

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В. ДАЛЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА ІНЖЕНЕРІЇ

До захисту допускається  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Скарга-Бандурова І.С.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

НА ТЕМУ:

Розробка і дослідження сенсорної мережі екологічного призначення

---

---

Освітньо-кваліфікаційний рівень “Магістр”  
Спеціальність 123 “Комп’ютерна інженерія”

Науковий керівник роботи:

\_\_\_\_\_

(підпис)

С.О. Сафонова

(ініціали, прізвище)

Консультант з охорони праці:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Я.О. Критська

(ініціали, прізвище)

Студент:

\_\_\_\_\_

(підпис)

І.О. Посохов

(ініціали, прізвище)

Група:

КІ-17ДМ

Северодонецьк 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет Інформаційних технологій та електроніки

Кафедра Комп'ютерних наук та інженерії

Освітньо-кваліфікаційний рівень “магістр”

Спеціальність 123 – “Комп'ютерна інженерія”

(шифр і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедри КНІ

д.т.н., доц. І.С. Скарга-Бандурова

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Посохову Іллі Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка і дослідження сенсорної мережі екологічного  
призначення

керівник проекту (роботи) Сафонова Світлана Олександрівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» 10 2018 р. № 220/48

2. Строк подання студентом роботи 12.01.2019

3. Вихідні дані до роботи Матеріали науково-дослідної практики

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

Огляд сфер застосування бездротових мереж з низьким енергоспоживанням.  
Дослідження сучасних технологій побудови бездротових сенсорних мереж.  
Розробка основних елементів сенсорної мережі екологічного призначення з  
мобільним компонентом. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	<i>Критська Я.О.</i>		

7. Дата видачі завдання 18.10.2018

Керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис)

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту ( роботи )	Примітка
1	Формування технічного завдання	18.10.2018-25.10.18	
2	Збір необхідної інформації щодо сфер застосування бездротових мереж з низьким енергоспоживанням	26.10.18-03.11.18	
3	Дослідження та аналіз сучасних технологій побудови бездротових сенсорних мереж	04.11.18-14.11.18	
4	Розробка основних елементів сенсорної мережі екологічного призначення з мобільним компонентом. Апаратна реалізація	15.11.18-30.11.18	
5	Розробка основних елементів сенсорної мережі екологічного призначення з мобільним компонентом. Розробка програмного забезпечення	01.12.18-22.12.18	
6	Охорона праці	23.12.18-28.12.18	
7	Оформлення пояснювальної записки	02.01.19-11.01.19	

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

*Посохов І.О.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_ ( підпис )

*Сафонова С.О.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Посохов І.О. Розробка і дослідження сенсорної мережі екологічного призначення.

Метою магістерської роботи є дослідження бездротових мереж з низьким енергоспоживанням та розробка з'єднання низько швидкісних периферійних компонентів з мікроконтролером в лабораторії екологічного призначення. Результатом роботи є апаратно - програмний комплекс для моніторингу радіаційно-екологічних параметрів навколишнього середовища.

**Ключові слова:** сенсорна мережа, zigbee модуль, мікроконтролер, передача даних по радіоканалу, координатор мережі, вузол мережі.

## АННОТАЦИЯ

Посохов И.О. Разработка и исследование сенсорной сети экологического назначения.

Целью магистерской работы является исследование беспроводных сетей с низким энергопотреблением и разработка соединения низкоскоростных периферийных компонентов с микроконтроллером в лаборатории экологического назначения. Результатом работы является аппаратно - программный комплекс для мониторинга радиационно-экологических параметров окружающей среды.

**Ключевые слова:** сенсорная сеть, zigbee модуль, микроконтроллер, передача данных по радиоканалу, координатор сети, узел сети.

## ABSTRACT

Posokhov I.O. Development and research of environmental sensor network.

The aim of certification diploma is to study the wireless networks with low power consumption and the development of the connection of low-speed peripheral components with a microcontroller in an environmental laboratory. The result of the work is a hardware - software complex for monitoring radiation-ecological parameters of the environment.

**Key words:** sensor network, zigbee module, microcontroller, data transfer VIA radio, network coordinator, network node.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ З НИЗЬКИМ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ.....	8
2 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ.....	11
2.1 Бездротові сенсорні мережі .....	12
2.2 Базовий стандарт для бездротових сенсорних мереж.....	13
2.3 Функціональні особливості БСМ .....	23
2.4 Постановка мети і завдань дослідження .....	28
3 ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ З НИЗЬКИМ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ..	29
3.1 Перспективні стандарти і протоколи бездротових сенсорних мереж.Мережі ZigBee ...	29
3.2 Протоколи обміну даними .....	33
3.2.1 Шина I <sup>2</sup> C .....	33
3.2.2 Wire .....	36
3.2.3 USB 2.0 .....	39
4 АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ .....	43
4.1 Координатор.....	44
4.2 Вузол.....	45
4.2.1 Вимірювання температури .....	47
4.2.2 Вимірювання тиску .....	48
4.2.3 Вимірювання відносної вологості повітря.....	49
4.2.4 Вимірювання освітленості.....	49
4.2.5 Радіаційний фон .....	50
4.2.6 Напрямок та швидкість вітру .....	51
5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	53
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.ЕКОЛОГІЯ.....	57
6.1 Загальні питання з охорони праці .....	57
6.2 Загальні питання з охорони праці .....	58
6.3 Виробнича санітарія .....	59
6.4 Гігієнічні вимоги до параметрів виробничого середовища.....	60
6.5 Загальні питання з охорони праці .....	64
6.6 Охорона навколишнього природного середовища.....	67
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	70
ДОДАТОК А Вимірювання тиску АТМega8 и НР03М .....	73
ДОДАТОК Б Вимірювання освітленості датчиком APDS-9002 фірми Agilen Technologies	76
ДОДАТОК В Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	79
ДОДАТОК С Комп'ютерна презентація .....	83

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

МК – мікроконтролер

ОС – операційна система

ШИМ – Широтно-імпульсна модуляція

ADC – Analog to Digital Converter

АЦП – Аналогово-цифровий перетворювач

P2P – peer-to-peer

PAN – Personal Area Network

АСКО – автоматизовані системи контролю та обліку

БСМ – бездротові сенсорні мережі

## ВСТУП

У сучасному житті полегшення роботи оператора будь-якої складної системи стало нормальним явищем. Будь-який дорогий прилад високої чутливості закордонних виробників має датчики і блоки, які приводять параметри робочого середовища до нормальних умов, прописаних в методиках визначення для кожного шуканого елемента; що робить достовірним кінцевий результат вимірювання. Особливостями таких приладів є: великий рідкокристалічний екран з дисплеєм ідентифікації цілі, простий у використанні користувальницький інтерфейс меню - вивід графічного зображення всіх визначених параметрів на екран, автоматичний режим балансу параметрів і ручне регулювання балансу повітряного середовища.

Для приладів вітчизняного виробника така система визначення параметрів робочого середовища відсутня і тому в будь-якій лабораторії виникає питання щоденних замірів, реєстрації та перерахунків параметрів показників якості повітряного середовища робочої зони для приведення їх до нормальних умов, прописаних в методиках вимірювань. Це і робить даний проект актуальним і важливим для роботи лабораторії аналітичних екологічних досліджень.

У сучасному світі технічного прогресу виникло гостре питання щодо створення сенсорних мереж для отримання і розрахунку даних параметрів мікроклімату в умовах існуючих лабораторій і при наявності вже існуючої приладової бази.

Таким чином, дана робота присвячується вирішенню актуальної науково-технічної проблеми. Сучасні системи дозволяють отримувати дані з навколишнього середовища і передавати їх на єдиний центр обробки інформації, використовуючи мережі. Модулі зв'язку та контролери дозволяють об'єднувати набори датчиків в самостійні одиниці, які, об'єднуючись в мережу, дозволяють збирати інформацію з навколишнього середовища і передавати її по безпроводному зв'язку на єдиний центр. Таким чином, мережа датчиків може бути налаштована під практично будь-які умови і форми місця збору статистики. Це дозволить поліпшити якість роботи екологічної лабораторії, вдосконалити збір статистики і точність вимірювань. Аналогічні сенсорні мережі можна використовувати на різних виробництвах, електростанціях, щоб уникнути критичних і аварійних ситуацій. Сенсорні мережі з автономних модулів мають низьке енергоспоживання і високі можливості конфігурації, можуть застосовуватися як в невеликих закритих приміщеннях, так і на великих відкритих просторах. В роботі розглянуті різні варіанти конфігурацій таких мереж, основні бездротові мережеві технології.

## 1 СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ З НИЗЬКИМ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ

Успіхи в області напівпровідникової електроніки, що дозволяють інтегрувати на одному кристалі велику кількість різноманітних пристроїв (в тому числі можливість інтеграції аналогових і цифрових схем), досягнення в технології виробництва інтегральних схем (зниження вартості виробництва) сприяють проникненню в повсякденне життя різних електронних пристроїв і систем. Часто вони стають повсякденними і непомітними, проте за кожною з них стоїть праця багатьох людей і технології. Особливо інтенсивно розвиток йде в сфері вбудованих систем і портативних пристроїв, що використовують радіоканал. Часто це ті пристрої, які оточують нас в звичайному житті, що працюють в умовах різних обмежень - медичних установах, лабораторних комплексах або просто прив'язані до складних аналітичних приладів, що вимірюють вагу, метеофактори, концентрацію хімічних речовин і розчинів та ін. Такі пристрої відносять до класу малопотужних радіопристроїв.

Бездротові системи міцно увійшли в наше життя:

- в побуті - це різні мультимедійні системи, керуючі пристрої, бездротові інтерфейси, різноманітні системи моніторингу;
- в промисловості - системи збору даних, автоматизовані та автоматичні системи управління (від систем освітлення, до автоматизації будівель і їх комплексів);
- в транспорті - відстеження вантажів, моніторинг параметрів руху та ін.

Системи, що дозволяють автоматично враховувати всі ці ресурси на певному об'єкті або об'єктах, носять назву - автоматизовані системи контролю та обліку. Безумовно, побудова АСКО - завдання не просте і вимагає індивідуального підходу для кожного випадку, до того ж потрібно рішення як інженерних, так і організаційних завдань.

Зазвичай в АСКО виділяють кілька рівнів:

- рівень збору інформації;
- рівень передачі інформації (зв'язувальний);
- рівень збору, аналізу та зберігання даних.

При цьому маємо зворотну залежність між кількістю окремих пристроїв на кожному з рівнів і потоками даних, з якими їм доводиться оперувати (найбільша кількість пристроїв буде на рівні збору даних, а найбільший потік даних на рівні збору та аналізу даних).

В даний час більш цікавим для реалізації безпроводного обміну даними в АСКО представляється низькочастотна частина ISM діапазону, а саме частоти менше 1 ГГц.



Причини цього наступні:

- в діапазоні 2,4 ГГц присутня велика кількість пристроїв - комп'ютери і безпроводне мережеве обладнання, бездротові навушники, гарнітури, системи типу "розумний будинок";
- сигнали з частотами менше 1 ГГц менше схильні до впливу перешкод у вигляді стін, будинків, дерев;
- при рівних потужностях можуть забезпечити більш впевнений прийом даних (зменшення частоти передачі у два рази приблизно в стільки ж збільшує дальність (формула Фріза)).

