

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"
Інженерно-технічний факультет
Кафедра приладобудування

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО
Завідувач кафедри

" " грудень 2024 р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему

"Автоматизований модуль моніторингу швидкості та напрямку вітру"

Виконав: студент II курсу маг., групи АКІТ

Дриля А.І.

(прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Керівник:

ст. викл. Чичура І.І.

(вчене звання, ПІБ, посада)

(підпис)

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Огляд літератури та аналіз аналогів об'єкта проектування	9
1.1. Трубчастий анемометр	9
1.2 Тепловий анемометр	12
1.3 Ультразвуковий анемометр	15
1.4 Лазерний доплерівський анемометр	18
1.5 Анемометр нажимної пластини	21
1.6 Звуковий анемометр – термометр	22
1.7 Акустичний резонансний анемометр	24
1.8 Аналоги об'єкта проектування	29
2 Проектно-конструкторський розділ	31
2.1 Розробка конструкції пристрою	31
2.1.1 Конструкція флюгера та анемометра для проектного пристрою	32
2.2 Проектування електронного блоку пристрою	37
2.2.1 Розробка структурної схеми пристрою	37
2.2.2 Розробка принципової електричної схеми пристрою	41
3 Алгоритм роботи та програмування контролера	47
4 Проектування корпусу для пристрою	56
4.1 Огляд корпусів для портативної електроніки	56
4.1.1 Корпуси фірми «GAINTA»	56
4.1.2 Корпуси фірми «DACPOL»	61
4.2 Розробка конструкції корпусу проектного приладу	64

					КМР.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		112
Перевірів	Чичура І.І.							
Н. Контр.	Гютюнников					УжНУ, ІТФ, курс 2м, спец. АКІТ		
Затвердив	Чичура І.І.							



4.2.1 Основа корпусу приладу	64
4.2.2 Кришка корпусу приладу	65
4.2.3 Корпус приладу та його складальне креслення	67
4.2.4 Опис компонентів	68
Висновки	70
Перелік посилань	71
Додатки	72

					КМР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 72 с., 24 рис., 8 додатків, 11 посилань.

Об'єкт проектування – Автоматизований модуль моніторингу потужності сонячного випромінювання на основі кремнієвого фотодіода.

Проектований пристрій призначено для збору статистичних даних про швидкість та напрямок вітру у заданій локації з метою майбутнього встановлення систем відновлюваної енергетики. Він передбачає статистичний збір даних із заданими інтервалами часу та бездротового передавання їх на основний блок для накопичення та зберігання даних.

В основі роботи приладу, використано широкосмуговий фотоприймача зі спеціальним світлофільтром, що зчитує інформацію про швидкість обертання анемометра через енкодер Грея. Чутливий елемент пристрою запропоновано виконати у окремому корпусі, оснащений радіозв'язком з основним модулем для зручності його розміщення в польових умовах.

Ключові слова: датчики освітленості, вимірювання сонячної радіації, фотоелектрична станція, мікроконтролер Atmega, сонячна радіація.

					КМР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Explanatory note: 72 p., 24 figures, 8 appendices, 11 references.

Design object – Automated module for monitoring solar radiation power based on a silicon photodiode.

The designed device is intended for collecting statistical data on wind speed and direction at a given location for the purpose of future installation of renewable energy systems. It provides for statistical data collection at specified time intervals and wireless transmission to the main unit for data accumulation and storage.

The device is based on a broadband photodetector with a special light filter that reads information about the speed of rotation of the anemometer through a Gray encoder. The sensitive element of the device is proposed to be made in a separate housing, equipped with radio communication with the main module for ease of placement in field conditions.

Key words: light sensors, measurement of solar radiation, photovoltaic plant, microcontroller Atmega, solar radiation.

					KMP.AKIT.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В теперішній час сучасні відновлювані джерела енергії отримують все більшого і більшого поширення у світі. Постійне зростання вартості електричної енергії та невинне прискорення забрудненості нашої планети, що пов'язано з спалювання вуглеводнів для створення електричної енергії штовхають людство до неперервного пошуку нових та покращення вже існуючих способів та засобів отримання альтернативної «зеленої» електроенергії. З поміж таких способів, одним з найпоширеніших та перспективних є сучасна вітроенергетика. Сучасні середні та великі вітрові електростанції можуть розміщуватися у найбільш сприятливих для неперервної та ефективної генерації електричної енергії.

Великі вітрові генератори розміщуються переважно в степових регіонах та на високогір'ї, де присутні сталі вітри з достатньою їх швидкістю для ефективного генерування електричної енергії у значних об'ємах. Невеликі та середні вітрові генератори зазвичай встановлюються у гібридних системах, разом з сонячними панелями чи іншими відновлюваними джерелами електричної енергії для формування більш стійкої та ефективної, сучасної системи електрогенерування, яка може використовуватися для приватних потреб, невеликим домогосподарством чи приватним помешканням.

В теперішній час стали доступні сучасні програмні засоби, що дозволяють проводити моделювання параметрів ефективності встановлення певної системи відновлюваної енергетики, за допомогою яких, можливо дати приблизну оцінку ефективності генерування обраної сонячної системи чи вітрового генератора відповідно до координат місця розташування та інших параметрів системи. Зазвичай ці програмні засоби використовують загальнодоступні інформаційні дані з сейсмологічних систем та баз даних для теоретичної оцінки ефективності та моделювання роботи системи. Для того, щоб більш точно змодельовати параметри та отримати інформацію, щодо оптимального місця розміщення вітрового генератора та оптимальної висоти на якій можливо отримати достатній рівень генерування електричної енергії, доцільно використовувати спеціально

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

розроблені вимірювальні пристрої, що забезпечать більш точну та правильну інформацію. Одним з таких пристроїв є автоматизований модуль віддаленого моніторингу швидкості та напрямку вітру, що розробляється у даній роботі.

					<i>KMP.AKIT.18050031.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

Вітром називається горизонтальне переміщення повітряних мас відносно поверхні землі. Швидкість вітру – це горизонтальна складова швидкість переміщення повітря відносно певної нерухомої точки земної поверхні.

Напрямок та швидкість вітру змінюються неперервно. Характер цієї зміни швидкості вітру, залежатиме від характеру місцевості та присутніх там метеорологічних умов. Виміряні миттєві значення швидкості вітру є його нестійкими характеристиками. Вони неперервно коливатимуться близько певних середніх значень, що є зазвичай стійкими протягом досить великого інтервалів часу.

Зазвичай швидкість вітру прийнято усереднювати в 10 хвилинному інтервалі часу (інколи в 2 хвилинному). Миттєвою швидкістю вітру прийнято вважати таку швидкість, що визначається внаслідок інерційності вимірювального приладу, за інтервал часу в 2 – 5 с.

Прилади, що використовують для вимірювання швидкості вітру, називають анемометрами. У теперішній час існує безліч способів вимірювання швидкості вітру, що побудовані на різних фізичних принципах роботи та використовують різні фізичні ефекти для забезпечення точного контролю цього параметру. Доцільно розглянути найбільш популярні та перспективні у використанні методи для побудови сучасного надійного та довговічного, автоматизованого пристрою для контролю швидкості та напрямку вітру.

1.1. Трубчастий анемометр

Трубчастий анемометр складається із скляної U подібної трубки, у якій поміщено рідинний манометр, одна частина трубки якого повинна бути зігнутою в горизонтальному напрямку, щоб протистояти набігаю чому потоку повітря, а інша частина повинна залишатися паралельною вітровому потоку.

					KMP.AKIT.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

Коли вітер дме в середину трубки, то він призводитиме до підвищення тиску з одного боку манометра. А на іншій його стороні, над відкритим кінцем вертикальної трубки, буде проявлятися незначна зміна тиску. Абсолютна різниця в висотах обох плечей U-трубки і є показником швидкості вітру. Та для максимально точного вимірювання, потрібно щоб напрямок вітру чітко збігався з положенням трубки, так як навіть незначні відхилення від паралельного напрямку вітру призводитиме до значних змін в зчитуванні швидкості вітру.

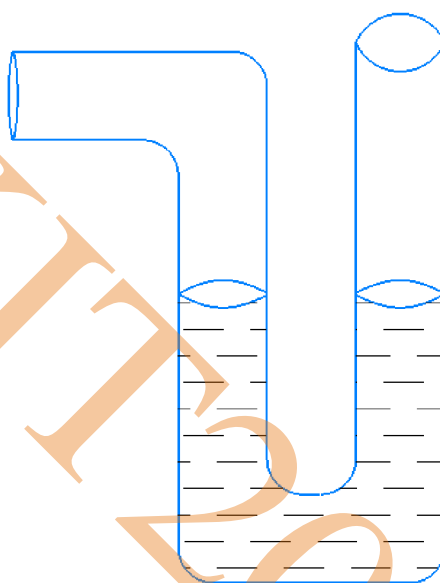


Рисунок 1.1 – Схема трубчастого анемометра

Тиск в трубці, що є паралельною напрямку вітру утворює сума тиску вітру та атмосферного тиску. Тоді:

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

Отже у трубці, що перпендикулярна вітру, буде тиск

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

де P_A – це атмосферний тиск ,

а C_1 і C_2 – відповідно коефіцієнти.

Віднімаємо параметра P_2 від параметра P_1 і даватиме рішення для визначення швидкості вітру V :

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

У такому випадку, вимірюючи різницю тисків в цих двох трубках, ми можемо знайти швидкість вітру. Так як тиск вимірюється за допомогою спеціальних датчиків тиску чи звичайних манометрів, з цим інструментом нам стають доступні відповідні значення C_1 і C_2 .

Основна перевага даного методу – це повна відсутність будь-яких рухомих частин приладу, що суттєво спрощує і підвищує надійність конструкції. Проте на відкритій місцевості даний метод має суттєві обмеження у застосуванні та вимірах, через присутність вологи та пилу чи різних комах, що може в свою чергу сильно вплинути точність вимірювань.

Ще одним прототипом трубчатого анемометра що використовує ту ж різницю тисків між прямою трубкою (відкритою), напрямленою прямо до вітру, та має у вертикальній трубці кільце з невеликих отворів. Трубка в свою чергу закрита на верхньому кінці. Обидва кінці трубки встановлені на однаковій висоті. Щоб визначити різницю тисків потрібні спеціальні пристрої. У такому пристрої записувач містить в собі поплавки, що знаходиться в герметичній камері, яка частково заповнена водою. Тоді як з верхньої частини герметичної камери що з'єднана трубкою, а з менших трубок рідина направляється в нижню частину та всередині поплавок. Так як різниця вимірюваних у трубці тисків визначатиме положення поплавка по вертикалі, це і буде показником швидкості вітру [5].

Основна перевага усіх трубчатих анемометрів це те, що відкрита деталь навіть при її встановленні на великій висоті не потребує змаски або постійного обслуговування протягом багатьох років його роботи, а також дозволяє розмістити його реєструючу частину в будь-якому місці чи положенні. На перший погляд здається, що тільки єдине з'єднання буде ефективно працювати для вимірювання швидкості вітру, але різниця в тисках

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

настільки незначна, що потрібно корегувати навіть тиск повітря в приміщенні, де і знаходиться частина пристрою для запису, щоб нівелювати вплив на похибку вимірювання. Тож, якщо робота інструменту залежить тільки від тиску або всмоктувального ефекту та якщо, всмоктування чи тиск, вимірюється протилежно тиску повітря в кімнаті, де двері і вікна зачинені дуже щільно, ефект може бути значним та навіть відкривання дверей або вікна може повністю змінити вимірюваний результат.

Хоча трубчастий анемометр і має похибку близько 1% при швидкості вітру біля 10 км/год, він некоректно реагуватиме на невелику швидкість вітру через малу реакцію саме плоскої пластини, яка необхідна для повороту трубки по напрямку вітру.

1.2 Тепловий анемометр

У теплових анемометрах, основний їх принцип роботи залежить від швидкості вітру, а також від опору металів.

Головним елементом теплового анемометра є дуже тонка дротина з вольфраму, близько декількох мікрон, яка нагріта до певної температури, що повинна бути вище температури навколишнього середовища. Так як електричний опір для більшості металів прямо залежить від його температури, то можливо отримати пряме співвідношення між швидкістю потоку та опором дроту [1]. Це пов'язано з тим, що при протіканні повітряних мас повз нагрітий дріт, він охолоджуватиметься.

У такому пристрої головним датчиком виступатиме дуже тонкий металевий дріт або плівка, що виготовлена з матеріалу, у якого високий температурний коефіцієнт опору. Наприклад таким матеріалом може бути сплав: платина-вольфрам, платина-іридій і платина-родій.

					<i>KMP.AKIT.18050031.01.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		12

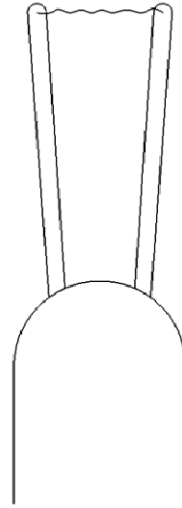


Рисунок 1.2 – Схема теплового анемометра

Для розрахунку параметрів теплового анемометра використовується таке основне рівняння:

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

У даному рівнянні E – це збережена теплова енергія в проводі:

$$E = C_w T,$$

В даному рівня C_w - це теплоємність дроту,

а W - потужність, що генерується одним Джоулем обігріву:

$$W = I^2 R_w,$$

H – величина тепла, що в свою чергу передається оточенню.

Здебільшого товщина дроту датчика варіюється від 1 до 10 мкм при його діаметрі D і приблизно від 0,5 до 2 мм в довжину l . До дроту припаюється пара штирів з нержавіючої сталі з діаметром від 0,1 до 0,2 мм, або ж дріт просто зварюється. Плівка товщиною близько 1-5 мкм наноситься на пласку підложку для того щоб вимірювати зсув напружень на його стінкаї, або на клиноподібну, конусоподібну чи циліндричну підкладки для прямого вимірювання швидкості.

Основний показник чутливості такого датчика до швидкості потоку встановлюється за рахунок того, що температура плівки або дроту є значно більшою, ніж температура повітряного потоку, через те, що він нагрівається

струмом, що протікає через дріт чи плівку. Вимірювання швидкості у газах проводиться в діапазоні температур від 180 до 200 К, а також в воді при температурах від 20 до 40 К. Вимірювання падіння напруги на дроті дає можливість вимірювати локальну швидкість руху рідини. У такого пристрою допустимі два основні режими роботи: 1) режим постійного струму (коли коливання напруги на манометрі обумовлені зміною температури та опором самого дроту). 2) режимом постійної температури, яка підтримується системою зворотного зв'язку зі змінним струмом, що і нагріває дріт (датчик). Той чи інший режим можливо застосовувати у залежності від конкретного типу та характеру вимірювань.

У такому випадку існує декілька способів їх реалізації, а саме пристрої з гарячим дротом, що можна класифікувати як анемометр з постійною температурою, чи анемометр постійного струму або анемометр постійної напруги. Тож вихідна напруга цих анемометрів формується як результат роботи схеми всередині пристрою, що намагається утримувати постійну змінну за законом Ома.

