

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ Шутко В.М.
« ____ » _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 153 «МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНА ТЕХНІКА»
ОПП «ФІЗИЧНА ТА БІОМЕДИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА»

Тема: «Мікроконтролерна система дистанційного моніторингу забруднення повітря»

Виконавець

студент групи МН-303Б/стн _____ Ткаченко Дмитро Олександрович

Керівник

старший викладач _____ Бідний Микола Семенович

Нормоконтролер

_____ Сініцин Р.Б.

КИЇВ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра: електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей

Напрямок: (спеціальність, спеціалізація): 153 «Мікро- та наносистемна техніка»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Шутко В. М.

«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи студента

Ткаченка Дмитра Олександровича

1. Тема дипломної роботи :

«Мікроконтролерна система дистанційного моніторингу забруднення повітря»

затверджена наказом ректора від «01» квітня 2021 р. №526/ст

2. Термін виконання роботи: з 17 травня 2021 р. по 20 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: дані про викиди CO₂ та концентрації LPG в повітрі, можливість застосування платформи Arduino для їхнього контролю.

4. Зміст пояснювальної записки: аналоги системи та застосовуваних датчиків, технологія Bluetooth, опис мікроконтролера та компонентів системи, розробка та опис електричних схем, опис алгоритмів та програм.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: схеми, рисунки, таблиці, результати роботи системи.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Вступ	03.04.2021	
2.	Обробка матеріалів за темою кваліфікаційної роботи (Інтернет-ресурси, підручники).	15.04.2021	
3.	Вивчення поняття контролю якості повітря. Огляд існуючих рішень системи. Вибір модулів для розробки системи, дослідження їх параметрів.	01.05.2021	
4.	Розробка апаратної частини. Розробка програмної частини для керування системою.	06.05.2021	
5.	Подання на кафедру. Усунення недоліків. Оформлення пояснювальної записки.	17.05.2021	
6.	Електронна версія доповіді, ілюстративний матеріал доповіді.	31.05.2021	

7. Дата видачі завдання: « 02 » квітня 2021 р.

Керівник дипломної роботи

_____ (підпис керівника)

Бідний М.С.

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис випускника)

Ткаченко Д.О.

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота на тему: «Мікроконтролерна система дистанційного моніторингу забруднення повітря» містить: 78 сторінок, 29 рисунків, 12 таблиць, 22 використаних джерела.

Ключові слова: СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ, МІКРОКОНТРОЛЕР НА БАЗІ АРДУІНО, КЕРУВАННЯ ДАТЧИКОМ, КЕРУВАННЯ ЖИВЛЕННЯМ ЕЛЕКТРОПРИЛАДІВ, СУСПІЛЬНА БЕЗПЕКА, СИСТЕМА СПОВІЩЕННЯ, ОБРОБКА ДАНИХ, АНАЛІЗ ПОВІТРЯ, ВІДДАЛЕНЕ КЕРУВАННЯ, ГРАФІЧНИЙ ІНТЕРФЕЙС.

Об'єкт дослідження – Система контролю якості повітря на базі Arduino Mega 2560. Мета дипломної роботи – розробити систему контролю якості повітря для аналізу наявності забруднювачів мікроклімату всередині приміщення, керування електроприладами та системою передачі даних.

Предмет дослідження – системи контролю, якість повітря, система контролю якості повітря на прикладі платформи Arduino.

Розроблена контролю якості повітря на Arduino MEGA 2560.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати при проведенні наукових досліджень, у навчальному процесі та в практичній діяльності при викладанні дисциплін.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛОГИ СИСТЕМИ ТА ЗАСТОСОВУВАНИХ ДАТЧИКІВ. ТЕХНОЛОГІЯ BLUETOOTH	11
1.1. Аналіз технічного завдання.....	11
1.2. Порівняння застосовуваних датчиків.....	11
1.3. Опис аналогів розроблюваного пристрою.....	16
1.4. Опис технології Bluetooth.....	30
1.5. Принцип роботи Bluetooth.....	30
1.6. Архітектура та стек протоколів	33
РОЗДІЛ 2 ОПИС МІКРОКОНТРОЛЕРА ТА КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ.....	37
2.1. Опис та технічні характеристики Arduino MEGA 2560.....	37
2.2. Опис та технічні характеристики МК ATmega 2560 16AU.....	42
2.3. Периферійні пристрої системи	44
2.3.1. Модуль Bluetooth HC-05.....	44
2.3.2. Технічний опис HC-05.....	46
2.3.3. Технологія налаштування HC-05	48
2.3.4. Технічний опис датчиків	51
2.3.5. Датчики MQ-6 та MQ-135	54
2.3.6. Датчик PMS1003	57
2.3.7. Підвищуючий перетворювач MT3608	59
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ	61
3.1. Розробка структурної схеми системи.....	61

3.2. Розробка схеми підключення	62
3.3. Розробка принципової схеми.....	63
РОЗДІЛ 4 ОПИС АЛГОРИТМІВ ТА ПРОГРАМ	64
4.1. Опис алгоритму роботи пристрою	64
4.2. Опис програмного коду пристрою	66
4.3. Складання і перевірка макету реально діючого пристрою.....	72
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АЦП	аналого-цифровий перетворювач;
МК	мікроконтролер;
ОС	операційна система;
ШІМ	широтно-імпульсна модуляція;
COM	(communications) двонаправлений послідовний інтерфейс;
DEHS	Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat, Діоктилсебакат;
ЕС	electrochemical, електрохімічний;
НСІ	host controller interface інтерфейс хост-контролер;
ISO	international organization for standardization, міжнародна організація зі стандартизації;
I ² C	inter-integrated circuit, послідовна шина даних для зв'язку;
MOS	metal-oxide semiconductor sensors, оксид-метал-напівпровідникові датчики;
NDIR	non-dispersive infrared sensors, недисперсні інфрачервоні датчики;
OBEX	object exchange, протокол обміну об'єктами;
OPC	optical particle counters, оптичний лічильник часток;
PID	photoionization detection sensors, датчики виявлення фотоіонізації;
PM 2.5	particulate matter 2.5, частинки діаметром менше 2.5 мікрон;
PM 10	particulate matter 10, частинки діаметром менше 10 мікрон
PPM, ppm	particles per million, часток на мільйон
PPB, ppb	particles per billion, часток на мільярд
SPI	serial peripheral interface, послідовний периферійний інтерфейс;
UART	universal asynchronous receiver/transmitter, універсальний асинхронний приймач/передавач;
USB	universal serial bus, універсальна послідовна шина;

ВСТУП

Оскільки урбанізація спричиняє зростання приміських громад, то існуюча транспортна інфраструктура, що залежить від викопного палива повинна розширюватися. Збільшення використання транспортних засобів породжує збільшення викидів забруднюючих речовин, пов'язаних ними. Для відстеження ефекту від цього великого парку міських транспортних засобів на навколишнє середовище та на здоров'я людей, обов'язковим стає відстеження рівня забруднюючих речовин у міських та приміських приміщеннях.

Існування забруднювачів повітря у приміщеннях, таких як озон, оксид вуглецю, діоксид вуглецю, діоксид сірки, діоксид азоту, твердих частинок та загальних летючих органічних сполук – це очевидно, критична проблема для здоров'я людини. За останнє десятиліття різні міжнародні агентства постійно вдосконалювали та оновлювали кількісні настанови та стандарти щодо якості повітря, щоб відповідати вимогам з управління якістю повітря в приміщеннях.

Сучасна методологія вимірювання забруднення використовує висококоштовне обладнання у фіксованих місцях або спеціальне мобільне обладнання. Вихідні дані, отримані таким чином, використовуються для подальшої екстраполяції ступеню та концентрації забруднення через дисперсійні моделі. Широке поширення цієї парадигми вимірювання стримується її надмірною вартістю. Окрім того, бажано мати доступ до вимірювань у режимі реального часу, щоб мати можливість швидко аналізувати та визначати тривожні рівні забруднюючих речовин.

На відміну від сенсорної системи, яка застосовує грубий, загальний підхід, детальний, багатогранний підхід, забезпечить більш часте і просторово-щільне вимірювання забруднюючих речовин. Масштабована платформа зондування може ефективно поширювати інформацію про забруднення серед користувачів, які цього потребують. Сьогодні дефіцит детальної інформації про якість повітря є перешкоджання поінформованості громадськості про проблеми охорони здоров'я, що виникають внаслідок забруднення. Передбачається, що за допомогою

точного вимірювання якості повітря, можна поради́ти лю́дя́м ді́ї, засно́вані на рівня́х забрудне́ння в реального́ часі, щоб врахува́ти індивідуальні потреби́ у здоро́в'ї.

Наявність даних про якість повітря в режимі реального часу може змусити водіїв переглянути своє ставлення до водіння та його вплив на навколишнє середовище у зв'язку зі зростаючими темпами забруднення. Кращі водійські звички будуть призводити до зменшення забруднення. Крім того, більше громадян, які не бажають піддавати себе надмірному пагубному впливу, можуть обрати альтернативні «здорові» шляхи на основі інформації про стан повітря. Це принесе користь як їм, так і іншим, зменшивши концентрацію забруднення на пікових відмітках, щоб усі могли дихати чистішим повітрям. У той же час поява дешевих датчиків забруднення повітря, а також збільшення пропускної здатності стільникового зв'язку, зробили можливим існування мобільних сенсорних платформ, що здатні забезпечувати відповідні організації інформацією про якість повітря в реальному часі.

Актуальність теми – пришвидшення впливу діяльності людини на навколишнє середовище спричиняє погіршення умов життя в усіх можливих сферах людського буття. Проблема якості повітря, яким ми дихаємо, вийшла чи не на перший план. Необхідно стимулювати суспільство до плідної праці в напрямку покращення атмосферних умов.

Мета та завдання – метою даної роботи є дослідження сучасного стану в області якості повітря та його контролю, дослідження ринку систем, призначених для моніторингу якості повітря, вивчення можливостей для всезагального поширення систем моніторингу якості повітря. Для вирішення поставленої мети необхідно дослідити наукові джерела, спроектувати та розробити робочий пристрій для моніторингу кількості вуглекислого газу та наявності основних важливих забруднювачів атмосфери.

Об'єктом даної роботи є процес погіршення стану якості повітря в наслідок діяльності людини та природних факторів.

Предметом даної роботи є існуючі системи моніторингу якості повітря, а також можливість створення такої власноруч.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаних джерел.

У першому розділі здійснюється аналіз предметної області та технічного завдання. Наведено основні моменти про технологію Bluetooth і управління в ній. Детально розглянуто сучасні аналоги системи, що розроблюється, а також аналоги датчиків.

У другому розділі проводиться порівняння доступних мікроконтролерів компанії AVR, приводяться опис та характеристики плати Arduino MEGA 2560, розглядаються компоненти розроблюваного пристрою, принцип їх роботи та схеми. Виконується розробка структурної схеми.

У третьому розділі розроблюються схема підключення та принципова електрична розроблюваного пристрою. Описується принцип роботи блоку живлення та підвищуючого перетворювача.

У четвертому розділі виконується опис роботи пристрою у вигляді алгоритму за допомогою блок-схеми. Також виконується докладний опис програмного коду, який застосований в кінцевому приладі. Демонструється складання та перевірка діючого пристрою.

РОЗДІЛ 1

АНАЛОГИ СИСТЕМИ ТА ЗАСТОСОВУВАНИХ ДАТЧИКІВ.

ТЕХНОЛОГІЯ BLUETOOTH

1.1. Аналіз технічного завдання

В представленій кваліфікаційній роботі описано створення діючої системи для дистанційного моніторингу якості повітря. Необхідно розглянути можливі варіанти реалізації такої системи та на основі цього аналізу підібрати компоненти, які найкраще відповідають поставленому завданню.

Загалом проект можна розділити на дві частини, кожна з яких відповідає за своїй меті та завданню: теоретична частина, де проводиться аналіз джерел та сучасного стану ринку систем моніторингу якості повітря, приводиться опис компонентів, та практична, де проводиться розробка пристрою та схем, що його описують, а також виконується складання системи в єдине ціле з наступним її програмуванням та перевіркою.

1.2. Порівняння застосовуваних датчиків

Для отримання об'єктивної інформації про стан і про рівень забруднення різних об'єктів навколишнього середовища необхідно розташовувати надійними засобами і методами екологічного контролю. Підвищення ефективності контролю за станом природного середовища може бути досягнуто підвищенням продуктивності, оперативності та регулярності вимірювань, збільшенням масштабності охоплення одночасним контролем; автоматизацією і оптимізацією технічних засобів контролю і самого процесу.

Засоби екологічного спостереження і контролю поділяються на контактні, неконтактні (дистанційні), біологічні, а контрольовані показники - на функціональні (продуктивність, оцінка кругообігу речовин і ін.) і структурні (абсолютні або

відносні значення фізичних, хімічних або біологічних параметрів - концентрація забруднюючої речовини, коефіцієнт сумарного забруднення та ін.) [1].

Контактні методи спостережень і контролю за станом природного середовища доповнюються неконтактними (дистанційними), заснованими на використанні двох властивостей зонduючих полів (електромагнітних, акустичних, гравітаційних): здійснювати взаємодії з контрольованим об'єктом і переносити отриману інформацію до датчика. Принципи функціонування засобів неконтактного контролю умовно поділяють на пасивні і активні. У першому випадку здійснюється прийом зонduючого поля, що виходить від самого об'єкта контролю, в другому проводиться прийом відбитих, які пройшли або перевипромінювання зонduючих полів, створених джерелом.

Неконтактні методи спостереження і контролю представлені двома основними групами методів: аерокосмічними та геофізичними. Основними видами аерокосмічних методів дослідження є оптична фотозйомка, телевізійна, інфрачервона, радіотеплового, радіолокаційна, радарна і багатозональна зйомка.

Неконтактний контроль атмосфери здійснюється за допомогою радіоакустичного і лідарних методів. Спочатку радіохвилі були використані для аналізу стану іоносфери (по відображенню і заломлення хвиль), потім сантиметрові хвилі застосували для дослідження опадів, хмар, турбулентності атмосфери. Область використання радіоакустичного методів обмежена порівняно локальними обсягами віз задушливій середовища (близько 1-2 км в радіусі) і допускає їх функціонування в наземних умовах і на борту повітряних суден.

Однією з причин появи відбитого акустичного сигналу є дрібномасштабні температурні неоднорідності, що дозволяє контролювати температурні зміни, профілі швидкості вітру, верхню межу туману.

Принцип лідарного (лазерного) зондування полягає в тому, що лазерний промінь розсіюється молекулами, частками, неоднородностями повітря; поглинається, змінює свою частоту, форму імпульсу, в результаті чого виникає флюоресценція, яка дозволяє якісно або кількісно судити про таких параметрах повітряного середовища, як тиск, щільність, температура, вологість, концентрація

газів, аерозолів, параметри вітру. Перевага лідарного зондування полягає в монохроматичності, когерентності та можливості змінювати спектр, що дозволяє вибірково контролювати окремі параметри повітряного середовища. Головний недолік - обмеженість стелі зондування атмосфери з Землі впливом хмар.

За останні роки технологія LCAQS (Low-Cost Air Quality Sensor) з'явилася в декількох лабораторіях для практичного застосування, оскільки вона може використовуватися для підтримки в режимі реального часу, просторового та часового дозволу даних для моніторингу рівнів концентрації повітря. Крім того, все більше і більше компаній пропонують власні продукти LCAQS. Принципи роботи недорогих газофазних датчиків, як правило, базуються на п'яти основних компонентах, таких як OPC, MOS, EC, NDIR та PID. Дослідження показали, що сучасні LCAQS надають корисну якісну інформацію для наукових досліджень, а також для кінцевих споживачів. Однак через вбудовані технічні невизначеності та відсутність перехресної перевірки та верифікації існують певні обмеження при порівнянні їх із дорогим звичайним обладнанням. У таблиці 1.1 узагальнено серію комерційно доступних LCAQ для первинних забруднювачів повітря, таких як O₃, CO, CO₂, SO₂, NO₂, PM, TVOC-и. Крім того, специфікації з таблиці даних, наданої датчиками, такі як повторюваність, діапазон вимірювань, напруга ланцюга та час відгуку - перераховані. Ціна цих LCAQS коливається від 1 до 500 доларів США, і вони здатні виявити прийнятний діапазон концентрацій кожного забруднювача, визначений існуючими рекомендаціями (табл. 1.2).

Комерційно доступні LCAQs для основних забруднювачів повітря

Вимірюваний параметр	Прилад	Похибка вимірювання	Діапазон вимірювання	Час відгуку
O ₃	SR-G04	5%	0-1 ppb	-
	uHoо-O ₃	10 ppb або 5% від зчитування	0-1000 ppb	-
	ME3-O ₃	<2% (/Місяць)	0-20 ppb	<120 с
	DGS-O ₃ 968-042	±15%	0-5 ppb	<30 с
	ULPSM-O ₃ 968-005	±2%	0-20 ppb	<30 с
	ZE25-O ₃	-	0-10 ppb	90 с
CO	uHoо-CO	10 ppb	0-1000 ppb	-
	CO-B4	1 ppb	0-1000 ppb	1s
	MNS-9-W2-GS-C1	2% від зчитування або 1 ppb	0-1000 ppb	<40s (при 20°C)
	DGS-CO 968-034	≤3% або 2 ppb	0-1000 ppb	<30 с
	MiCS-4514/CJMCU4541	-	1-1000 ppb	-
	TGS 5342	10 ppb	0-10000 ppb	60 с
	TGS 2442	-	30-1000 ppb	1 с
	HS-134	-	20-1000 ppb	<2 с
CO ₂	uHoо-CO ₂	+50 ppb або 3% від зчитування	400-10000 ppb	-
	GC0028/CM-40301	70 ppb або 5% від зчитування	0-5%	залежить від потоку
	AW6404	+75 ppb (від 400 до 6000 ppb)	0-4000 ppb	3 хв
	B-530	30 ppb 3% зчитування	0-50000 ppb	120 с
	FBT0002100	1.0 ppb (від 400 до 6000 ppb)	400-6000 ppb	-
	8096-AP	5%	400-2000 ppb	-
	Yocto-CO ₂	+30 ppb 55%	0-10000 ppb	-
	NWS01-EU	5% (від 1000 до 5000 ppb)	0-5000 ppb	-

Таблиця 1.2

Загальні рекомендації та стандарти якості повітря

Вимірюваний параметр	ВООЗ/Європа	АКУПГ	АІНС/АТІООК 62.1	НІОП	КСЯНП
O ₃	120 мкг/м ³ (8-h mean)	0.3 ррт (15 хв) 0.05 ррт (важка робота) 0.08 ррт (середня робота) 0.1 ррт (легка робота) 0.2 ррт (робота < 2 год)	100 мкг/м ³ ; 50 ррт (середнє за 8 год)	0.1 ррт (0.2 мг/м ³)	0.07 ррт (8 год) 0.09 ррт (1 год)
CO	100 мг/м ³ (середнє за 15 хв) 35 мг/м ³ (середнє за 1 год) 10 мг/м ³ (середнє за 8 год) 7 мг/м ³ (середнє за 24 год)	25 ррт (8 год)	9 ррт (середнє за 8 год)	35 ррт 40 мг/м ³ (середнє за 8 год) 200 ррт (229 мг/м ³)	20 ррт, (середнє за 1 год) 9.0 ррт, (середнє за 8 год)
CO ₂	-	5000 ррт (середнє за 8 год) 30000 ррт (середнє за 15 хв)	від 300 до 500 ррт (вулиця) 1000 ррт (приміщення)	5000 ррт (9000 мг/м ³) 30000 ррт (15 хв) (54000 мг/м ³)	-
SO ₂	20 г/м ³ (середнє за 24 год) 500 мкг/м ³ (середнє за 10 хв)	0.25 ррт (15 хв)	80 г/м ³ (середньорічна)	2 ррт (5 мг/м ³) 5 ррт (10 мг/м ³)	0.25 ррт (середнє за 1 год) 0.04 ррт (середнє за 24 год)
NO ₂	200 мкг/м ³ (0.1 ррт) (середнє за 1 год) 40 г/м ³ (0.02 ррт) (середнє за 1 рік)	0.02 (15 хв)	200 мкг/м ³ (середньорічна) 470 г/м ³ (середнє за 24 год)	1 ррт (1.8 мг/м ³)	0.18 ррт, (середнє за 1 год) 0.030 ррт (середньорічна)

1.3. Опис аналогів розроблюваного пристрою

Станція моніторингу якості повітря SaveEcoSensor [2].