В даний час спостерігається стійка тенденція до переходу на автоматизовані системи обліку ресурсів. У цьому зацікавлені і споживачі ресурсів, і постачальники ресурсів, а також компанії, що займаються розподілом ресурсів. Прояви цієї тенденції найбільш часто зустрічаються у повсякденному житті у встановленні індивідуальних лічильників. У загальному випадку лічильники споживання ресурсів можна розділити на дві великі категорії - лічильники електроенергії та витратоміри.

У багатьох випадках компанії встановлюють інтелектуальні лічильники, які забезпечують більш низькі експлуатаційні та капітальні витрати, підтримують нові послуги і покращують оперативне управління. До завдань таких лічильників ставиться автоматичне зчитування та зберігання показань, передача накопичених або оперативних даних, захист від несанкціонованих дій. На основі аналізу накопичених даних згодом можливе формування тарифних планів, наприклад з урахуванням розподілу інтенсивності споживання ресурсів протягом дня, тижня, місяця, сезонні коливання. Типова структура інтелектуального лічильника представлена на рисунку 1.1 (на прикладі лічильника електроенергії).

Однією з основних проблем при впровадженні інтелектуальних лічильників енергоресурсів є інтеграція окремих лічильників у мережу для централізованого збору даних. Єдиного рішення цього завдання, мабуть, не існує. Практично у кожному випадку рішення підбирається індивідуально.

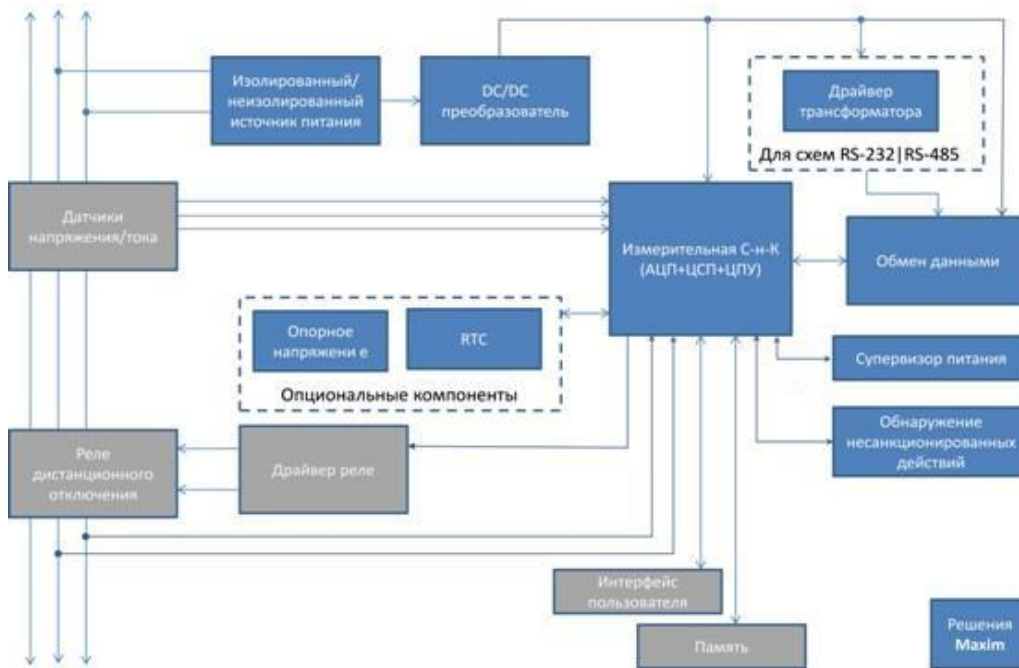


Рисунок 1.1 – Типова структура інтелектуального лічильника електроенергії

Сфера застосування бездротових пристроїв і систем на їх основі постійно зростає - як якісно (додаються нові області), так і кількісно (зростає число пристроїв, що використовують радіоканал, збільшується щільність вузлів і мереж). Це змушує виробників бездротових мікросхем і розробників систем і програмного забезпечення постійно шукати нові рішення проблем взаємодії вузлів і систем, сумісності мереж.

Бездротовий канал передачі даних між вузлами мережі представимо у традиційному вигляді: джерело/приймач даних, прийомопередавача (у ряді випадків тільки приймач або тільки передавач), антенний підсилювач (може бути відсутнім або бути частиною приймача), антена і саме середовище передачі.

## 2 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Минуло не більше десятиліття з того часу, коли почалися інтенсивні наукові і технологічні дослідження можливостей використання сенсорних датчиків спільно з безпроводною мережею. Їх результатом стало створення нового виду телекомунікаційних мереж, який отримав назву безпроводні сенсорні мережі. На основі успішної реалізації ряду дослідницьких проектів на початку нашого століття були створені комерційні компанії, що забезпечують просування технологій БСМ на телекомунікаційні ринки світу. Інтенсивний розвиток мікроелектроніки дозволив вирішити завдання створення дешевих, низькоспоживаючих, багатофункціональних пристроїв, що мають малі габарити і здатні передавати телеметричну інформацію по радіоканалу на короткі відстані. Вони стали базовими елементами в структурі бездротових сенсорних мереж - нового класу бездротових систем, які являють собою розподілену, самоорганізуючу і стійку до відмови окремих елементів мережу мініатюрних електронних пристроїв (сенсорів) з автономними джерелами живлення. Вузли такої мережі здатні ретранслювати інформацію, використовуючи безліч малопотужних передавачів і забезпечуючи значну площу покриття безпроводною системою.

Відмінною особливістю сенсорів є мініатюрні розміри і низька собівартість, що дозволяє використовувати їх у великій кількості для створення мережі збору і безпроводної передачі телеметричних даних. При цьому передача даних відбувається поетапно від одного пристрою на інший, а маршрути передачі формуються автоматично таким чином, щоб за кінцеве число пересилань по мережі між найближчими вузлами пакет з даними був переданий на шлюз, що має з'єднання з сервером (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Система збору телеметричної інформації на основі БСМ

У разі виходу з ладу одного або декількох вузлів структура мережі автоматично змінюється, забезпечуючи можливість доставки інформації з усіх працюючих сенсорів до шлюзу.

Серед основних функціональних і експлуатаційних переваг БСМ слід виділити:

- можливість самонастроювання і самовідновлення мережі;
- масштабованість мереж з щільним розміщенням вузлів у просторі (від десятків до тисяч пристроїв);
- високі показники надійності і відмовостійкості за рахунок комунікаційної надлишковості і наявності безлічі альтернативних маршрутів доставки даних;
- низька вартість і малі маса-габаритні показники вузлів; висока енергетична ефективність (термін експлуатації може досягати декількох років при автономному електроживленні вузлів);
- стійкість до модифікації топології мережі і змін характеристик середовища поширення радіохвиль;
- здатність вузлів спільно обробляти отримані дані і приймати рішення на базі розподілених алгоритмів;
- можливість швидкого і при необхідності схованого розгортання мережі.

## **2.1 Бездротові сенсорні мережі**

Бездротові сенсорні мережі - це нова перспективна технологія, на основі якої інтенсивно ведуться прикладні розробки і виконуються масштабні проекти для різних галузей промисловості і систем військового призначення. Так, наприклад, на основі розробленого вченими університетів США прикладного програмного забезпечення на базі ВПС у Флориді розгорнута БСМ, що забезпечує виявлення проникнення і переміщення людей і транспортних засобів в контрольованій зоні. Мережа охоплює зону площею 5 км<sup>2</sup> та оснащена сенсорами з магнітоелектричними і температурними датчиками для розпізнавання і відстеження різних металевих об'єктів, в тому числі рухомих. У числі відомих прикладів прикладного використання БСМ - розгортання мережі, побудованої на основі обладнання Intel на борту нафтового танкера компанії ВР для моніторингу і профілактичного обслуговування судна. Робота БСМ проходила в умовах екстремальних температур, високої вібрації та значного рівню радіочастотних перешкод від суднових систем. При цьому розгорнута БСМ стійко функціонувала, автоматично здійснюючи реконфігурацію і

відновлення працездатності при впливі екстремальних факторів. За останній період на розгортання БСМ для моніторингу інфраструктури світової нафто-газовидобувної галузі компанії витрачали щорічно більш 200 млн \$.

Загалом область застосування БСМ постійно розширюється і можна прогнозувати, що в перспективі все фізичні об'єкти будуть забезпечені сенсорами, що мають IP-адреси з можливістю формування «Глобальної сенсорної мережі».

## 2.2 Базовий стандарт для бездротових сенсорних мереж

Бездротові технології і створювані на їх основі телекомунікаційні мережі мають ряд загальновідомих переваг, в числі яких гнучка архітектура і низькі витрати при монтажі. В даний час до числа масових і найбільш затребуваних на споживчому ринку систем бездротового зв'язку можна віднести системи стільникового зв'язку, WiFi і Bluetooth. Кожна з них характеризується дальністю і швидкістю передачі, діапазоном робочих частот, функціональними можливостями і сферою застосування, а також іншими характеристиками, що визначають архітектуру і структурні особливості телекомунікаційних мереж на їх основі (рис. 2.2).

В архітектурному аспекті головною відмінністю БСМ від класичних телекомунікаційних радіомереж є використання в мережі великого числа надмініатюрних інтелектуальних датчиків для передачі невеликих обсягів телеметричної інформації на середні відстані (10-100 м).

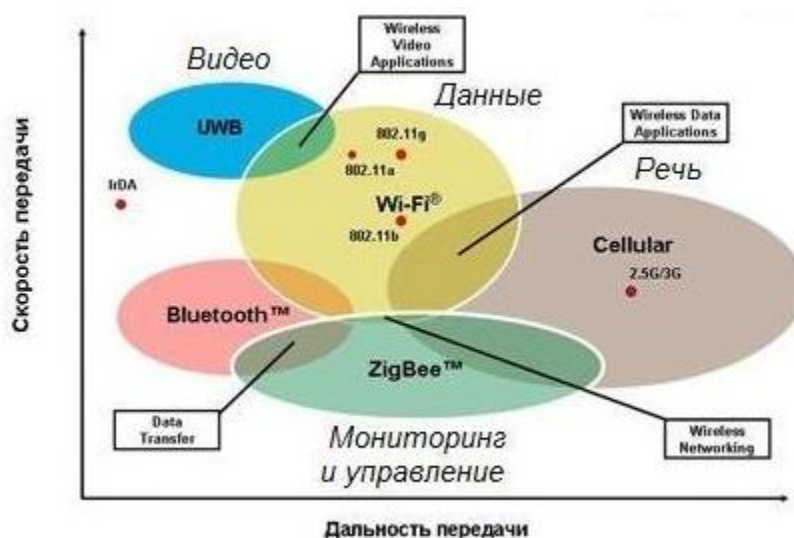


Рисунок 2.2 – Масові бездротові системи передачі інформації по радіоканалу

В експлуатаційному плані основними відмітними особливостями БСМ є вимоги стійкого функціонування в умовах динамічних змін в топології мережі через переміщення сенсорів, автономне електроживлення і суттєві обмеження в енергоспоживанні і обчислювальної продуктивності вбудованих в вузли мережі мікропроцесорів, пам'яті, трансиверів і інших мікроелектронних компонентів. При цьому в той же час умови функціонування БСМ передбачають передачі невеликих обсягів інформації на малій швидкості. З огляду на запити ринку телекомунікацій в специфічній сфері моніторингу та управління об'єктами за допомогою безпроводного зв'язку під егідою IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) в 2003 році була випущена офіційна специфікація IEEE 802.15.4, що отримала статус стандарту. За планами розробників новий стандарт повинен був забезпечити дальність з'єднання порівнянну з WiFi, але при цьому мати менше енергоспоживання за рахунок низької швидкості передачі даних. В ряду найважливіших завдань також забезпечення роботи в режимі реального часу з використанням тимчасових слотів, запобігання колізій доступу і комплексна підтримка захисту мереж. Сумісні зі стандартом 802.15.4 пристрої повинні мати можливість управління витратою електроенергії і контролю якості з'єднань. З травня 2007 року в Росії сертифіковані пристрої 802.15.4, потужність випромінювання яких не перевищує 10 мВт на відкритій місцевості і 100 мВт в приміщенні.