Також часто застосовуються анемометри широтно-імпульсної модуляції, де швидкість можна дізнатися за величиною тимчасової довжини імпульсу який повторюється, чи імпульсу струму, від якого встановлюється певне значення опору на проводі, і потім зупиняється при досягненні критичного значення, а потім цей імпульс знову відправляється.

Хоча анемометри з гарячим дротом і надзвичайно тонкими, вони мають точний просторовий дозвіл в порівнянні з іншими методами вимірювання швидкості, та надзвичайно високу частотну характеристику. Вони є майже універсальними для детального вивчення турбулентних потоків.

У сучасних автомобілях, термоанемометри ефективно використовується в якості датчиків масової витрати повітря.

Основним недоліком термоанемометрів – це їх низька механічна міцність, через дуже тонкий дріт, ще одним недоліком може бути окислення та забруднення нагрітого дроту.

					KMP.AKIT.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Ультразвуковий анемометр

Принцип роботи ультразвукового анемометра полягає у застосуванні ультразвукових хвиль для вимірювання швидкості вітру. Між кількома перетворювачами вимірюється швидкість вітру, що залежить від часу переміщення звукових імпульсів. Для того, щоб здійснювати вимірювання швидкості вітру у багатовимірному потоці, можливо об'єднати виміри з декількох незалежних датчиків.

Роздільна здатність вимірювання, що встановлюється за допомогою відстані пройденого шляху між перетворювачами, що у більшості випадків становить близько 10-20 см. Робочою частотою в ультразвукових анемометрів може бути частота в діапазоні від 20 Гц або вище, що робить їх доволі чудовими пристроями для вимірювань турбулентності.

А відсутність будь-яких рухомих частин, робить їх надійними та допомагає зменшити кількість сервісних обслуговувань у випадку використання на відкритих автоматичних метеорологічних станціях та на погодніх морських буях, де солоне повітря та пил негативно впливають на точність та довговічність використання звичайних чашкових чи крильчатих анемометрів.

					<i>KMP.AKIT.18050031.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		

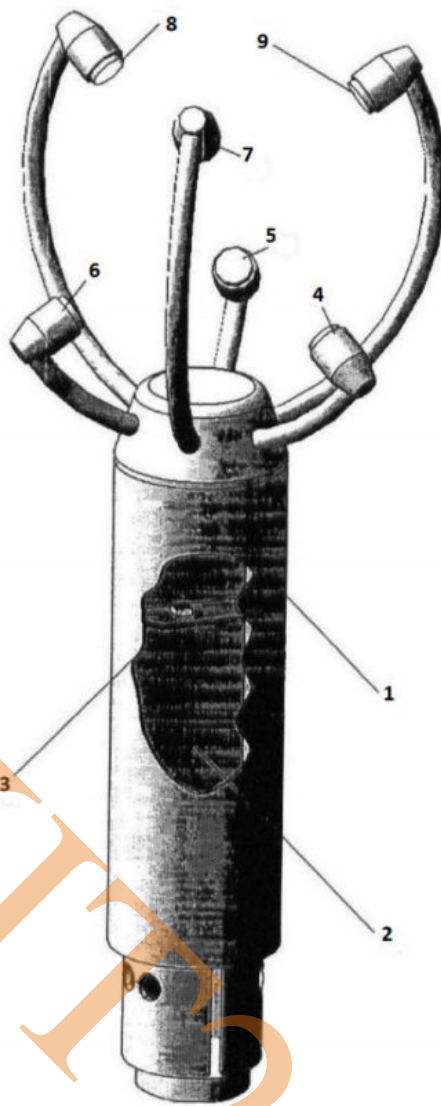


Рисунок 1.3- Конструкція типового ультразвукового анемометра:

- 1- блок з датчиком; 2 – пристрій обробки інформації;
3 - електромагнітний компас; (4-9) – кілька ультразвукових датчиків.

Для хорошої підтримки вимірювань ультразвукові анемометри використовують кінетичну енергію від вітру. Додаткове джерело енергії для надання параметрів їм не потрібне. Також існують і інші типи анемометрів, що використовують додаткові джерела у якості параметрів контролю швидкості вітру, як ось наприклад швидкість звуку. У повітрі, звук передаватиметься при зміні тиску повітря уздовж напрямку поширення звуку. Швидкість звуку буде рівна близько 330 м/с при температурі близько

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

15 °С. Звук передаватиметься у вигляді довжини хвилі. При збільшенні температури, швидкість звуку збільшуватиметься.

Нижче приведено рівняння для розрахунку швидкості звуку, у сухому повітрі:

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

де T_c температура в градусах Цельсія,

а T_K – це температура в Кельвінах [2].

Якщо застосувати ряд Тейлора [3], ми зможемо перетворити цей вираз у простішу форму.

Так як типовий мікроконтролер не здатен виконати квадратні обчислення, нам потрібно спростити дане рівняння. При використанні такого вимірювача у промисловості дані з датчиків збираються та обробляються мікроконтролером.

Якщо перші два варіанти розкладання Тейлора застосувати до попереднього рівняння то воно перетворюється в:

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

Коли звук та вітер рухатимуться в одному напрямку, то результуюча швидкість саме звукових хвиль (V_1) дорівнюватиме:

$$V_1 = V_s + V.$$

А отже наша результуюча швидкість звуку (V_2), у випадку коли напрямком вітру протилежний напрямку поширення звукової хвилі, становитиме:

$$V_2 = V_s - V.$$

Якщо врахувати, що швидкість звуку змінюється з температурою і вона майже статична при зміні тиску, то ультразвукові анемометри можуть бути використані в якості спеціалізованих термометрів. Наприклад в: авіації, метеорологічних буюх, метеорологічних станціях, вітряних турбінах та судноплавстві, активно використовуються двовимірні (акустичні анемометри). Для того, щоб провести моніторинг вітрових турбін нам знадобиться частота

оновлення швидкості вітру від 3 Гц, яка досягається доволі легко за допомогою акустичних анемометрів. Звукові анемометри, є тривимірними, якщо їх використовувати з інфрачервоними газоаналізаторами у яких швидкий відгук або аналізаторами на основі лазерів. Двовимірні датчики вітру мають такі два основні типи:

1. Перший тип має у своєму складі дві ультразвукові доріжки та має 4 важеля. Його головним недоліком є – порушення вітрового потоку «плечами» при русі вітру по напрямку ультразвукового шляху, цим самим зменшуючи точність отриманого вимірювання.

2. Другий тип має три ультразвукові доріжки які мають 3 важеля. Цей тип має дещо покращену точність датчика та в свою чергу набагато меншу аеродинамічну та турбулентність через те, що вони дають одностороннє надмірне вимірювання.

Головним недоліком ультразвукових анемометрів є викривлення ними самого потоку через конструкцію, яка підтримує перетворювачі та вимагає корегування, що може бути виконаним на вимірах аеродинамічної труби, для того, щоб зменшити цей вплив.

1.4 Лазерний доплерівський анемометр

Принцип роботи лазерного анемометра доплера полягає в розділенні променю світла від лазера на пучки де один з них виходить з анемометра. Насінніві матеріали або просто певні частинки, які протікають разом із частинками повітря неподалік від того місця, де промінь виходить із анемометра, віддзеркалюватимуть і розсіюватимуть світла до детектору, де воно вимірюватиметься відносно вихідного лазерного променю. Коли такі маленькі частинки знаходяться у постійному русі, вони викликають доплерівський зсув, що застосовується для розрахунку швидкості цих частинок, а отже, в свою чергу і повітря, що навколо анемометра[4].

Основними перевагами такого методу є: його високе просторове та тимчасове розширення, не інтрузивне вимірювання, відсутність потреб у калібруванні приладу та можливості вимірювати також реверсивні потоки.

Основна конфігурація доплерівського лазерного анемометра складається з:

- Лазерної безперервної хвилі.
- Передавальною оптикою, з роздільником променів та фокусуючою лінзою.
- Сигнальний концентратор та сигнальний процесор.
- Приймальна оптика, яка містить фокусну лінзу, фотоприймач та інтерференційний фільтр.

У таких передових системах, можуть бути системи траверс та кутові кодери.

Середовище Брегга часто використовується як подільник променів, що виглядає як скляний кристал із вібруючим п'єзокристалом. Через його вібрацію генеруються акустичні хвилі, що діють як оптична сітка. Сигнал на виході решітки Брегга буде рівним двом пучкам з частотами f_0 і $f_{зсув}$ однакової інтенсивності. Вони орієнтовані на оптичні волокна та доводять їх до зонду.

А паралельні вихідні промені у зонді з волокон, що сфокусовані лінзою для їх перетину в обсязі зонду. Де сам об'єм зонду складатиме декілька міліметрів. Через інтерференцію між лазерними променями буде модулюватися інтенсивність світла, що призводитиме до створення так званих смуг або паралельних площин з високою інтенсивністю світла. У свою чергу відстань балки d_f залежатиме від довжини хвилі лазерного випромінювання, що використовується та кута між пучками:

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

де кут між пучками – це θ ,

а λ – це довжина хвилі.

У даному випадку через кожен прохід частинок, розсіюватиметься світло, яке буде пропорційним локальній інтенсивності світла.

					КМР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		19

У даному пристрої інформація про виміряну швидкість потоку надходитиме від світла, що розсіяно маленькими частинками, що при русі за обсягом зонду переносяться у рідині. Допплерівський зсув міститься в розсіяному світлі, що ще й містить, доплерівську частоту f_D , яка залежатиме від компоненти швидкості, що перпендикулярна бісектрисі цих двох лазерних променів.

Світло, що розсіялось збиратиметься приймальною лінзою і фокусуватиметься на фотодетекторі. Необхідна нам довжина хвилі пропускатиметься через фільтр перешкоди до фотодетектору. Це видалятиме шум від зовнішнього світу та від хвиль що мають іншу довжину. Сигнал, обробляється у доплерівському лазерному анемометрі по кроково. Флуктуюча інтенсивність світла, перетворюватиметься фотодетектором у доплерівський вибух а далі в електричний сигнал, який є синусоїдальним із гаусовою оболонкою.

У процесорі аналізу сигналів доплерівські сплески фільтруються та відправляються, що визначатиме f_D для кожної частинки. Таким чином величина інтервалу d_f інформуватиме про відстань, що пройшла частка. А доплерівська частота f_D буде інформувати про час:

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

Так як швидкість у нашому випадку дорівнює відстані, що поділений на час, то вираз для швидкості матиме вигляд:

$$V = d_f * f_D.$$

Можливо додати ще два додаткових промені до оптики у площині щоб вимірювати дві компоненти швидкості, що перпендикулярні першим пучкам.

Два окремих зонди зможуть виміряти усі три компоненти швидкості і причому тут всі промені перетинаються у загальному обсязі. А для розділення вимірюваних компонентів, потрібно буде використовувати зовсім різні довжини хвиль. Для того щоб, виявити розсіяне світло, трьох основних

довжин хвиль, потрібно буде використовувати три фотодетектори з відповідними фільтрами для перешкод.

Сучасні системи доплерівських лазерних анемометрів використовують компактні передавачі, які містять кольорові світло-розділювачі та Брегівське середовище. Кольорові світло-розділювачі тут потрібні для генерування до 6 променів: кожен із яких буде зміщений та зсунутий. До зондів ці промені передаються через оптичні волокна.

1.5 Анемометр нажимної пластини

Анемометр нажимної пластини – це один із перших сучасних анемометрів. Його конструкція складається із плоскої пластини, що підвішена зверху, таким чином, щоб вітер відхилив лише саму пластину. Новіші версії такого пристрою склалися із круглої, пластої чи квадратної пластини, що підтримується вітром. Натиск вітру на головну пластину компенсується пружиною. А саме стиснення цієї пружини визначає фактичне зусилля, що залежить від тиску вітру на пластину, і це значення або зчитується безпосередньо на рекордері, або на підходящому калібруючому елементі. Основною проблемою таких приладів – є відсутність реакція на легкий вітер, а також проблеми з точністю вимірювання при високих показаннях швидкості вітру та занадто повільну реакцію на зміну швидкості вітру.

Анемометр нажимної пластини у більшості випадків складається із коливаючоїся пластини, що утримується у кінці горизонтального важеля, що прикріплений до вертикального валу, де конструкція може без перешкод обертатися навколо нього. За допомогою спеціального флюгера плитка буде завжди перпендикулярною до вітрового потоку.

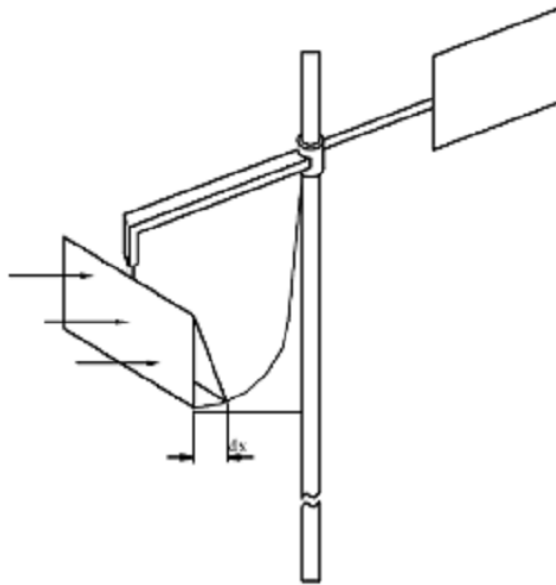


Рисунок 1.4 – Конструкція анемометра нажимної пластини

Так як у даному випадку коефіцієнт опору нажимної пластини можна прийняти як певну одиницю тиску, що діє на пластину, то можна визначити P за формулою як:

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

де швидкість вітру – це V ,

а ρ_a – це щільність повітря.

Тиск у свою чергу змушуватиме пластину вигинатися всередину. В вимірюваннях швидкості вітру її можливо відкалібрувати через відстань, де від величини вітру залежатиме коливання пластини. Для вимірювання швидкозмінних (рвучких) вітрів та передбачення аварій, що спричинені вітром, наприклад на мостах, анемометри нажимної пластини є просто ідеальними.

1.6 Звуковий анемометр - термометр

Звуковий анемометр - термометр працює за принципом вимірювання часу, для проходження заздалегідь відомої відстані акустичним сигналом. Отже таким чином можна обчислити середню швидкість уздовж даного шляху. Існує два методи визначення: метод безперервної хвилі та імпульсний, значна частина комерційних пристроїв зараз використовує імпульсний метод.

					КМР.АКІТ.18050031.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.		№ докум.	Підпис	Дата		22

Такий пристрій у роботі [6] описується Каймалом і Бусінджером. Він складається із декількох передавальних та приймаючих перетворювачів, що просторово розділені. Ці випромінювачі повинні випромінювати безперервно, а випромінювані частоти мають бути між собою не гармонійно пов'язаними. Імпульси, що представлені як переміщення між певними одиницями. Це час, що витрачається на безпосередньо саму передачу сигналу, і рівний t_1 і t_2 . А відстань що буде пройдена за цей часі позначається як похідна швидкості від часу.

Тоді

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

де c – це стрімкість,

а d – це поділ між одиницями,

α - це кут відхилення, викликаний по цьому потоку.