Станція моніторингу якості повітря дозволяє вимірювати вміст пилу фракцій 2.5 та 10 мікронів в повітрі (так звані PM 2.5 і PM 10). Інтегрований сенсор температури-вологості-тиску дозволяє автоматично коригувати отриману інформацію в залежності від погодних умов, а наявність модулю підігріву дозволяє мінімізувати вплив під час туману, опадів та при від'ємних температурах.

Компактні бюджетні прилади для вимірювання базових параметрів атмосферного повітря – це світовий тренд, адже громадськість та вчені по всьому світу зрозуміли, що набагато змістовніше отримувати хоч і не завжди ідеально точні, але великі масиви даних з тисяч різних куточків, ніж мати нехай навіть дуже точні та дорогі станції вимірювання, але всього в декількох точках величезних міст.

Через здешевлення побутових датчиків їх може дозволити собі велика кількість людей, тому треба скористатися цією можливістю та окутати Україну сотнями, тисячами або навіть десятками тисяч таких приладів. Біг дату, як кажуть, не обдуриш?

Громадяни зможуть придбати та власноруч зібрати й приєднати до всесвітньої мапи свої власні датчики. Дрібнодисперсний пил фракцій PM10 та PM2.5 спричиняє цілу низку серцево-судинних, алергічних та дихальних захворювань.

Штутгартські активісти вже склали тисячі подібних приладів та розповсюдили свою методику на весь світ, а вчені зробили лабораторне дослідження, яке підтвердило адекватність даних.

Технічні деталі.

Складові частини приладу SaveEcoSensor та їхня вартість (вже в Україні) наступні:

- пиломір SDS011;
- контролер Wemos D1 mini V2 Pro;
- сенсор температури, вологості та тиску BME280;
- пластиковий корпус;
- блок живлення;
- автоматизована камера підігріву повітря.

Прилад, підключений до мережі, проводить вимірювання кожні 145 секунд та відправляє дані напряму до наступних онлайн-ресурсів:

- система SaveEcoBot, яка складається з інтерактивної мапи та чат-бота;
- aqicn.org – глобальна карта забруднення повітря, яка охоплює весь світ;
- OpenSenseMap.org – відкрита карта, де кожен бажаючий має можливість додати сенсор та публікувати дані. Має зручний інтерфейс, API, можливість візуалізації даних за допомогою інтерполяції та навіть візуального перегляду даних у часі – анімація того, як змінювались показники на карті. Наприклад, коли покриття міста приладами буде повноцінним, можливо буде відстежувати, як переміщується хмара пилу;
- сервер Luftdaten.info – карта від творців приладу, має кольорову індикацію рівня забруднення. Щоб додати прилад до цієї карти, необхідно відправити заявку німцям та зачекати кілька днів. Ми плануємо це робити самостійно з кожним новим приладом;
- сервер Madavi.de – сервер зберігання даних, розроблений німцями, для того щоб отримувати дані у форматі CSV та дивитися графіки з даними сенсорів приладів;
- онлайн карта розробників з Івано-Франківську eco-city.org.ua;
- air-pollution.ml – мапа забруднення повітря України.

AQMesh [3] - це система контролю якості повітря з невеликими електрохімічними датчиками для вимірювання якості повітря в приміщеннях і на відкритому повітрі, що пропонує локалізовану інформацію про якість повітря і аналіз даних в режимі реального часу. AQMesh вимірює ключові забруднювачі в атмосферному повітрі, використовуючи кращу технологію малих електрохімічних датчиків в поєднанні із запатентованою обробкою даних, отриманої в результаті великих глобальних порівнянь даними. Продукт поєднує в собі надійну апаратну платформу з опціями бездротового зв'язку, GPRS-зв'язком, хмарної обробкою даних і безпечним онлайн-доступом. AQMesh виробляється у Великобританії і має виключно високу якість, ґрунтуючись на багаторічному досвіді розробки обладнання для моніторингу навколишнього середовища в суворих умовах і відповідно до міжнародних стандартів.

Характеристики

- вимірює гази NO, NO₂, NO_x, O₃, CO, SO₂ і H₂S за допомогою електрохімічних датчиків останнього покоління;
- додатковий моніторинг CO₂ за допомогою датчика NDIR;
- вимірює частки PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ за допомогою світлорозсіювального оптичного лічильника часток;
- вимірює відносну вологість, температуру стручка, атмосферний тиск і шум;
- додатковий метеорологічний датчик для вимірювання швидкості і напрямку вітру;
- різні варіанти харчування, в тому числі акумулятор і сонячна батарея на замовлення;
- безпроводний зв'язок;
- безпечний онлайн-доступ до даних.

Технічні характеристики системи представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Технічні характеристики AQMesh

Сенсор	Тип сенсора	Одиниці вимірювання	Діапазон
NO	Електрохімічний	ppb або мг/м ³	0-4000 ppb
NO ₂	Електрохімічний	ppb або мг/м ³	0-4000 ppb
NO _x	Електрохімічний	ppb або мг/м ³	0-8000 ppb
O ₃	Електрохімічний	ppb або мг/м ³	0-1800 ppb
CO	Електрохімічний	ppb або мг/м ³	0-6000 ppb
SO ₂	Електрохімічний	ppb або мг/м ³	0-10,000 ppb
H ₂ S	Електрохімічний	ppb або мг/м ³	0-100000 ppb
CO ₂	NDIR метод	ppm або мг/м ³	0-5000 ppm
Температура	Напівпровідниковий	°C або °F	-20°C -100°C
Тиск	Напівпровідниковий	мБар	500-1500 мБар
Вологість	Напівпровідниковий	%	0-100%
Шум	Однонаправлений мікрофон	дБ	35-100 дБ
Пил	Оптичний лічильник часток	часток/см ³	0.30-30 м
PM1	Оптичний лічильник часток	г/м ³	0-200 г/м ³
PM2.5	Оптичний лічильник часток	г/м ³	0-500 г/м ³
PM10	Оптичний лічильник часток	г/м ³	0-1,000 г/м ³

AQMesh може застосовуватися в різних місцях. Оскільки цей тип продукту є настільки новим, фахівці-практики тільки починають цінувати способи, якими кращі дані - висока тимчасовий дозвіл і високу просторову роздільну здатність - можуть відкривати нові додатки. Цей список - тільки початок недорогого моніторингу якості повітря.

Звичайні системи моніторингу якості повітря часто занадто великі і складні для установки в місцях, де необхідний моніторинг, таких як розв'язки і розв'язки, а також завантажені магістральні дороги. У цьому додатку абсолютна точність датчиків має другорядне значення для можливості довести достовірну

інформацію про тренди і можливість розміщення в декількох місцях уздовж основних доріг.

AQMesh є ідеальним рішенням для цього типу моніторингу, так як вони маленькі і працюють від батареї. Дані повертаються практично в реальному часі в веб-додаток в форматах, які розпізнаються більшістю систем управління трафіком. Потім ці тенденції можна порівняти з потоком трафіку і метеорологічною інформацією, щоб дати можливість менеджерам по дорожньому руху краще зрозуміти умови, що призводять до викидів забруднюючих речовин, і, таким чином, як мінімізувати і запобігти їх у майбутньому.

Приклади застосування AQMesh:

- перевірка рівня забруднення в транспортному тунелі і вентиляційній шахті для підтвердження ефективності;
- підтвердження того, що забруднення уздовж автобусних маршрутів поліпшується за рахунок поліпшення обробки вихлопних газів в місцевому автобусному парку;
- віднесення місцевого забруднення навколо аеропорту до джерел авіації і трафіку;
- ефекти вуличного каньйону - вимір забруднення через дорогу, щоб зрозуміти внесок місцевих (транспортних) джерел і більш широке фонове забруднення;
- інтелектуальна міська інтеграція;
- промислові;
- розподіл забруднення за джерелами - встановлення джерела забруднення певного профілю;
- встановлення, де і коли промисловий шлейф торкнувся землі;
- моніторинг лінії паркану навколо промислового майданчика;
- охорона здоров'я;
- мобільний моніторинг (пішки) навколо міського маршруту, щоб зрозуміти особисту схильність;
- моніторинг забруднення на різних рівнях до міської висотної будівлі, щоб зрозуміти вплив з відкритими вікнами;

- оцінка впливу забруднюючих речовин на працівників за допомогою моніторингу якості повітря всередині і зовні приміщень.

Станція контролю атмосфери AirPointer [4]:

- контроль токсичних газів - SO₂, NO_x, O₃, CO і пилу;
- можливість зовнішнього підключення інших аналізаторів шкідливих і токсичних газів - вуглеводні, аміак, пил, і т. Д.;
- використовуються методи вимірювання прийняті в ЄС;
- можливість укомплектування системою контролю метеопараметрів;
- простий у використанні і обслуговуванні;
- низький рівень споживання енергії - 350 Вт, при ~ 220В;
- міцний, пило вологонепроникний корпус;
- відсутність спеціальних умов до місця установки;
- можливість доступу до інформації за допомогою веб-браузера;
- виріб готовий до експлуатації відразу після встановлення та підключення (plug & play) .

Станція - ідеальний інструмент для контролю санітарних периметрів і якості повітря в містах від викидів промислових підприємств, ТЕС, автомобілів та інших забруднювачів повітря. Станція може бути використана для оснащення мобільних комплексів при контролі зон аварійних ситуацій пов'язаних з різними техногенними випадками в промисловості і на транспорті. Дозволяє вимірювати концентрацію CO, O₃, SO₂ та NO / NO₂ / NO_x за допомогою автоматичних газоаналізаторів, які працюють за стандартними оптичним методам (інфрачервоному, флуоресцентного, хемілюмінесцентному) і в широкому діапазоні концентрацій. Конструкція виконана так, що дозволяє легко підключити додаткові газоаналітичні сенсори на інші гази. Вимірюються також метеопараметри: швидкість і напрям вітру, вологість, тиск. Станція дає можливість швидко і адекватно реагувати на будь-які пригоди, які викликають забруднення повітря. За допомогою станцій можна створити регіональну

мережу моніторингу атмосферного повітря. Станцією на місці вимірювань в автоматичному і безперервному режимі здійснюється моніторинг навколишнього середовища, зі збереженням у своїй пам'яті даних за багато років вимірювань. Доступ до цих даних, а також внутрішнім параметрам можливий по дротовому або бездротовому протоколу через модем (GSM, GPRS, UMTS) або мережу (пряме, кабельне або радіоз'єднання). Надійний зовнішній антивандальний корпус має систему підтримки температури і повну інфраструктуру класичної вимірювальної станції. Працює з будь-яким веб-браузером (для доступу до даних). Легкий монтаж, запуск в експлуатацію, мобільність - безперечні переваги при виборі інструментів контролю навколишнього повітря. Модульна конструкція і сучасний інтерфейс дають можливість користувачеві не тільки працювати сьогодні, а й модернізувати прилад відповідно до нових вимог.

Застосування:

- міські служби;
- промислові підприємства;
- теплоелектро станції;
- аеропорти;
- печі, котли;
- нафтохімія;
- джерела шкідливих викидів;
- звалища сміття;
- закриті приміщення;
- зони аварійних ситуацій;
- транспортні магістралі;
- хімічні виробництва.

Технічні характеристики станції контролю атмосфери AirPointer наведено у таблиці 1.4, а забруднювачі, які вона може вимірювати, наведено у таблиці 1.5.

Таблиця 1.4

Технічні характеристики AirPointer

Швидкість потоку повітря:	менше 3000 см ³ /хв
Діапазон робочих температур:	від - 20 до + 40 °С (робоча температура сенсорів)
Габарити:	800 мм x 600 мм x 500 мм (приблизні)
Маса:	від 35 до 70 кг (в залежності від конфігурації)
Живлення:	АС 220 В, 350 Вт, запобіжники 10А
Конфігурація:	Будь-які комбінації, від 1 до 4 газових і метеорологічних сенсорів, можлива подальша модернізація

Таблиця 1.5

Вимірювані забруднювачі AirPointer

Компонент	Принцип вимірювання	Діапазон	Одиниці виміру	Нижня межа чутливості	Дрейф нуля	Дрейф сигналу
Оксиди азоту (NO / NO ₂ / NO _x)	Хемільюмін ісцентний	Динамічний діапазон до 10 ppm	ppm, ppb, мг/м ³	<2.0 ppb	<1.0 ppb / 24 години <1.0 ppb / 7 днів	<1.0% показань шкали / 24 години <2.0% показань шкали / 7 днів
Оксид вуглецю (CO)	Інфрачервоний недисперсійний (NDIR)	Динамічний діапазон до 1000 ppm	ppm, ppb, мг/м ³	<0.08 ppm	<0.2 ppm / 24 години <0.4 ppm / 7 днів	<2.0% показань шкали / 24 години / 7 днів
Діоксид сірки (SO ₂)	ультрафіолетовий	Динамічний діапазон до 20 ppm	ppm, ppb, мг/м ³	<1.0 ppb	<1.0 ppb / 24 години <2.0 ppb / 7 днів	<1.0% показань шкали / 24 години / 24 години <2.0% показань шкали / 7 днів
Озон (O ₃)	флуоресцентний	Динамічний діапазон до 10 ppm	ppm, ppb, мг/м ³	<1.0 ppb	<1.0 ppb / 24 години <1.0 ppb / 7 днів	<1.0% показань шкали / 24 години / 24 години

Газоаналізатор Infralyt Smart [5].

Прилад знаменитої фірми SAXON JUNKALOR (Німеччина) призначений для одночасного вимірювання компонентів CO, CO₂, HC, O₂ і лямбда (розрахунок на основі вимірів) в відпрацьованих газах бензинових двигунів. Крім того прилад дозволяє визначити робочу температуру і число обертів двигуна за допомогою різноманітних датчиків.

Пульт дистанційного керування з інтегрованим принтером дозволяє проводити виміри відповідно до нормативів, а також роздруковувати протокол з результатами вимірювання.

Технічні характеристики та вимірювані забруднювачі газоаналізатора Infralyt Smart наведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Технічні характеристики та вимірювані забруднювачі Infralyt Smart

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання компонентів	
- CO	0 - 10% об.
- CO ₂	0 - 20% об.
- HC	0 - 10000 ppm
- O ₂	0 - 21% об.
- лямбда	0 - 9,999
- число обертів двигуна	400 - 9999 хв-1
- температура масла	0 - 130 °C
точність приладу	0 і 1 класу точності
інтерфейси	підключення ручного модуля з принтером, персональний комп'ютер
Габарити, мм	294x203x403
маса, кг	9 кг

Аналізатор пилу SMG 200 [6].

Призначений для перевірки і моніторингу пилу особливо при високих температурах.

Підходить для вимірювання:

- пилу сміттєспалювальних заводів;
- дизельних автомобілів;
- перевірки пилу в біопроесах;
- перевірки двигунів згорання;
- перевірка і моніторинг пилових фільтрів а так же електрофільтрів.

Особливості апаратів.

Наша технологія вимірювання пилу призначена для мобільного використання а також працює в екстремальних умовах вимірювання, і є стабільною і надійною. SMG100 використовується для визначення масової концентрації частинок в промислового пилу. Для моніторингу пилових фільтрів, цементної промисловості або калібрування установок спалювання.

Пристрій вимірювання пилу SAXON Junkalor GmbH характеризується наступними характеристиками:

- великий дисплей з високою контрастністю в реальному часі;
- Температура середовища до 800 ° C, навіть при високій вологості;
- холодний і гарячий екстракційний відбір, різні головки зонда;
- Передача даних по Bluetooth класу 1 (клас 100 м) ;
- нормований на DEHS.

Технічна специфікація аналізатора пилю SMG 200 наведена в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7

Технічна специфікація AirPointer

Розмір частинок	0,04 - 10 мкм
Діапазон вимірювання	0 - 250 мг/м ³
Точність вимірювання	0 - 4 мг/м ³ ± 0,2 мг/м ³ > 4 мг/м ³
Похибка	≤ ± 3%
Нормування	DEHS
Тип зразку	гарячої екстракції (100 °C)
Точка роси	≤ 80 °C
Температура середовища	< 500 °C на кінці пробника
Щільність потоку	2,88 нл/хв ±5 %
Принцип вимірювання	Мультикутове розсіювання світла
Час прогріву	< 10 хвилин
Час вимірювання	1 - 30 хв. (на вибір)
Інтерфейси	RS232 USB Type A Bluetooth® Class 1 (100m)
Робоча температура	від + 5 до + 40 °C

Fluke 985 - Лічильник частинок.

Лічильник частинок - ключовий елемент в професійному наборі інструментів для систем ОВКП (опалення, вентиляції та кондиціонування повітря) і аналізу якості повітря в приміщеннях. В будь-якій роботі - від перевірки фільтрів до досліджень якості повітря в приміщенні - лічильник частинок надає споживачеві цінну інформацію щодо концентрації і джерела частинок в досліджуваному середовищі [7].

Новий лічильник частинок Fluke 985 ідеально підходить для оцінки, моніторингу якості повітря і перевірки продуктивності фільтрів і критично важливих компонентів систем ОВКП для сертифікації по 5-9 класам ISO. Надлегкий, ергономічний корпус і зручний кольоровий екран з інтуїтивно зрозумілими значками і графіками тенденцій забезпечують легке і швидке

проведення аналізу. Fluke 985 необхідний для професійного обслуговування систем ОВКВ і оцінки якості

повітря всередині приміщень.

Характеристики лічильника часток Fluke 985:

- шість каналів і діапазон розміру часток 0,3-10 мкм;
- надлегкий і ергономічний корпус для зручної експлуатації однією рукою;
- заряду стандартної батареї вистачає на десять годин роботи пристрою;
- великий 3,5 "QVGC кольоровий екран з підсвічуванням, інтуїтивно зрозумілі значки та великий шрифт забезпечують просту навігацію і зчитування інформації;
- пам'ять пристрою розрахована на 10000 записів для зручності перегляду результатів проведених вимірювань;
- за вибором користувача дані можна переглядати в традиційному табличному вигляді або у вигляді графіка;
- параметри екрану, методів забору проб і настройки попереджень для підрахунку об'єму проби (наближені свідчення, на кубічний фут, кубічний метр або літр);
- експорт даних на USB-носій або прямо на ПК по USB-кабелю. Не вимагається спеціальне програмне забезпечення для перегляду Excel-сумісних файлів;
- підтримка з'єднання по Ethernet для доступу до даних за допомогою інтернет-браузера (Windows Explorer, Safari і Firefox);
- зарядний стакан з підключенням по USB / Ethernet гарантує постійну готовність пристрою до роботи;
- додаткова безпека забезпечується за рахунок використання пароля адміністратора (опціонально);
- відповідає стандарту ISO 21501, JIS B9921 і CE.