У документі 802.15.4 визначені два нижніх рівні семирівневої мережевий моделі OSI: фізичний (PHY) і канальний (MAC). Фізичний рівень визначає спосіб передачі даних, інтерфейс організації зв'язку, апаратні особливості і параметри, необхідні для побудови мережі. На практиці фізичний рівень управляє роботою трансивера, виконує вибір каналів, сигналів управління і рівня потужності передачі.

В відповідність зі специфікацією стандарту 802.15.4 на фізичному рівні під обмін даними зарезервовані 27 каналів в трьох частотних діапазонах: 868 МГц, 910 МГц, 2.4 ГГц, що дозволяє використання стандарту в неліцензованих в більшості країн світу частотних смугах (рис. 2.3). В діапазоні 2.4 ГГц визначено 16 каналів шириною 5 МГц з несучими частотами, що обчислюються виразом:

$$F_c = 2405 + 5(k - 1) \text{ МГц}, k = 1, \dots, 16.$$

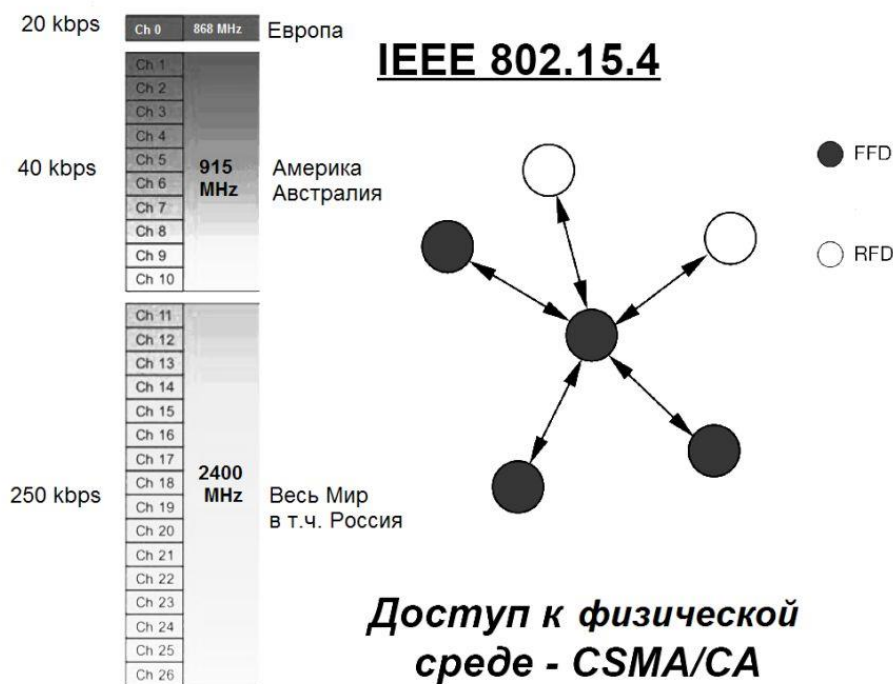


Рисунок 2.3 – Діапазони частот фізичного рівня стандарту 802.15.4

Перша версія стандарту 802.15.4 визначала два фізичних рівня з широкосмуговою модуляцією з прямим розширенням спектра DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum): перший - в смузі 868/915 МГц зі швидкістю передачі відповідно 20 і 40 кбіт/с, а другий - в смузі 2450 МГц зі швидкістю 250 кбіт/с. У 2006 році допустимі швидкості передачі даних на частотах 868/915 МГц були збільшені до 100 і 250 кбіт/с. Крім того, були визначені чотири специфікації фізичного рівня в залежності від методу модуляції: при збереженні широкосмугового модуляції DSSS можливо використання в діапазоні 868/915 МГц як двійкової, так і квадратурної фазової маніпуляції (QPSK - Quadrature Phase Shift Keying). З 2007 року в версії стандарту IEEE 802.15.4а число фізичних рівнів було збільшено до шести за рахунок включення рівня з надширокосмуговою радіотехнологією Ultra WideBand (UWB) для високошвидкісної передачі даних, а також специфікації рівня з радіотехнології Chirp Spread Spectrum (CSS), заснованої на розширенні частотного спектра методом лінійної частотної модуляції. Фізичний рівень UWB визначений виділеними частотами в трьох діапазонах: нижче 1 ГГц, 3-5 ГГц і 6-10 ГГц, а для CSS виділений спектр в смузі 2450 МГц неліцензованого діапазону ISM. У 2009 році в версіях стандартів IEEE 802.15.4с і IEEE 802.15.4d були розширені доступні частотні діапазони. Дані специфікації визначають можливість використання на фізичному рівні приймально-передавальні пристрої з квадратурною фазовою маніпуляцією або з фазовою маніпуляцією більш високих порядків

(M-PSK) на частоті 780 МГц, а на частоті 950 МГц - гаусову частотну маніпуляцію (Gaussian frequency-shift keying, GFSK ) або двійкову фазову маніпуляцію (Binary phase-shift keying, BPSK). Крім цього дослідницька група IEEE 802.15.4d в 2009 році включила в специфікації недавно відкриті діапазони 314-316 МГц, 430-434 МГц, і 779-787 МГц в Китаї, і визначила поправку до існуючого стандарту 802.15.4-2006 в частині підтримки діапазону 950-956 МГц в Японії.

На каналному рівні стандарт специфікація IEEE 802.15.4 визначає механізми взаємодії елементів мережі на фізичному рівні для забезпечення формування фрагментів даних (кадрів), перевірки та виправлення помилок і відправки кадрів на мережевий рівень. При цьому підрівень MAC (media access control) каналного рівня регулює множинний доступ до фізичного середовища з поділом за часом, управляє зв'язками трасіверов і забезпечує безпеку.

IEEE 802.15.4 забезпечує двосторонню напівдуплексну передачу даних, підтримуючи при цьому шифрування AES 128. Доступ до каналу заснований на принципі Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance (CSMA/CA) - багатостанційний доступ з контролем несучої і запобіганням конфліктів. CSMA/CA - це мережевий протокол, в якому використовується принцип прослуховування несучої частоти. Пристрій, який готовий до передачі даних посилає jam signal (сигнал затору) і прослуховує ефір. Якщо буде виявлено "чужий" jam signal, то передавач "засинає" на випадковий проміжок часу, а потім знову пробує почати передачу кадру. Таким чином, передача може виходити тільки від одного пристрою, що підвищує продуктивність мережі. При цьому дані передаються відносно невеликими пакетами, що характерно для трафіку сигналів управління і моніторингу в БСМ. Важливою особливістю стандарту є обов'язкове підтвердження доставки повідомлень.

Особливістю пристроїв, об'єднаних в мережу по стандарту IEEE 802.15.4, є низьке енергоспоживання за рахунок переходу трансивера в режим "засипання" при відсутності даних для пересилання і збереження підключення в цьому режимі. При розробці стандарту, основний акцент робився на швидкість процесів конфігурації і реконфігурації. Зокрема, перехід приймача в активний стан триває близько 10-15 мс, а підключення до мережі нових пристроїв - від 30 мс. При цьому тривалість реконфігурації і підключення пристроїв залежить від сталості «прослуховування» маршрутизаторами мережі.

Типи вузлів мережі. Стандарт визначає два типи вузлів мережі: повнофункціональний пристрій FFD (Fully Function Device), який може реалізувати як функцію координації роботи і установки параметрів мережі, так і працювати в режимі типового вузла; пристрій з обмеженим набором функцій RFD (Reduced Function Device), що володіє тільки можливістю підтримки зв'язку з повнофункціональними пристроями. У будь-якій мережі повинен бути,



принаймні, один FFD, який реалізує функцію координатора. Кожен пристрій має 64-бітний ідентифікатор, але в деяких випадках для обмеженої області може використовуватися короткий 16-бітний для з'єднань в персональній мережі PAN (personal area network).

Топології мережі. На каналному рівні стандарту IEEE 802.15.4 наведені загальні рекомендації до побудови топології мережі. Мережі можуть бути одноранговими P2P (peer-to-peer, point-to-point) або мати топологію «зірка». На основі структури P2P можуть формуватися довільні структури з'єднань, обмежені лише дальністю зв'язку між парами вузлів. З урахуванням цього можливі різні варіанти топологічної структури БСМ, зокрема «дерево» кластерів - структура, в якій RFD, будучи «листям дерева», пов'язані тільки з одним FFD, а більшість вузлів в мережі є FFD. Можлива також топологія мережі, сформована на основі кластерних «дерев» з локальним координатором для кожного кластера, що містить глобальний мережевий координатор.

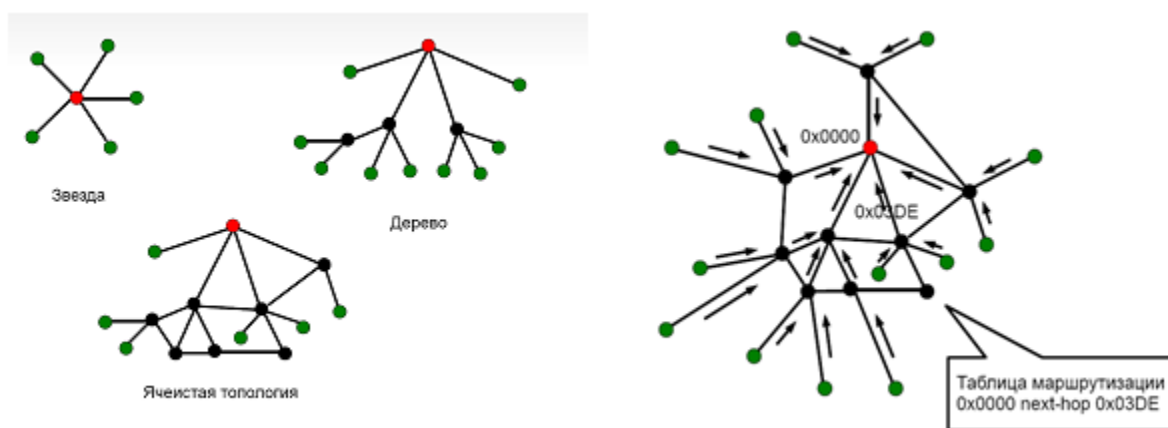


Рисунок 2.4 – Варіанти топології мереж стандарту IEEE 802.15.4

Стандартом підтримується і більш структурована топологія «зірка», в якій координатор (FFD) мережі обов'язково повинен бути центральним вузлом формованої персональної мережі (PAN) з унікальним ідентифікатором. Після цього інші пристрої можуть приєднуватися до мережі, яка повністю незалежна від інших мереж з аналогічною топологією.