Отже

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

і

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

суму та різницю часів транзиту можливо розрахувати за формулами:

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

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

Розглянувши представлені рівняння 1.1 та 1.2, у рівнянні 1.1 можна помітити залежить від потоку, в той же час рівняння 1.2 – не залежить від потоку. Тому для отримання результату «акустичної температури» можна використати рівняння 1.1.

Якщо $v \ll c$, згідно Коппіні і Тейлору [8], то рівняння 1.1 перетворюється в наступний вигляд:

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

тоді можливо обчислити c як:

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

де c – це атмосферний тиск,

T – це абсолютна температура,

e - тиск водяної пари.

Коппін і Тейлор у роботі [7] говорили, що прилади, які засновані на наому методі, можуть легко показувати дрейф, що виникає при зміні елементів навколишнього середовища.

1.7 Акустичний резонансний анемометр

Акустичний резонансний анемометр - це прилад, що визначає фазові зміни, які виникають через потік акустичного резонансу в каналі. Резонатор, що вбудований в анемометр складається із масиву ультразвукових перетворювачів, які використовуються для того, щоб отримати певні окремі шаблони на ультразвукових частотах. При проходженні вітру всередині певної порожнини, відбуватиметься зсув фаз. Після вимірювання величини цього зсуву фази в прийнятих кожним перетворювачем сигналах, якщо використати математичну обробку даних, можна отримати дані по напрямку вітру та результати точних горизонтальних вимірів швидкості.

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



Рисунок 1.5 - Акустичний резонансний анемометр

Застосовуючи технологію акустичного резонансу можливо знімати значення усередині невеликої порожнини, за рахунок цього, такі датчики мають менший розмір, у порівнянні з іншими ультразвуковими датчиками. Мініатюрні розміри роблять їх більш стійкими до обмерзання, легшими для нагріву і фізично більш міцнішими. За такої комбінації характеристик звичайно, що вони забезпечують доволі високий рівень доступності даних та прекрасно підходять для керування вітровими турбінами а також для інших застосувань, в яких потрібні маленькі та надійні датчики.

Головним недоліком цього датчика у порівнянні із більш традиційним, каліброваним механічним датчиком є його точність вимірювання. Для багатьох випадків та завдань, ця проблема легко нівелюється довговічністю датчика а також, тим фактом, що після встановлення він не потребуватиме повторного калібрування.

У таких датчиках, коли фаза на одному перетворювачі змінюється, інший акустичний перетворювач використовуватиметься для збурення акустичного резонансу. Для того, аби обчислити компонент швидкості потоку, зазвичай використовується різниця фаз, а робота обох перетворювачів знову повертається назад.

У той самий час, третій перетворювач буде використовуватися для визначення компоненту потоку, що рухається в іншому напрямку. За рахунок відсутності рухомих деталей а також його компактний дизайн, пристрій буде доволі надійний. За допомогою метода акустичного резонансу, через забезпечення неперервного калібрування, пристрій ще й зменшує помилки вимірювання, через вплив навколишнього середовища. Наприклад зміна температури чи тиску у навколишньому середовищі. За рахунок покращення співвідношення сигнал/шум, що буде лінеарізуватися зв'язок між швидкістю та фазою і відображатись на інших частотах вимірювань.

У даному випадку, сила опору виражатиметься як співвідношення:

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

де V – це швидкість вітру,

а ρ_a – це щільність повітря,

а A – це частина площі чаші, яка піддається впливу вітру,

C_D – це коефіцієнт опору.

Так як коефіцієнт опору для увігнутої поверхні, є набагато більшим, ніж для опуклої її частини, то чаша з її ввігнутою стороною, що повернута до вітру, матиме більшу силу опору. За рахунок цього чашки будуть змушені обертатися на своїй центральній осі. А їх швидкість та інтенсивність обертання будуть пропорційні швидкості навіюючого вітру.

У таких пристроях калібрування додатково проводитиметься по швидкості вітру, що в свою чергу, може бути записаною та вимірюною. Такі пристрої мають певні слабкі місця, хоча ці анемометри і можуть ефективно працювати у різних важких умовах. Так наприклад чашковий анемометр буде швидко прискорюватися коли є вітер, але довго сповільнюватися, коли вітру немає. Саме через це чашкові анемометри не дають точних результатів при поривчастому вітру. А через те, що сила опору є прямо пропорційною щільності,

то при будь-яких змінах у щільності повітря буде, в свою чергу, змінюватися і точність вимірюваної швидкості.

Проте, не незважаючи на дані обмеження, чашкові анемометри активно використовуються для вимірювання швидкості вітру, в вітроенергетичних застосуваннях та в метеорологічних установках.

Швидкість вітру, яку ми виміряли з допомогою чашкового анемометра - це усереднене одновимірне значення. Та інтерпретація цієї величини - є важливою для того аби розробити послідовну класифікацію швидкості.

Якщо дивитися на залежність від часу, то тривимірний вектор швидкості вітру із поперечним компонентом v , та поздовжнім компонентом u , а також складовою w у якості даних, що подаються на вхід для чашкового анемометра.

Існують два різних способи, що використовуються для визначення швидкості вітру. Най частіше розглядається саме горизонтальна швидкість вітру. Ми виміряємо компоненти горизонтальної швидкості вітру - довжину вектору швидкості вітру та ін.

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

Тож, якщо наш чашковий анемометр має косинусний кутовий показник, то його вертикальна складова w буде автоматично фільтруватися.

У свою чергу, інше визначення містить вертикальну складову w . Хоча воно і вимірює тільки один параметр, його було названо вектором, та так як він має усі три складові вектора, то його можна називати тривимірним усередненим виміром

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

Основною різницею між цими визначеннями є інтенсивність турбулентності. Так наприклад для турбулентності у 15% на рівнинній місцевості різниця становитиме близько 0,5%, у той час як для турбулентності в

					КМР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

30% це значення будеблизько 1%. Тут і прихована основна відмінність між цими двома визначеннями.

Тож, середній момент аеродинамічних сил, що діятимуть на вітро приймачі анемометра, буде пропорційним квадрату швидкості вітру V та ковзання. А квадрат швидкості є рівний відносному відхиленню ω від його статичного значення ω_0 , у залежності від діючого в даний момент значення швидкості вітру. Тоді, у цьому випадку, рівняння руху вітро приймача записують у вигляді:

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

I – це у якому момент інерції ротора знаходиться анемометра,

V – це швидкість повітряного потоку,

A – це коефіцієнт пропорційності.

Якщо ж розглядати роботу такого анемометра у періодичному змінному потоці повітря, то можемо перейти до рівняння, записаного в безрозмірному вигляді, а отже ми можемо використати наступні співвідношення та виразити змінні величини у відносних одиницях:

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

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

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

де час - це t ,

ω_0 - кутова швидкість, що є рівною середньому значенню

T – час коливання потоку.

А якщо перейти від кутових швидкостей то, рівняння 1.6 можна трансформувати наступним чином:

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

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

де k – коефіцієнт вітроприймача.

У свою чергу k для чашкових анемометрів, визначають виразом:

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

у якому a – радіус напівсфери чашкового анемометра,

ρ – повітряна щільність,

r – відстань від осі анемометра до центру чашки.

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

α – аеродинамічний коефіцієнт, що залежатиме від конструкції анемометра,

U_0 – швидкість по колу.

Необхідною характеристикою чашкового анемометра є параметр k , що показує його інерційність, та умови роботи в змінному потоці повітря.

Зв'язок між такими параметрами як шлях синхронізації L та параметром k , можна виразити у наступному співвідношенні:

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

Тут, максимальне відхилення швидкості вітру, буде описуватися невизначеністю експлуатаційного стандарту. А при вимірюванні таким анемометром, класифікація буде тільки числом у порівнянні із реальною швидкістю вітру [8].

1.8 Аналоги об'єкта проектування

Одним із аналогів проектного пристрою, може бути: Метеорологічний датчик МД 03.001

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

Метеорологічний датчик МД 03.001 зазвичай використовується як обладнання для систем раннього виявлення НС та оповіщення (СРВНСО). Він призначений для постійного вимірювання швидкості та напрямку вітру, і температури повітря.

У якості датчика використовується трилопатевий елемент з флюгером. Даний пристрій має цифровий вихід RS485. Він підключається до персонального комп'ютера через спеціалізоване програмне забезпечення.

У таблиці 1.1 приведено короткі технічні характеристики датчика МД 03.001.

Таблиця 1.1 Короткі технічні характеристики метеорологічний датчик 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 $\pm$ 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

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розробка конструкції пристрою

Виконавши детальний аналіз інформації про існуючі, в наш час, способи моніторингу швидкості вітру та коректного і точного методу визначення його напрямку. Нами було обрано оптимальний для даного завдання спосіб моніторингу швидкості та напрямку вітру. Опираючись на поставлене завдання було вирішено використати у якості вимірюючого засобу чашковий анемометр із флюгером для визначення напрямку вітру. Цей спосіб є доволі розповсюдженим, відносно простим, надійним та достатньо чутливим для поставленої нам задачі. А інерційність чашкової системи контролю при тривалому моніторингу швидкості вітру не створюватиме особливих проблем. Також до переваг використання чашкового анемометра можна віднести велику кількість готових рішень, що доступні на ринку як завершені датчики або деталі чи елементи, що можуть суттєво спростити та прискорити виготовлення пристрою. Це дозволить уникнути необхідності проектування чашок анемометра та флюгера а отже дасть змогу відмовитися від складних математичних розрахунків по проектуванню первинного вимірювального перетворювача проектного пристрою.

До недоліків даної конструкції можемо віднести наявність доволі складної конструкції підшипників, що потребують дуже високої точності механічної обробки для забезпечення необхідної нам точності та достатньо високої чутливості механічної частини первинного вимірювального перетворювача проектного пристрою до швидкості вітру (це забезпечить можливість контролю дуже малих швидкостей вітру).

					<i>KMP.AKIT.162347.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.1 Конструкція флюгера та анемометра для проектного пристрою

За своєю конструкцією датчик можна умовно розділити на дві основні частини – флюгер чи прапорець, який відстежує напрямок вітру, зі своєю відповідною електронною частиною схеми, що «повідомляє» про поворот флюгера мікроконтролеру та частини схеми яка безпосередньо вимірює швидкість обертання чашкового анемометру, що фіксує швидкість вітру за рахунок визначення швидкості обертання чашок. У нашому випадку для цього використовується свого роду електронний тахометр який генерує інформація про швидкість обертання, що далі передається на мікроконтролер.

Опис конструкції флюгера.

У запропонованій конструкції основою флюгера а також датчика швидкості вітру, що детально описано нижче, служить П-подібна скоба, виготовлена з дюралю марки Д-16. Дана скоба детально зображена на рисунку 2.1. В нижнє заглиблення впресовується шматок фторопласту, у якому виконується ступінчасте заглиблення шляхом послідовного просвердлювання свердлами 2 та 3 мм.

У це спеціально сформоване заглиблення, гострим кінцем, встановлюється вісь для флюгера, що виготовлена із латуні. Зверху цього отвору за допомогою гвинтів М2, до скоби пригвинчується прямокутний шматочок такого ж фторопласту товщиною 4 мм. Таким чином, щоб він повністю перекривав отвір. У цьому фторопласті виконано отвір точно відповідно до діаметру осі - 6 мм (усі отвори повинні розташовуватися точно по загальній осі, як видно з рисунку 2.1). Використання фторопласту у горі та в низу конструкції передбачено необхідністю створення фрикційної пари ковзання, з якою фторопласт чудово справляється.

					КМР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

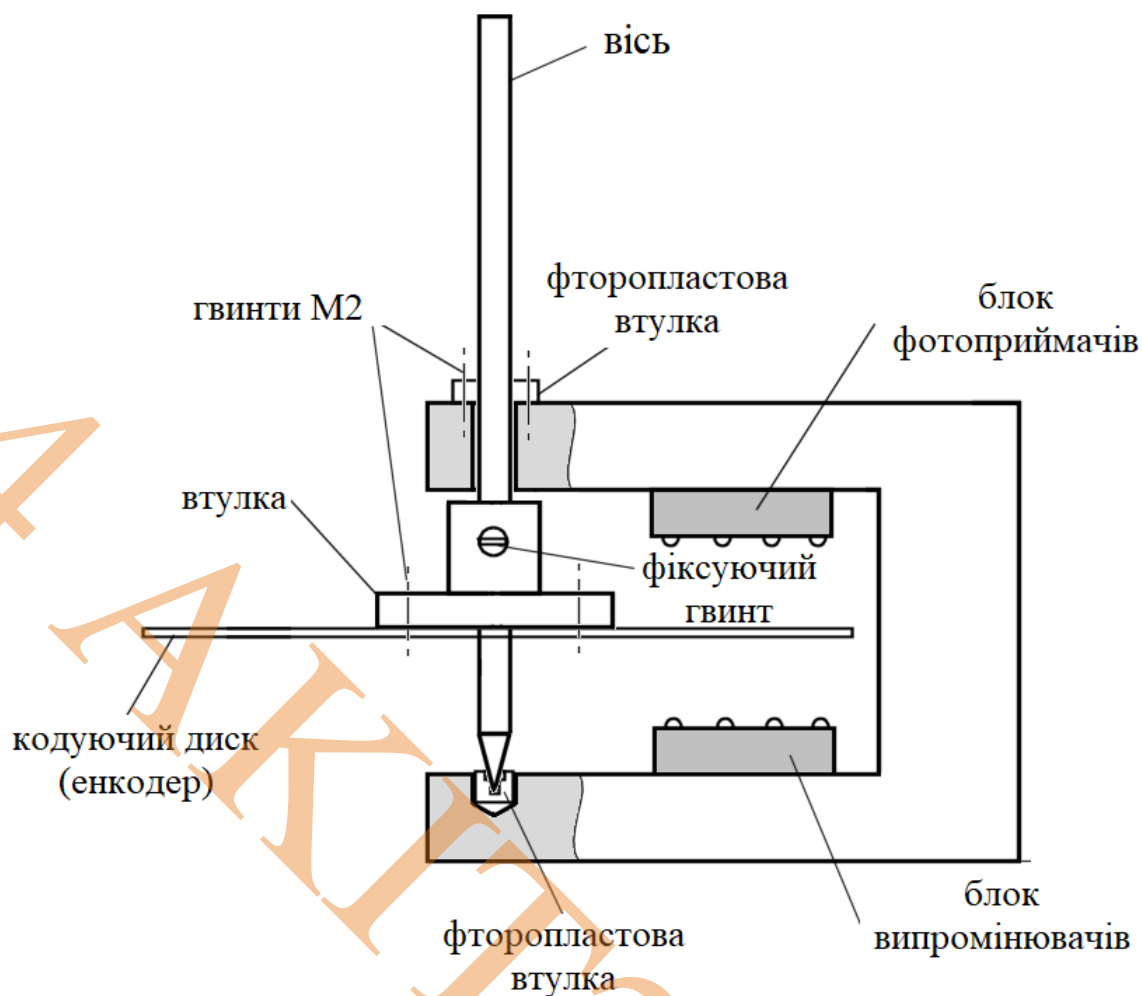


Рисунок 2.1 Конструкція флюгера для проектного датчика

Для покращення ковзання вісь в місцях контакту з фторопластом необхідно добре відполірувати, а площу контакту фторопласту з віссю мінімізувати, просто відзенкувавши отвір у фторопласті. Для флюгера у нашій конструкції це не відіграватиме особливу рол. — деяке «гальмування» йому навіть є корисним, а для частини анемометра де обертаються чашки, дуже важливим завданням, є мінімізувати тертя та інерційність системи.