Технічна специфікація лічильника частинок Fluke 985 наведена в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8

Технічна специфікація Fluke 985

Шість каналів для частинок різного розміру	0,3 мкм, 0,5 мкм, 1,0 мкм, 2,0 мкм, 5,0 мкм, 10,0 мкм
Швидкість потоку	2,83 л / хв (0,1 кубічних футів в хвилину)
Джерело світла	775-795 нм, 90 мВт, лазер класу 3В
Режими підрахунку	Наближені свідчення, #/м ³ , #/фут ³ , #/літрів в накопичувальному або диференціальному режимі
Коефіцієнт підрахунку	50% при 0,3 мкм; 100% для часток > 0,45 мкм (ISO 21501)
Вихідний підрахунок	1 одиниця / 5 хвилин (на JIS B9921)
Межі концентрації	10% на 4000000 частинок в куб. фут (згідно ISO 21501)
Сигналізація	налаштовуванні користувачем канали частинок і межі
Дисплей	QVGA кольоровий з підсвічуванням
Час затримки	Від 0 до 24 годин
Впускний отвір для забору проб	ізокінетичий зонд
Режим обміну даними	USB або Ethernet
Час роботи / зарядки акумулятора	10 годин (тип.), 5 годин безперервної роботи
Калібрування	Частинки PSL в повітрі (відповідно до вимог Національного інституту стандартів і технології (США))
Умови праці	10-40 ° C / <95% віднос. вологості без конденсації

1.4. Опис технології Bluetooth

Bluetooth - це технологія бездротового зв'язку, створена в 1998 році групою компаній: Ericsson, IBM, Intel, Nokia, Toshiba. В даний час розробки в області Bluetooth ведуться Bluetooth SIG (Special Interest Group), в яку входять також Lucent, Microsoft і багато інших [8].

Основне призначення Bluetooth - забезпечення економічної (з точки зору споживаного струму) і дешевої радіозв'язку між різними типами електронних пристроїв, причому чимале значення надається компактності електронних компонентів, що дає можливість застосовувати Bluetooth в малогабаритних пристроях розміром з наручний годинник.

Логотип Bluetooth, представлений на рис. 1.1, є поєднанням двох нордичних («скандинавських») рун: Хагалаз молодшого футарка і Беркана, звукові значення яких відповідають ініціалами Харальда I Синезубого - h і b (дат. Harald Blåtand, норв. Harald Blåtann).

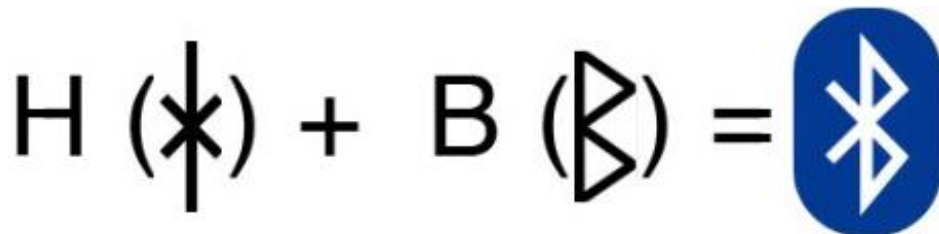


Рис. 1.1. Логотип технології Bluetooth

1.5. Принцип роботи Bluetooth

Радіозв'язок Bluetooth здійснюється в ISM-діапазоні, який використовується в різних побутових приладах і бездротових мережах (вільне володіння від ліцензування діапазон 2,4-2,4835 ГГц). У Bluetooth застосовується метод розширення спектра зі стрибкоподібною перебудовою частоти. Метод FHSS простий в реалізації, забезпечує стійкість до широкосмугових перешкод, а обладнання недороге.

Основоположним принципом побудови систем Bluetooth є використання методу розширення спектра при стрибкоподібному зміні частоти (FHSS - Frequency Hop Spread Spectrum), графік роботи якого представлено на рис. 1.2. Згідно з цим алгоритмом передавач розбиває дані на пакети і передає їх по псевдовипадковому алгоритму в процесі стрибкоподібної перебудови частоти (1600 разів в секунду або кожні 625 мкс), або шаблоном (pattern), складеним з 79 підчастот. "Зрозуміти" один одного можуть тільки ті пристрої, які налаштовані на один і той же шаблон передачі - для сторонніх приладів передана інформація буде звичайним шумом. Весь виділений для Bluetooth-радіозв'язку частотний діапазон (2,402-2,480 ГГц) розбитий на N частотних каналів. Смуга кожного каналу 1 МГц, рознос каналів - 140-175 кГц [9].

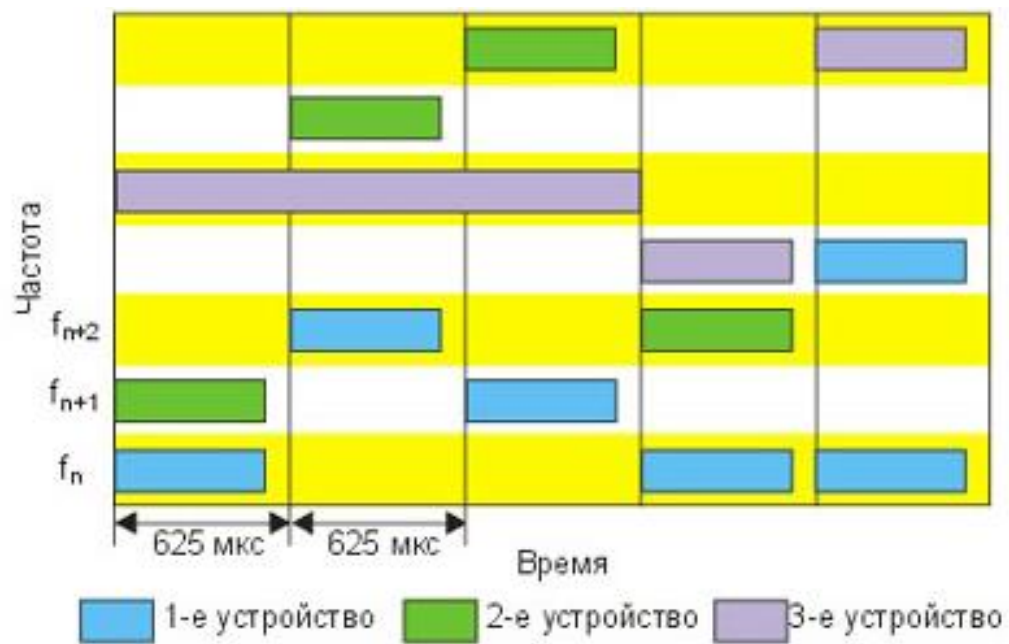


Рис. 1.2. Частотно-часовий графік одночасної роботи трьох Bluetooth-модулів

Як вже було зазначено, зміна каналів проводиться по псевдовипадковому закону. Постійне чергування каналів дозволяє радіоінтерфейсу Bluetooth транслювати інформацію по всьому діапазону ISM (Industrial, Scientific, Medical) і уникнути впливу перешкод з боку пристроїв, що працюють в цьому ж діапазоні.

Якщо даний канал зашумлений, то система перейде на інший, і так буде відбуватися до тих пір, поки не виявиться канал, вільний від перешкод.

Цей алгоритм є також складовою частиною системи захисту конфіденційності інформації, що передається: оскільки перехід відбувається по псевдовипадковому алгоритму то переходи визначаються окремо для кожного з'єднання. При передачі цифрових даних і аудіосигналу (64 кбіт / с в обох напрямках) використовуються різні схеми кодування: аудіосигнал не повторюється (як правило), а цифрові дані в разі втрати пакета інформації будуть передані повторно.

Технологія Bluetooth передбачає два види зв'язку: синхронну - SCO (Synchronous Connection Oriented) і асинхронну - ACL (Asynchronous Connectionless). Перший вид, SCO, розрахований на встановлення симетричного з'єднання "точка - точка" і служить переважно для передачі мовних повідомлень. Швидкість передачі інформації SCO дорівнює 64 Кбіт / с. Другий, ACL, призначений для пакетної передачі даних. Він підтримує симетричні і асиметричні з'єднання типу "точка - багато точок". Швидкість передачі пакетної інформації при ACL складає близько 721 Кбіт / с. Пакети даних мають фіксований формат. На початку блоку знаходиться 72-біт на введення пароля. Він може застосовуватися, зокрема, для синхронізації пристроїв. За ним слідує 54-біт заголовок пакета, що містить контрольну суму пакета і інформацію про його параметри (наприклад, про повторну передачу блоку даних). Замикає пакет область, безпосередньо містить пересилається інформацію. Розмір цієї області варіюється від 0 до 2745 біт.

Що працює на частоті 2.4 ГГц приймач, яким є Bluetooth-чіп, дозволяє в залежності від ступеня потужності встановлювати зв'язок в межах 10 або 100 метрів. Різниця в відстані, безумовно, велика, однак з'єднання в межах 10 м дозволяє зберегти низьке енергоспоживання, компактний розмір і досить невисоку вартість компонентів. Так, малопотужний передавач споживає всього 0.3 мА в режимі standby і в середньому 30 мА при обміні інформацією.

1.6. Архітектура та стек протоколів

Протокольна архітектура Bluetooth (див. рис. 1.3) складається з наступних частин, які також іменуються як стек протоколів bluetooth [10]:

- основні протоколи, що складаються з 5-и рівневого стеку, таких як радіо (radio), основна смуга (baseband), протокол менеджера зв'язку (link manager protocol), протокол управління логікою та адаптацією (logical link control and adaptation protocol), протокол виявлення сервісів (service discovery protocol);

- рівень емуляції кабелю, RFCOMM;

- протоколи керування телефонією;

- додані протоколи, а саме. PPP, TCP/UDP, IP, OBEX та WAE/WAP.

Трохи детальніше розглянемо кожен частину окремо.

Стек основних протоколів складається з таких частин:

- bluetooth radio - ця частина стеку протоколів визначає інтерфейс, смуги частот, характеристики переміщення частоти, використовувану методику модуляції та класифікації потужності передачі. Більшу частину з вищезгаданого вже було описано вище;

- основна смуга (baseband) - схема адресації, формат пакетної рамки, алгоритми керування часом та потужністю, необхідні для встановлення зв'язку між пристроями Bluetooth в межах піконета, визначених у цій частині специфікації протоколу;

- протокол менеджера посилянь (LMP) - він несе відповідальність за встановлення зв'язку між пристроями Bluetooth і для підтримки зв'язку між ними.

Цей протокол також включає специфікації аутентифікації та кодування. Переговори про розміри пакетів між пристроями також можуть виконуватися цим протоколом;

- протокол керування та адаптації логічного зв'язку (L2CAP) - адаптує кадр верхнього шару до формату кадру шару основної смуги та навпаки. L2CAP подбає про послуги, пов'язані з підключенням та без зв'язку, а також про одночасне використання двома додатками з'єднання між двома пристроями;

- протокол виявлення сервісів (SDP) - за допомогою цього протоколу можна дізнатися про сервісні запити, включаючи інформацію про пристрій, щоб встановити з'єднання між пристроями bluetooth.

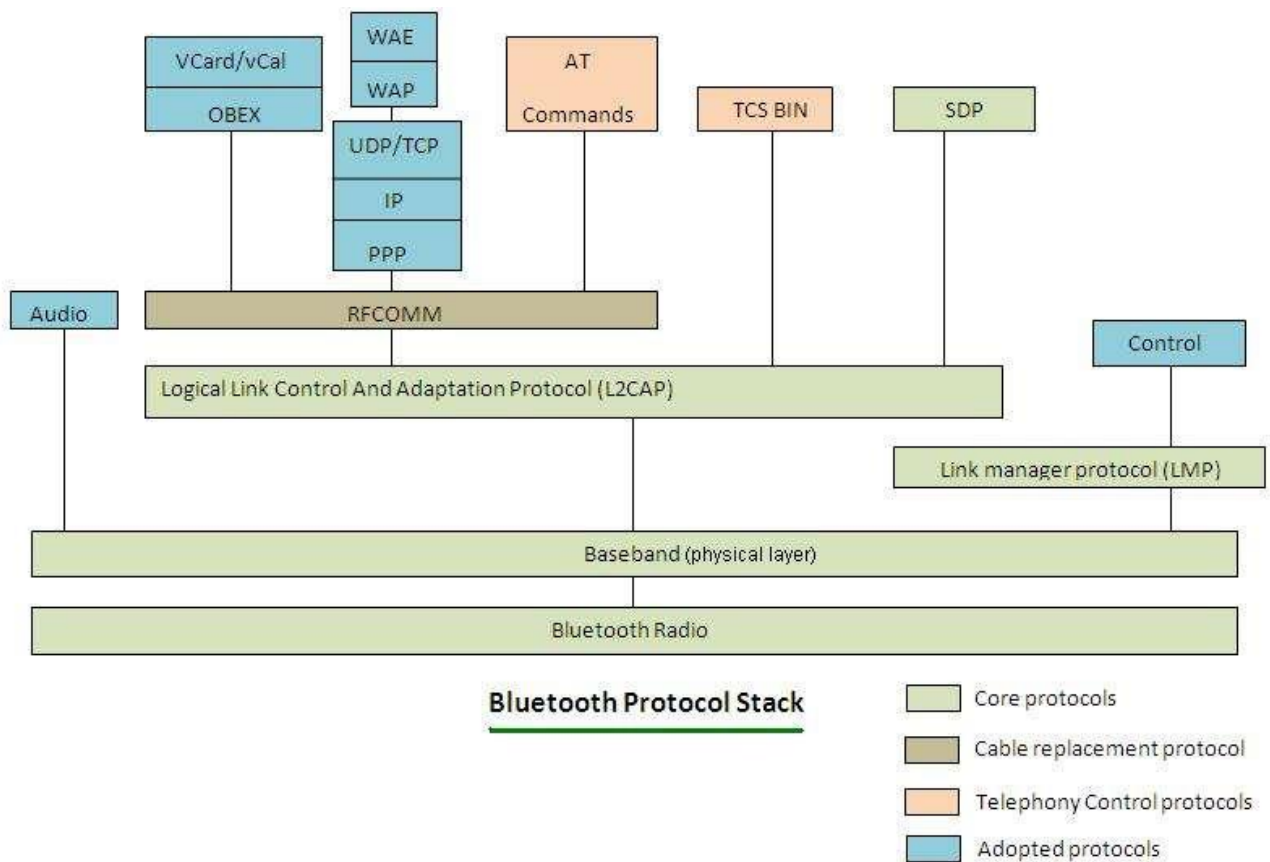


Рис. 1.3. Загальна схема шарів організації та стеку протоколів Bluetooth

Рівень емуляції кабелю використовує протокол емуляції віртуального послідовного порту (RFCOMM) Він дає доступ до послідовного інтерфейсу усім додаткам і підтримує декілька послідовних портів по одному фізичному каналу. Тобто фізичний послідовний порт RS-232 замінюється на бездротове з'єднання.

Бінарна специфікація протоколу управління телефонією (TCS-BIN) - це протокол, що використовується тут, як бітово орієнтований. Він визначає сигнали керування викликами та процедури управління мобільністю. Ці сигнали дбають про встановлення мовних та інформаційних дзвінків.

Всі користувальницькі додатки і інші існуючі механізми доступу до мережі, наприклад, IP (Internet Protocol) TCP, PPP, IrDA OBEX, WAP і HomeRF можуть бути здійснені за рівнем L2CAP або вищезазначеним трьом протоколами, якщо додаток вибере використання їхніх послуг. Додаток в результаті повідомить, що більше не потрібно підключення, якщо воно не було зафіксовано протягом часу запуску програми. LMP посилає пакет LMP_detach пакет на віддалене пристрій, на який не потрібно відповідь. Відбувається роз'єднання [11].

В процесі розробки технології також було додано значну кількість протоколів, які доповнюють її і роблять більш довершеною і гнучкою.

Ці протоколи вже визначені іншими стандартними органами, які враховуються без будь-яких змін в архітектурі стека протоколу Bluetooth:

- PPP це протокол типу “точка-точка”, який використовується для передачі IP-дейтаграм;

- TCP/UDP та IP є частиною базової моделі TCP/IP. Вбудовування цих стандартів в прилади Bluetooth дозволяє здійснювати зв'язок з будь-яким іншим пристроєм, підключеним до Internet. Такий прилад Bluetooth, будь то гарнітура для стільникового телефону або точка доступу до даних, використовується потім як «міст» до Internet. TCP/IP/PPP використовується у всіх сценаріях специфікації Bluetooth як «міст» до Internet, а також як транспортний механізм для протоколу WAP;

- протокол IrOBEX або, скорочено, OBEX, є сеансовим протоколом, розробленим асоціацією IrDA для простого, поетапного обміну об'єктами. OBEX, що забезпечує функціональність, подібну до HTTP, використовує модель клієнта-сервера, не залежить ні від транспортного механізму, ні від транспортного API-інтерфейсу. Поряд з самим протоколом - «граматикою» для об'єктів-переговорів між пристроями - OBEX дає також модель для представлення об'єктів і операцій. До того ж OBEX визначає зміст папок, яке дозволяє проглядати зміст папок, що знаходяться на віддалених пристроях;

- формати vCard (обмін електронними візитними картками) і vCalendar (обмін електронними календарними даними) є відкритими специфікаціями, які були

розроблені консорціумом Versit і контролюються сьогодні консорціумом Internet Mail. Самі по собі vCard і vCalendar не визначають ніякого транспортного механізму. Вони визначають тільки формати даних, які повинні транспортуватися;

- протокол бездротових додатків, розроблений Форумом WAP, повинен працювати в найрізноманітніших бездротових мережах. Мета полягає в тому, щоб поширити вміст мережі Internet і її телефонні послуги на цифрові стільникові телефони і на інші бездротові термінали.

Важливою частиною архітектури є Host to Controller інтерфейс (HCI), що забезпечує взаємодію софтової підсистеми Host із залізною підсистемою Controller. Все взаємодія верхніх рівнів Bluetooth системи з її апаратною частиною відбувається через HCI-команди, що ініціюються драйвером. Рівень HCI (інтерфейс контролера хоста) діє як межа між нижніми шарами стека протоколу Bluetooth та верхніми шарами. Специфікація Bluetooth визначає стандартний HCI для підтримки систем Bluetooth, які реалізуються між двома окремими процесорами. Наприклад, система Bluetooth на комп'ютері може використовувати процесор модуля Bluetooth для реалізації нижчих шарів стек (радіо, основна смуга, контролер зв'язку та менеджер посилок).

РОЗДІЛ 2

ОПИС МІКРОКОНТРОЛЕРА ТА КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ

2.1. Опис та технічні характеристики Arduino MEGA 2560

Arduino Mega 2560 (див. рис. 2.1) - флагманська платформа для розробки на базі мікроконтролера ATmega2560. Arduino Mega побудована на мікроконтролері ATmega2560. Плата має 54 цифрових входу / виходів (14 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 16 аналогових входів, 4 послідовних порту UART, кварцовий генератор 16 МГц, USB конектор, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопка перезавантаження. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB або подати живлення за допомогою адаптера, або акумуляторною батареєю. Arduino Mega 2560 сумісна з усіма платами розширення, розробленими для платформ Uno або Duemilanove [12].

