертання датчика швидкості із накопичених чотирьох значень ми усереднюємо, а максимальне значення - це більш інформативна величина. Кожну з величин, незалежно від її типу, для зручності та одноманітності ми перед передачею перетворюємо на ціле число розмірністю - 4 десяткові розряди. Для контролю числа пробуджень реалізовано змінну - count:

```

//кожні 16 сек усереднюємо батареї та визначаємо максимальне значення
//Частоти з 4-х значень:
if (count==3){
    f=0; // Значення частоти
    for (byte i=0; i<4; i++) if (f<ff[i]) f=ff[i]; //максимальне значення з чотирьох
    intfi = (int (f * 10) + 1000); //Доводимо до 4 дес. розрядів для відправки
    intvolt = 0; //код батареї
    for (byte i=0; i<4; i++) volt=volt+batt[i];
    volt=volt/4+100; //середній код на 100 більше = 3 дес.

```

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

```
volt = volt * 10; //До 4 дес. розрядів
```

```
.....
```

Детектування коду Греяля напряму вітру. Для зниження споживання замість постійно увімкнених ІЧ-світлодіодів на всі чотири канали одночасно через ключовий транзистор за допомогою функції tone() подається частота 5 кГц. Виявлення наявності частоти кожному з розрядів (виводи in_0p – in_3p) отримується методом подавлення завад (debounce) під час зчитування показань натиснутої кнопки. У циклі чекаємо, чи є на виводі високий рівень, потім перевіряємо його через 100 мкс. Ці 100 мкс є півперіод частоти 5 кГц, тобто за наявності частоти мінімум з другого разу ми знову потрапимо на високий рівень (для надійності повторюємо чотири рази) і це означає, що він точно там є. Цю процедуру повторюємо для кожного із чотирьох біт коду:

```
/* ===== WindGray ===== */  
//напрямок:  
tone(IR_Pin,5000); //частоту 5 кГц на транзистор  
boolean yes=false;  
byte i=0;  
while(!yes){ //розряд 3  
    i++;  
    boolean state1 = (digitalRead(in_3p)&HIGH);  
    delayMicroseconds(100); // Затримка 100 мікросекунд  
    yes=(state1 & !digitalRead(in_3p));  
    if (i>4) break; //пробуємо чотири рази  
}  
if (yes) wDir[3]=1; else wDir[3]=0;  
yes = false;  
i=0;  
while(!yes){ //розряд 2  
    i++;  
    boolean state1 = (digitalRead(in_2p)&HIGH);  
    delayMicroseconds(100); // Затримка 100 мікросекунд  
    yes=(state1 & !digitalRead(in_2p));  
    if (i>4) break; //пробуємо чотири рази  
}  
if (yes) wDir[2]=1; else wDir[2]=0;  
yes = false;  
i=0;  
while(!yes){ //розряд 1  
    i++;  
    boolean state1 = (digitalRead(in_1p)&HIGH);
```

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

delayMicroseconds(100); // Затримка 100 мікросекунд
yes=(state1 & !digitalRead(in_1p));
if (i>4) break; //пробуємо чотири рази
}
if (yes) wDir[1]=1; elsewDir[1]=0;
yes = false;
i=0;
while(!yes){ //розряд 0
i++;
boolean state1 = (digitalRead(in_0p)&HIGH);
delayMicroseconds(100); // Затримка 100 мікросекунд
yes=(state1 & !digitalRead(in_0p));
if (i>4) break; //пробуємо чотири рази
}
if (yes) wDir[0]=1; elsewDir[0]=0;
noTone(IR_Pin); //Вимикаємо частоту
//Збираємо в байт у кодї Грея:
wind_Gray=wDir[0]+wDir[1]*2+wDir[2]*4+wDir[3]*8; //Прямий переклад у дв. код
intwind_G=wind_Gray*10+1000; //доповнюємо до 4-х дес. розрядів
.....

```

Максимальна тривалість однієї процедури буде за відсутності частоти приймача - $4 \times 100 = 400$ мксек. Максимальний час свічення 4-х світлодіодів коли не опромінено жодного приймача, тобто $4 \times 400 = 1,6$ мілісек. Алгоритм, до речі, так само працюватиме, якщо замість частоти, період якої кратний 100 мкс, просто подати постійний високий рівень на світлодіоди. За наявності меандру замість постійного рівня ми заощаджуємо живлення удвічі. Також можемо заощадити, якщо завести кожен ІЧ-світлодіод через окрему лінію (відповідно, через окремий вивід контролера зі своїм ключовим транзистором), але при цьому ускладнюється схема керування, трасування та управління, а струм в 130 мА протягом 2 мс кожні 16 секунд – не дасть особливо відчутної економії енергії.

Останнім завданням буде, бездротове передавання даних. Для передачі даних від місця встановлення датчиків до табло метеостанції був обраний поширений передавач/приймач на частоті 433 МГц.

Для одержання надійного та стабільного обміну даними по каналу 433 МГц: оскільки ці прилади суто аналогові, то живлення приймача повинно бути без сторонніх пульсацій. У жодному разі не слід живити приймач від

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

внутрішнього 5-вольтового стабілізатора Arduino!. Установка для приймача окремого малопотужного стабілізатора (LM2931, LM2950 або аналогічного) безпосередньо поблизу його провідників, з правильними елементами фільтрації на вході і виході, радикально підвищує дальність і надійність передачі.

В даному випадку передавач працює від напруги акумулятора 12 В, приймач і передавач були забезпечені стандартними антенами у вигляді відрізка дроту довжиною 17 см. Пакет даних, довжиною в 24 байти (з урахуванням вологості та температури) впевнено передається зі швидкістю 1200 біт/с на відстань близько 100-150 метрів. Умови, практично недосяжні для будь-якого стандартного способу на 2,4 ГГц (типу Bluetooth, Zig-Bee і навіть Wi-Fi), при тому, що споживання передавача тут становить усього 8 мА і тільки під час передачі, решта часу передавач споживає значно менше потужності. Передавач конструктивно розміщений усередині виносного блоку, антена знаходиться із боку, горизонтально.

Об'єднуємо всі дані в один пакет, який складається з однотипних 4-байтних частин і сигнатурою «DAT», що передує, відправляємо його на передавач і завершуємо всі цикли:

```
/*=====Transmitter=====*/
StringstrMsg="DAT"; //сигнатура - дані
strMsg+=volt; //Приєднуємо батарейку 4 розряди
strMsg+=wind_G; //Приєднуємо wind 4 розряди
strMsg+=fi; //Приєднуємо частоту 4 розряду
strMsg.toCharArray(msg,16); //перекладаємо рядок у масив
// Serial.println(msg); //для контролю
vw_send((uint8_t *)msg, strlen(msg)); // передача повідомлення
vw_wait_tx(); // Чекаємо на завершення передачі - обов'язково!
delay(50); //+ ще про всяк випадок затримка
count = 0; //обнулюємо лічильник
} //end count==3
elsecount++;
digitalWrite(ledPin, LOW); //гасимо сигнальний світлодіод
system_sleep(); //систему - у сон
} //endloop
```

Чим завершується повний цикл роботи виносного модуль проєктованого пристрою.

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Згідно технічного завдання – основною задачею виконання даної дипломної бакалаврської роботи, була розробка простого, ефективного та надійного модуля контролю швидкості та напрямку вітру, який може працювати автономно, накопичувати вимірювані дані та надсилати їх на базову станцію для подальшої обробки та аналізу.

У даній роботі запропоновано пристрій на основі мікроконтролера платформи Arduino, з мінімальною кількістю компонентів. Це дозволяє суттєво зменшити вартість та спростити процес виготовлення конструкції. А у якості вхідного джерела інформації про швидкість та напрямок вітру, було обрано чашковий анемометр з флюгером та просту і надійну електронну схему визначення швидкості обертання та напрямку на основі енодера Грея з використанням п'яти груп світло діодів та фото транзисторів для одержання високої точності визначення швидкості обертання та напрямку вітру.

У роботі запропоновано структурну та електричну принципову схеми виносного блоку вимірювача та основного модуля збору та відображення інформації. Зв'язок між ними забезпечено радіоканалом на частоті 433МГц, що дозволяє розмістити виносний модуль збору інформації на відстані від основного пристрою.

Також у роботі розроблено алгоритм роботи пристрою та програмний код роботи МК. Програма та алгоритм роботи МК детально описані у розділі 3 даної роботи.

Даний пристрій може використовуватися для статистичної обробки даних швидкості та напрямку вітру за певний період часу розміщуючи у заданій локації для оцінки перспективності встановлення вітрогенератора, або ж як портативний пристрій моніторингу швидкості та напрямку вітру з передачею даних у реальному часі для корегування поправки на вітер при стрільбі на значну відстань.

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. [Електронний ресурс] - "Hot-wire Anemometer explanation". eFunda.
2. Полякова Л.С. "Метеорологія і кліматологія" / Л.С. Полякова, Д.В. Кашарин // Новочеркаськ НГМА, 2004, 107с.
3. К. Нордлінг "Довідник з фізики для науковців та інженерів" // К. Нордлінг, Д. Остерман // Studentlitteratur AB, 2006, 504с.
4. Пат. 3825334 США, Лазерний доплерівський анемометр / Д. Итен (США) – Заявл. 29.06.1976; Опуб. 18.09.2006.
5. Дінес В. Х. Порівняння анемометрів // Квартальний журнал королівського метеорологічного товариства. – 2014. - №14.
6. Каймал Д., Бусінджер Д. Безперервний звуковий анемометр // Журнал прикладної метеорології. – 1963. - №2.
7. Коппін А., Тайлор К. Д. Трикомпонентна звукова система анемометра / термометра для загальних мікрометеорологічних досліджень // Boundary Layer Meteorology. - 1983. - №27.
8. Харітонов В.П. Автономні вітроелектричні установки – ГНУ ВИЭСХ, 2006. 130 - 136 с.
9. [Електронний ресурс] - <https://nvfi.biz/-products/-03-meteos/03-001-meteo>

					КБР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		