В нашому випадку для фіксації показів кута повороту флюгера, нами було використано типову схему конструкцію енкодера Грея, що забезпечений 6-тю положеннями контролю кута провороту. Конструкція диску нашого енкодера Грея продемонстрована на рисунку 2.2.

Дюраль Д16
товщиною 0,5 мм

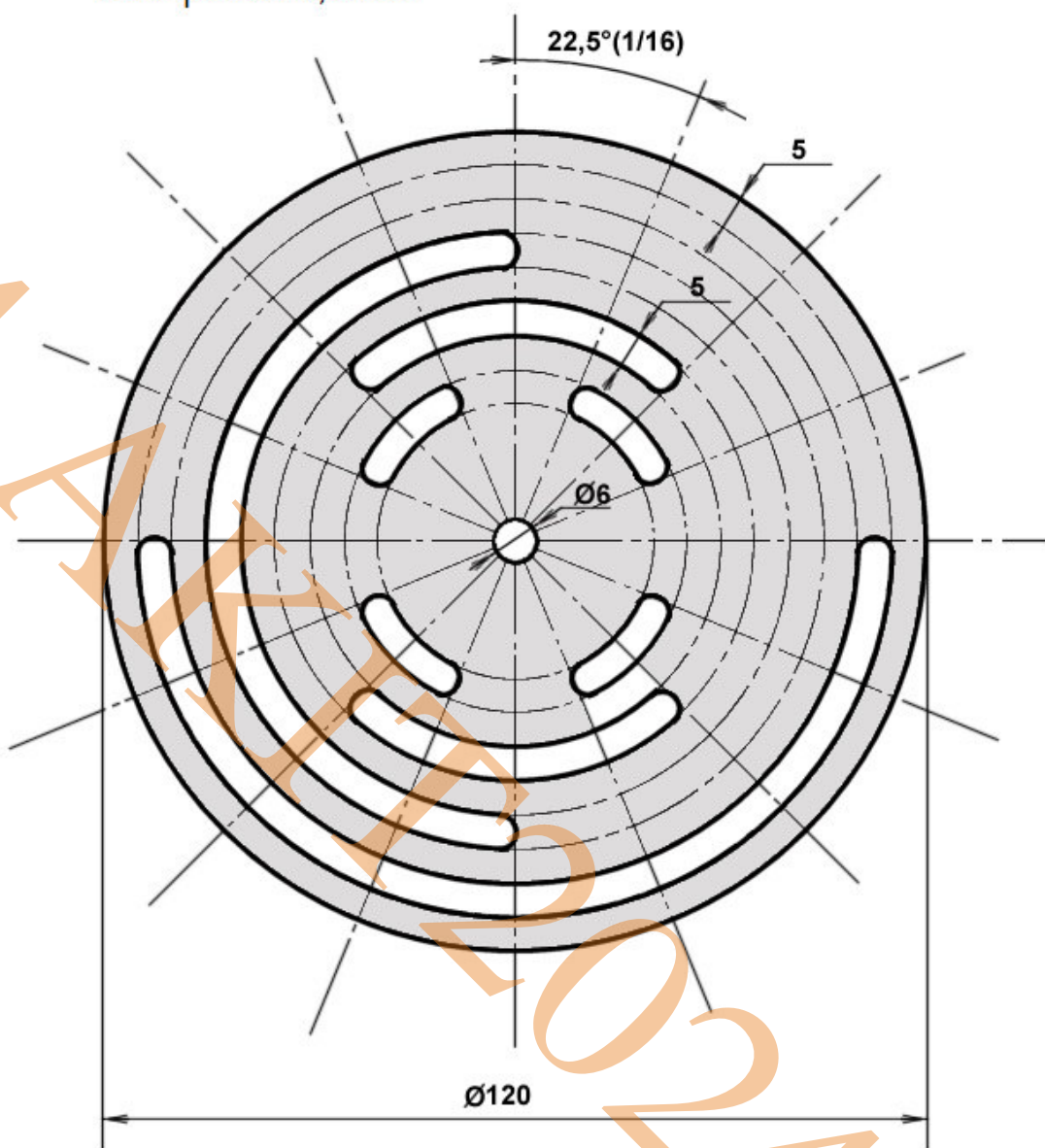


Рисунок 2.2 Конструкція диска енкодера для флюгера

Основні розміри для диска енкодера було обрано, виходячи з необхідності надійної «оптичної» ізоляції пар випромінювачів один відносно одного. При запропонованій нами конфігурації, де використано щілини шириною 5 мм, які розташовуються з проміжком у 5 мм, а наші оптичні пари розташовуються відповідно на відстані, що є рівною 10 мм. Габаритні розміри скоби, до якої прикріплено флюгер, розраховувалися нами виходячи із діаметру диска а саме

120 мм. Розміри диску можуть бути зменшеними, якщо використовувати оптичні пари меншого розміру. Звісно, якщо є необхідність значно зменшити розміри датчика.

На схемі конструкції рисунок 2.1, що наведено вище показано кріплення диску енкодера до осі. Дуже добре відцентрований диск кріпиться маленькими гвинтиками М2 через капролонову втулку. Втулку розміщуємо на осі таким чином, щоб зазор угорі був якомога меншим (1-2 мм). Тобто так, щоб вісь в нормальному положенні оберталася вільно. А у випадку перевероту всієї конструкції вістря не випадало із свого гнізда внизу.

Блоки із фотоприймачів та випромінювачів будуть прикріплюватися до скоби вгорі та внизу по відношенню до диска. Більш детально про їх конструкцію буде описано нижче.

Для захисту уся конструкція пристрою поміщається у пластиковий корпус із розмірами 150×150×90 мм.

Конструкція чашкового анемометра.

Основою для нашого датчика швидкості, з метою уніфікації, було обрано таку саму конструкцію, що й для нашого флюгера. Проте вимоги до конструкції к цьому випадку будуть дещо іншими. А саме з метою зниження порогу спрацювання самого анемометра, його конструкція має бути максимально полегшеною. І тому вісь для нього була зроблена із дюралю а диск з отворами (енкодер), що потрібен нам для вимірювання частоти обертання чашок анемометра, суттєво зменшений у діаметрі.

Тож якщо до чотирьох бітного енкодера Грея потрібно чотири оптопари, то для проєктованого нами датчика швидкості достатньо використати всього одну. У нашій конструкції по колу у диску на рівній відстані було просвердлено 16 однакових отворів, таким чином один повний оберт диска за секунду буде еквівалентним 16 герцам частоти, що надходитимуть з оптопари. Можна

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

використати більше отворів чи менше, основне питання буде тільки в масштабі перерахунку та відповідно економії енергії на самому випромінювачі.

Датчик такого типу все одно виходитиме не дуже чутливим. Його поріг спрацювання буде не менше півметра-метра в секунду. Та знизити його можна тільки якщо радикально (повністю) змінити конструкцію, що у нашому випадку просто не має необхідності, так як жоден із існуючих вітрогенератор просто не здатен працювати при таких малих швидкостях вітру.

У чашкової вертушки різниця сили опору потокам, що зумовлює крутний момент, є відносно невеликою - вона досягатиметься виключно за рахунок різної форми у поверхні, що зустрічатиме потік повітря, який набігає і саме тому форма чашок повинна бути якомога більш обтічної. В ідеалі це повинна бути половинка яйця або кулі. А наприклад у пропелера момент, що крутить, набагато більший, і його можна зробити значно меншим за вагою, та й саме виготовлення буде простіше. Та у використанні пропелера є суттєвий недолік, його потрібно встановлювати за напрямом потоку повітря, наприклад якщо розмістити його на кінці того ж самого флюгера. Головним питанням при цьому буде: а як же передавати показання з датчика, який хаотично обертатиметься навколо вертикальної осі? Така задача є надзвичайно складною у вирішенні та суттєво збільшить вартість усього пристрою. А зважаючи на той факт, що професійні чашкові конструкції досі дуже широко поширені та така конструкція цілком задовольняє поставлену нам задачу. Тому питання зниження вартості проєктованого нами пристрою є набагато актуальнішим.

У якості чашок для проєктованого пристрою може бути використана готова покупна конструкція, чи виконана із деталей виготовлених на 3D принтері.

					<i>KMP.AKIT.162347.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

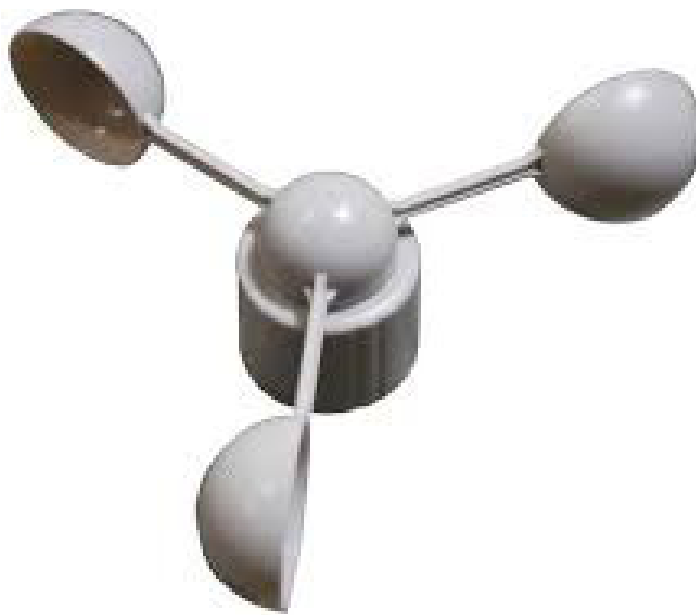


Рисунок 2.3 Конструкція чашок проектованого анемометра

Наша конструкція тримача для чашкового анемометра буде повністю повторювати конструкцію тримача для флюгера, що описана на рисунку 2.1, за виключенням того факту, що диск цього енкодера матиме круглі отвори в один ряд, що дасть можливість зменшити габаритні розміри диску. Сам анемометр та його флюнер розміщено у двох окремих корпусах із розміром 150×150×90 мм.

2.2 Проектування електронного блоку пристрою

2.2.1 Розробка структурної схеми пристрою

В цілому проєктований у даній роботі пристрій складається з двох основних частин (модулів): зовнішнього (виносного) блоку, який безпосередньо взаємодіє вимірюваними параметрами обома датчиками моніторингу швидкості та напрямку вітру (анемометр і флюгер), а також передає показання із зовнішнього комбінованого датчика температури та вологості, та відповідно основного модуля пристрою де встановлено мікроконтролер, що опрацьовує виміряні параметри та дисплея.

					<i>KMP.AKIT.162347.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проектований зовнішній блок обладнано бездротовим інтерфейсом передачі, що встановлено всередині корпусу для відправлення даних на мікроконтролер, та зовнішньою антеною для збільшення відстані, на якій можуть взаємодіяти два блоки. Основний модуль, також за допомогою бездротового інтерфейсу зв'язку, приймає дані від виносного блоку. Приймач інтерфейсу зв'язку для зручності орієнтації поміщено в окремий блок який під'єднується кабелем. Він також знімає показники з внутрішнього датчика температури та вологості та виводить усю цю інформацію на дисплеї. Окремою складовою основного блоку є — годинник з календарем. Для зручності загального налаштування проектного пристрою, він обслуговується окремим мікроконтролером Arduino Mini, і має свій власний дисплей.

У основному модулі пристрою усі виміряні величини приймаються та розшифровуються, якщо потрібно, вони перетворюються відповідно до належного рівня калібрування та виводяться на дисплей.

Для зручності роботи з пристроєм, приймач основного модуля винесений за межі корпусу станції та поміщений у маленький короб з вушками для зручного кріплення. Антена виведена через спеціальний отвір в кришці корпусу. Всі отвори в корпусі приладу ущільнено та додатково загерметизовано. Контакти на приймач виведено через окремий роз'єм типу PC-4, з боку приймача він підключається через шматок зведеного екранованого кабелю типу AV.

Через одну із жил цього кабелю передається сигнал, а по іншій подається живлення, 9 вольт, від зовнішнього адаптера живлення головного модуля. В пристрої вбудовано стабілізатор типу LM-2950-5.0 та пара конденсаторів, що фільтрують напругу живлення від блоку.

У пристрої дисплеїв всього чотири два жовті призначені для виводу метеоданих, а два зелених відображають інформацію про години і календар.

Структурна схема двох модулів проектного пристрою наведена на рисунках 2.4 та 2.5..

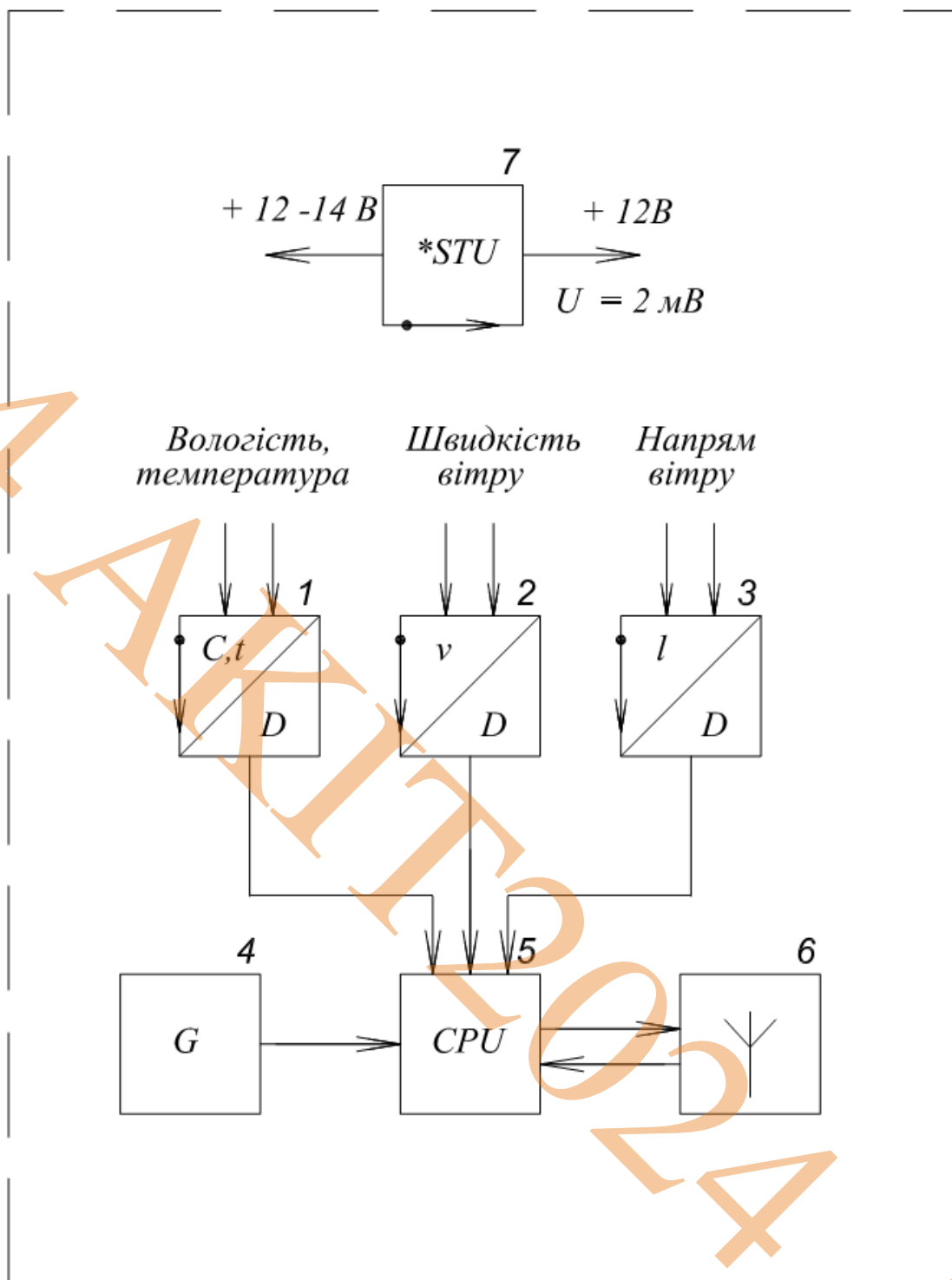


Рисунок 2.4 Структурна схема виносного модуля:

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

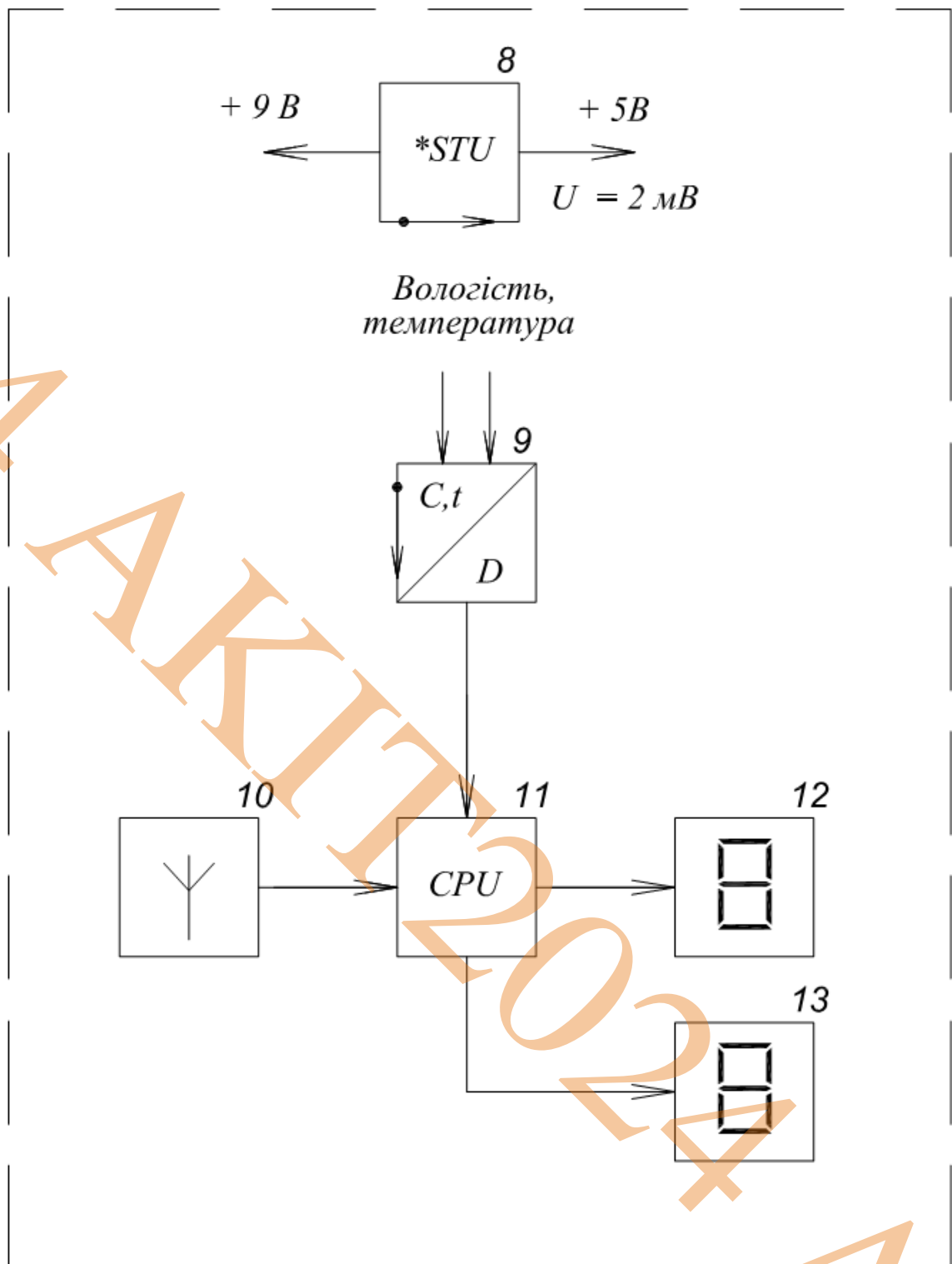


Рисунок 2.5 Структурна схема основного модуля:

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

2.2.2 Розробка принципової електричної схеми пристрою

Опис вимірювального блоку проектного пристрою:

Як описано у 2.1.1 і в флюгері і в самому анемометрі для зчитування повороту флюгера та швидкості обертання чашок використовується енкодер Грея. Для реалізації його роботи використано обрано елементи для оптопарію.

Для джерела випромінювання було обрано світлодіод ІЧ-діапазону АЛ-107Б. Дані вже трохи застарілі світлодіоди, звичайно, є не найкращими у своєму класі, проте мають дуже малий корпус діаметром всього 2,4 мм та спроможні пропускати струм до 600 мА в імпульсному режимі.

Через світлодіод у датчику швидкості пропускався постійний струм близько 20 мА (резистор 150 Ом при живленні 5 вольт), а в датчику напрямку - імпульсний (міандр зі шпаруватістю 2) струм близько 65 мА (ті ж 150 Ом при живленні 12 вольт). Середній струм через один світлодіод датчика напрямку при цьому близько 33 мА, всього через чотири канали - близько 130 мА.

А в якості фотоприймача, було обрано фототранзистор L-32P3C в корпусі діаметром всього 3 мм. У нашому випадку сигнал знімався із колектора, що навантажений на резистором 1,5 або 2 кОм від типового живлення у 5 В. Дані параметри підбиралися таким чином, щоб на відстані близько 20 мм між фото випромінювачем та фото приймачем на вхід мікроконтролера надходив одразу «повно розмірний» логічний сигнал достатнього рівня без необхідності його додаткового підсилення. Струми, які тут фігурують, можуть здаватися непропорційно великими, якщо виходити із озвученої нами вище, вимоги мінімального енергоспоживання. Та якщо поглянути більш детально, то вони присутні тільки у кожному окремому циклі вимірювання, який відбувається протягом максимум кількох мілісекунд. Тож, виходячи з цього, загальне споживання буде залишатися невеликим.

У нашій схемі подільник напруги, підключається до виводу A0 нашого мікроконтролера, що призначений для контролю напруги від джерела живлення з метою його своєчасної заміни.

Світлодіод, у даній схемі підключений до виводу 13 (або відповідно вивід 19 у DIP корпусі мікросхеми) – «суперяскравий», зазвичай для його нормальної роботи, що сліпить, достатньо забезпечити струму всього в долі міліампера, який і забезпечується через незвичайно високий номінал резистора 33 кОм.

У даній схемі використано «голий» мікроконтролер Atmega328 у DIP-корпусі, що запрограмований через Uno та встановлюється на спеціальну змінну панельку. Такі мікроконтролери із уже записаним Arduino-завантажувачем є доступними в продажі та суттєво знижують кінцеву вартість проектного пристрою. Такий мікроконтролер дуже зручно програмувати в звичному програмному середовищі, проте, він позбавлений компонентів які є у версії на платі, по-перше він виходить економічнішим, по-друге він займає трохи менше місця. Отримати повноцінний енергозберігаючий режим, можна було б якщо позбутися і завантажувача також. Тоді програмування довелося б виконувати розписавши увесь код на асемблері, проте тут це не є особливо актуальним, а програмування при цьому б невиправдано ускладнилося.

Далі розглянемо спроектовану нами функціонування схеми.

Робота мікроконтролера загалом керується сторожовим таймером WDT, увімкненим у режимі виклику та переривання. Таймер WDT переводить контролер із режиму сну в робочий режим через задані інтервали часу. У тому разі, якщо у викликаному перериванні таймер перезапускається знову, пере завантаження з нуля не відбуватиметься, всі глобальні змінні залишатимуться за своїми заданими значеннями. Це дозволяє системі накопичувати дані від одного циклу пробудження до наступного пробудження та у якийсь момент часу обробляти ці дані, так наприклад, усереднювати. В проектованому пристрої програмно забезпечені цикли пробудження та сну для контролера кожні 4 секунди, для того, щоб виконати збір даних напрямку та швидкості вітру. Неперервна фіксація показів напрямку та швидкості вітру при моніторингу протягом тривалого часу потребувала б значного об'єму пам'яті та значно

підвищила енергоспоживання системи, при цьому суттєво зменшивши б тривалість автономної роботи пристрою.

Електричне споживання виносного блоку пристрою можемо теоретично оцінити таким чином:

- 20 мА (світло випромінювач) + ~ 20 мА (мікроконтролер з допоміжними ланцюгами) за приблизно 0,25 за кожні чотири секунди - в середньому разом $40/16 = 2,5$ мА;

- 130 мА (світло випромінювачі) + ~20 мА (мікроконтролер з допоміжними ланцюгами) за приблизно 2 мс кожні 16 секунд - в середньому разом $150/16/50 \approx 0,2$ мА;

Якщо ж додати до цього розрахунку споживання мікроконтролера при зчитуванні даних із датчиків температури та вологості та при активній роботі передавача, сміливо можемо доводити середнє споживання енергії до 4 мА (при піковому близько 150 мА). У якості джерела живлення для проектного пристрою можуть бути використані батарейки типу АА в кількості 8 шт. для того, щоб одержати 12 В або літєва батарея напругою 12 В яку можемо додатково оснастити сонячною панеллю для збільшення автономності роботи пристрою. При вказаному нами споживанні в 4 мА, якщо ємність батареї буде складати близько 1300 мА/годин, то її вистачить приблизно на два тижні автономної роботи, що доволі зручно.

Відзначимо, що напруга свіжозрядженого акумулятора може становити до 14 вольт. На цей випадок поставлено вхідний стабілізатор 12 вольт, щоб не допустити перенапруг живлення передавача і не перевантажувати основний п'ятивольтовий стабілізатор.

Виносний блок пристрою у пластиковому корпусі розміщується десь під дахом, до нього через роз'єми під'єднаний кабель живлення від акумуляторної батареї та з'єднання з датчиками напрямку та швидкості вітру.

Для забезпечення належної роботи пристрою у дощову та вологу погоду, після налагодження алгоритмів роботи пристрою та перевірки усіх з'єднань

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

корпус та усі технологічні отвори необхідно ретельно за герметизувати. Всі роз'єми в корпусі також герметизуються, те саме стосується усіх гвинтів, що знаходяться на корпусі, виходів антени та кабелю живлення. Стики корпусу герметизуються за допомогою спеціальних гумових прокладок (з урахуванням того, що їх рано чи пізно доведеться рознімати).

Щоб уникнути появи конденсату у середині пристрою при падінні температури, необхідно всередині корпусу розмістити патрончик або мішечок з вологопоглиначем (силікагелем). Якщо корпус загерметизований як слід, то замінювати вологопоглинач доведеться не частіше, ніж раз на рік.

Опис електричної принципової схеми основного модуля.

Слід звернути певну увагу на розведення живлення для – дисплеїв, воно забезпечується від окремого стабілізатора типу 5 В LM1085. Від нього ж можливо заживити дисплеї годинника реального часу, проте в такому випадку контролер годинника також повинен живитися від цієї ж напруги, причому через вивід 5 В, а не Vin (для Mini Pro останній називається RAW). Якщо заживити контролер годинника реального часу так само, як і на Arduino Nano - 9 вольтами через вивід RAW, то його внутрішній стабілізатор буде «конфліктувати» із зовнішніми 5-ма вольтами і в цій «боротьбі», природно, переможе найсильніший, тобто стабілізатор LM1085, а Mini залишиться взагалі без живлення. Також, для того аби уникнути усіх можливих неприємностей перед програмуванням Arduino Nano і особливо Arduino Mini (тобто безпосередньо перед підключенням USB-кабелю), зовнішній адаптер слід відключати.

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

Для прийому повідомлення радіо каналом 433 МГц застосовано найбільш розповсюджений спосіб, що дуже добре описаний у описі до різних пристроїв на базі Arduino з радіозв'язком

Електрична принципова схема пристрою наведена на рисунку 2.5.

					KMP.AKIT.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

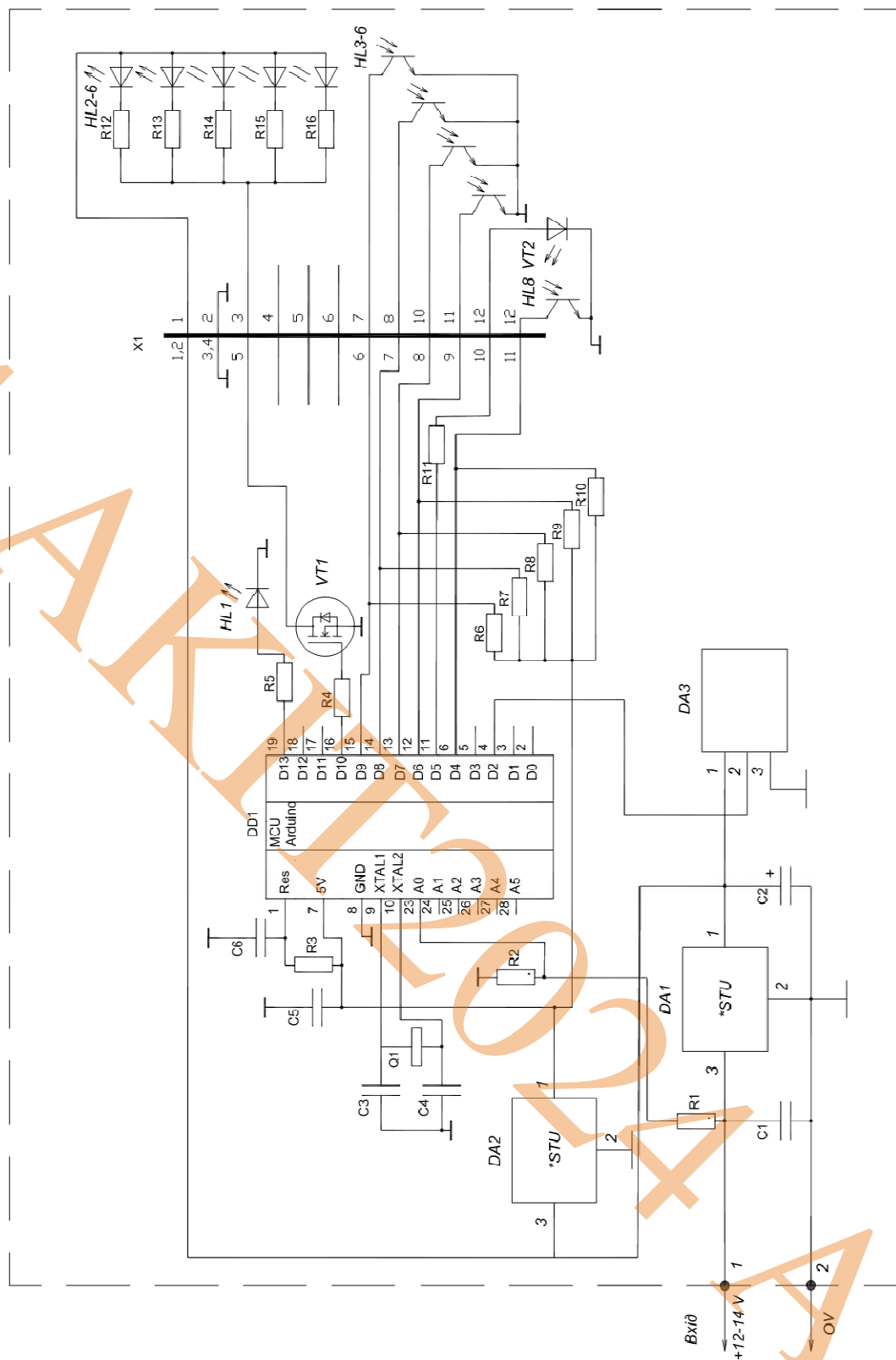


Рисунок 2.5 Електрична принципова схема виносного блоку проектованого пристрою.