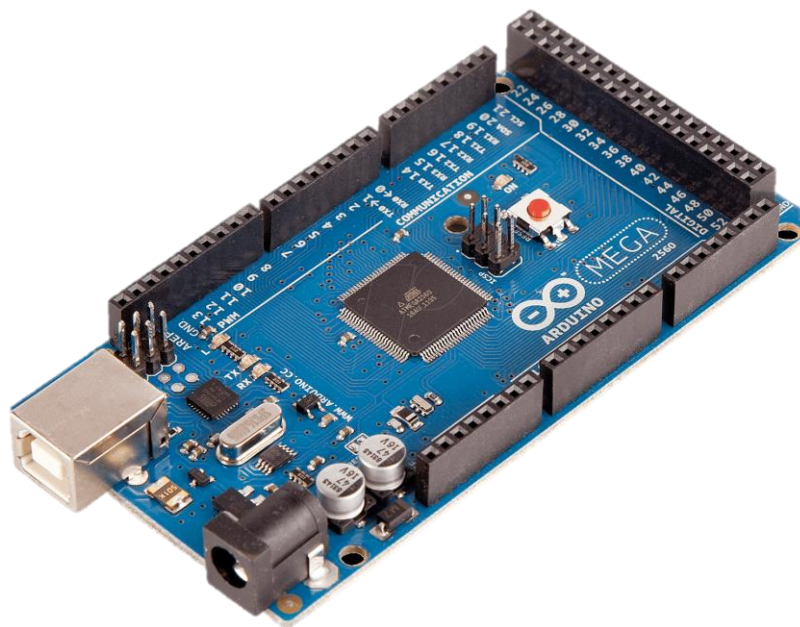


Рис. 2.1. Загальний вигляд плати Arduino Mega 2560

Основні технічні характеристики Arduino Mega 2560 представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики Arduino Mega 2560

Мікроконтролер	ATmega2560
Ядро	8-бітний AVR
Апаратних інтерфейсів SPI	1
Апаратних інтерфейсів I ² C / TWI	1
Апаратних інтерфейсів UART / Serial	4
Номінальна робоча напруга	5 В
Максимальний вихідний струм Піна 5V	800 мА
Максимальний вихідний струм Піна 3V3	150 мА
Максимальний струм з Піна або на пін	40 мА
Допустиме вхідна напруга від зовнішнього джерела	7-12 В
Габарити	101 × 53 мм

На рис. 2.2 зображено вид згори на Arduino Mega 2560, на якому обведено та описано головні елементи плати.

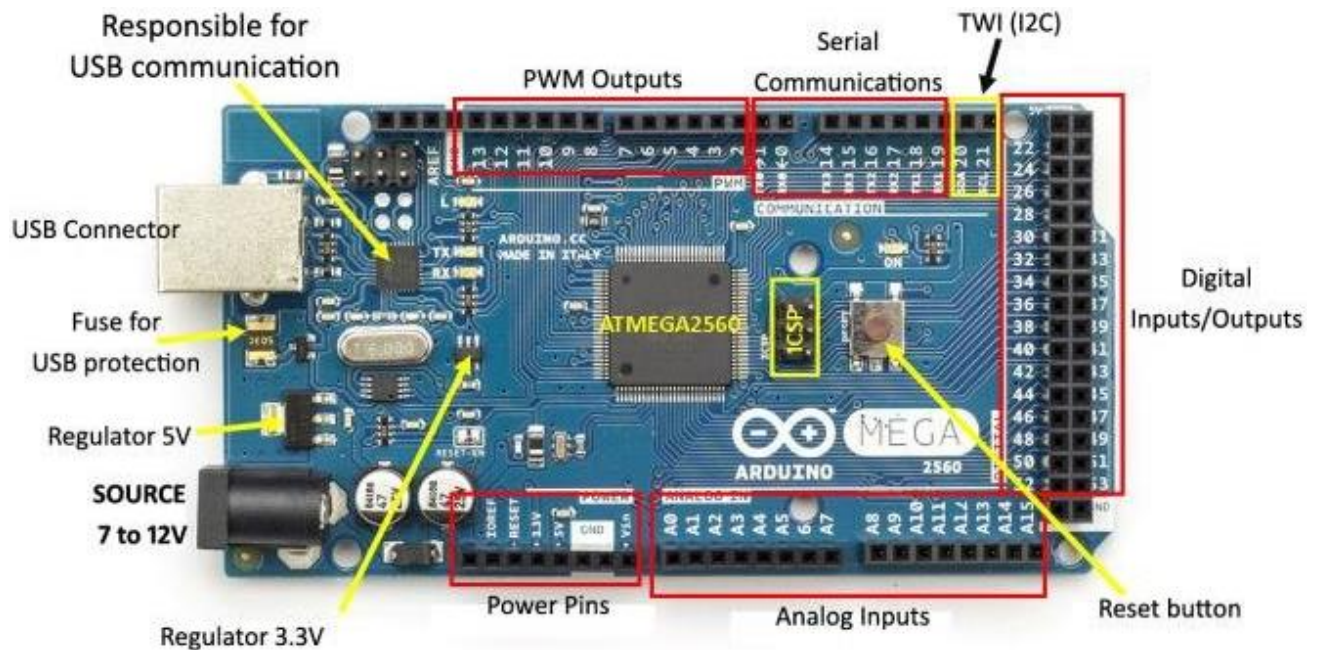


Рис. 2.2. Головні елементи плати Arduino Mega 2560

Тепер детальніше розглянемо опис виводів самої плати та мікроконтролера.

Піни живлення:

- VIN (вхідний пін для підключення зовнішнього джерела живлення з напругою в діапазоні від 7 до 12 вольт. Через контакт можна споживати напруга, коли пристрій живиться через зовнішній роз'єм живлення);

- 5V (вихідний пін від регулятора напруги на платі з виходом 5 вольт і максимальних струмом 800 мА. Живити пристрій через висновок 5V не рекомендується - ви ризикуєте спалити плату);

- 3.3V (вихідний пін від регулятора напруги з виходом 3,3 вольт і максимальних струмом 150 мА. Живити пристрій через висновок 3V3 не рекомендується - ви ризикуєте спалити плату);

- GND (виходи землі);

- IOREF (контакт надає платам розширення інформацію про робочій напрузі мікроконтролера. Залежно від напруги, плата розширення може переключитися на відповідний джерело живлення або задіяти перетворювачі рівнів);

- AREF (Пін для підключення зовнішнього опорного напруги АЦП щодо якого відбуваються аналогові вимірювання при використанні функції `analogReference()` з параметром «EXTERNAL»).

Порти введення/виводу:

- цифрові входи/виходи (піни 0-53). Логічний рівень одиниці - 5 В, нуля - 0 В. Максимальний струм виходу - 40 мА. До контактів підключені підтягуючі резистори, які за замовчуванням вимкнені, але можуть бути включені програмно;

- ШІМ (Піни 2-13 і 44-46). Дозволяє виводити аналогові значення в вигляді ШІМ-сигналу. Розрядність ШІМ не змінюється і встановлена в 8 біт;

- АЦП (піни А0-А16). Дозволяє представити аналогову напругу в цифровому вигляді. Розрядність АЦП не змінюється і встановлена в 10 біт. Діапазон вхідної напруги від 0 до 5 В;

- TWI/I²C (піни 20 (SDA) і 21 (SCL)). Для спілкування з периферією по інтерфейсу I²C. Для роботи використовуйте бібліотеку `Wire`;

- SPI: Піни 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK) і 53 (SS). Для спілкування з

периферією по інтерфейсу SPI. Для роботи - використовуйте бібліотеку SPI;

- UART: Піни 0 (RX) і 1 (TX), 19 (RX1) і 18 (TX1), 17 (RX2) і 16 (TX2), 15 (RX3) і 14 (TX3). Використовується для комунікації плати Arduino з комп'ютером або іншими пристроями по послідовному інтерфейсу. Висновки 0 (RX) і 1 (TX) з'єднані з відповідними висновками мікроконтролера ATmega16U2, що виконує роль USB-UART перетворювача. Для роботи з послідовним інтерфейсом - використовуйте методи бібліотеки Serial.

Зв'язок.

Плата Arduino Mega 2560 має ряд можливостей для зв'язку з комп'ютером, з іншою платою або з іншими мікроконтролерами. ATmega2560 забезпечує чотири апаратних UART порту для послідовної зв'язку з TTL рівнями (5 вольт).

ATmega16U2 (ATmega8U2 на платах версій 1 і 2) на платі пов'язує один з цих UART портів з USB і забезпечує віртуальний COM порт для зв'язку з програмним забезпеченням на комп'ютері (Windows машинам знадобиться inf-файл, машини на OSX і Linux визначають плату, як COM порт, автоматично). Arduino IDE включає в себе монітор послідовного порту, який дозволяє здійснювати і отримувати від плати прості текстові дані. Світлодіоди RX і TX на платі загоряються при передачі даних через мікросхему ATmega8U2 / ATmega16U2 і USB з'єднання (але не при передачі даних через висновки 0 і 1 послідовного порту).

Бібліотека SoftwareSerial дозволяє організувати послідовну зв'язок через будь-які цифрові висновки Arduino Mega 2560.

Arduino Mega 2560 також підтримує зв'язок через TWI і SPI. Arduino IDE включає в себе бібліотеку Wire для спрощення використання шини TWI. Для зв'язку через SPI використовується бібліотека SPI.

На рис. 2.3 показано докладний опис усіх виводів Arduino Mega 2560.

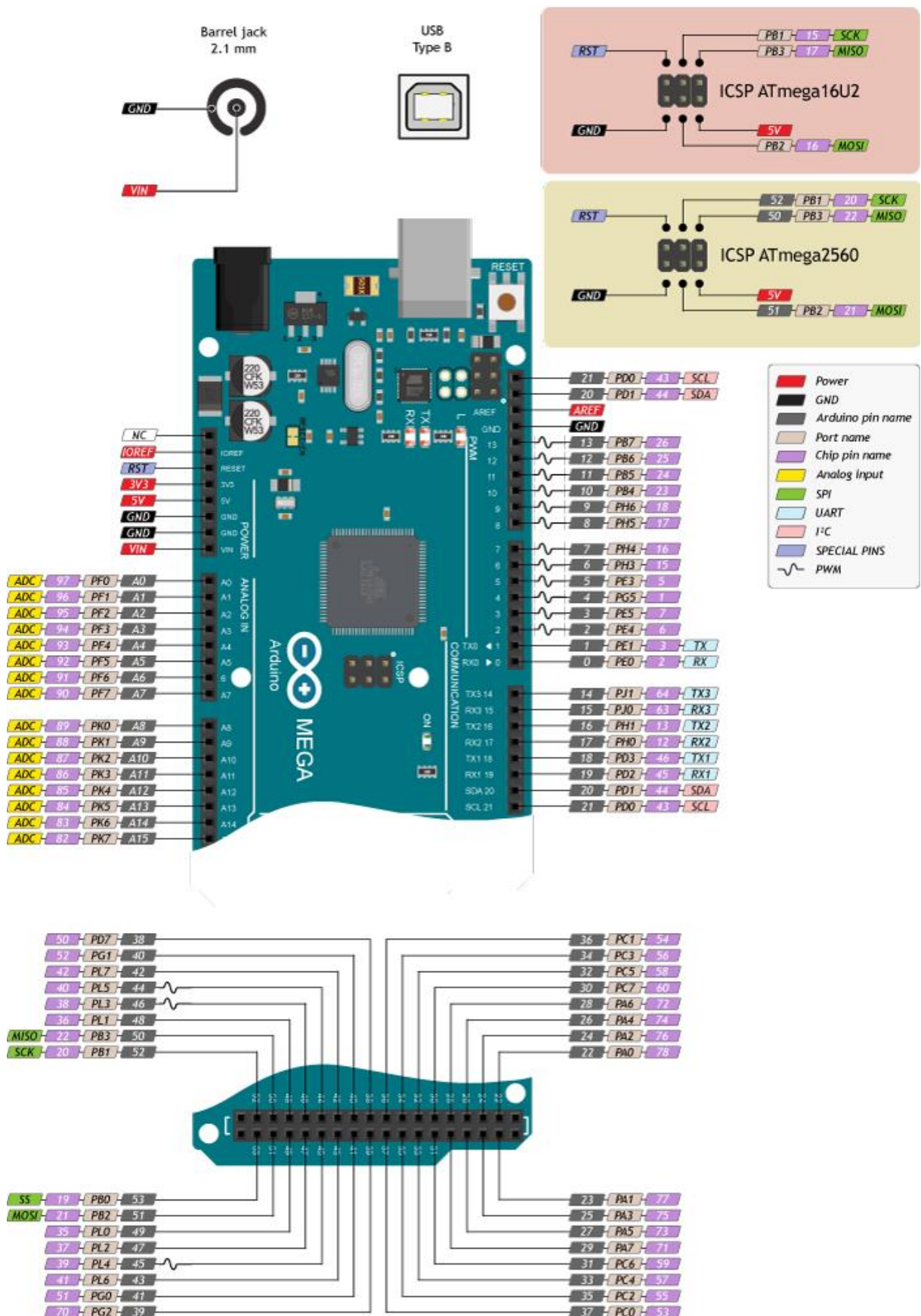


Рис. 2.3. Призначення виводів плати Arduino Mega 2560

2.2. Опис та технічні характеристики МК ATmega 2560 16AU

Серцем платформи Arduino Mega є 8-бітний мікроконтролер сімейства AVR - ATMEL ATmega 2560 16AU з тактовою частотою 16 МГц. Контролер надає 256 КБ Flash-пам'яті для зберігання прошивки, 8 КБ оперативної пам'яті SRAM (Статична оперативна пам'ять з довільним доступом) і 4 КБ незалежній пам'яті EEPROM (постійний запам'ятовувач, що програмується та очищується за допомогою електрики) для зберігання даних [13].

Мікроконтролер ATmega16U2 забезпечує зв'язок мікроконтролера ATmega2560 з USB-портом комп'ютера. При підключенні до ПК Arduino Mega 2560 визначається як віртуальний COM-порт.

Основні технічні характеристики ATMEL ATmega 2560 16-AU представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Технічні характеристики ATMEL ATmega 2560 16-AU

Мікроконтролер	ATmega2560
Ядро	8-бітний AVR
Тактова частота	16 МГц
Обсяг Flash-пам'яті	256 КБ (8 КБ займає завантажувач)
Обсяг SRAM-пам'яті	8 КБ
Обсяг EEPROM-пам'яті	4 КБ
Портів введення-виведення всього	54
Портів з АЦП	16
Розрядність АЦП	10 біт
Портів з ШІМ	15
Розрядність ШІМ	8 біт

На рис. 2.4 показано опис контактів МК ATMEL ATmega 2560 16AU.

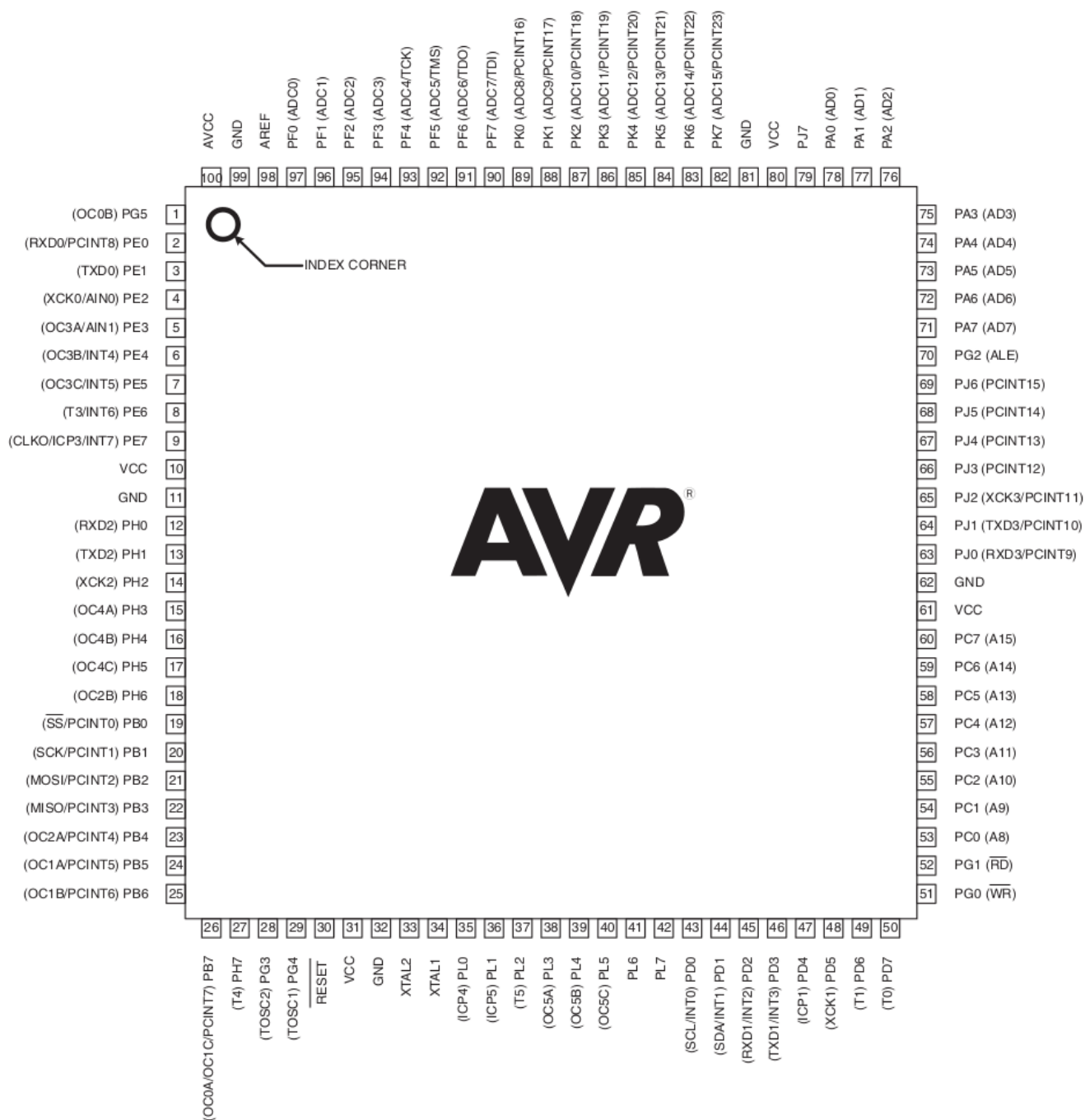


Рис. 2.4. Опис контактів МК ATMEL ATmega 2560 16AU

2.3. Периферійні пристрої системи

2.3.1. Модуль Bluetooth HC-05

Модуль Bluetooth HC-05 дозволяє налагодити двосторонню радіозв'язок по протоколу Bluetooth при управлінні різними об'єктами. Модуль, встановлений в прилад, яким відбуватиметься керування, з мікроконтролером або без, дозволяє з'єднатися у іншим електронним пристроєм, який містить модуль Bluetooth, використовуючи радіозв'язок (наприклад з персональним комп'ютером або телефоном на базі ОС Android) [14]. Схема такої взаємодії показана на рис. 2.5.