Стандарт 802.15.4 описує два нижніх рівні мережевої моделі OSI, не визначаючи вимог до верхніх рівнів і умов їх сумісності. Рішення цих завдань вимагало розробки спеціальних комунікаційних протоколів. Найбільш відомими є протоколи альянсу ZigBee, який був створений у 2002 році найбільшими світовими компаніями, що спеціалізуються в області розробки програмно-апаратних засобів для інфокомунікаційних систем. У числі більш ніж двохсот членів альянсу ZigBee, які координують роботи з просування технологій та виробництва технічних засобів для бездротових сенсорних мереж - Texas Instruments,

Motorola, Philips, IBM, Ember, Samsung, NEC, Freescale Semiconductor, LG, OKI та багато інших. Корпорація Intel, хоча не є членом альянсу ZigBee, активно підтримує його діяльність. ZigBee розробив і ратифікував у 2004 році стандарт, що включає повний стек протоколів для бездротових сенсорних мереж. Стандарт ZigBee базується на стандарті IEEE 802.15.4, який описує тільки фізичний рівень і рівень доступу до середовища для бездротових мереж передачі даних з низьким енергоспоживанням. На відміну від нього документ ZigBee включає опис мережевих процесів управління, сумісності та профілів пристроїв, а також інформаційної безпеки (рис.2.5). На мережевому рівні в ZigBee визначені механізми маршрутизації і формування логічної топології мережі.



Рисунок 2.5 – Конфигурация стеков протоколов 802.15.4 и ZigBee

Крім стандартів 802.15.4./ZigBee для створення БСМ можуть використовуватися специфікації інших стандартів бездротового зв'язку заснованих на IEEE 802.15.4 -2005, зокрема WirelessHART і ISA100. Однак в даний час в області технологій бездротових сенсорних мереж ZigBee є стандартом найбільшою мірою підкріпленим представленими на ринку повністю сумісними апаратними та програмними засобами. Крім того протоколи ZigBee дозволяють мережевим пристроям перебувати в сплячому режимі більшу частину часу, що суттєво збільшує ресурс роботи вузлів при живленні від батарейних джерел. У БСМ на основі ZigBee підтримується режим "профілів пристроїв" або профілів для різних датчиків, які сумісні на рівні стека протоколу і можуть об'єднуватися в мережу, передавати, приймати і ретранслювати інформацію. У той же час "розуміти" цю інформацію буде тільки

той пристрій, для якого вона призначена.

В даний час є досить велика кількість різних ZigBee-продуктів, починаючи від мікросхем приймачів стандарту IEEE 802.15.4 і закінчуючи готовими OEM-модулями з вбудованим програмним забезпеченням мережевого стека ZigBee. Всі пристрої стандарту ZigBee в залежності від рівня складності поділяються на три класи, вищий з яких - координатор - управляє процесом формування мережі, зберігає дані про її топологію та служить шлюзом для передачі даних, що збираються від усіх сенсорів БСМ для їх подальшої обробки. У мережі, як правило, використовується тільки один PAN-координатор. Середній за складністю пристрій - маршрутизатор - здатний ретранслювати повідомлення, підтримувати всі топології мережі, а також виконувати функції координатора кластеру. І, нарешті, найпростіший пристрій - звичайний вузол - здатний лише передавати дані найближчому маршрутизатору.

Таким чином, стандарт ZigBee підтримує мережу з кластерною архітектурою (рис.2.6), сформованої зі звичайних вузлів, об'єднаних в кластери за допомогою маршрутизаторів. Маршрутизатори кластерів запрашують сенсорні дані від пристроїв і, ретранслюючи їх один одному, передають координатору, який зазвичай має зв'язок з IP-мережею, куди і відправляє інформацію для накопичення і остаточної обробки.

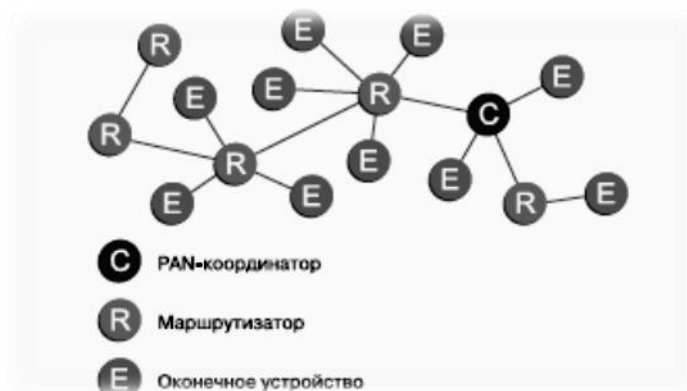


Рисунок 2.6 – Типова топологія мережі ZigBee

Мережа ZigBee є мережею, що самоорганізується, тобто всі вузли здатні самостійно визначати і коригувати маршрути доставки даних. Дані передаються за допомогою радіопередавачів від одних вузлів до інших по ланцюжку, і в підсумку найближчі до шлюзу вузли скидають всю акумульовану інформацію на шлюз. Ця інформація включає дані, що зчитуються з сенсорних датчиків, а також дані про стан пристроїв і результати процесу передачі інформації. У разі виходу частини пристроїв з ладу робота сенсорної мережі після реконфігурації повинна продовжитися. Бездротові вузли функціонують під управлінням

спеціального додатку. Зазвичай всі вузли сенсорної мережі використовують одну і ту ж керуючу програму, що забезпечує їх функціональність і виконання мережевих протоколів.

Таким чином, стандарт ZigBee є практично єдиним стандартом в області технологій БСМ, який найбільш повно описує набір з семи рівнів класичної схеми взаємодії відкритих систем (OSI) і одночасно - в найбільшій мірою підкріпленим наявністю виробництва повністю сумісних апаратних засобів і програмних продуктів (рис. 2.7).

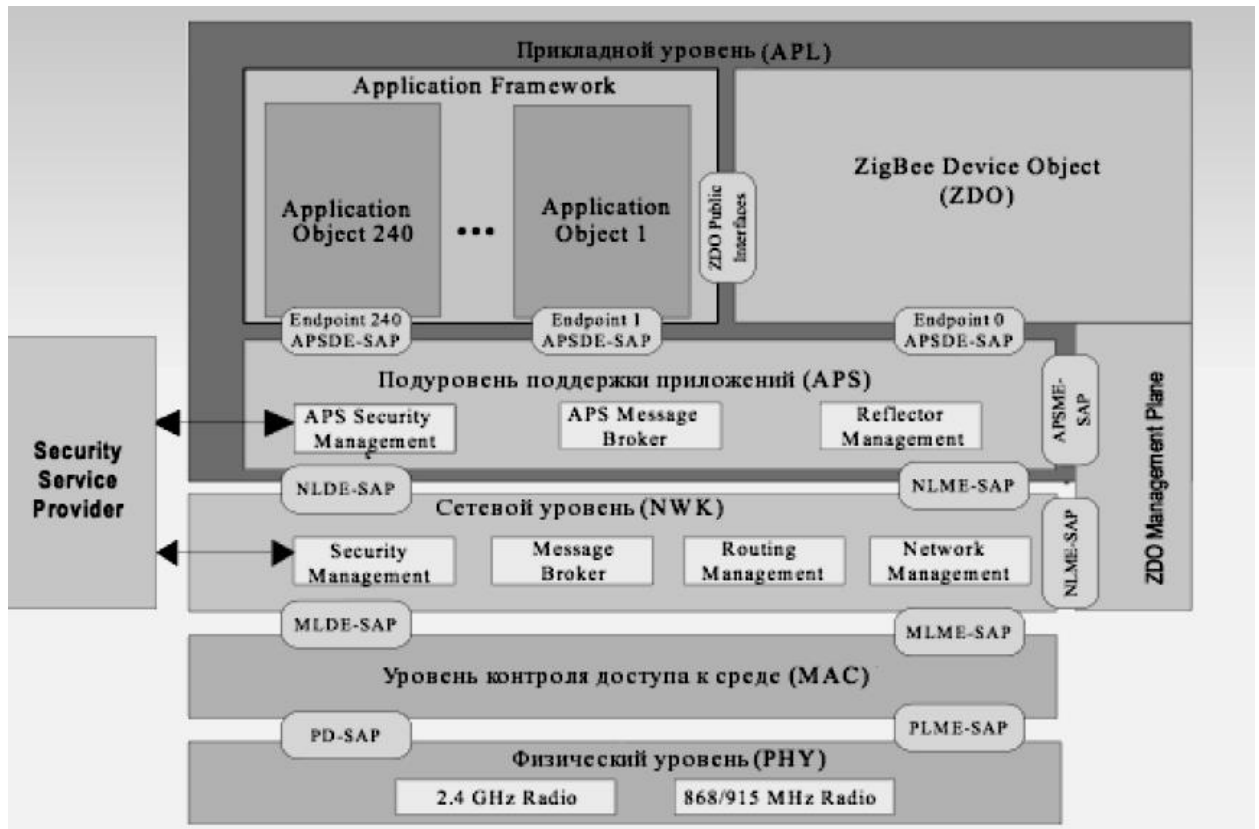


Рисунок 2.7 – Стэк протоколов ZigBee

Крім рішень на основі ZigBee можливі варіанти реалізації БСМ з використанням пропріетарних платформ (наприклад, від Sencicast, Millennial Net, Iris, Mia2, Telos, Dust Networks і т.д.), в яких використовуються або власні, або засновані на стандарті IEEE 802.15.4 приймачі. Мережевий стек пропріетарних платформ реалізований на базі патентованих алгоритмів і протоколів, які забезпечують ряд переваг в порівнянні з ZigBee, але не забезпечують сумісності рішень різних виробників. У стандарті ZigBee мережа в загальному вигляді має вигляд «кластерного дерева» і вимагає планування розміщення пристроїв різного типу (FFD, RFD) на етапі проектування мережі. При цьому більшість вузлів є кінцевими пристроями, які нездатні ретранслювати повідомлення, внаслідок чого в радіусі дії кожного з них повинен бути хоча б один вузол-маршрутизатор. Це вимагає оптимізації розташування пристроїв різного класу.

Специфіка мережевих протоколів для БСМ вимагає вирішення завдань енергоефективності, так як в режимі автономного живлення вузлів мережі від батарей мінімальне енергоспоживання визначає часовий ресурс роботи вузла.

У ZigBee найменше енергоспоживання досягається при синхронізованому доступі до середовища (beacon mode), що дозволяє встановлювати «сплячий» режим як для RFD (кінцевих) пристроїв, так і FFD (маршрутизаторів). При складній топології мережі і особливо випадкової за часом генерації трафіку практично неможливо реалізувати оптимальний варіант розкладу доступу до середовища. В відповідність зі стандартом більш технологічним є множинний доступ за алгоритмом CSMA /CA. Однак в цьому режимі всі координатори повинні постійно перебувати в режимі прослуховування каналу, в зв'язку з чим для електроживлення маршрутизаторів необхідна стаціонарна електромережа. В цьому випадку лише кінцеві пристрої будуть працювати від автономних джерел (батарей), а маршрутизатори і PAN-координатор - від мережі живлення.

Поруч з зарубіжними компаніями для створення БСМ використовуються приватні технічні рішення і власні стеки мережних протоколів для зниження енергоспоживання, включаючи рішення на рівні компонентів. Крім технічних характеристик мікросхем приймачів, мікроконтролерів і інших вузлів бездротових модулів на енергоспоживання істотно впливає режим роботи мережевого додатку і інтенсивність обміну даними. Виділяють режими роботи з інтенсивним робочим циклом і з малою інтенсивністю обміну. У додатках з інтенсивним робочим циклом основна частка енергоспоживання припадає на радіоінтерфейс - прийом/передача пакетів, синхронізація і автопідстройка частоти. При цьому в разі переважання в трафіку довгих пакетів домінує споживання приймача, а в разі переважної передачі коротких пакетів на перший план виходить споживання схем ініціалізації радіочастини і автокалібровки частоти. У додатках з малою інтенсивністю обміну починають грати роль такі показники, як наявність і ефективність режимів зниженого енергоспоживання мікросхем датчиків, мікроконтролерів і приймачів.