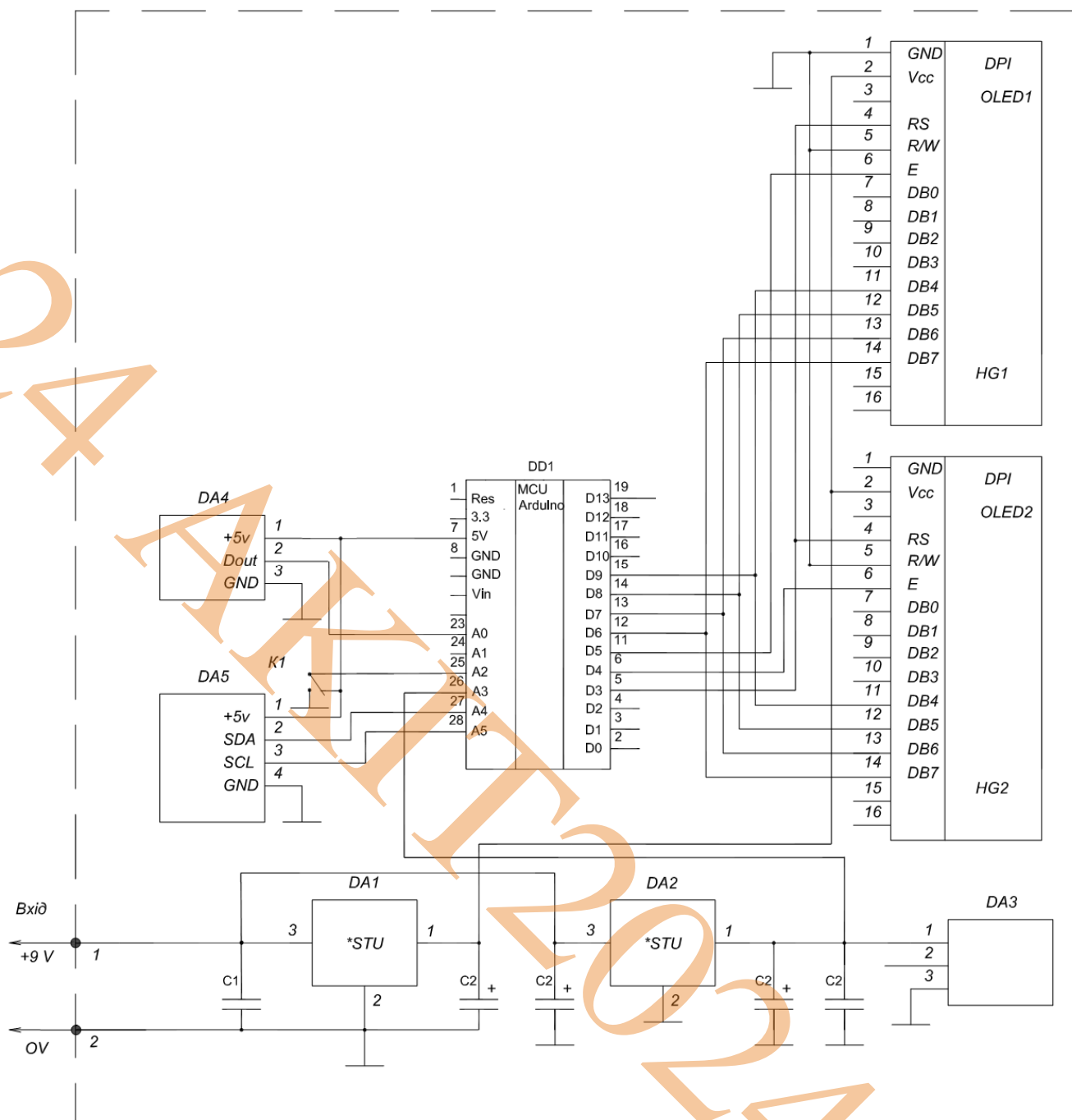


Рисунок 2.6 Електрична принципова схема виносного блоку проектаного пристрою.

3 АЛГОРИТМ РОБОТИ ТА ПРОГРАМУВАННЯ КОНТРОЛЕРУ

Розглянемо по кроково основні операції у роботі пристрою:

Робота мікроконтролера у виносному модулі в цілому керується 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 при своїх значеннях. Це дозволяє накопичувати дані від пробудження до пробудження і в який-то момент 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
```

					КМР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
byte wDir[4]; //масив напрямку вітру
```

```
byte wind_Gray=0; //байт коду напрямку вітру
```

Для ініціалізації 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
```

```
    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
```

```
void setup_watchdog(int ii) {
```

```
    byte bb;
```

```
    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, порядок величин одиниці-десятки герц. Тут вибрано метод через модифіковану функцію `pulseInLong()`, який не прив'язує вимірювання до певних виводів контролера.

У функції `setup()` оголошуються напрями виводів, ініціалізуються бібліотека передавача 433 МГц і сторожовий таймер (рядок для `IN_PINF` фактично є зайвим і вставлений тільки для пам'яті):

```

void setup() {
    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();
}

```

Нарешті, в основному циклі програми ми спочатку щоразу при пробудженні (кожні 4 секунди) зчитуємо напругу та розраховуємо частоту датчика швидкості вітру:

```

void loop() {
    wdt_reset(); //обнулюємо таймер
    digitalWrite(ledPin, HIGH); //включаємо світлодіод для контролю
    batt[count]=analogRead(0); //читаємо та зберігаємо поточний код батарейки
}

```

```
/*==== 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 (що споживає 20 мА) тут, як бачите, буде максимальним за відсутності обертання диска датчика і становить при цьому близько 0,25 секунди. Мінімальна частота, що вимірюється, таким чином, складе 4 Гц (чверть оберта диска в секунду при 16 отворах). Як з'ясувалося при калібруванні датчика, це відповідає приблизно 0,2 м/с швидкості вітру. Підкреслимо, що це мінімальна вимірювана величина швидкості вітру, але не здатність, що дозволяє, і не поріг спрацювання (який виявиться набагато вище). За наявності частоти (тобто при обертанні датчика) час вимірювання (і, відповідно, час свічення LED, тобто споживання струму) пропорційно зменшуватиметься, а роздільна здатність — збільшуватиметься.

Далі йдуть процедури, які виконуються кожне четверте пробудження (тобто кожні 16 секунд). Значення частоти датчика швидкості із накопичених чотирьох значень ми передаємо не середнє, а максимальне - це більш інформативна величина. Кожну з величин, незалежно від її типу, для зручності та одноманітності ми перед передачею перетворюємо на ціле позитивне число розміром у 4 десяткові розряди. За відліком числа пробуджень стежить змінна count:

					КМР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

//кожні 16 сек усереднюємо батарею 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
```

```
    int fi = (int (f * 10) + 1000); //Доводимо до 4 дес. розрядів для відправки
```

```
    int volt = 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.
```

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

.....

Далі визначення коду Грея для напряму вітру. Тут для зниження споживання замість постійно увімкнених ІЧ-світлодіодів на всі чотири канали одночасно через ключовий польовий транзистор за допомогою функції tone() подається частота 5 кГц. Виявлення наявності частоти кожному з розрядів (виводи in_0p – in_3p) виробляється методом, аналогічним антибрязкіт під час зчитування показань натиснутої кнопки. Спочатку в циклі чекаємо, чи є на виводі високий рівень, а 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 (про всяк випадок повторюємо чотири рази) і це означає, що він точно там є. Цю процедуру повторюємо для кожного із чотирьох біт коду:

```
/* ===== Wind Gray ===== */
```

```
//напрямок:
```

```
tone(IR_Pin,5000); //частоту 5 кГц на транзистор
```

```
boolean yes=false;
```

```
byte i=0;
```

					КМР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

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

```

Максимальна тривалість однієї процедури буде за відсутності частоти приймача і дорівнює $4 \times 100 = 400$ мікросекунд. Максимальний час свічення 4-х світлодіодів напрямку буде тоді, коли не опромінено жодного приймача, тобто $4 \times 400 = 1,6$ мілісекунди. 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 просто заощаджуємо живлення вдвічі. Ми можемо ще заощадити, якщо завести кожен ІЧ-світлодіод через окрему лінію (відповідно, через окремий вивід контролера зі своїм ключовим транзистором), зате при цьому ускладнюється схема, розведення 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

найпростіший, найдешевший і надійніший спосіб: пара 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 дуже добре очищене від будь-яких сторонніх пульсацій. У жодному разі не слід живити приймач від внутрішнього 5-вольтового стабілізатора Arduino! Установка для приймача окремого малопотужного стабілізатора (LM2931, LM2950 або аналогічного) безпосередньо поблизу його висновків, з правильними ланцюгами фільтрації на вході і виході, радикально підвищує дальність і надійність передачі.

В даному випадку передавач працював безпосередньо від напруги акумулятора 12 В, приймач і передавач були забезпечені стандартними антенами у вигляді відрізка дроту довжиною 17 см. Пакет інформації довжиною в 24 байти (з урахуванням вологості та температури) без якихось проблем впевнено передавався 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 в момент власне передачі, решта часу передавач споживає значно менше енергії. Передавач конструктивно розміщений усередині виносного блоку, антена стирчить збоку горизонтально.

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

```
/*=====Transmitter=====*/
```

```
String strMsg="DAT"; //сигнатура - дані
```

```
strMsg+=volt; //Приєднуємо батарею 4 розряди
```

```
strMsg+=wind_G; //Приєднуємо wind 4 розряди
```

```
strMsg+=fi; //Приєднуємо частоту 4 розряду
```

					KMP.AKIT.162347.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