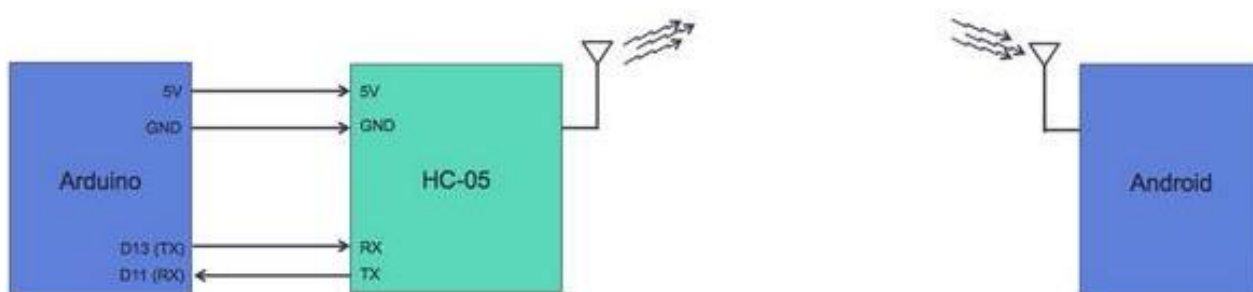


Рис. 2.5. Схема взаємодії HC-05 та телефону на базі ОС Android

Друге застосування - зв'язок двох приладів за схемами мікроконтролер-мікроконтролер або мікроконтролер-прилад. Пристрій підключається через провідний інтерфейс USART. Застосування HC-05 прокладає міст між приладами USART-Bluetooth-USART.

Зазвичай модулі продаються у вигляді двох спаяних разом плат. Менша з них - заводський модуль, який широко використовується в різних електронних пристроях. Велика - спеціальна макетна плата для DIY (див. рис. 2.7). Менша плата з чіпом BC417 представлена на рис. 2.6.

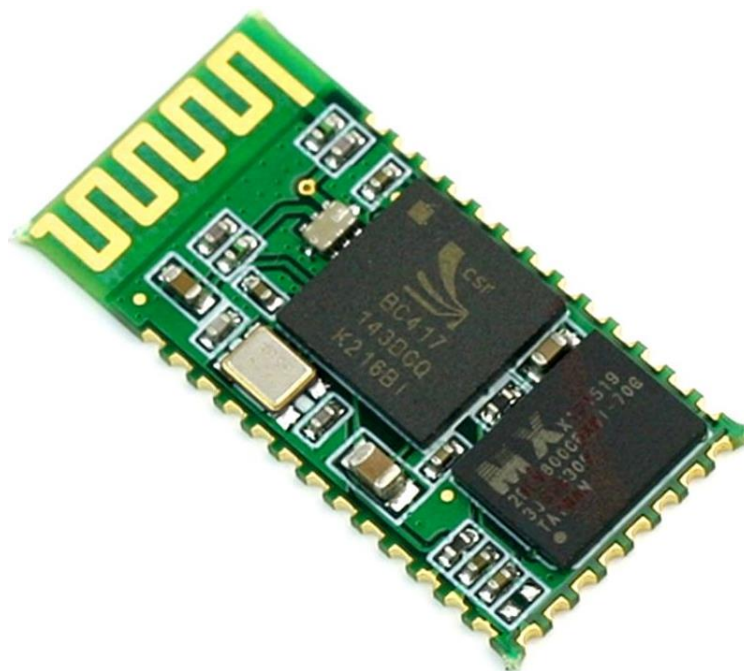


Рис. 2.6. Модуль HC-05

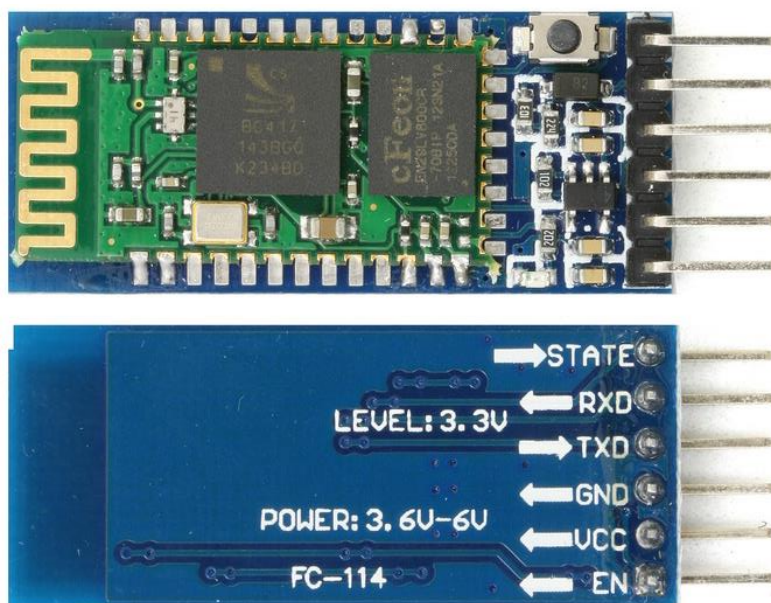


Рис. 2.7 Модуль HC-05 для застосування в DIY

Для власних цілей краще використати HC-05, так як вони не сильно відрізняються за ціною від HC-06, і дозволяють без зайвих проблем зв'язати разом два пристрої. Наприклад, можна зробити робота і пульт до нього. Зазвичай продаються модулі, точнісінько як на рисунку згори, але іноді без кнопки.

Характеристики модуля відповідають домашньому та комерційному застосуванню. Використовуючи спеціально написану програму, розміщену на андроїді, ноутбучі, персональному комп'ютері, можна керувати прибором на базі мікроконтролера і отримувати дані від датчиків приладу. Сфера застосування це зв'язок всередині будинку на відстані 10 м.

Режими роботи Bluetooth HC-05:

- основний - суміш USART-bluetooth, при цьому контакт 34 KEY з'єднаний з загальним проводом;
- режим AT-команд для налаштування та керування, на контакт 34 KEY представлений рівень логічної одиниці.

Заводські налаштування HC-05:

- пароль для режиму обміну даними: 1234;
- швидкість USART для режимів AT-команд - перший 38400 бод, другий 9600 бод [15].

2.3.2. Технічний опис HC-05

Основні характеристики зведені в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3

Технічні характеристики HC-05

Характеристика	Значення
Контролер	BC417143
Підтримувані профілі	ведений, ведучий
Версія	2.0 + ВРКТ
Частота	2.4 ГГц
Модуляція	ГЧМ
Потужність	≤4дБм, клас 2
Чутливість	≤-84дБм при 0.1% ЧПБ
Живлення	3,3/5,0 В постійного струму, 50 мА

Ознайомимося з призначенням пінів (див. рис. 2.8):

- EN - ввімкнення/вимкнення модуля;
- VCC - живлення + 5В;
- GND - земля;
- TXD, RXD - UART інтерфейс для обміну з контролером;
- KEY - контакт для входу в режим АТ-команд.

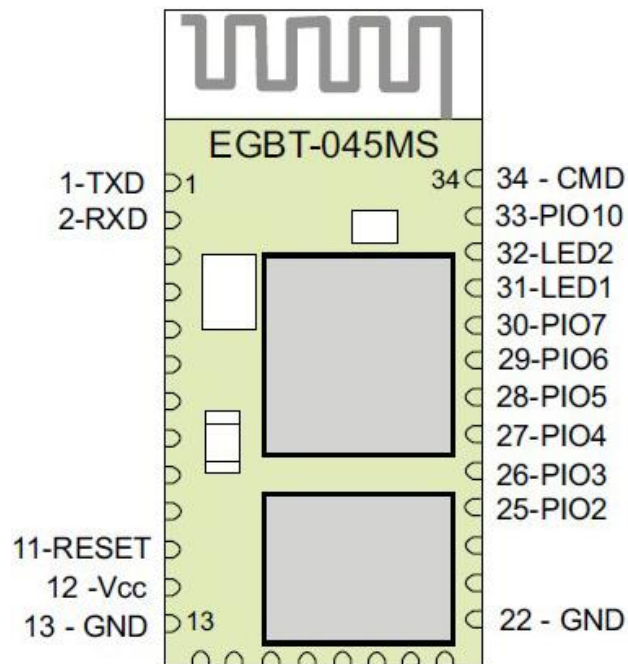


Рис. 2.8. Призначення контактів модуля HC-05

2.3.3. Технологія налаштування HC-05

У разі, якщо заводські налаштування Bluetooth-модуля недостатньо задовольняють необхідним для використання модуля вимогам, є можливість поміняти їх завдяки режиму AT.

Для того щоб почати налаштування, нам буде потрібно зашити в Arduino допоміжний скетч. Цей код (див. рис. 2.9) є програмою ретранслятором, яка буде здійснювати обмін даними між терміналом на комп'ютері і Bluetooth модулем.

```
1 #include <SoftwareSerial.h> // Підключаємо бібліотеку послідовного порту
2 SoftwareSerial mySerial(2, 3); // визначаємо входи UART інтерфейсу на платі
3
4 void setup() {
5   pinMode(2, INPUT); // вхід rx приймає дані
6   pinMode(3, OUTPUT); // вхід tx відправляє дані
7   Serial.begin(9600); // відкриваємо hardware-порт
8   mySerial.begin(38400); // відкриваємо software-порт
9 }
10
11 void loop() {
12   if (mySerial.available()) // якщо є доступні дані в software-порт
13   {
14     char c = mySerial.read(); // записуємо їх в змінну
15     Serial.print(c); // відправляємо данні в hardware-порт
16   }
17   if (Serial.available()) // якщо є доступні дані в hardware-порт
18   {
19     char c = Serial.read(); // записуємо їх в змінну
20     mySerial.write(c); // відправляємо данні в hardware-порт
21   }
22 }
```

Рис. 2.9. Програма для налаштування модуля HC-05

Налаштування модуля здійснюється в режимі програмування відправкою AT-команд по послідовному порту. Для входу в режим програмування необхідно подати на контакт KEY сигнал високого рівня. На деяких модулях контакт KEY відсутній, і замість нього контакт EN. В цьому випадку для входу в режим програмування необхідно подати сигнал високого рівня на контакт 34 [16].

Якщо в нас присутній модуль з піном EN, то скоріше за все на ньому встановлена кнопка. За допомогою цієї кнопки можна перейти в режим AT-команд наступним чином:

- затисніть кнопку;
- подайте живлення на модуль;
- через 1-2 секунди відпустіть кнопку, при цьому модуль почне повільно мигати;
- тепер модуль в режимі AT-команд.

Схема підключення модуля для налаштування представлена на рис. 2.10.

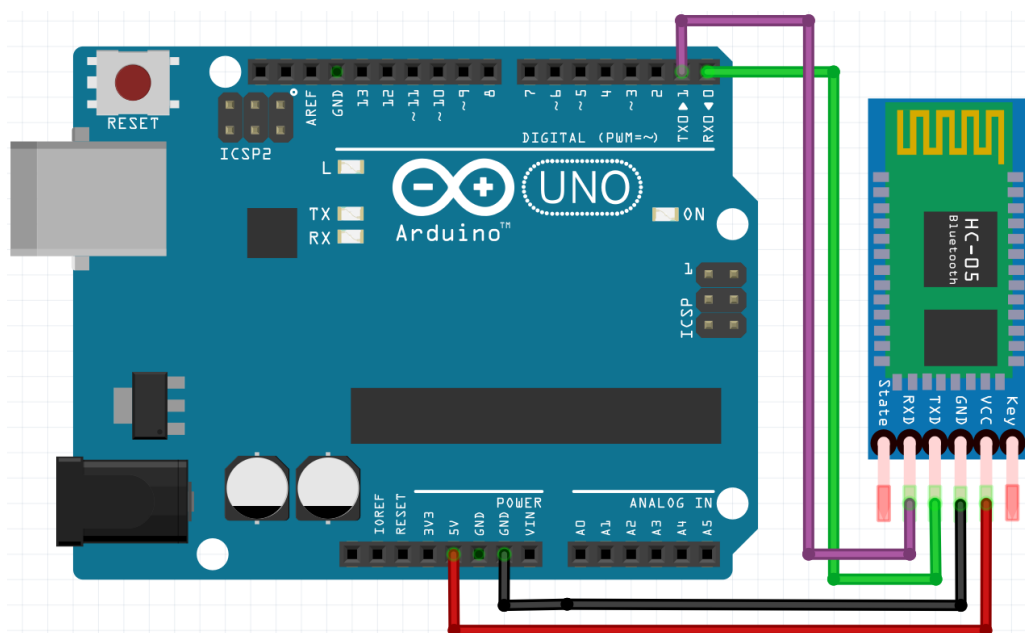


Рис. 2.10. Схема підключення модуля HC-05

Перевіримо перехід в командний режим HC-05:

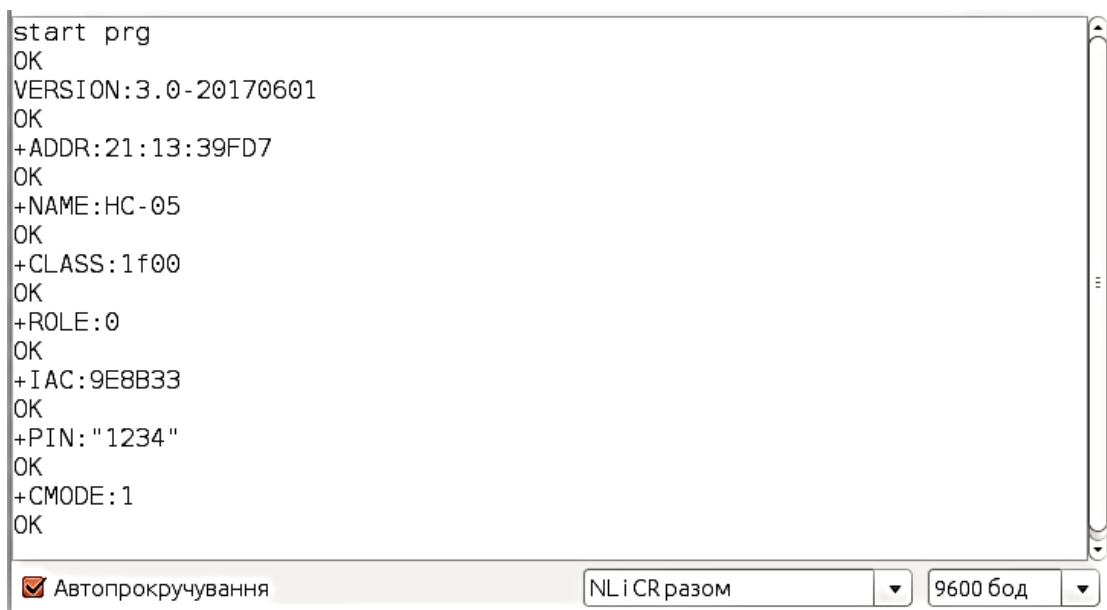
>>: AT

<<: OK

>>: AT + VERSION?

<<: + VERSION: X.X-XXXXXXXX

Також можна протестувати ще декілька команд, щоб впевнитися в переході в режим AT-команд. Зняток екрану з терміналом послідовного порту з введеними командами та відповідями модуля представлено на рис. 2.11.



```
start prg
OK
VERSION:3.0-20170601
OK
+ADDR:21:13:39FD7
OK
+NAME:HC-05
OK
+CLASS:1f00
OK
+ROLE:0
OK
+IAC:9E8B33
OK
+PIN:"1234"
OK
+CMODE:1
OK
```

Автопрокручування NLI CR разом 9600 бод

Рис. 2.11. Відправка команд через термінал послідовного порту

2.3.4. Технічний опис датчиків

Газовий датчик - це пристрій, який визначає наявність або концентрацію газів в атмосфері. На основі концентрації газу датчик виробляє відповідну різницю потенціалів, змінюючи опір матеріалу всередині датчика, який можна виміряти як вихідну напругу. На основі цього значення напруги можна оцінити тип і концентрацію газу.

Тип газу, який датчик може виявити, залежить від чутливого матеріалу, що знаходиться всередині датчика. Зазвичай ці датчики доступні як модулі з компараторами, як показано вище. Ці компаратори можна встановити для певного порогового значення концентрації газу. Коли концентрація газу перевищує цей поріг, цифровий штифт стає високим. Аналоговий штифт можна використовувати для вимірювання концентрації газу [17].

Газові датчики, як правило, класифікуються на різні типи залежно від типу чутливого елемента, з яким він побудований. Нижче наведена класифікація різних типів газових датчиків на основі чутливого елемента, які зазвичай використовуються в різних додатках:

- датчик газу на основі оксиду металу;
- оптичний датчик газу;
- електрохімічний датчик газу;
- датчик газу на основі ємності;
- калориметричний датчик газу;
- датчик газу на акустичній основі.

З усіх вищезазначених типів найбільш часто використовуваним газовим датчиком є напівпровідниковий газовий датчик на основі оксиду металу. Усі датчики газу складатимуться з чутливого елемента, який складається з наступних частин.

- газочутливий шар;
- котушка нагрівача;
- електродна лінія;

- трубчаста кераміка;
- електрод;

На рис. 2.12 зображено будову газового датчика на основі оксиду металу.

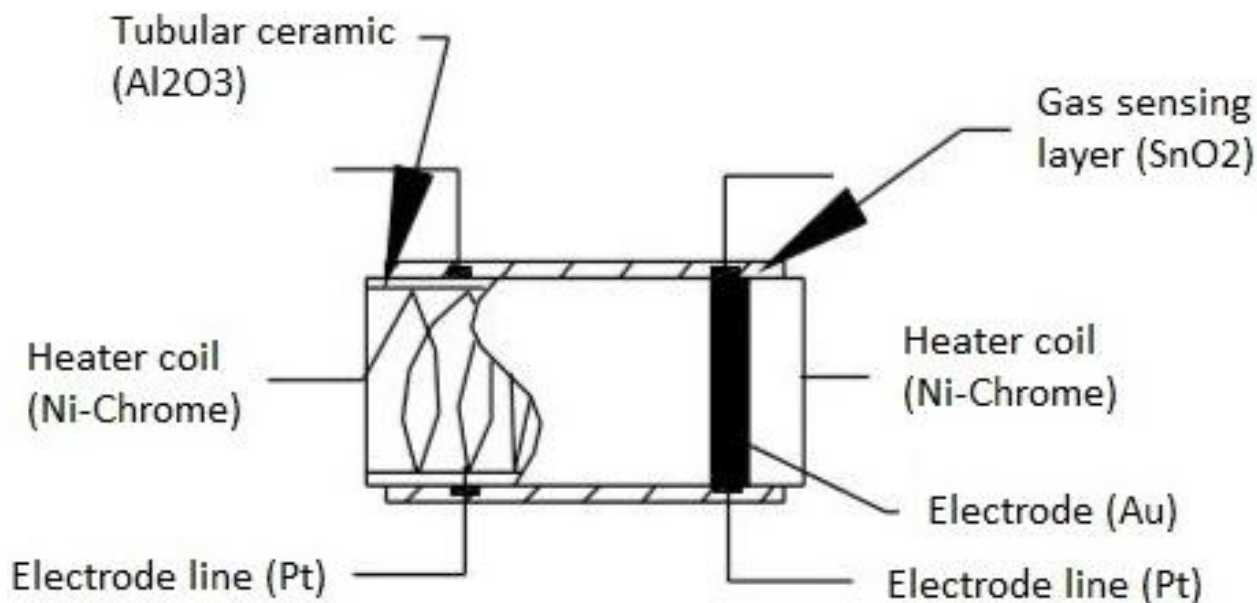


Рис. 2.12. Складові частини метал-оксидного датчика

Призначення кожного з цих елементів є наступним [18]:

а) газочутливий шар: це основний компонент датчика, який може бути використаний для виявлення коливань концентрації газів та генерування зміни електричного опору. Газочутливий шар в основному є хімічним резистором, який змінює значення опору на основі концентрація певного газу в навколишньому середовищі. Тут чутливий елемент складається з діоксиду олова (SnO_2), який, як правило, має надлишкові електрони (донорний елемент). Отже, коли виявляються токсичні гази, опір елемента змінюється, а струм, що проходить через нього, змінюється, що представляє зміну концентрації газів;

б) котушка нагрівача: Призначення котушки нагрівача полягає в прогоранні чутливого елемента, щоб підвищити чутливість та ефективність чутливого елемента. Він виготовлений з нікель-хромового сплаву, який має високу температуру плавлення, так що він може залишатися нагрітим, не розплавляючись;

в) електродна лінія: Оскільки чутливий елемент виробляє дуже малий струм при виявленні газу, важливіше підтримувати ефективність передачі цих малих

струмів. Отже, платинові дроти вступають у гру, де це допомагає ефективно рухати електрони;

г) електрод: Це перехід, де вихідний сигнал сенсорного шару підключений до електродної лінії. Так що вихідний струм може надходити до необхідної клеми. Електрод тут виготовлений із золота (Au – Aurum), який є дуже хорошим провідником;

д) трубчаста кераміка: між котушкою нагрівача та шаром, що відчуває газ, існує трубчаста кераміка, яка виготовлена з оксиду алюмінію (Al_2O_3) Оскільки він має високу температуру плавлення, він допомагає підтримувати прогорання (попереднє нагрівання) сенсорного шару, що забезпечує високу чутливість сенсорного шару для отримання ефективного вихідного струму;

е) сітка над чутливим елементом: Для захисту чутливих елементів та установки над нею використовується металева сітка, яка також використовується для уникнення / утримання частинок пилу, що потрапляють у сітку, та запобігання пошкодженню газочутливого шару від їдких частинок.