Типовий профіль енергоспоживання бездротового вузла представлений на рисунку 2.8 Абсолютні величини наведені для пристрою діапазону менше 1 ГГц; для пристроїв діапазону 2,4 ГГц струми споживання будуть приблизно в два рази вище.



Рисунок 2.8 – Приклад профілю енергоспоживання безпроводного вузла

Прикладом власних рішень стека мережевих протоколів є розроблений компанією Texas Instruments нескладний протокол SimpliCI (рис.2.9) з відкритим вихідним кодом. Протокол призначений для БСМ стандарту IEEE 802.15.4 з автономним батарейним живленням та електронною компонентною базою на основі система-на-кристалі (наприклад, CC430, CC1110 / 2510), або на основі зв'язку низькоспоживаючих контролерів серії MSP430 і будь-якого з приймачів TI серій MSP430 + CC1XXX/CC25XX. Протокол забезпечує мінімізацію енергоспоживання з підтримкою сплячого режиму вузлів мережі і може використовуватися в БСМ для різних додатків, в тому числі: датчики проникнення, світла, СО-датчики лічильники води, газу, електроенергії, додатки RFID з активними мітками та ін.

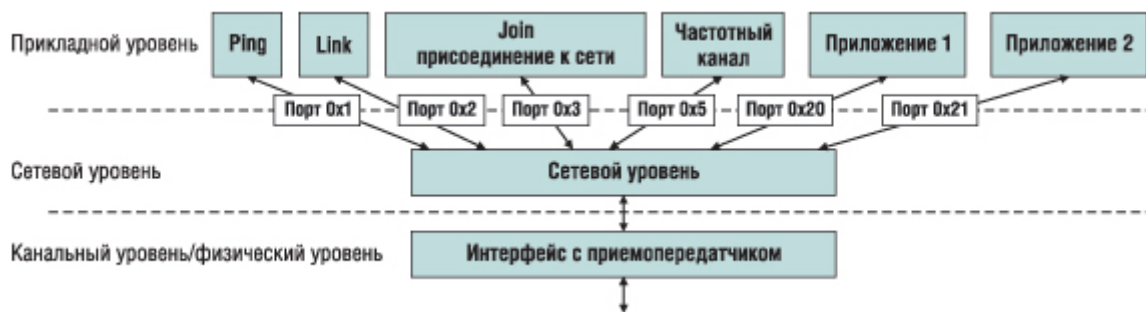


Рисунок 2.9 – Структура стека протоколів SimpliCI

Ще одним прикладом приватного рішення по створенню БСМ для дистанційного керування пристроями є запропонований Texas Instruments протокол RemoTITM, підтримуваний відповідними безпроводними пристроями і відповідає специфікації ZigBee® RF4CE (рис.2.10). Протокол RemoTI ґрунтується на стандарті IEEE 802.15.4 з додаванням до нього рівня мережевої взаємодії і набору базових команд управління і включає: підтримку декількох каналів; безпечні транзакції; режими енергозбереження; простий механізм

об'єднання пристроїв для спільної роботи.



Рисунок 2.10 – Структура стека протоколів RemoTI

До числа найбільш відомих платформ, що відповідають основним базовим вимогам до сенсорних мереж (мала споживана потужність, тривалий час роботи, малопотужні приймально-передавачі і наявність сенсорів), слід також віднести: MicaZ, TelosB, Intel Mote 2. Більшість компаній-розробників випускає і обладнання (вузли, сенсори) і програмне забезпечення, що відповідають даним стандартам. В даний час найбільшого успіху домоглися кілька компаній, серед яких глибиною і закінченістю своїх розробок виділяються Crossbow и Sentilla.

### 2.3 Функціональні особливості БСМ

З урахуванням різних механізмів використання мережевих ресурсів бездротові сенсорні мережі в залежності від характеру функціонування можна розділити на наступні типи:

1. Проактивні мережі. Вузли такої мережі періодично включають свої сенсори і передавачі, знімають показання сенсорів і передають дані на шлюз. Таким чином, вони фіксують стан контрольованого середовища з певною періодичністю і використовуються зазвичай для додатків, що вимагають регулярного моніторингу деяких параметрів.

2. Реактивні мережі. Вузли реактивних мереж, так само, як і проактивних, з певною періодичністю знімають показання, однак залишають поза передачею їх, якщо отримані дані відповідають нормованій області показань сенсорів. У той же час дані про нештатні зміни параметрів або їх виходи за межі діапазону нормальних значень негайно передаються на шлюз. Реактивні мережі призначені для роботи з додатками реального часу.

3. Гібридні мережі. Являють собою комбінацію двох наведених вище типів мереж. У гібридних мережах сенсорні вузли не тільки періодично передають зняті за допомогою сенсорів дані, але й оперативно реагують на вихід показань з діапазону нормованих значень.

Програмне забезпечення для БСМ. В даний час в більшості БСМ використовується операційна система TinyOS, розроблена в Університеті Берклі спеціально для використання в БСМ. TinyOS - це ОС класу Open Source, характерними особливостями якої є компонентна архітектура, подієва модель управління і статичний розподіл пам'яті. Завдяки цьому забезпечується мінімальний розмір коду, що суттєво для вузлів БСМ, що мають суворі обмеження за обсягом пам'яті і електроживлення від автономних малогабаритних джерел. TinyOS є керованою подіями операційною системою реального часу, розрахованою на роботу в умовах обмежених обчислювальних ресурсів, що забезпечує можливість установки автоматичного зв'язку вузлів з сусідами і формування сенсорної мережі заданої топології. Бібліотека компонентів TinyOS включає мережеві протоколи, драйвери сенсорів і утиліти отримання і збору інформації, які можуть бути вдосконалені в клієнтських додатках. Реалізована в TinyOS подієва модель дає можливість управляти живленням на низькому рівні, що дозволяє економити електроенергію. Це визначає використання TinyOS в абсолютній більшості апаратних платформ і численних сенсорних пристроях.

Суттєва відмінність TinyOS від ОС загального призначення (UNIX, Windows та ін.) обумовлена тим, що додатки для БСМ не є інтерактивними в тому ж сенсі, що і додатки для звичайних ПК, і TinyOS не потребує вбудованої підтримки інтерфейсу. Розробниками TinyOS основна увага була приділена забезпеченню мінімізації енергоспоживання і можливості використання для програмування мови с високим рівнем абстракції. В результаті була створена ОС з простою, але досить розвиненою компонентною архітектурою, специфіка якої полягає в забезпеченні розвинених і надійних механізмів паралельного виконання завдань в умовах вкрай обмежених ресурсів. Для програмування використовується компонентно-орієнтована мова NesC (network embedded system C), побудована на базі C. Основною структурною одиницею програми на NesC є компонент, який через інтерфейси взаємодіє з іншими компонентами. Мова програмування NesC володіє великою кількістю стандартних компонентів і інтерфейсів, за допомогою яких можна створювати ефективні програми для сенсорних вузлів. Компілюються написані програми за допомогою спеціальних програм - кроскомпіляторів на звичайних ПК.

Додаток для TinyOS являє собою набір компонентів. Кожен розміром приблизно 200 байт та інтерфейсів для міжкомпонентної взаємодії. Для кожного конкретного додатка формується свій набір компонентів. Отриманий додаток на етапі компіляції для кінцевої платформи (iris, mica2, telos та ін.) інтегрується з ядром системи в один виконуючий файл, який і завантажується на сенсорний вузол.

Слід зазначити, що при створенні БСМ розробляються розподілені додатки. І для повноцінного їх тестування потрібна мережа, яка містить велику кількість вузлів для



тестування і налагодження. У зв'язку з цим необхідні програми-емулятори.

Апаратні рішення БСМ. Типовий перелік елементів вузла БСМ включає: мікросхему безпроводного приймача; мікроконтролер або однокристальний пристрій; антену (друкована/чіп/зовнішня); роз'єми для підключення зовнішньої антени; пасивні компоненти для узгодження антени і приймача; антенний підсилювач (в окремих випадках); стабілізатор живлення або батареї живлення. На рисунку 2.11, як приклад, наведено перелік апаратних рішень, пропонованих тільки фірмою Texas Instruments.

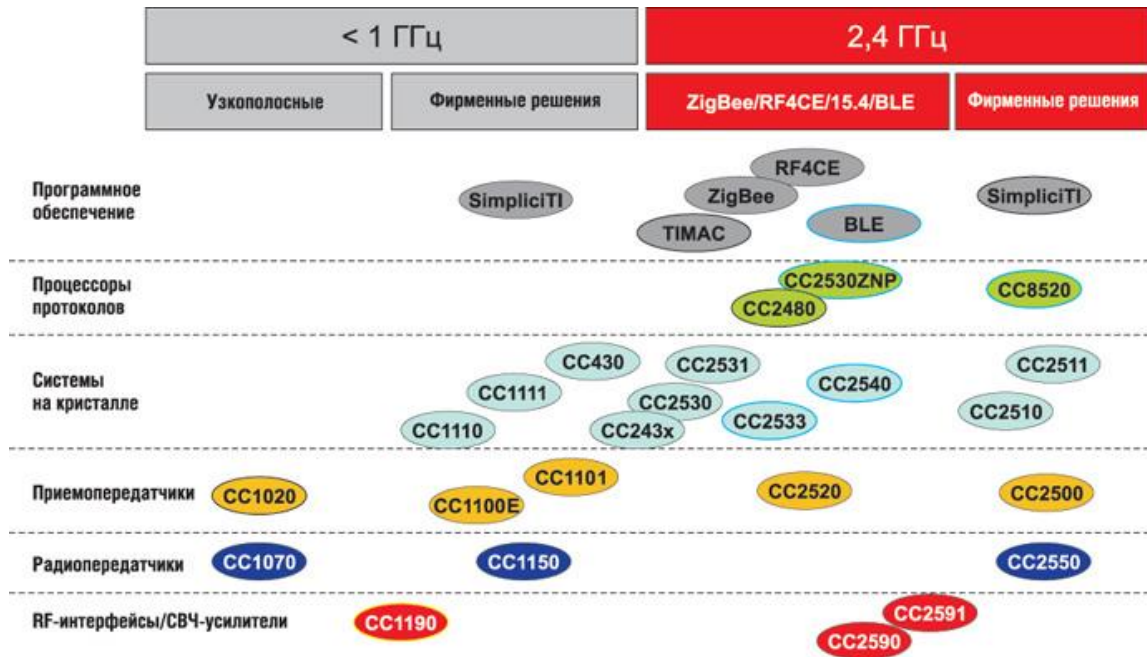


Рисунок 2.11 – Рішення і апаратні продукти Texas Instruments для БСМ

В даний час закордонними фірмами випускається великий номенклатурний ряд готових модулів і мікросбірок, які інтегрують на платах для поверхневого або мезонінного монтажу всі елементи радіотракту, включаючи приймально-передавальні елементи (рис.2.12). Останні технологічні інновації в апаратній частині забезпечують мікромініатюризацію модулів, збільшення області дії приймачів сигналів, появу нових сенсорних датчиків, продовження терміну служби батарей при зменшенні їх габаритних розмірів. Розроблені нові програмні засоби дозволяють не тільки автоматично розгортати сенсорні мережі, але і перепрограмувати їх, а також дистанційно керувати режимами функціонування, збором і візуалізацією даних.