```

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
else count++;
digitalWrite(ledPin, LOW); //гасимо сигнальний світлодіод
system_sleep(); //систему - у сон
} //end loop

```

Чим завершується повний цикл роботи виносного модуль проєктованого пристрою.

					КМР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

4 ПРОЕКТУВАННЯ КОРПУСУ ДЛЯ ПРИСТРОЮ

4.1 Огляд корпусів для портативної електроніки

Електронні вимірювальні прилади, що призначені для мобільного використання, потребують особливих підходів при проектуванні. Розглянемо декілька факторів на які потрібно звертати увагу в процесі проектування конструкції даних приладів:

- компактність (мінімальні габаритні розміри);
- легкість (мінімальна вага та збалансованість);
- зручність (оптимальність форми та геометрії);
- механічна міцність (надійність та міцність конструкції);
- ергономічність (функціональність та зручність у використанні);
- естетична привабливість;
- дешевизна та простота виготовлення;
- збалансованість усіх вищеперерахованих факторів.

Особливе місце в процесі проектування приладу займає розробка конструкції корпусу. Сучасний розвиток технології та підвищення конкуренції на ринку примушує проектувальників РЕА постійно вдосконалювати проєктовані вироби. Проте для забезпечення економічної вигідності проектування та подальшого виготовлення сучасного приладу доцільним є використання заготовок корпусу майбутнього приладу, що значно скорочує часові затрати на проектування а отже в подальшому впливає на ціну майбутнього приладу.

Нижче приведено декілька корпусів приладів різних провідних фірм на ринку та їх короткий опис і технічні характеристики:

4.1.1 Корпуси фірми «GAINTA»

а) BOX-FB01 Корпус пластмасовий 66x60x23 мм [10].

					KMP.AKIT.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

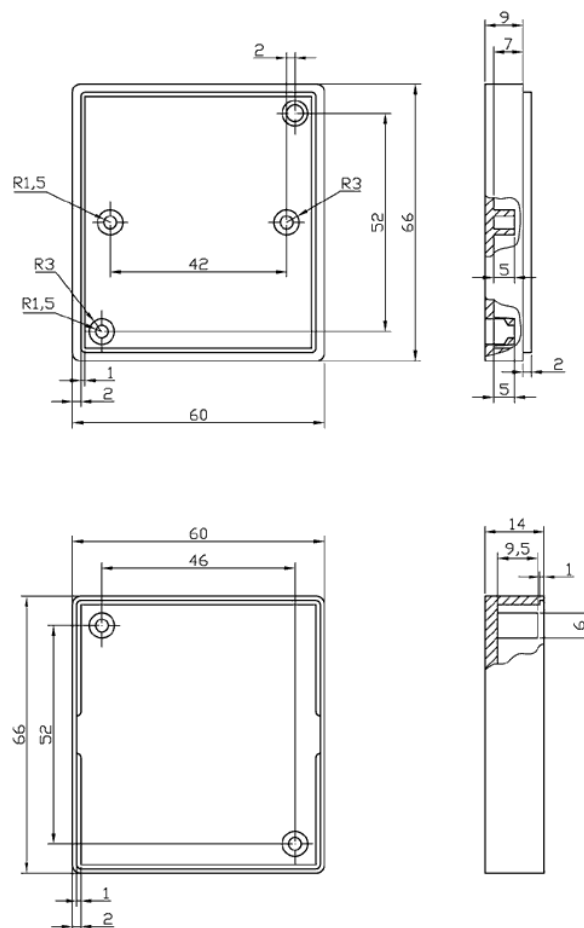


Рисунок 4.1 Корпус BOX-FB01[10]

Корпус виготовлений з чорного пластика, товщина стінок 2,5 мм. З'єднання нижньої і верхньої частини здійснюється 2-ма саморізами 2,5x13 мм.

Розмір встановлюваної друкованої плати 45x53 мм. Максимальна висота плати 10 мм. Спосіб кріплення плати до корпусу: 2-ма саморізами 2,5x7 мм. Відстань між отворами 42 мм (Рисунок 4.1).

б) BOX-FB02 Корпус пластмасовий 37x120x21 мм [10].

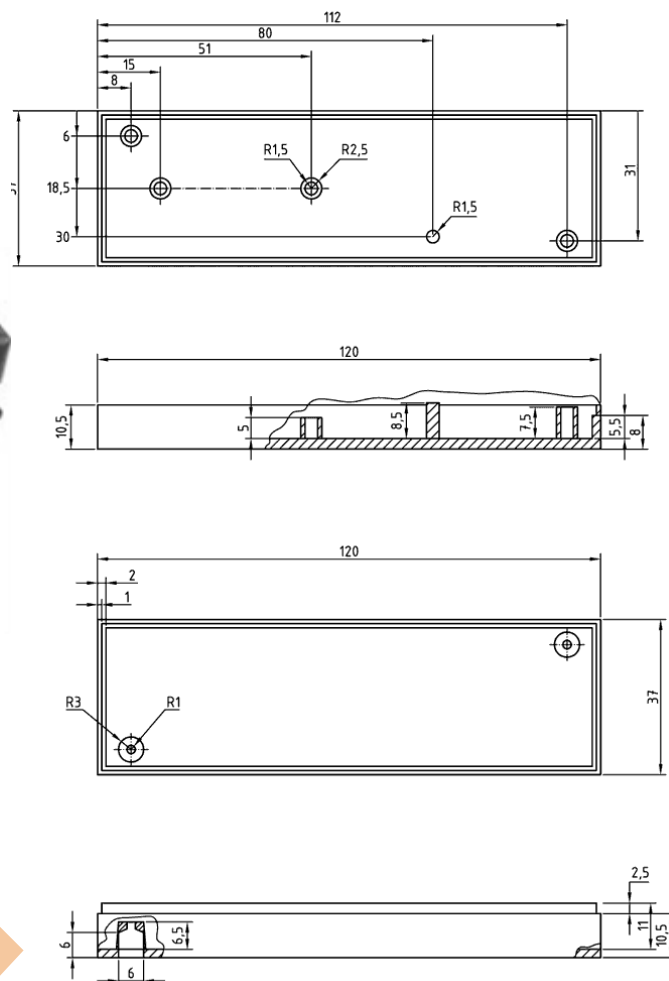


Рисунок 4.2 Корпус BOX-FB02 [10]

Корпус виготовлений з чорного пластика, товщина стінок 2 мм. З'єднання нижньої і верхньої частини здійснюється 2-ма саморізами 2,5x13 мм. Розмір встановлюваної друкованої плати 112x30 мм. Максимальна висота плати – 10 мм (Рисунок4.1).

в) BOX-FB03 Корпус пластмасовий 90x134x45 мм [10].

Корпус виготовлений з чорної пластмаси, товщина стінок 3,5 мм. З'єднання нижньої і верхньої частини здійснюється 4-ма саморізами 2,5x13 мм.

Розмір встановлюваної друкованої плати 74х62 мм. Максимальна висота плати 25 мм. Спосіб кріплення плати до корпусу: 4-ма саморізами 2,5х7 мм. Відстань між отворами 51х51 мм. (Рисунок 4.3).

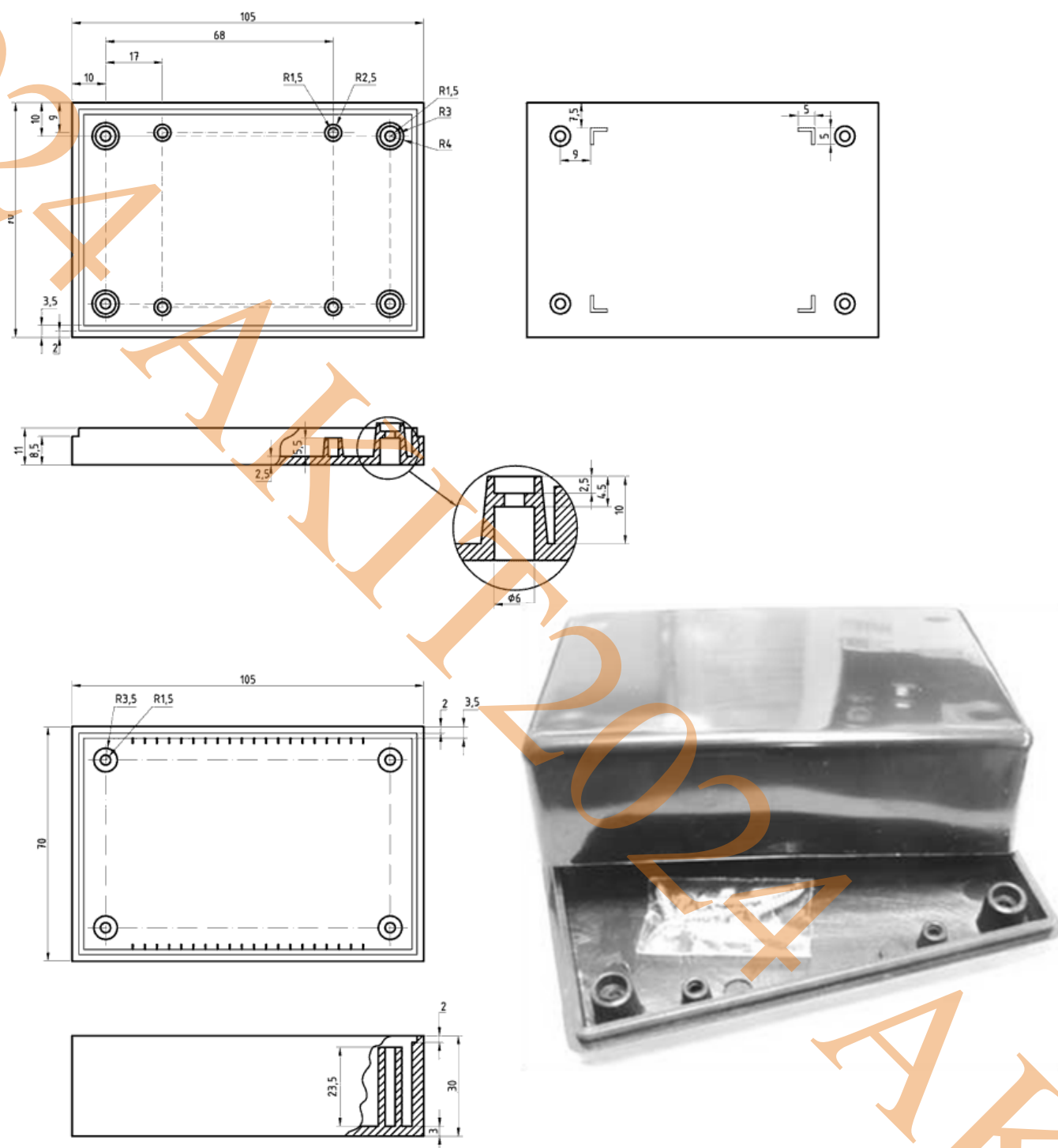


Рисунок 4.3 Корпус BOX-FB03 [10]

					KMP.AKIT.162347.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

г) BOX-FB06 Корпус пластмасовий зі знімною передньою і задньою панелями 217x168x78 мм [10].

Корпус виготовлений з чорної пластмаси, товщина стінок 4 мм. З'єднання нижньої і верхньої частини здійснюється 4-ма саморізами 3,5x50 мм. Корпус має 4 гумових ніжки.

Розмір встановлюваної друкованої плати 175x150 мм, відстань між отворами 152x122мм. Максимальна висота плати 70 мм. У корпус можна встановити дві (чотири) однакові друковані плати 120x70 мм, відстань між отворами 90x45 мм (8 саморізів 2,5x6 мм). (Рисунок 4.4).

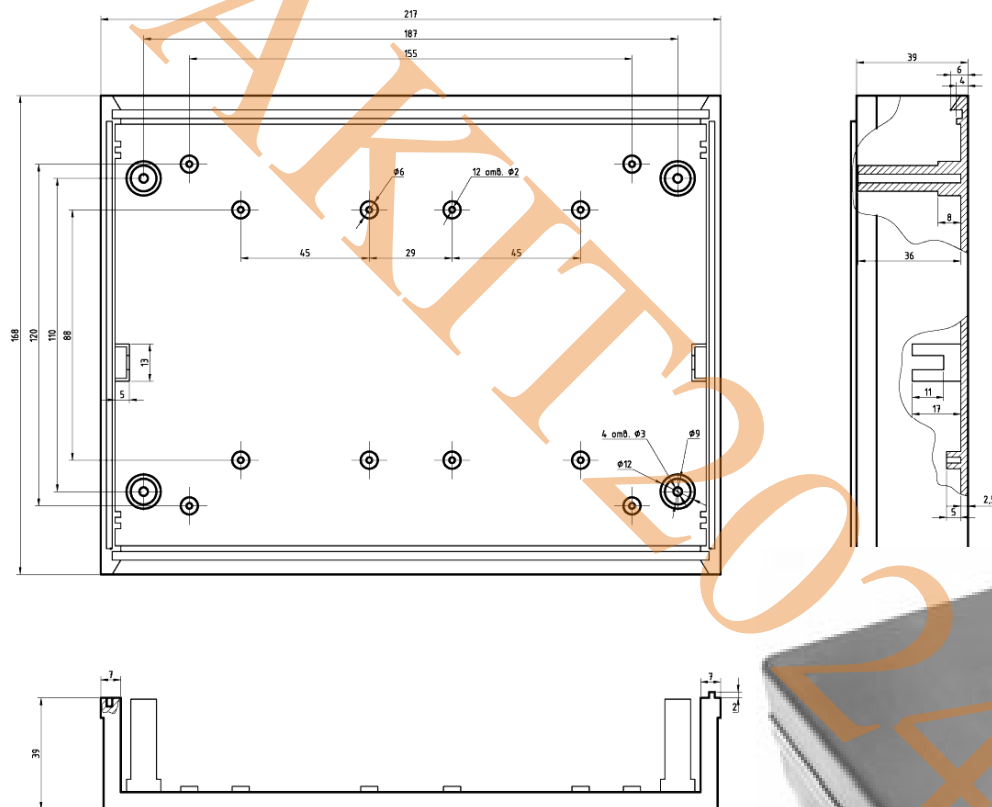


Рисунок 4.4 Корпус BOX-FB06 [10]

					КМР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

4.1.2 Корпуси фірми «DACPOL»

Дана фірма пропонує кілька варіантів переносних корпусів. Найбільш популярними є:

а) Модель «PALM CASES SERIA 45»

Даний корпус представляє собою пластиковий прямокутник виготовлений з ABS пластику марки UL94-5VA з заокругленими бічними сторонами. Корпус містить знімну кришку та окремий відсік для елементів живлення, верхню панель з виділеною зоною для модифікацій та додаткові елементи для монтажу друкованої плати. Нижче приведено рисунок зовнішнього вигляду корпусу рисунок 4.5.



Рисунок 4.5 Загальний вигляд заготовки корпусу фірми «DACPOL» модель «PALM CASES SERIA 45» [10]

На рисунку 4.5 Приведено можливі варіанти встановлення елементів живлення

					<i>KMP.AKIT.162347.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.5 Комплектація корпусу «DACPOL
PALM CASES SERIA 45» [10]

б) Модель «ERGO T SERIA 2970»

Даний корпус з ергономічною конструкцією виготовлений з ABS пластику марки UL94-5VA з заокругленими бічними сторонами та спеціальною підставкою для ручного розміщення на робочій поверхні. Корпус містить знімну кришку та окремий відсік для елементів живлення, верхню панель з виділеною зоною для модифікацій та додаткові елементи для монтажу друкованої плати. Нижче приведено рисунок зовнішнього вигляду корпусу рисунок 4.6.



Рисунок 4.6 Загальний вигляд заготовки корпусу фірми «DACPOL» модель
«ERGO T SERIA 2970» [10]

в) Модель «CAMDENBOSS SERIA 2900»

Даний корпус зручної для розміщення на робочому столі конструкції виготовлений з ABS пластику марки UL94-5VA з заокругленими бічними сторонами. Корпус містить знімну кришку та окремий відсік для елементів живлення, верхню панель з виділеною зоною для модифікацій та додаткові елементи для монтажу друкованої плати. Нижче приведено рисунок зовнішнього вигляду корпусу рисунок 4.7.

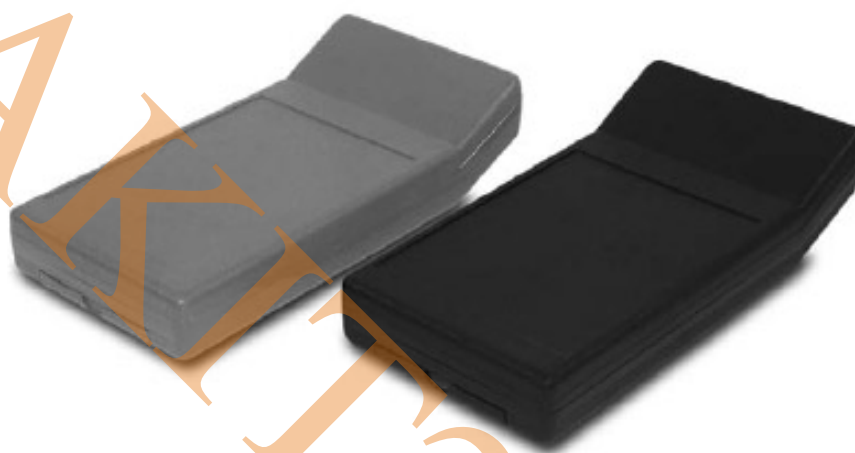


Рисунок 4.7 Загальний вигляд заготовки корпусу «DACPO CAMDENBOSS 2900» [10]

					<i>KMP.AKIT.162347.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Розробка конструкції корпусу проектного приладу

Відповідно до проведеного вище огляду різних «заготовок» корпусів, було розроблено конструкцію корпусу для проектного пристрою для автоматичного моніторингу швидкості та напрямку вітру.