Здатність газового датчика виявляти гази залежить від хімічного резистру, який проводить струм. Найбільш часто використовуваним хімічним резистором є діоксид олова (SnO_2), який є напівпровідником n-типу, що має вільні електрони (також званий донором). Зазвичай атмосфера буде містити більше кисню, ніж горючі гази. Частинки кисню притягують вільні електрони, присутні в SnO_2 , що виштовхує їх на поверхню SnO_2 . Оскільки вільних електронів немає, вихідний струм буде нульовим.

Коли датчик розміщений у середовищі токсичних або горючих газів, цей відновлюючий газ (помаранчевий колір) реагує з адсорбованими частинками кисню і розриває хімічний зв'язок між киснем і вільними електронами, таким чином звільняючи вільні електрони. Оскільки вільні електрони повертаються у вихідне положення, тепер вони можуть проводити струм, ця провідність буде пропорційною кількості вільних електронів, доступних у SnO_2 , якщо газ сильно токсичний, буде доступно більше вільних електронів.

2.3.5. Датчики MQ-6 та MQ-135

Датчики MQ-6 та MQ-135 є компонентами однієї серії, тому мають багато спільного в своїй будові та принципі дії. Єдиною відмінністю є їхня різна чутливість до різних типів хімічних сполук. Враховуючи це, ми розглянемо датчики, що застосовані при даній роботі, як одні й ті самі.

MQ-6 (див. рис. 2.13) - це простий у використанні датчик скрапленого нафтового газу (LPG), придатний для контролю концентрацій у повітрі. MQ-6 може виявляти концентрації газу від 200 до 10000 ppm [19].

Характеристики датчика зрідженого газу (MQ6):

- висока чутливість до зрідженого газу, ізобутану, пропану;
- мала чутливість до алкоголю, диму;
- діапазон виявлення: 100 - 10000 ppm ізобутану пропану;
- час швидкої реакції: <10 с;
- проста схема підключення;
- напруга нагрівача: 5,0 В.



Рис. 2.13. Загальний вигляд модулів та датчиків серії MQ

Газовий датчик MQ-6 може виявляти або вимірювати такі гази, як зріджений газ та бутан.

MQ-135 – це датчик якості повітря для виявлення широкого спектру газів, включаючи NH_3 , NO_x , алкоголь, бензол, дим та CO_2 . Ідеально підходить для

використання в офісі чи на заводі. Газовий датчик MQ135 має високу чутливість до аміаку, сульфідної та бензольної пари, також чутливий до диму та інших шкідливих газів. Він має низьку вартість і особливо підходить для моніторингу якості повітря.

Модуль датчика постачається з цифровим штифтом, завдяки якому цей датчик працює навіть без мікроконтролера, і це стає в нагоді, коли ви намагаєтеся виявити лише один конкретний газ. Коли справа доходить до вимірювання газу в проміле, слід використовувати аналоговий пін, який також керується TTL і працює від 5В, а отже, його можна використовувати з більшістю поширених мікроконтролерів.

За допомогою датчика MQ виявити газ дуже просто. Для цього можна використовувати цифровий або аналоговий пін. Просто підключіть модуль до 5 В, і ви помітите, що світлодіод живлення на модулі світиться, і коли до тих пір, поки концентрація газу не перевищила поріг, інший, сигнальний, світлодіод залишатиметься вимкненим, тобто цифровий вихідний пін не матиме потенціалу. Пам'ятайте, що ці датчики слід тримати увімкненими протягом певного часу для їхнього попереднього нагрівання, перш ніж ви зможете з ними працювати. Тепер введіть датчик у газ, який ви хочете виявити, і ви побачите, що сигнальний світлодіод світиться, а на цифровому піні присутній високий сигнал.

Тепер кожного разу, коли ваш датчик контактує з цим газом в цій конкретній концентрації, цифровий пін стає високим (5В), а інакше сигнал на ньому залишатиметься низьким (0В).

Ви також можете використовувати аналоговий пін, щоб досягти того самого. Зчитуйте аналогові значення (0-5В) за допомогою мікроконтролера, це значення буде прямо пропорційне концентрації газу, яку датчик виявляє. Ви можете проекспериментувати з цими значеннями і перевірити, як датчик реагує на різну концентрацію газу, і відповідно розробити свою програму.

Якщо ви бажаєте певної точності в показаннях, тоді найкращим способом буде підрахувати PPM. Це також може допомогти вам відрізнити один газ від іншого. Тож для вимірювання PPM ви можете безпосередньо використовувати модуль.

Стандартна схема підключення датчика до плати Arduino показана на рис. 2.14.

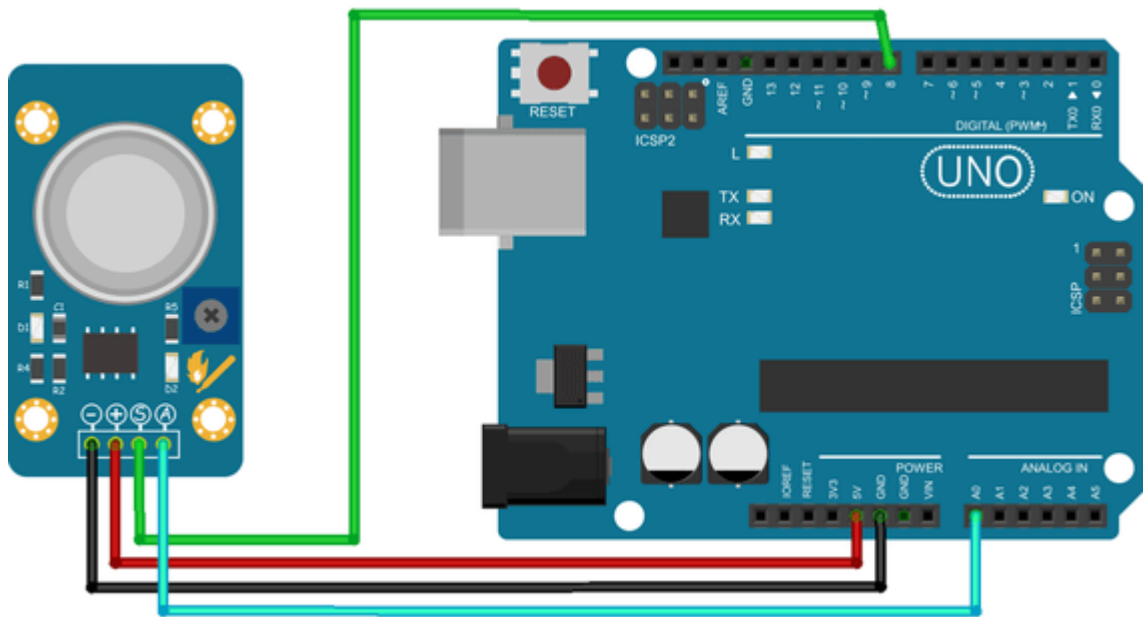


Рис. 2.14. Схема підключення модуля з датчиком MQ до Arduino

Опис виводів модуля з датчиком MQ представлено на малюнку 2.15.

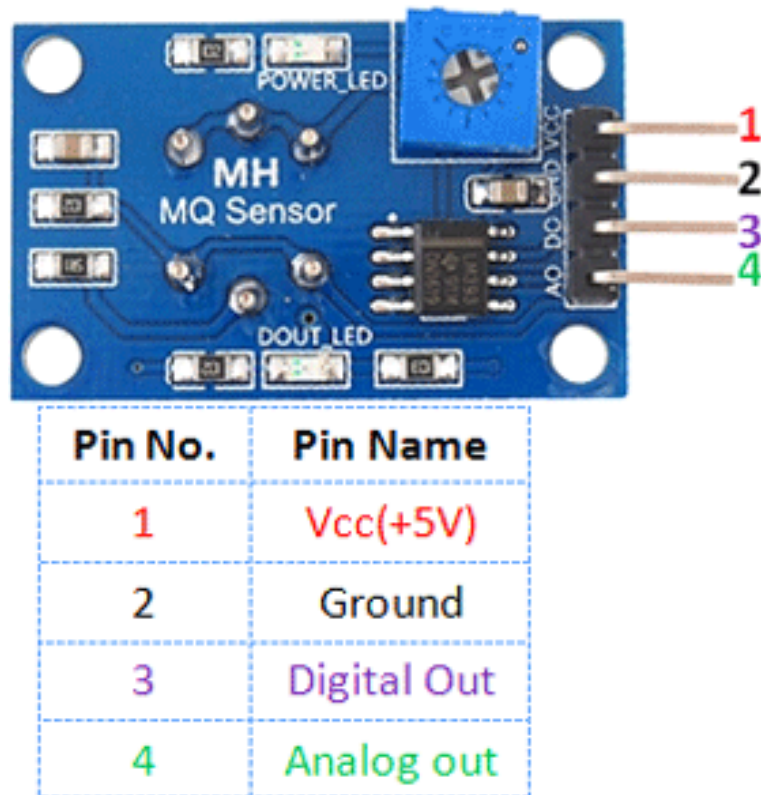


Рис. 2.15. Призначення виводів модуля датчика MQ

2.3.6. Датчик PMS1003

Лазерний датчик забруднення повітря PM2.5 PMS1003 (див. рис. 2.16) - представник універсальних цифрових оптичних (лазерних) датчиків пилу в повітрі третього покоління. Особливістю датчика є висока точність підрахунку кількості частинок, досягнута за рахунок внутрішньої обробки сигналу реєстратора пилу високопродуктивним мікроконтролером Cypress CY8C4245. Датчик оснащений послідовним UART інтерфейсом з рівнем 3.3В, що дозволяє використовувати його з 5В і 3В мікроконтроллерами [20].



Рис. 2.16. Датчик PMS1003 у захисній плівці та з кабелем

Нумерація пінів датчика PMS1003 показана на рис. 2.17, а їхнє призначення наведене в таблиці 2.4.



Рис. 2.17. Датчик PMS1003 у захисній плівці та з кабелем

Опис виводів датчика PMS1003

Номер піна	Назва	Функція, яку виконує
Pin 1	VCC	Плюсовий вхід
Pin 2	GND	Мінусовий вхід
Pin 3	SET	Режим роботи (1 - очікування, 2 - робочий)
Pin 4	RXD	Отримання даних
Pin 5	TXD	Передача даних
Pin 6	RESET	Скидання
Pin 7/ 8	NC	Не під'єднуються

Технічні характеристики датчика наступні:

- одиниці виміру: мкг/м³;
- діапазони вимірювання: від 0.3 до 1.0; від 1.0 до 2.5; від 2.5 до 10 (мкм);
- точність підрахунку: 50%@0.3um 98% @> = 0.5 мкм;
- час відгуку : ≤ 10 сек;
- напруга живлення: 5В;
- споживаний робочий струм: 120 мА;
- струм в режимі очікування: 200 мкА;
- робочий діапазон температур: від -20 до + 50 ° С;
- робочий діапазон вологості: від 0 до 99%;
- середній час напрацювання на відмову: 3 років;
- розміри: 65 x 42 x 23 мм.

Внутрішня будова датчика зображена на рис. 2.18.

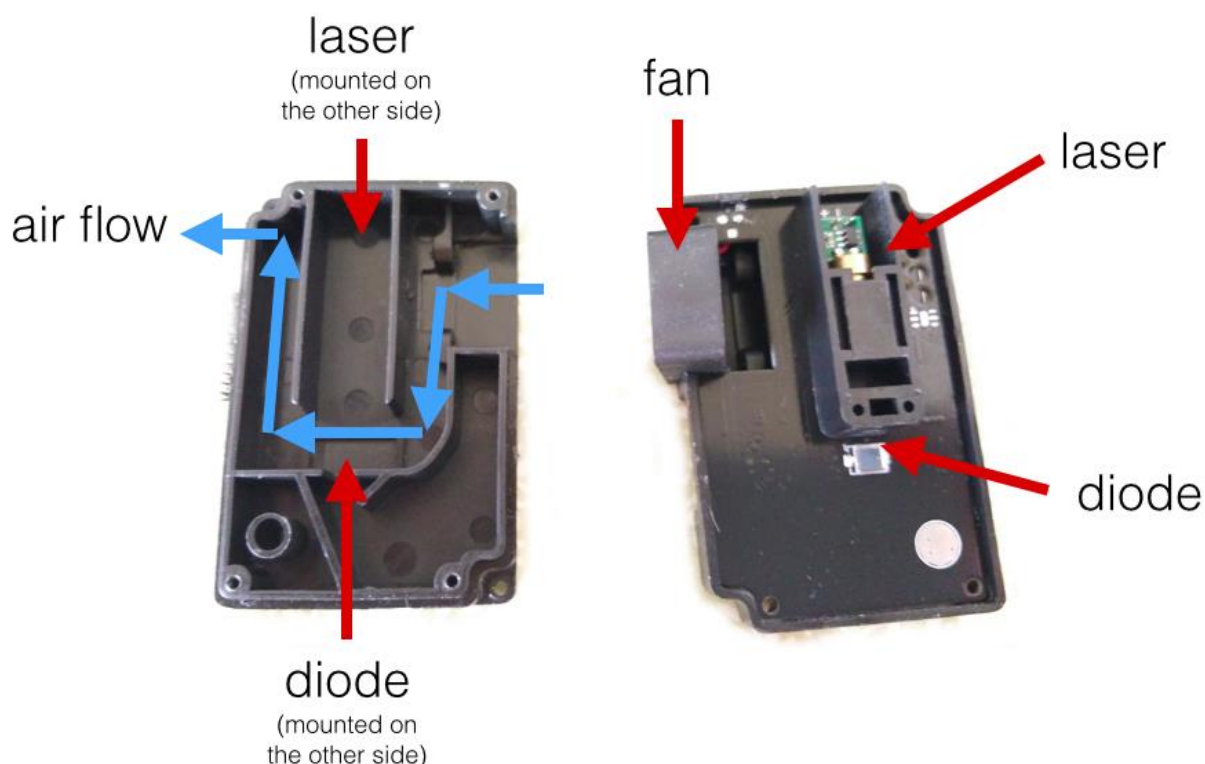


Рис. 2.18. Вигляд внутрішньої будови датчика PMS1003

2.3.7. Підвищуючий перетворювач MT3608

MT3608 - це 6-контактний з фіксованою частотою в поточному режимі підвищуючий перетворювач, призначений для малих проектів з низьким вхідним навантаженням. MT3608 перемикається на 1,2 МГц і дозволяє використовувати крихітні, недорогі конденсатори та індуктори висотою 2 мм або менше [21].

Внутрішній плавний пуск призводить до малого пускового струму та продовжує термін служби акумулятора. MT3608 має автоматичний перехід на імпульсний режим частотної модуляції при невеликих навантаженнях.

MT3608 включає блокування під напругою, струм обмеження та захист від теплового перевантаження для запобігання пошкодження в разі перевантаження вихідного сигналу. MT3608 доступний у невеликому 6-контактному форм-факторі SOT-23.

Перетворювач виконаний на мікросхемі "MT3608", яка має низький струм в режимі спокою (коли не підключена навантаження), також у модуля зовсім

невеликий розмір, тому його можна застосовувати в переносних пристроях з живленням від батареї.

Мікросхема містить термо-захист, яка відключає її при 155 градусах.

Характеристики DC-DC перетворювача на "MT3608":

- вхідна напруга постійного струму, В: 2-24;
- вихідну напругу постійного струму, В: 5-28;
- вихідний струм: 2 А (макс.);
- споживаний струм в спокої (без навантаження): 2.2 мА;
- споживаний струм у вимкненому режимі (при подачі логічного "0" на вхід "EN"): 1 мкА;
- ефективність перетворення, %: до 97;
- фіксована частота перетворення: 1,2 МГц;
- температура спрацьовування термо-захисту м/сх: 155 градусів;

Принцип роботи.

MT3608 використовує фіксовану частоту, що дозволяє через архітектуру регулятора посилювати піковий струм для регулювання напруги на контакті зворотного зв'язку. На початку кожного генератора циклу MOSFET вмикається через схему регуляції. Для запобігання субгармонійних коливань при довжині робочого циклу більше 50 відсотків, стабілізуюча рампа додається до виводу поточного сенсу підсилювача і результат подається на негативний вхід ШІМ-компаратора. Коли ця напруга дорівнює вихідній напрузі підсилювача похибки, потужний MOSFET вимкнено. Напруга на виході підсилювач помилок - це посилена версія різниці між опорною частотою 0,6 В напруги та напруги зворотного зв'язку. Таким чином піковий рівень струму підтримує вихід на регулюванні. Якщо напруга зворотного зв'язку починає падати, вихідний сигнал підсилювача помилок збільшується. Це призводить до більшого струму, що протікає через силовий MOSFET, таким чином збільшення потужності, що подається на вихід. MT3608 має внутрішній плавний пуск для обмеження кількості вхідного струму при запуску, а також обмежити величину перевитрати на виході [22].

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

3.1. Розробка структурної схеми системи

Для подальшого виконання роботи необхідно розробити схему пристрою яка міститиме основні компоненти, і призначена для відображення загальної структури пристрою, тобто його основних блоків, вузлів, частин та головних зв'язків між ними. Із структурної схеми повинно бути зрозуміло, навіщо потрібний даний пристрій і як він працює в основних режимах роботи, як взаємодіють його частини.

Структурна схема представлена на рис. 3.1.