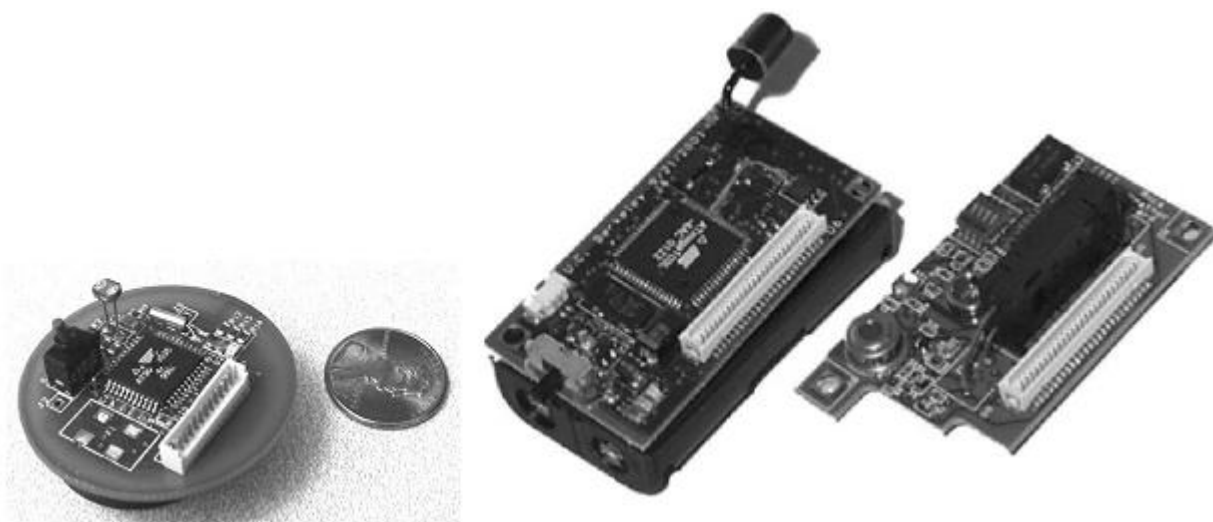


Рисунок 2.12 – Модулі та мікробірки вузлів різних виробників

Прикладом вітчизняної розробки в області БСМ є апаратно-програмна платформа MeshLogic призначена для створення бездротових сенсорних мереж під різні додатки. Основною відмінністю цієї платформи від ZigBee є орієнтація на побудову тимчасових пористих мереж (рис.2.13), з функціонально однотипними вузлами здатними ретранслювати пакети в процесі доставки даних. Вся інформація, яка збирається мережею, передається на шлюз, який, по суті, є таким же вузлом, як і всі інші, але з розширеною функціональністю. Шлюз має наступні відмінності від типового вузла: координує роботу вузлів мережі; не має в своєму складі сенсорів; пов'язаний з корпоративною мережею (наприклад, з сервером) за допомогою провідного або безпроводного зв'язку. У найпростішому випадку шлюз через відповідний інтерфейс (USB-порт, послідовний порт або Ethernet-порт) підключається до комп'ютера, що виконує функції сервера безпроводної мережі.

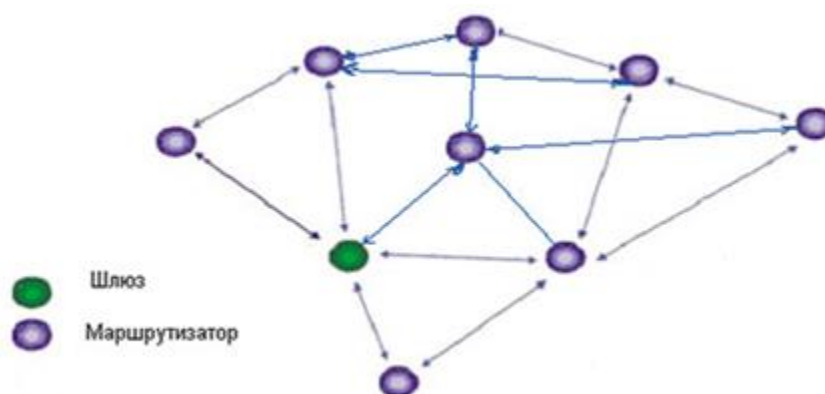


Рисунок 2.13 – Структура Ad Hoc-мережі

Мережа з подібною структурою в найбільшій мірі забезпечує можливість

самоорганізації і самовідновлення в разі виходу частини її вузлів з ладу. Даний клас мереж, спонтанно формує нову структуру в процесі роботи, носить назву Ad Hoc («для конкретного випадку»).

Платформа MeshLogic включає власний стек мережевих протоколів, що забезпечують багатоячейкову (mesh) топологію мережі з рівноправними вузлами-маршрутизаторами, самоорганізацію і автоматичний пошук маршрутів, а також можливість роботи всіх вузлів від автономних джерел живлення. У MeshLogic можливе застосування на фізичному рівні будь-яких типів приймачів, що відрізняються діапазоном частот, модуляцією та іншими параметрами, реалізованих на базі стандарту IEEE 802.15.4. Конфігурації і основні параметри модулів вузлів MeshLogic і вузла стандарту ZigBee наведені в табл.2.1

Таблиця 2.1 – Конфігурації і основні параметри модулів вузлів MeshLogic і вузла стандарту ZigBee

Тип OEM-модуля	MeshLogic		ZigBee
	ML-Module-Z	ML-Module-U	ZigBit
Мікроконтролер			
Процесор	Texas Instruments MSP430		ATmega1281
Тактова частота	Від 32,768 кГц до 8 МГц		4 МГц
Оперативна пам'ять	10 Кбайт		8 Кбайт
Flash- пам'ять	48 Кбайт		128 Кбайт
Приєднаний передавач			
Тип	IEEE 802.15.4	Cypress WirelessUSB™ LP	IEEE 802.15.4
Діапазон частот	2400-2483,5 МГц		2400-2483,5 МГц
Швидкість передачі даних	250 Кбіт/с	Від 15,625 до 250 Кбіт/с	250 Кбіт/с
Вихідна потужність	Від -24 до 0 дБм	Від -35 до 4 дБм	Від -28 до 3 дБм
Чутливість	-95 дБм	-93 дБм	-101 дБм
Антенна	Чип		1 або 2 чипа
Зовнішні інтерфейси			
АЦП	12-розрядний, 7 каналів		10-розрядний, 3 канали
Цифрові інтерфейси	I2C/SPI/UART/USB		I2C/SPI/UART/IRQ/JTAG
Другі параметри			
Напруга живлення	Від 0,9 до 6,5 В		Від 1,8 до 3,6 В
Розміри	44x33x10 мм		19x14x3 мм
Температурний діапазон	Від -40 до 85 °С	Від 0 до 70 °С	Від 0 до 85 °С

## 2.4 Постановка мети і завдань дослідження

Об'єкт дослідження - сенсорна мережа екологічної лабораторії.

Предметом дослідження є розробка сенсорної мережі для вже існуючої приладової бази.

Метою даної роботи є дослідження бездротових мереж з низьким енергоспоживанням і розробка з'єднання низькошвидкісних периферійних компонентів з мікроконтролером в аналітичній лабораторії.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести наступні заходи:

1. визначити сфери застосування бездротових мереж з низьким енергоспоживанням;
2. розглянути прикладні аспекти практичної реалізації бездротових вузлів;
3. виявити перспективні стандарти і протоколи бездротових сенсорних мереж;
4. розробити апаратну реалізацію за допомогою координатора та вузлів.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ З НИЗЬКИМ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ

#### 3.1 Перспективні стандарти і протоколи бездротових сенсорних мереж. Мережі ZigBee

Бездротові мережі все частіше використовуються в різних сферах людської діяльності. Розглянемо основні типи бездротових мереж:

Wi-Fi (англ. Wireless Fidelity – «бездротова точність») використовується для створення стаціонарних комп'ютерних мереж високої пропускної здатності. Дозволяє створювати мережі в місцях, де не можна прокласти кабель. Працює на частоті 2.4 ГГц, на відстанях до 250 м.

WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) – стандарт бездротового зв'язку, що забезпечує широкосмуговий зв'язок на значні відстані зі швидкістю, порівняною з кабельними з'єднаннями. Використовується для надання високошвидкісних сервісів передачі даних (до 70 Мб/с) і телекомунікаційних послуг, використовує високочастотний діапазон радіохвиль від 1,5 до 11 ГГц, максимальна відстань - 48 км.

ZigBee (назва походить від комірчастої структури, яка схожа на структуру сот бджіл) - назва набору протоколів, що застосовуються в пристроях, де потрібен великий час автономної роботи і велика захищеність при низьких швидкостях передачі даних. Працює на частотах 800, 900 МГц, 2.4 ГГц, відстань – до 1350 м.

Bluetooth (назва походить від прізвища середньовічного короля Данії Харальда I Синьозубого) - технологія для забезпечення відносно економного і дешевого радіозв'язку між різними типами електронних пристроїв, таких як мобільні телефони та аксесуари до них, портативні та настільні комп'ютери, принтери. Використовується частота 2,4 ГГц, максимальна відстань становить 100 м.

Специфікація ZigBee розроблена на базі міжнародного стандарту IEEE 802.15.4 для створення недорогих бездротових мереж передачі невеликих обсягів даних з низьким енергоспоживанням.

Сфери застосування таких мереж:

- автоматизація будівель, де технологія ZigBee використовується для зв'язку з датчиками температури, вологості, освітлення, вентиляції та ін.;
- діагностичне медичне обладнання;
- системи охоронної та пожежної безпеки;

– побутова електроніка і периферія персональних комп'ютерів.

Основна особливість технології ZigBee полягає в тому, що вона при відносно невисокому енергоспоживанні підтримує не тільки прості топології бездротового зв'язку, а й складні бездротові мережі з сітчастою топологією з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень ("mesh-мережі").

При цьому ZigBee-мережі здатні до самоналаштування при відключенні окремих вузлів (наприклад, якщо розрядився акумулятор). Стандарт IEEE 802.15.4 передбачає використання 16 каналів в діапазоні 2,4 ГГц, 10 каналів в діапазоні 915 МГц (для США) і одного каналу в смузі 868 МГц (для Європи) згідно з неліцензійними частотними діапазонами, прийнятими в різних країнах. Швидкість передачі даних між пристроями залежить від числа зайнятих каналів і становить від 20 до 250 кбіт/с. Крім спрощеної 16-бітової адресації можлива розширена 64-бітна, що дозволяє розміщувати в одній мережі до 65 тис. пристроїв.

Заявлена дальність зв'язку між двома пристроями - до 75 м, але, враховуючи, що дані в ZigBee-мережах можуть передаватися по ланцюжку, це не є перешкодою для розгортання мережі на великих площах. У мережі можуть працювати пристрої різного функціонального призначення.

Зокрема, координатор мережі здатний управляти роботою мереж різної топології, зберігати дані про їх структуру (тобто має достатній обсяг пам'яті) і в деяких випадках бути мостом до мереж іншого роду. Ретранслятор мережі просто приймає і передає дані. Є також і приймачі, здатні спілкуватися тільки з координатором.