Даний корпус виробляється з високоякісного пластику - полістирол УПС-825, за сучасною технологією методом відливки під тиском у відповідну форму. Даний матеріал є міцним, легким та стійким до зовнішнього впливу. Для забезпечення належної якості поверхня корпусу додатково обробляється, щоб усунути дефекти лиття та залишки матеріалу на поверхні деталі.

Розроблюваний корпус призначено для портативного використання. У нього поміщується плата блоку обробки сигналів, індикатор та відповідні роз'єднувачі.

Далі у даному розділі приведено опис конструкції складових частин проектного приладу.

4.2.1 Основа корпусу приладу

Нижня частина проектного приладу представлена у вигляді пластикової основи на якій закріплено основні електронні компоненти проектного приладу такі як плата первинного вимірювального перетворювача та цифровий індикатор . Зовнішній вигляд основи корпусу вимірювача приведено на рисунку 4.8. Габаритні розміри даної деталі складають: 110×60×12 мм. Товщина стінок мінімальна 2 мм максимальна 3 мм. Кріплення плат здійснюється з допомогою стійок відстань між отворами яких 35×75 мм. Радіуси заокруглень кутів для зовнішньої поверхні рівні 3 мм а для внутрішньої 2 мм.

					<i>KMP.AKIT.162347.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

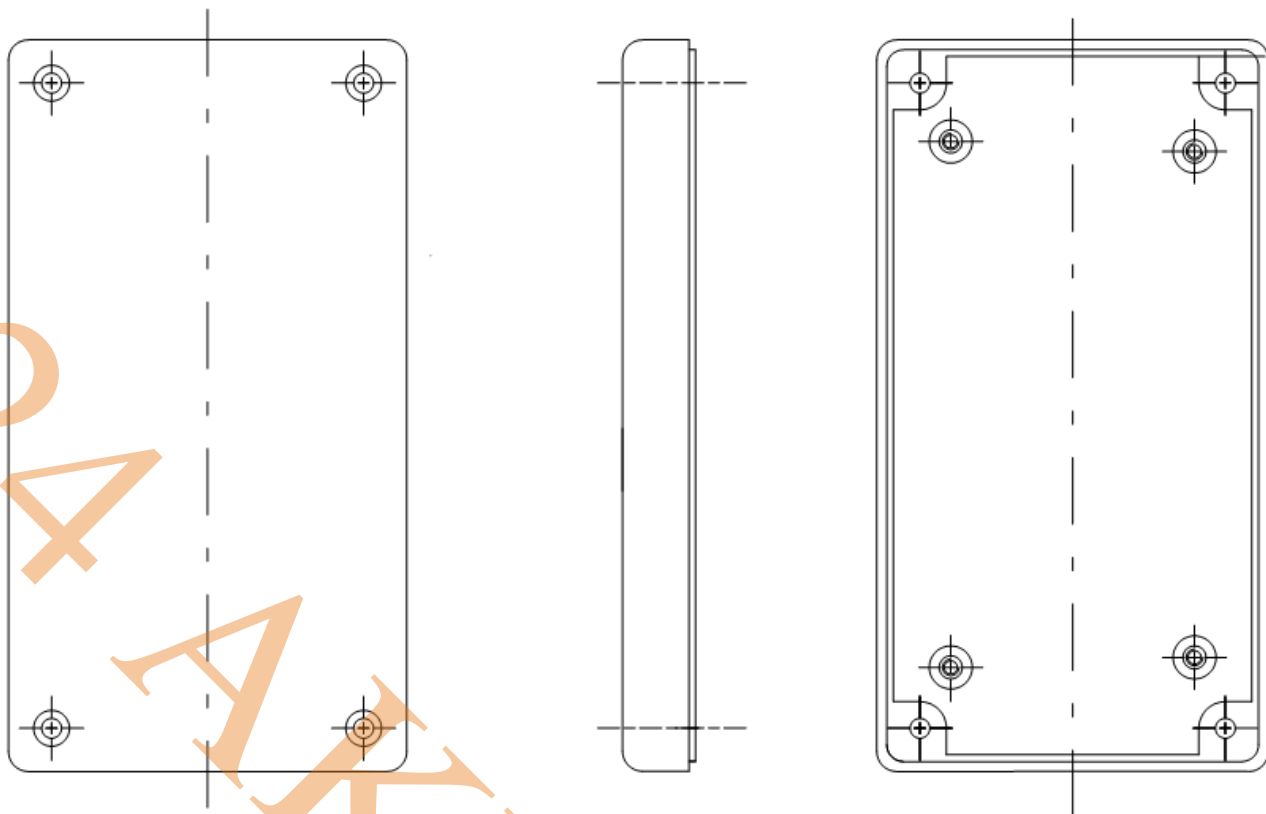


Рисунок 4.8 Зовнішній вигляд основи проектного корпусу

4.2.2 Кришка корпусу приладу

На верхній кришці корпусу проектного приладу розміщено вікно під цифровий індикатор та закріплено елементи управління та індикації. Дана панель пригвинчується до основи корпусу чотирма гвинтами. Зовнішній вигляд верхньої кришки приведено на рисунку 4.9.

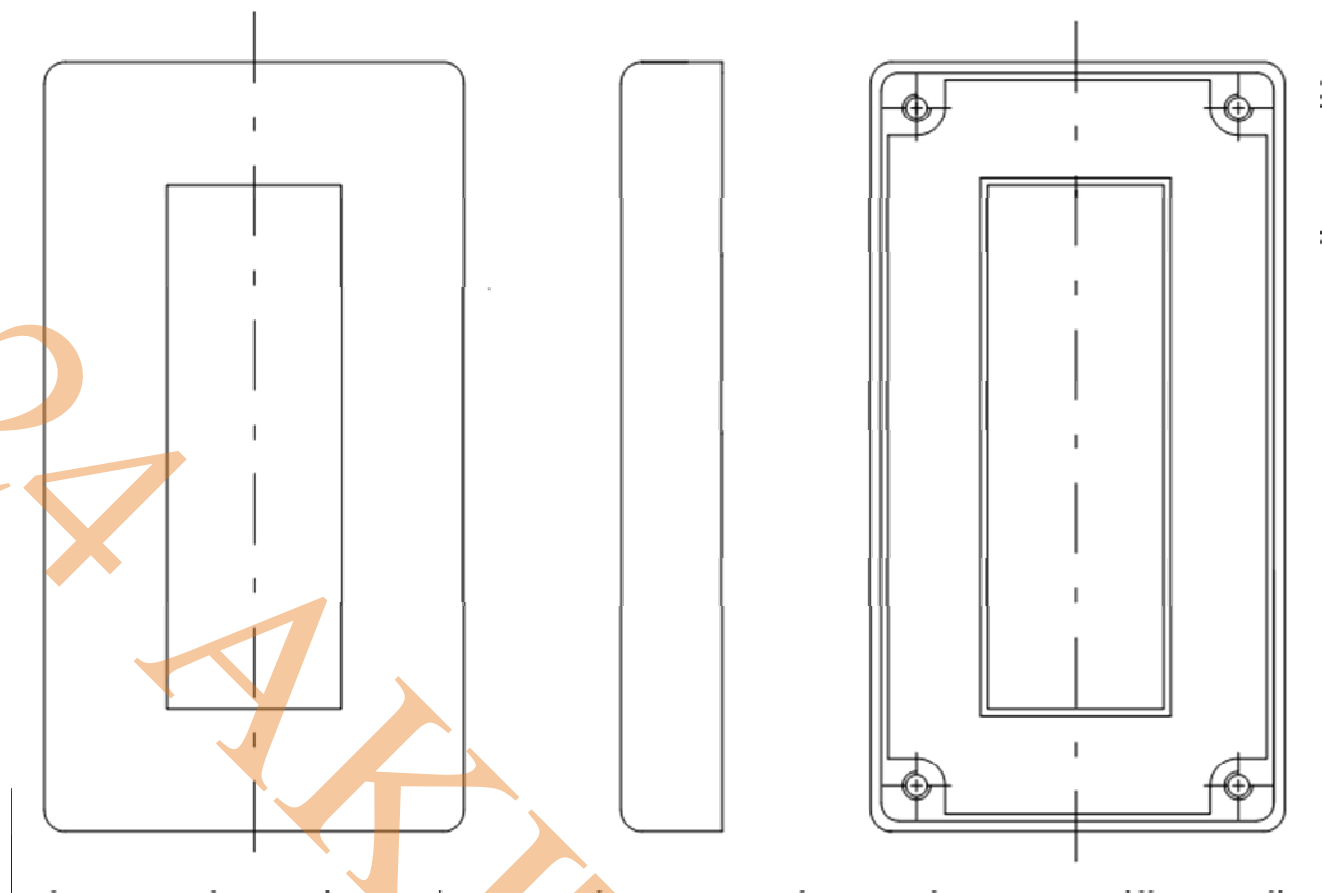


Рисунок 4.9 Зовнішній вигляд верхньої кришки проектного корпусу

Габаритні розміри даної деталі висота та ширина складають: 110×60 мм. Товщина кришки складає 15 мм без урахування кнопок та інших компонентів, що до неї прикріплено. Товщина стінок мінімальна 2 мм максимальна 3 мм. Розміри отвору під індикатор складають 75×25 мм. Плата індикатора кріпиться за допомогою чотирьох гвинтів з середини корпусу через плату блоку обробки сигналів за допомогою чотирьох проставочних трубочок висотою 6 мм. На задній та передній частині кришки розміщуються два отвори для електричних кабелів, що необхідні для підключення блоку живлення та виконавчих елементів пристрою та сенсора.

4.2.3 Корпус приладу та його складальне креслення

Загальний вигляд корпусу проектованого вимірювача представлено на рисунку 4.10. Він складається з основи та кришки з'єднаних між собою чотирма гвинтами. До основи кріпляться дві друковані плати, що розміщуються одна над другою та притискаються гвинтами через проставочні трубочки. На кришці корпусу розміщено елементи управління та індикації, цифровий індикатор та прикріплено два з'єднувачі, що з'єднують прилад з мережею та сенсором, дані роз'єми фіксуються на корпусі за допомогою клею.

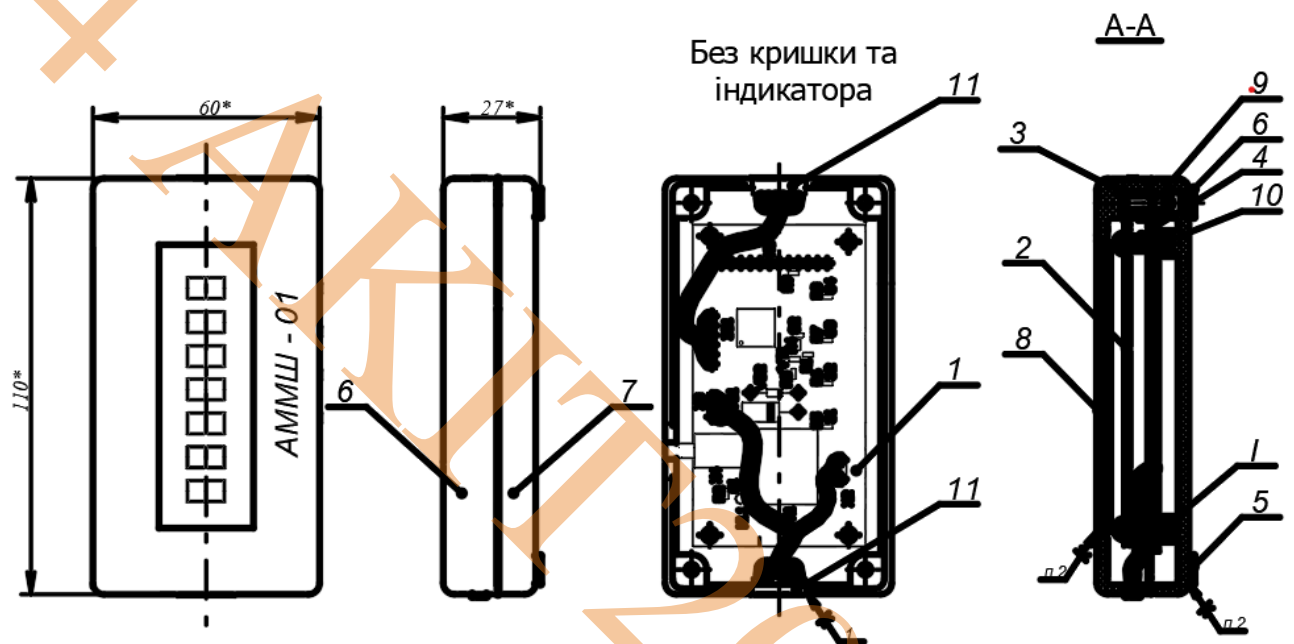


Рисунок 4.10 Складальне креслення корпусу приладу

На Рисунку 2.19: 1 - плата ПВП; 2 - плата індикатора; 3 - втулка різьбова; 4 - гумова ніжка; 5 - кришка; 6 - основа; 7 - гвинт М4; 8 - гвинт М3; 9 - трубка ; 10 - роз'єднувачі.

Габаритні розміри корпусу вимірювача - 110×60×27 мм.

4.2.4 Опис компонентів

У якості з'єднувача для підключення блока живлення обрано DC-025M у зв'язку з рядом особливостей, таких як кріплення з'єднувача безпосередньо до плати приладу, компактні розміри, невелика ціна та висока надійність.

З'єднувачі живлення типу гніздо - мама 2,1 x 5,5 під пайку застосовується для підключення різного устаткування до джерел живлення, наприклад, аудіо плеєрів, CD-плеєрів, MP3, MP4, радіоприймачів, ноутбуків, фотоапаратів, всіляких зарядних пристроїв і т.п.

Монтажні виводи з'єднувача живлення гніздо - мама 2,1 x 5,5, на корпус з гайкою виконані під пайку, що забезпечує надійний контакт.

Характеристики з'єднувача:

Функціональне призначення: гніздо живлення

Монтаж: на корпус

Матеріал: пластмаса, метал

Діаметр центрального контакту: 2,1 мм

Діаметр Jack: 5,5 мм

Діаметр отвору для монтажу: 8 мм

На Рисунку 4.11 приведено конструкцію обраного з'єднувача живлення для проектного приладу.

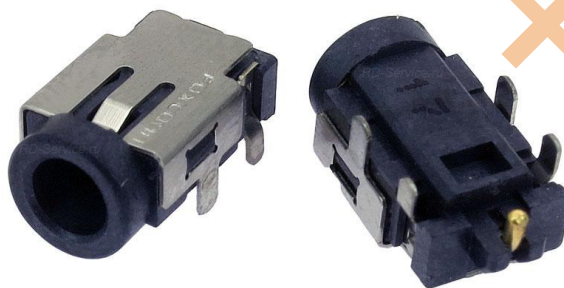


Рисунок 4.11 З'єднувач живлення для проектного приладу [11]

					KMP.AKIT.162347.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Для підключення додаткових компонентів таких як чутливий елемента та пристрої управління передбачено два 6 контактні роз'єми АТ/LPX стандарту. Вони дозволяють легко та швидко приєднати та від'єднати периферійні пристрої з великою кількістю ліній зв'язку та є достатньо надійними та довговічними.

					<i>KMP.AKIT.162347.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						69
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, що може працювати автономно, накопичувати вимірювані дані та надсилати їх на базову станцію для обробки та аналізу.

У даній роботі запропоновано пристрій на основі «голого» мікроконтролера Arduino, з мінімальною кількістю компонентів. Що дозволяє суттєво зменшити вартість та спростити процес виготовлення. 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 енкодера Грея з використання 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, що дозволяє розмістити виносний модуль збору інформації на відстані від основного пристрою.

Також у роботі розроблено алгоритм роботи пристрою та програмний код для мікроконтролера, Програма для мікрокотролера та алгоритм його роботи детально описані у розділі 3 даної роботи.

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

					<i>KMP.AKIT.162347.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						70
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; Оpub. 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>
10. [Електронний ресурс] - <https://www.dacpol.eu/>
11. [Електронний ресурс] - https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2409302332_XUNPU-DC-025M-B250_C720567.pdf

ДОДАТКИ

					КМР.АКІТ.162347.01.000 ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		