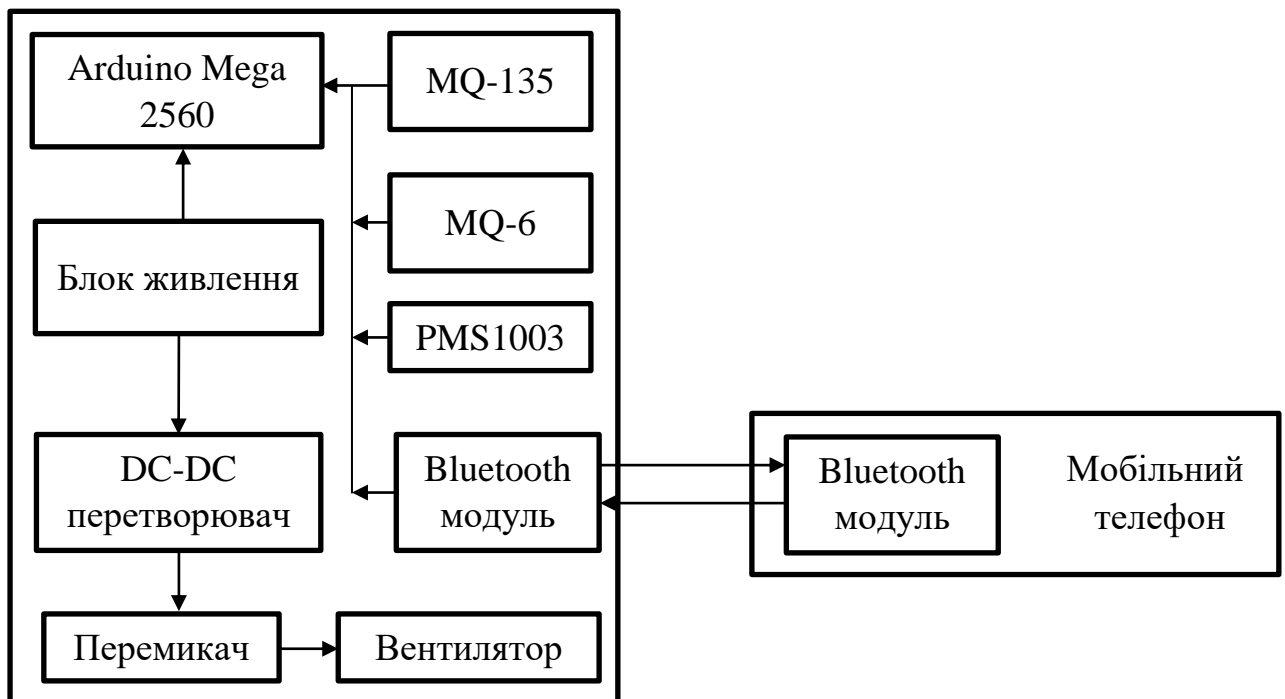


Рис. 3.1. Структурна схема перетворювача МТ3608

3.2. Розробка схеми підключення

На рис. 3.2 ми можемо побачити схему підключення основного блоку.

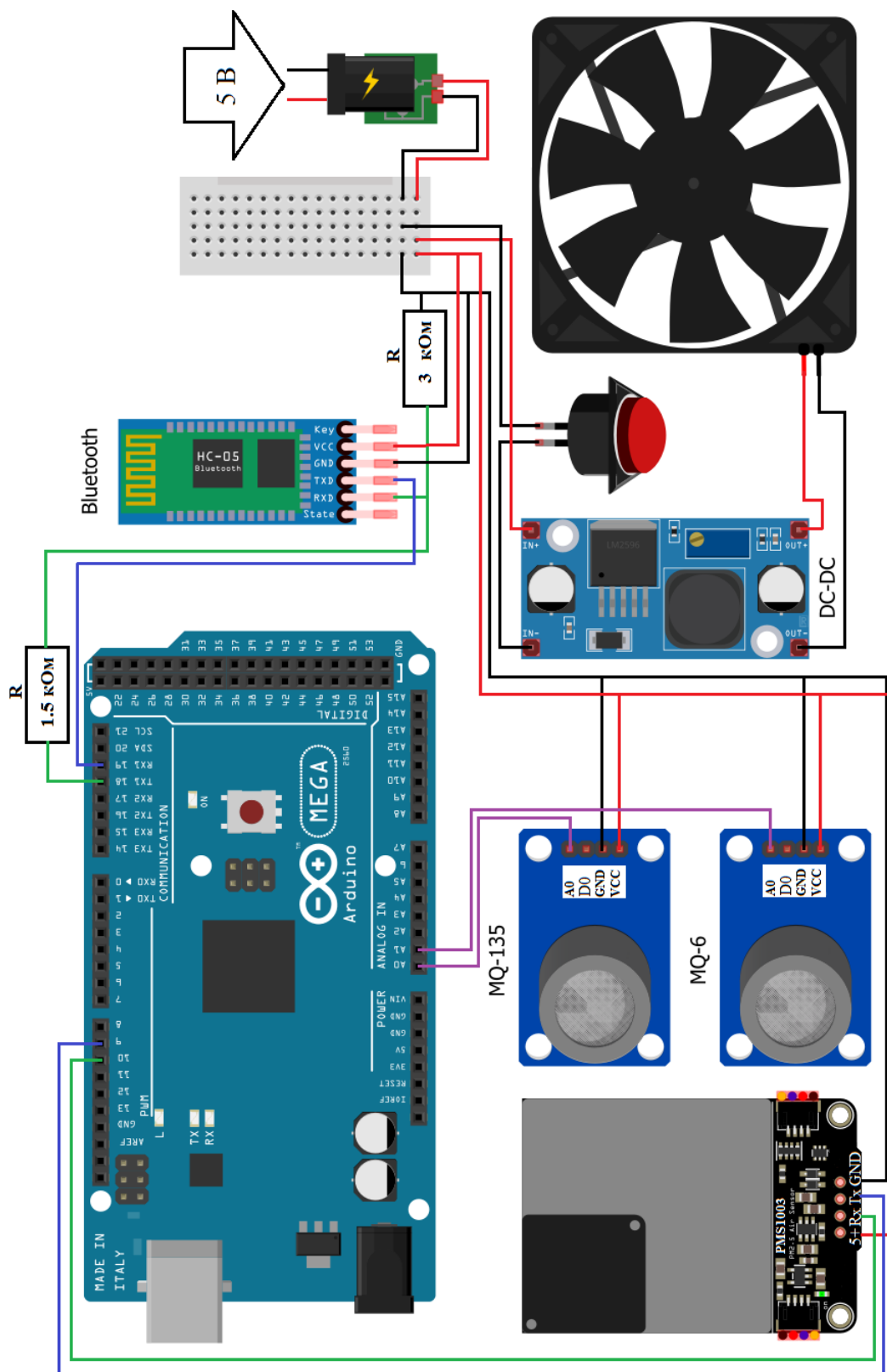


Рис. 3.2. Схема підключення пристрою

3.3. Розробка принципової схеми

На рис. 3.3 ми можемо побачити принципову схему основного блоку.

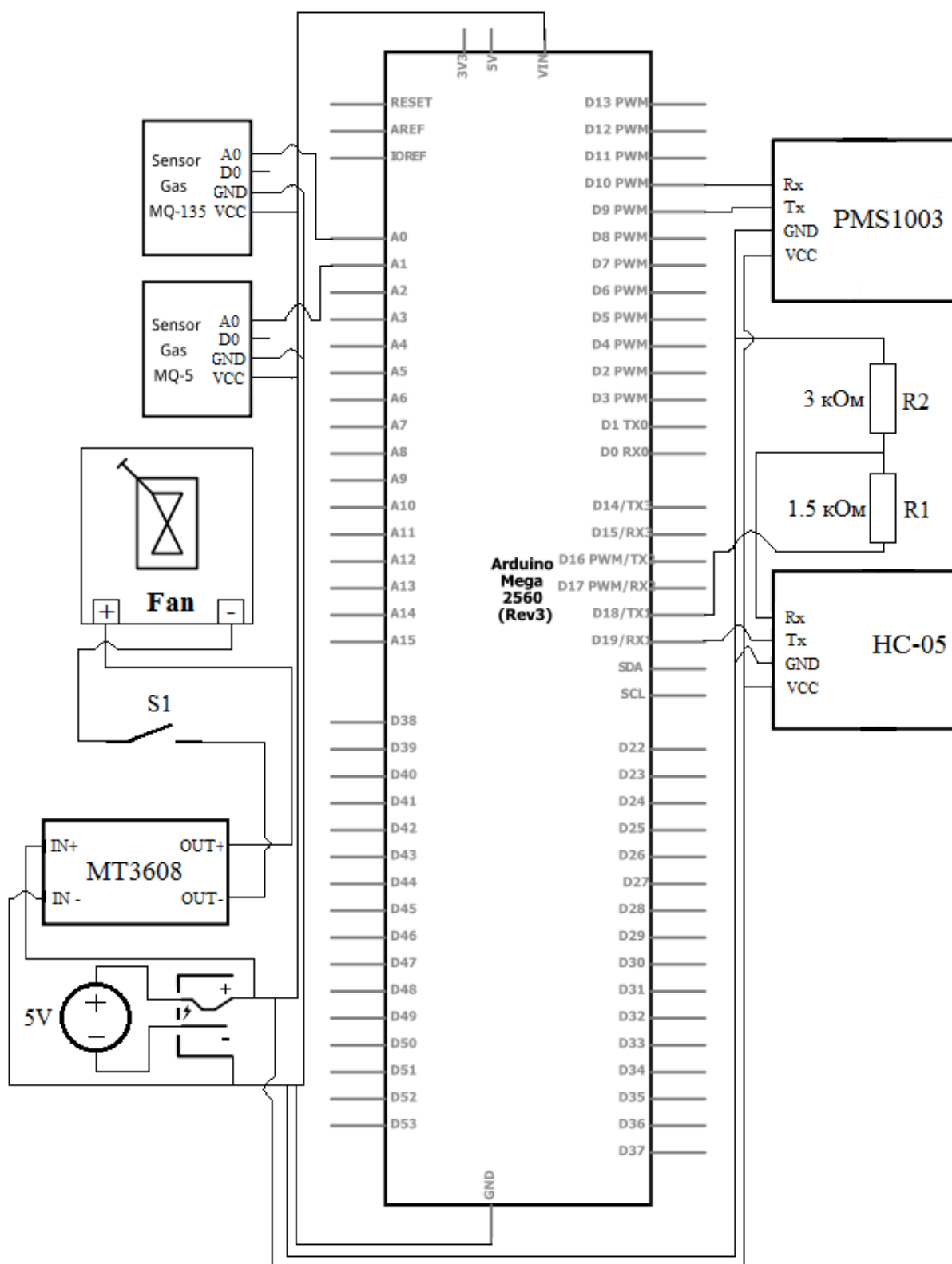


Рис. 3.3. Схема принципова пристрою

РОЗДІЛ 4

ОПИС АЛГОРИТМІВ ТА ПРОГРАМ

4.1. Опис алгоритму роботи пристрою

З метою візуальної демонстрації роботи системи був розроблений алгоритм її роботи у вигляді блок-схеми.

Перейдемо до опису алгоритму:

а) для початку нам необхідно підключити живлення до блоку детектування, а також активувати модуль Bluetooth та відкрити додаток на телефоні, який відобразатиме дані;

б) на наступному етапі відбувається ініціалізація мікроконтролера та датчиків. Через певний проміжок часу вони виходять на робочий режим.

в) після цього ми можемо починати встановлення з'єднання блоку детектування з телефоном. Для цього необхідно відкрити додаток та вибрати пристрій, до якого ми хочемо підключитися. Після цього в додатку відкриється вікно з полями, в яких вказано назву датчика та поля, в яких мають відобразитися дані. Натиснувши кнопку підключення праворуч внизу, ми повинні отримати сигнал про успішне підключення у вигляді короткочасного спрацювання вібротелера телефону;

г) після успішного підключення ми почнемо отримувати дані від датчиків, які відобразатимуться у відповідних полях.

Алгоритм роботи зображено на рис. 4.1.

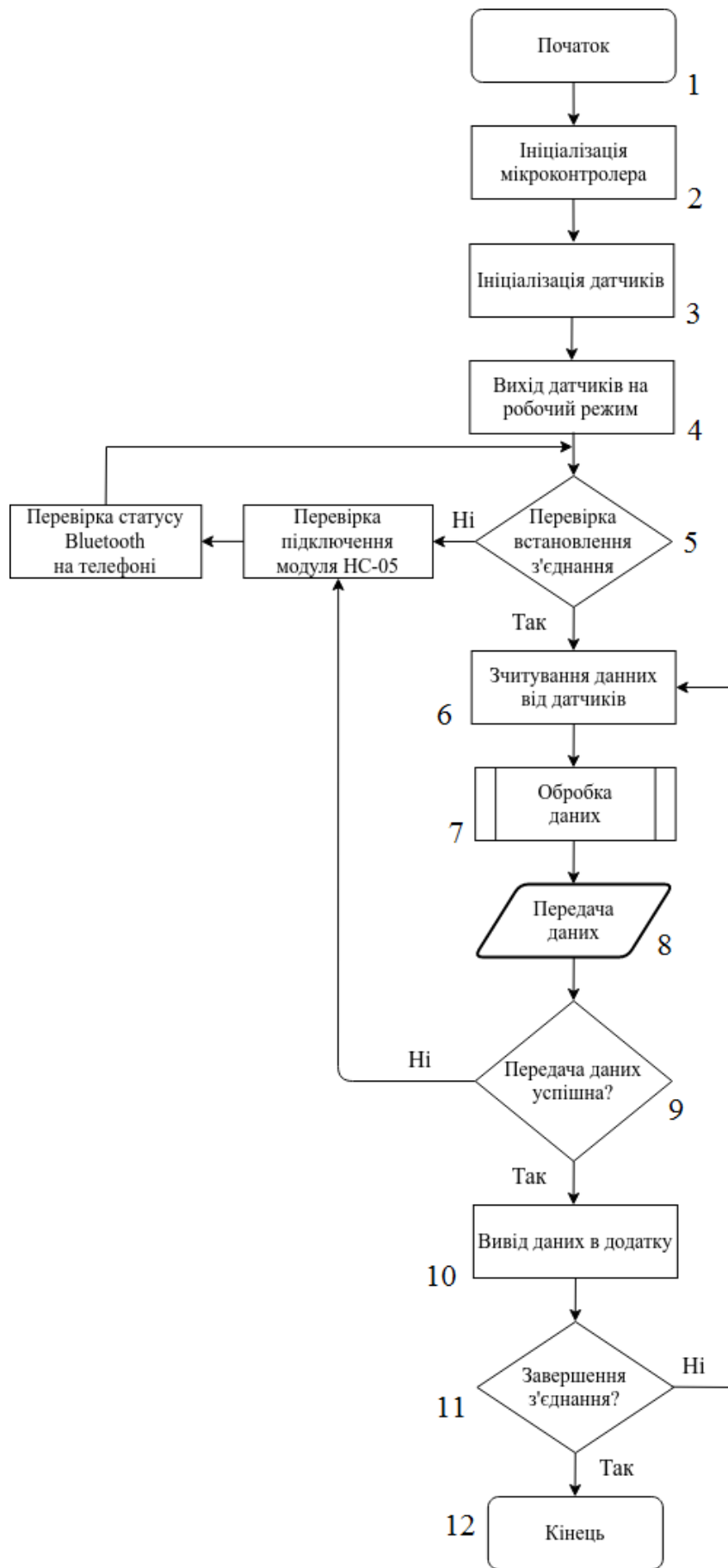


Рис. 4.1. Блок-схема алгоритму роботи пристрою

4.2. Опис програмного коду пристрою

Програмний код є невід'ємною частиною будь-якого пристрою, який містить в собі керуючий мікроконтролер. Можливість програмування мікроконтролера надає розробнику змогу створити пристрій з максимально подібними до поставлених у технічному завданні характеристиками. Код визначає роботу пристрою на найменших деталях.

Перейдемо до опису коду, який застосовується при роботі нашого приладу.

Спочатку нам необхідно ініціалізувати змінні які будуть зберігати показання датчиків, використовуватися при обчисленні необхідних показників, а також створити послідовні програмні порти, які дозволять передавати дані датчику PMS1003 та модулю Bluetooth:

```
#include <Arduino.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#define LENG 31 //0x42 + 31 bytes equal to 32 bytes

unsigned char buf[LENG];
int PM_1_Value = 0; //define PM1.0 value of the air detector module
int PM_2_5_Value = 0; //define PM2.5 value of the air detector module
int PM_10_Value = 0; //define PM10 value of the air detector module

SoftwareSerial BTserial(19, 18); // RX | TX
SoftwareSerial PMSerial(10, 9); // RX, TX

float MQ135_volt;
float MQ6_volt;
float RS_CO2_135;
float R0_135;
float RS_CO2_6;
float R0_6;
```

```
float Slope;  
float Y_intercept;  
float Y_Value_135;  
float Y_Value_6;  
float MQ_135_Pin = A0;  
float MQ_135_Value = 0;  
float MQ_6_Pin = A1;  
float MQ_6_Value = 0;
```

Наступною невід’ємною частиною програми є функція `void setup ()` – в ній зберігаються команди мікроконтролеру, які виконуються лише раз, і дають можливість нашому коду взяти участь в ініціалізації системи. Також тут ми можемо встановити конкретним виводам плати режим роботи – як вхід, або як вихід:

```
void setup()  
{  
Serial.begin(9600);  
BTserial.begin(9600);  
  
PMSerial.begin(9600);  
PMSerial.setTimeout(1500);  
  
pinMode(MQ_135_Pin, INPUT);  
pinMode(MQ_6_Pin, INPUT);  
}
```

Після функції `void setup ()` йде друга невід’ємна частина коду будь-якої програми (скетчу) – функція `void loop ()`. Ця функція є по своїй суті безкінечним циклом, код в якому виконуватиметься раз за разом мільйони разів на секунду до тих пір, поки присутнє живлення плати та мікроконтролера.

Розділимо код у функції на декілька логічних блоків, та пояснимо кожен окремо.

Першим таким блоком є блок перевірки передачі даних від датчика PMS1003 в мікроконтролер. Для цього датчик поміщає в кінець блоку даних спеціальний байт, який є свого роду маркером того, що дані надійшли саме від цього конкретного датчика. Після цього в три змінні, кожна з яких відповідає певному розміру часток, записується обраховане значення їх кількості, обраховане в окремих функціях.

```
if (PMSerial.find(0x42))
{
  PMSerial.readBytes(buf, LENG);

  if (buf[0] == 0x4d)
  {
    if (checkValue(buf, LENG))
    {
      PM_1_Value = transmitPM_1(buf); //count PM1.0 value of the air detector module
      PM_2_5_Value = transmitPM_2_5(buf); //count PM2.5 value of the air detector
module
      PM_10_Value = transmitPM_10(buf); //count PM10 value of the air detector module
    }
  }
}
```

Наступним логічним блоком є обробка сигналу для датчиків MQ-6 та MQ-135.

```
MQ_135_Value = analogRead(MQ_135_Pin);  
MQ_6_Value = analogRead(MQ_6_Pin);  
MQ135_volt = MQ_135_Value * (5.0 / 1023.0);  
MQ6_volt = MQ_6_Value * (5.0 / 1023.0);  
RS_CO2_135 = ((5.0 * 32850) / MQ135_volt) - 32850;  
RS_CO2_6 = ((5.0 * 32850) / MQ6_volt) - 32850;  
R0_135 = 1004817;  
R0_6 = 666405;
```

```
Slope = -0.370955166;  
Y_intercept = 0.7597917824;  
Y_Value_135 = RS_CO2_135 / R0_135;  
Y_Value_6 = RS_CO2_6 / R0_6;
```

```
double ppm_135 = pow(10, (log10(Y_Value_135) - Y_intercept) / Slope);  
double ppm_6 = pow(10, (log10(Y_Value_6) - Y_intercept) / Slope);
```

Після обробки усіх сигналів, ми можемо почати передавати їх у додаток по Bluetooth.