Всі бездротові стандарти останніх версій можуть автоматично вибирати несучу частоту в своєму робочому діапазоні, що забезпечує оптимальне функціонування. Для систем, що працюють в смузі 2,4 ГГц, це особливо важливо, оскільки вони повинні бути стійкі до перешкод, наприклад, від мікрохвильових печей, що використовують таку саму частоту. Необхідна також коректна робота мереж IEEE 802.11 і Bluetooth. Крім ZigBee існують і інші типи мереж, засновані на стандарті IEEE 802.15.4. Наприклад, 6LoWPAN або RF4CE. Стандарт 6LoWPAN був розроблений для здійснення передачі даних по протоколу IPv6 в малопотужних бездротових персональних мережах стандарту IEEE802.15.4. Основною метою розробки було забезпечення взаємодії бездротових персональних мереж IEEE 802.15.4 з широко поширеними мережами IP, в тому числі і для доступу в Інтернет.

Стандарт RF4CE - новий стандарт управління споживчою електронікою на базі бездротової технології, продукт консорціуму найбільших виробників побутової електроніки (Panasonic, Philips, Samsung, Sony). Він, як і ZigBee, є програмною надбудовою над стандартом 802.15.4. У порівнянні з традиційними інфрачервоними пультами нова технологія

забезпечує безпосередньо ряд переваг, основні з яких - відсутність необхідності прямої видимості між пультом і приймачем і можливість двостороннього обміну даними. Безліч сучасних пристроїв для мереж ZigBee підтримують ще і стандарти 6LoWPAN і RF4CE, що дає розробникам нові можливості для проектування кінцевого продукту.

У зв'язку із зростанням техногенного впливу на навколишнє середовище і впровадженням методів точного (прецизійного) землеробства зросла потреба в різних автоматизованих системах моніторингу насаджень мегаполісів і сільськогосподарських угідь, що дозволяють здійснювати оцінки якості ґрунтів і рослинного покриву.

Одним з методів отримання даних про стан рослини є метод індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) рослин в червоному спектрі світла, що характеризує процес проходження фотосинтезу, і реєструється при висвітленні хлорофілу в синьому спектрі світла. В результаті виходить, так звана, крива Каутського.

Наукові дослідження ряду вітчизняних і закордонних дослідників свідчать про можливість застосування даного ефекту для експресних оцінок життєдіяльності рослин після засухи, морозу, зчеплення, внесення пестицидів і добрив, при забрудненні навколишнього середовища шкідливими речовинами техногенного походження. Як результат, це дає можливість зменшити кількість нітратів в ґрунті, економити енергетичні та водні ресурси при штучному поливі, створювати технології прецизійного землеробства, автоматизувати дослідження в області фізіології рослин; визначати оптимальні дози хімічних добрив і біологічних добавок тощо.

Досліди з вивчення ІФХ почалися з часу самого відкриття ефекту. Обґрунтованому вивченню можливостей застосування даного ефекту заважали як складність біологічних експериментів, так і недосконалість і висока вартість апаратних пристроїв і засобів. Поява флуорометру на базі мікропроцесорної техніки в кінці 90-х років минулого століття значно прискорило вивчення даного ефекту. Однак й досі результати досліджень хоч і підтверджують певні потенційні можливості методу ІФХ при контрольованих лабораторних і польових експериментах, проте в реальних польових умовах, коли рослини піддаються впливу різних чинників, невисока достовірність і повторюваність цих результатів заважає впровадженню ефекту ІФХ в промислове рослинництво. Тому виникає необхідність оптимізації досліджень ІФХ шляхом розробки і впровадження нових апаратно-програмних засобів.

Особливості отримання кривих ІФХ за допомогою портативного флуорометра «Флоратест». В рамках програми НАН України "Сенсорні системи для медико-екологічних та промислово-технологічних потреб" в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України створено портативні комп'ютерні прилади для визначення в експрес-режимі впливу

стресових факторів на стан рослин. Портативний прилад вимірює ІФХ без пошкодження рослини. Практичну корисність приладу «Флоратест» підтверджено дослідженнями, проведеними спільно з науковими установами Національної академії наук України та Національної академії аграрних наук України.

При обробці кривих використовують характерні зміни кривої і точки на кривій. Найбільш використовуваними є наступні показники:  $F_0$  - початкове значення індукції флуоресценції після включення опромінення;  $F_r$  - значення індукції флуоресценції «плато»;  $F_m$  - максимальне значення індукції флуоресценції;  $F_{st}$  - стаціонарне значення індукції флуоресценції після світлової адаптації рослини;  $F_m - F_0$  - варіабельність флуоресценції,  $\tau_1$  - час досягнення 0,5 варіабельної флуоресценції при зростанні кривої ІФХ;  $\tau_2$  - час досягнення 0,5 варіабельної флуоресценції при падінні кривої ІФХ;  $T = \tau_2 - \tau_1$  - тривалість ІФХ.

У деяких випадках різницю між кривими різних варіантів досліджуваної сукупності видно наочно. Однак, в основному, результати вимірювань не настільки очевидні. У таких випадках необхідно більш детально обробляти вимірювання, а також застосувати статистичні методи, які потребують вибірки з 20 - 30 вимірювань з одного варіанта, а з огляду на те, що в статистичній сукупності може бути до 10 і більше варіантів, то при великій кількості вимірів на це може витратитися досить багато часу. Отримання такої кількості вимірювань в польових умовах досить складне завдання, що пов'язане із залежністю ІФХ від зміни зовнішніх умов і необхідністю тимчасових витрат на проведення вимірювань.

Корпорація Atmel пропонує повнофункціональні 802.15.4/ZigBee рішення з підтримкою 6LoWPAN і RF4CE - сімейство MCU Wireless (AVRZ-link), засновані на AVR-мікроконтролерах і РЧ-трансиверах власної розробки.



## 3.2 Протоколи обміну даними

Збір даних в вузлах сенсорної мережі з датчиків проводиться як з використанням протоколів обміну даними I<sup>2</sup>C, USB 2.0, 1-Wire, так і за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП).

### 3.2.1 Шина I<sup>2</sup>C

I<sup>2</sup>C – послідовна шина даних для зв'язку інтегральних схем, розроблена фірмою Philips на початку 1980-х як проста шина внутрішнього зв'язку для створення керуючої електроніки. Використовується для з'єднання низькошвидкісних периферійних компонентів з материнською платою, системами, що вбудовуються, і мобільними телефонами. Назва є аббревіатурою слів Inter-Integrated Circuit. 1 жовтня 2006 скасовані ліцензійні відрахування за використання протоколу I<sup>2</sup>C. Однак, відрахування зберігаються для виділення ексклюзивної адреси на шині I<sup>2</sup>C.

I<sup>2</sup>C використовує дві двонаправлені лінії, підтягнуті до напруги живлення і керовані через відкритий колектор або відкритий стік - послідовна лінія даних (SDA, англ. Serial DAta) і послідовна лінія тактування (SCL, англ. Serial CLock). Стандартні напруги +5 В або 3,3 В, однак допускаються й інші.

Класична адресація включає 7-бітний адресний простір з 16 зарезервованими адресами. Це означає до 112 вільних адрес для підключення периферії на одну шину.

Основний режим роботи - 100 кбіт/с; 10 кбіт/с в режимі зі зниженою швидкістю. Зауважимо, що стандарт допускає припинення тактування для роботи з повільними пристроями.

Після перегляду стандарту 1992 стає можливим підключення ще більшої кількості пристроїв на одну шину (за рахунок можливості 10-бітної адресації), а також велику швидкість до 400 кбіт/с в швидкісному режимі. Відповідно, доступна кількість вільних вузлів зросла до 1008. Максимально допустима кількість мікросхем, підключених до однієї шині, обмежується максимальним обсягом до шини в 400 пФ.

Версія стандарту 2.0 (1998р.) представила високошвидкісний режим роботи зі швидкістю до 3,4 Мбіт/с зі зниженим енергоспоживанням. Остання версія 2.1 (2001р.) включила лише незначні доробки.

Деякі переваги шини I<sup>2</sup>C:

- необхідний всього один мікроконтролер для управління набором пристроїв;
- потрібно тільки дві лінії - лінія даних (SDA) і лінія синхронізації (SCL) Кожен пристрій, підключений до шини, може бути програмно адресовано за унікальною адресою. У кожен момент часу існує просте відношення ведучий/відомий: ведучі можуть працювати як ведучий -передавач і ведучий-приймач;
- шина дозволяє мати кілька ведучих, надаючи засоби для визначення колізій і арбітраж, щоб запобігти пошкодженню даних в ситуації, коли два або більше ведучих одночасно починають передачу даних. У стандартному режимі забезпечується передача послідовних 8-бітних даних зі швидкістю до 100 кбіт/с, і до 400 кбіт/с в "швидкому" режимі;
- вбудований в мікросхеми фільтр стримує сплески, забезпечуючи цілісність даних;
- стандарт передбачає «гаряче» підключення і відключення пристроїв в процесі роботи системи.

#### Концепція шини I<sup>2</sup>C.

Дві лінії, даних (SDA) і синхронізації (SCL) служать для перенесення інформації. Кожен пристрій розпізнається за унікальною адресою і може працювати як передавач або приймач, в залежності від призначення пристрою. Крім того, пристрої можуть бути класифіковані як ведучі і відомі при передачі даних. Ведучий - це пристрій, який ініціює передачу даних і виробляє сигнали синхронізації. При цьому будь-який пристрій, що адресується, вважається відомим по відношенню до ведучого.

Шина I<sup>2</sup>C допускає кілька ведучих. Це означає, що більш ніж один пристрій, здатний керувати шиною, може бути підключено до неї. У ролі ведучих зазвичай виступають мікроконтролери, а це означає, що більш ніж один ведучий може спробувати почати пересилання в один і той же момент часу. Для усунення хаосу, який може виникнути в даному випадку, розроблена процедура арбітражу. Ця процедура заснована на тому, що всі I<sup>2</sup>C-пристрої підключаються до шини за правилом монтажного I.

#### Загальні параметри.

Як SDA, так і SCL є двонаправленими лініями, приєднаними до позитивного джерела живлення через підтягуючий резистор (рис. 3.1). Коли шина вільна, обидві лінії знаходяться у високому положенні. Вихідні каскади пристроїв, підключених до шини, повинні мати відкритий стік або відкритий колектор для забезпечення функції монтажного I.

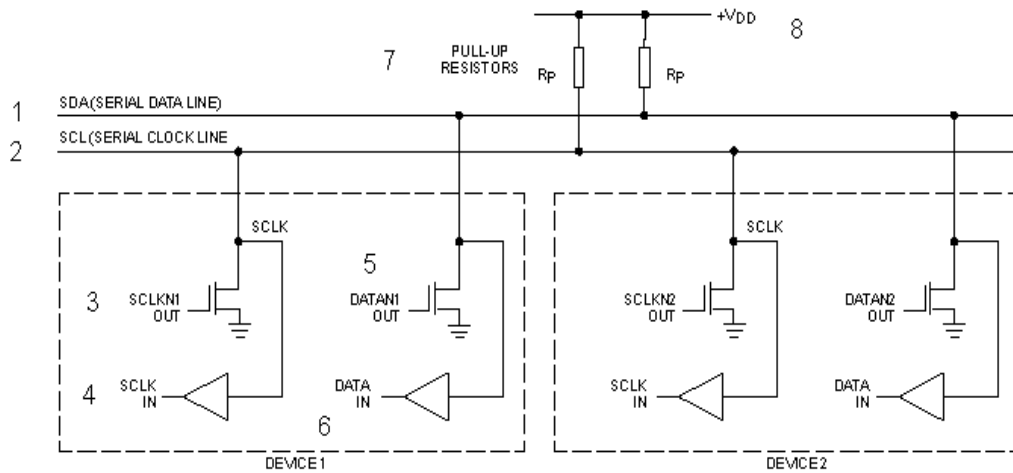


Рисунок 3.1 – Підключення I<sup>2</sup>C- пристроїв до шини

На рисунку 3.1 зображені:

1. SDA (лінія даних).
2. SCL (лінія синхронізації).
3. Вихід синхронізації.
4. Вхід синхронізації.
5. Вихід даних.
6. Вхід даних.
7. Підтягуючі резистори.
8. Напряга живлення.