Передача показників датчиків MQ-6 та MQ-135:

```
BTserial.print(ppm_135);  
BTserial.print(",");  
BTserial.print("PPM");  
BTserial.print(",");  
BTserial.print(ppm_6);  
BTserial.print(",");  
BTserial.print("PPM");  
BTserial.print(",");
```

Передача показників датчика PMS1003:

```
static unsigned long OledTimer = millis();
if (millis() - OledTimer >= 1000)
{
    OledTimer = millis();

    int letter_micro = 181; // ASCII код символу грецької літери мю

    BTserial.print(PM_1_Value);
    BTserial.print(" ");
    BTserial.write(letter_micro);
    BTserial.print("g/m3");
    BTserial.print(",");

    BTserial.print(PM_2_5_Value);
    BTserial.print(" ");
    BTserial.write(letter_micro);
    BTserial.print("g/m3");
    BTserial.print(",");

    BTserial.print(PM_10_Value);
    BTserial.print(" ");
    BTserial.write(letter_micro);
    BTserial.print("g/m3");
    BTserial.print(";");
}
```

Останньою частиною коду є функції, які підраховують конкретне значення для кожного розміру часток:

```
char checkValue(unsigned char *thebuf, char leng)
{
    char receiveflag = 0;
    int receiveSum = 0;
    for (int i = 0; i < (leng - 2); i++) {
        receiveSum = receiveSum + thebuf[i];
    }
    receiveSum = receiveSum + 0x42;
    if (receiveSum == ((thebuf[leng - 2] << 8) + thebuf[leng - 1])) //check the serial data
    {
        receiveSum = 0;
        receiveflag = 1;
    }
    return receiveflag;
}

int transmitPM_1(unsigned char *thebuf)
{
    int PM_1_Val;
    PM_1_Val = ((thebuf[3] << 8) + thebuf[4]); //count PM1.0 value of the air detector
module
    return PM_1_Val;
}

int transmitPM_2_5(unsigned char *thebuf)
{
    int PM_2_5_Val;
    PM_2_5_Val = ((thebuf[5] << 8) + thebuf[6]); //count PM2.5 value of the air detector
module
    return PM_2_5_Val;
}
```

```

}
int transmitPM_10(unsigned char *thebuf)
{
    int PM_10_Val;
    PM_10_Val = ((thebuf[7] << 8) + thebuf[8]); //count PM10 value of the air detector
module
    return PM_10_Val;
}

```

4.3. Складання і перевірка макету реально діючого пристрою

Компоненти системи були поміщені у виготовлений на фабриці корпус з пластику. Стандартно він має щілини для притоку і відтоку повітря. З метою покращення циркуляції повітря через корпус, було додатково просвердлено декілька десятків отворів. Також були просвердлені отвори для кріплення компонентів.

Зібраний пристрій продемонстровано на рис. 4.2, 4.3, 4.4 та 4.5.

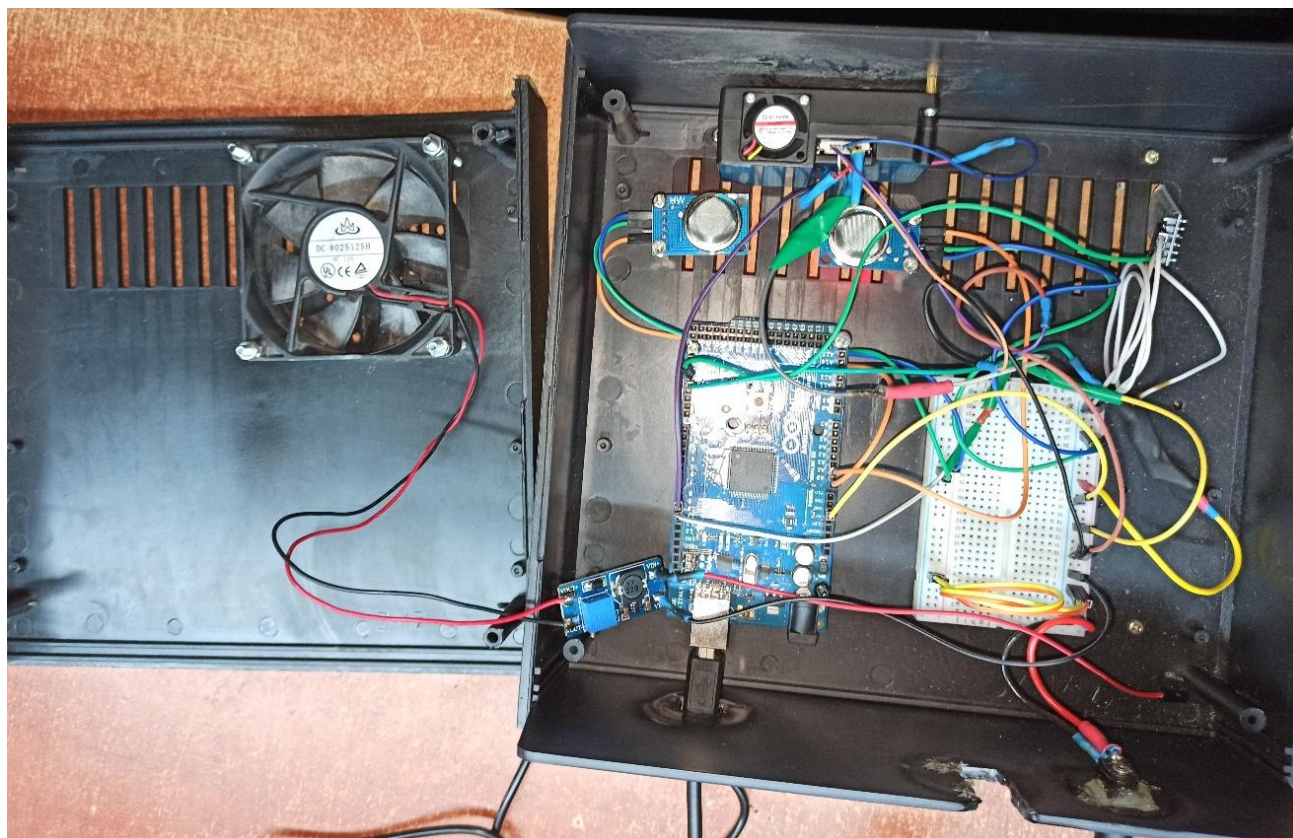


Рис. 4.2. Прилад зі знятою кришкою

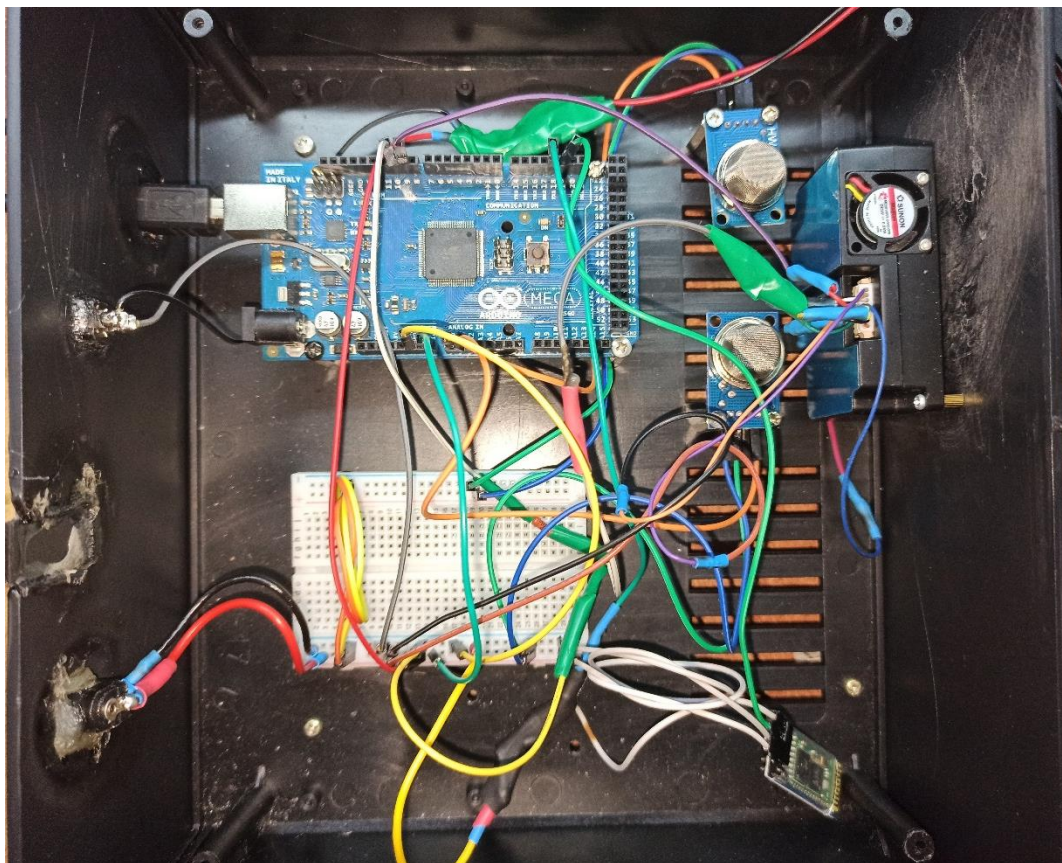


Рис. 4.3. Розміщення компонентів в середині корпусу



Рис. 4.4. Кріплення компонентів та стійок

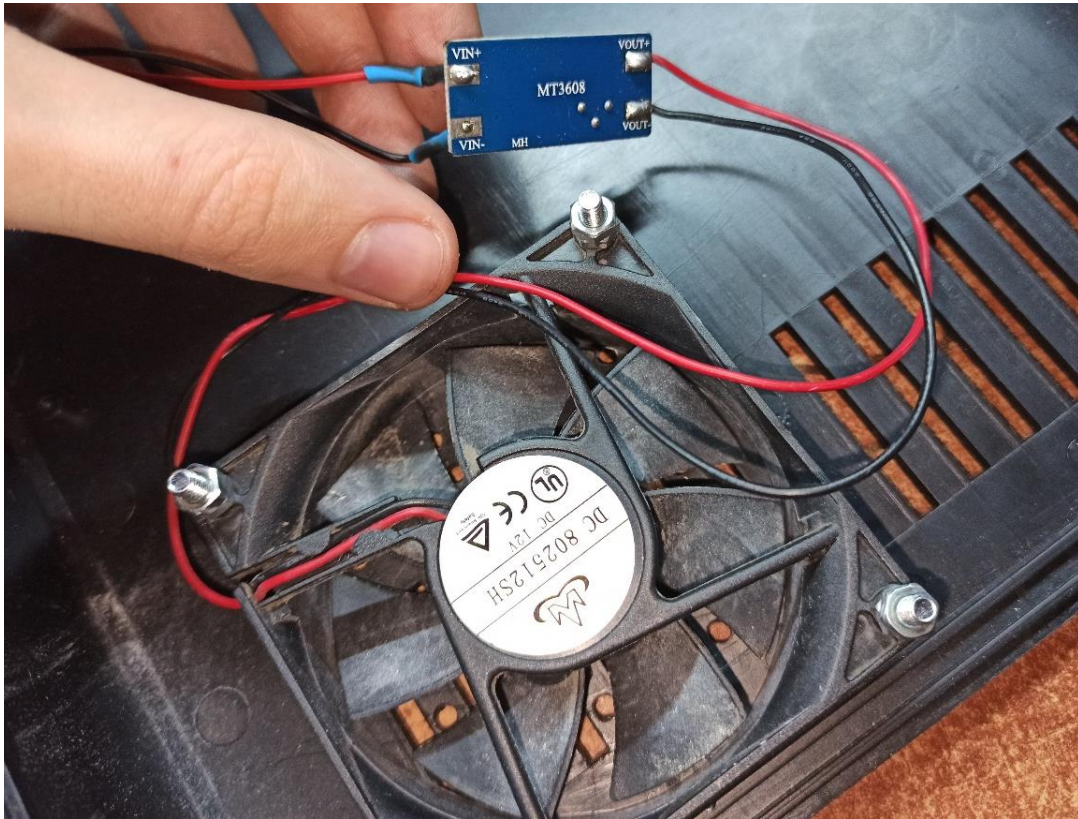


Рис. 4.5. Кришка з закріпленим вентилятором та підвищувачим перетворювачем

ВИСНОВКИ

Забруднювачі повітря в приміщеннях негативно впливають на здоров'я людини. Різні міжнародні агентства мають постійно розробляються кількісні керівні принципи та стандарти якості повітря для задоволення вимог до належного управління якістю повітря в приміщеннях. Цей документ мав на меті краще зрозуміти існуюче основні стандарти та рекомендації, що стосуються забруднювачів повітря у приміщеннях та їх впливу на здоров'я. Було розглянуто різний граничний діапазон для виявлених забруднюючих речовин, рівні застосування, застосовувані люди та експлуатаційні процедури кожного з них.

Для широкомасштабного впровадження управління якістю повітря це дослідження вказує на те, що важливість моніторингу якості повітря в режимі реального часу при просторових та часових дозволах даних не можна занижувати. Крім того, у цій роботі також розглянуто існуючі технології LCAQS та обговорено відповідні специфікації, такі як типовий діапазон виявлення, допуск або повторюваність вимірювань, роздільна здатність даних, час відгуку, струм постачання та ринкова ціна. LCAQS змінили парадигму моніторингу забруднення повітря в приміщеннях і можуть надати корисну інформацію. Ця технологія не вважається достатньо вдосконаленою, щоб застосовувати її для регуляторних цілей у великих масштабах через обмеження їх надійності, повторюваності та відсутності широко прийнятого протоколу для випробувань та використання. Порівняно з датчиками дрібних твердих частинок, газоподібні датчики, як правило, працюють з додатковою невизначеністю та варіацією даних. Існує потреба в уніфікованих галузевих протоколах контролю якості / контролю якості для аналізу та перевірки загальної ефективності LCAQS. Нарешті, цей систематичний огляд стосувався вимог майбутніх дослідницьких та проектних практик з метою захисту здоров'я мешканців та досягнення оптимальної якості навколишнього середовища в приміщенні.

Під час виконання кваліфікаційної роботи було розроблено систему контролю якості повітря на базі платформи Arduino, сумісних з нею компонентів та телефону на базі ОС Android з додатком.

У процесі перегляду літератури було встановлено, що кількість та різноманіття систем для контролю якості повітря продовжує зростати в геометричній прогресії, що може призвести до усестороннього поширення дешевих та якісних приладів по всьому світу.

В результаті аналізу стандартів побудови систем контролю якості повітря зроблено висновок про доцільність використання безпроводних технологій, а також встановлено, що для обміну даними в таких системах у всьому світі надаються неліцензовані радіочастотні діапазони, які можуть використовуватися без оформлення спеціального дозволу і абсолютно безкоштовно за умови дотримання вимог щодо ширини смуги, випромінюваної потужності.

Описано принцип роботи датчиків детекції летючих сполук та часток надмалого розміру..

На основі проведеного аналізу сучасного ринку систем контролю якості повітря та датчиків, що в них використовуються, запропоновано апаратно-програмний комплекс контролю якості повітря на базі доступних елементів.

Здійснено вибір апаратної платформи для реалізації запропонованого методу, а також розроблено структурну та електричну принципову схему керуючого блоку, який дозволяє здійснювати моніторинг якості повітря місця, в якому розташований.

На базі запропонованого методу розроблено алгоритм роботи головного модуля системи та на його основі - програмне забезпечення.

Описано загальну структуру системи та її функціональних модулів та розроблено експериментальну модель системи.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ - Попов Н.С. - Электрон. аналог друк. вид.: режим доступу: <http://vuzmen.com/book/845-metody-i-pribory-kontrolya-okruzhayushhej-sredy-yekologicheskij-monitoring-popov-ns/7-13-metody-i-sredstvanbsp-nablyudeniya-i-kontrolya-za-sostoyaniem-okruzhayushhej-sredy.html> (дата звернення 08.06.2021 р). – Назва з екрану.
2. SaveEcoSensor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.savednipro.org/product/stanciya-monitoringu-yakosti-povitrya/> (дата звернення 08.06.2021 р). – Назва з екрану.
3. AQMesh [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://aep.kiev.ua/shop/portable_air_quality_monitoring/aqmesh-sistema-monitoring-kachestva-vozduha/ (дата звернення 08.06.2021 р). – Назва з екрану.
4. AirPointer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://aep.kiev.ua/shop/portable_air_quality_monitoring/portativnaya-stantsiya-kontrolya-atmosfery-airpointer/ (дата звернення 08.06.2021 р). – Назва з екрану.
5. Infralyt Smart [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aep.kiev.ua/shop/saxon-junkalor/gazoanalizator-infralyt-smart/> (дата звернення 11.06.2021 р). – Назва з екрану.
6. SMG 200 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aep.kiev.ua/shop/saxon-junkalor/analizator-pyli-pylemer-smg-100/> (дата звернення 11.06.2021 р). – Назва з екрану.
7. FLUKE 985 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pribory.com/product/schetchik-chastits-fluke-985/> (дата звернення 11.06.2021 р). – Назва з екрану.

8. Bluetooth. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Bluetooth#%D0%86%D0%BD%D1%96%D1%86%D1%96%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8FBluetooth%D0%B7%D1%94%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F> (дата звернення 13.06.2021 р). – Назва з екрану.
9. Принцип дії Bluetooth [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://wiki.cuspu.edu.ua/index.php/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8FBluetooth#.D0.9F.D1.80.D0.B8.D0.BD.D1.86.D0.B8.D0.BF.D0.B4.D1.96.D1.97Bluetooth> (дата звернення 13.06.2021 р). – Назва з екрану.
10. Bluetooth mesh – архітектура і безпека мережі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/334794/> (дата звернення 13.06.2021 р). – Назва з екрану.
11. Bluetooth: Архітектура — Протокол управління логічною зв'язкою і адаптацією (L2CAP) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://lebens.ru/?p=181> (дата звернення 13.06.2021 р). – Назва з екрану.
12. Плата Arduino Mega 2560 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-mega-2560/> (дата звернення 13.06.2021 р). – Назва з екрану.
13. Мікроконтролер AVR ATmega 2560 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega2560> (дата звернення 13.06.2021 р). – Назва з екрану.
14. Bluetooth модуль HC-05 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/bluetooth-modul-hc-05/> (дата звернення 13.06.2021 р). – Назва з екрану.
15. Bluetooth-модуль HC-05 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://robocraft.ru/blog/electronics/587.html> (дата звернення 13.06.2021 р). – Назва з екрану.

16. Arduino и модули Bluetooth HC-05/06 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://voltiq.ru/arduino-and-hc-05-hc-06/> (дата звернення 13.06.2021 р). – Назва з екрану.
17. Датчики дыма: назначение, типы и особенности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://piklvs.ru/datchiki-dyma-naznachenie-tipy-i-osobennosti/> (дата звернення 13.06.2021 р). – Назва з екрану.
18. Gas detector [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_detector (дата звернення 15.06.2021 р). – Назва з екрану.
19. Датчик MQ-6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://components101.com/sensors/mq-6-gas-sensor-pinout-equivalent-datasheet> (дата звернення 15.06.2021 р). – Назва з екрану.
20. Датчик пилу PMS1003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://botland.store/air-quality-sensors/14485-dust-air-quality-sensor-pm25-pms1003-5v-uart.html> (дата звернення 15.06.2021 р). – Назва з екрану.
21. Полный обзор DC-DC преобразователя на MT3608 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kit-shop.org/publ/elektronika/obzor_mt3608/443-1-0-51 (дата звернення 15.06.2021 р). – Назва з екрану.
22. Принцип роботи MT3608 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.olimex.com/Products/Breadboarding/BB-PWR-3608/resources/MT3608.pdf> (дата звернення 15.06.2021 р). – Назва з екрана.