Існують сигнали СТАРТ і СТОП, які завжди робляться ведучим і відзначають спеціальні ситуації на шині (рис.3.2). Шина, зайнята після сигналу СТАРТ, вважається звільненою через певний час після сигналу СТОП.

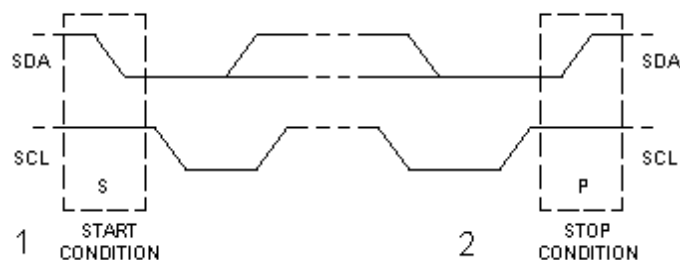


Рисунок 3.2. – Сигнали СТАРТ и СТОП

На рисунку 3.2 зображені:

1. Сигнал СТАРТ.

## 2. Сигнал СТОП.

Кожен байт, що передається по лінії SDA, повинен складатися з 8 біт. Кількість байт, переданих за один сеанс зв'язку, необмежено. Кожен байт повинен закінчуватися обов'язково бітом підтвердження, який генерується ведучим пристроєм.

Синхронізація виконується з використанням підключення до лінії SCL за правилом монтажного І. Це означає, що ведучий не має монопольного права на управління переходом лінії SCL з низького стану в високий. У тому випадку, коли відомому потрібен додатковий час на обробку прийнятого біта, він має можливість утримувати лінію SCL в низькому стані до моменту готовності до прийому наступного біта. Таким чином, лінія SCL буде перебувати в низькому стані протягом довгого низького періоду синхросигналів. Пристрої з більш коротким низьким періодом будуть входити в стан очікування на час, поки не скінчиться довгий період. Коли у всіх задіяних пристроїв скінчиться низький період синхросигналу, лінія SCL перейде в високий стан. Всі пристрої почнуть проходити високий період своїх синхросигналів. Перший пристрій, у якого скінчиться цей період, знову встановить лінію SCL в низький стан. Таким чином, низький період синхролінії SCL визначається найдовшим періодом синхронізації з усіх задіяних пристроїв, а високий період визначається найкоротшим періодом синхронізації пристроїв. Механізм синхронізації може бути використаний приймачами як засіб управління пересиланням даних на байтовому і бітовому рівнях.

На рівні байта, якщо пристрій може приймати байти даних з великою швидкістю, але вимагає певний час для збереження прийнятого байта або підготовки до прийому наступного, то він може містити лінію SCL в низькому стані після прийому і підтвердження байта, переводячи таким чином передавач в стан очікування.

На рівні бітів, пристрій, такий як мікроконтролер, без вбудованих апаратних схем I<sup>2</sup>C або з обмеженими схемами, може уповільнити частоту синхроімпульсів шляхом продовження їх низького періоду. Таким чином, швидкість передачі будь-якого ведучого адаптується до швидкості повільного пристрою.

### 3.2.2 1 Wire

1-Wire (англ. один дріт) – зареєстрована торгова марка корпорації Dallas Semiconductor для системотехніки шини пристроїв зв'язку Dallas Semiconductor. Унікальність мікросхем Dallas з інтерфейсом 1-Wire полягає в використанні для здійснення цифрового зв'язку однієї лінії даних (DATA) і одного поворотного (або земляного) дроту (RET) (рис. 3.3). Живлення і

зв'язок здійснюються через одне з'єднання.

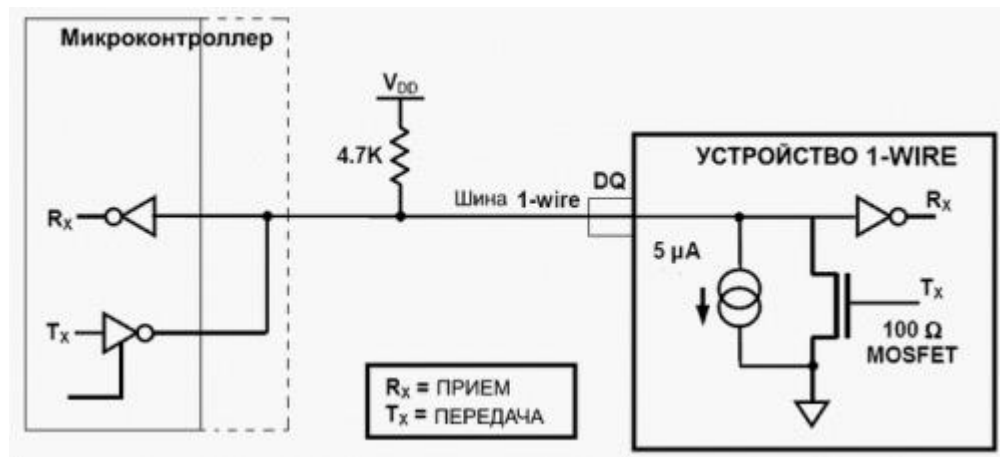


Рисунок 3.3 – Підключення пристроїв

Режим зв'язку - асинхронний і напівдуплексний, який суворо дотримується схемою ведучий-відомий. До однієї і тієї ж шини можуть бути одночасно підключено один або кілька відомих пристроїв і тільки один ведучий пристрій. Часто в якості ведучої однопровідної шини виступає не комп'ютер, а найпростіший універсальний мікроконтролер.

Обмін інформацією по 1-Wire відбувається наступним чином:

1. Передача інформації можлива тільки видачею низького рівня в лінію, тобто замиканням її на загальний дріт. У високий логічний рівень лінія повернеться сама, через наявність підтягуючого резистора (тепер стає зрозуміло, що наявність зовнішнього підтягуючого резистора - обов'язкова умова роботи 1-Wire).

2. Обмін відбувається з ініціативи ведучого пристрою (зазвичай - мікроконтролера).

3. Обмін інформацією починається з подачі імпульсу скидання (RESET pulse) на лінію.

4. При підключенні, 1-wire пристрій видає в лінію DQ імпульс присутності (PRESENCE pulse). Цей же імпульс видається при виявленні сигналу RESET.

5. Обмін інформацією ведеться, так званими, тайм-слотами - один слот містить один біт інформації (рис. 3.4).

6. Дані передаються побайтно - біт за бітом, починаючи з молодшого байта. Достовірність даних (перевірка відсутності спотворень) гарантується шляхом підрахунку циклічної контрольної суми (CRC). Алгоритм підрахунку CRC повинен бути однаковим як для МК, так і для будь-якого пристрою 1-Wire.



Рисунок 3.4 – Передача біта інформації

Переваги 1-Wire-технології:

- просте і оригінальне рішення адресованості абонентів;
- нескладний протокол;
- проста структура лінії зв'язку;
- мале споживання компонентів;
- легка зміна конфігурації мережі;
- значна протяжність ліній зв'язку;
- дешевизна всієї технології в цілому.

Дані переваги відображають очевидну раціональність і високу ефективність цього інструменту при вирішенні завдань комплексної автоматизації в самих різних областях діяльності.

Шина 1-Wire застосовується в різних галузях:

- Ідентифікація особистості.

Замок і ключ, що використовують технологію 1-Wire (iButton). Наявність в кожній мікросхемі 1-Wire унікального номера дозволяє використовувати пристрої iButton, наприклад, в системах контролю і управління доступом (СКУД), де вони успішно конкурують з безконтактними картками, що використовують технологію RFID.

- Видалені датчики фізичних величин.

Пристрої 1-Wire дуже зручні для вимірювань. Не потрібно окремого живлення, можливо підключити по одному дроту цілу гірлянду різноманітних датчиків. Система таких датчиків легко контролюється на предмет аварій. Записи про калібрування можуть зберігатися прямо в датчиках.

- Інші застосування.

Існують рішення iButton для захисту нерухомості, для систем виявлення проникнення і інше використання. Є також системи для відпирання в менш очевидних областях безпеки. Наприклад, iButton може бути використаний для аутентифікації користувачів комп'ютерних систем (апаратний ключ в системах захисту інформації) або в системі табельних годинників.

### 3.2.3 USB 2.0

Шина USB (Universal Serial Bus - універсальна послідовна шина) з'явилася по комп'ютерним мірками досить давно - версія першого затвердженого варіанту стандарту з'явилася 15 січня 1996 року. Розробка стандарту була ініційована вельми авторитетними фірмами - Intel, DEC, IBM, NEC, Northern Telecom и Compaq.

Основна мета стандарту, поставлена перед його розробниками - створити реальну можливість користувачам працювати в режимі Plug & Play з периферійними пристроями. Це означає, що має бути передбачено підключення пристрою до працюючого комп'ютера, автоматичне розпізнавання його негайно після підключення і подальша установка відповідних драйверів. Крім цього, бажано живлення малопотужних пристроїв подавати з самої шини. Швидкість шини повинна бути достатньою для переважної більшості периферійних пристроїв. Попутно вирішується історична проблема нестачі ресурсів на внутрішніх шинах IBM PC сумісного комп'ютера - контролер USB займає тільки одне переривання незалежно від кількості підключених до шини пристроїв.

Можливості USB впливають з її технічних характеристик:

- Висока швидкість обміну (full-speed signaling bit rate) - 12 Mb/s.
- Максимальна довжина кабелю для високої швидкості обміну - 5 м.
- Низька швидкість обміну (low-speed signaling bit rate) - 1.5 Mb/s.
- Максимальна довжина кабелю для низької швидкості обміну - 3 м.
- Максимальна кількість підключених пристроїв (включаючи розмножувачі) – 127.
- Можливість підключення пристроїв з різними швидкостями обміну.
- Відсутність необхідності в установці користувачем додаткових елементів, таких як термінатори для SCSI.
- Напруга живлення для периферійних пристроїв - 5 V.
- Максимальний струм споживання на один пристрій - 500 mA.

Тому доцільно підключати до USB практично будь-які периферійні пристрої, крім

цифрових відеокамер і високошвидкісних жорстких дисків. Особливо зручний цей інтерфейс для підключення приладів, що часто підключаються/відключаються, таких як цифрові фотокамери. Конструкція роз'ємів для USB розрахована на багаторазове з'єднання/роз'єднання.

Можливість використання тільки двох швидкостей обміну даними обмежує застосовність шини, але істотно зменшує кількість ліній інтерфейсу і спрощує апаратну реалізацію.

Живлення безпосередньо від USB можливо тільки для пристроїв з малим споживанням, таких як клавіатури, миші, джойстики та ін.

Сигнали USB передаються по 4-х дротовому кабелю. Для підключення периферійних пристроїв використовуються роз'єми, зображені на рисунку 3.5.



Призначені тільки для підключення до джерела, тобто до комп'ютера або хабу

Призначені тільки для підключення до периферійних пристроїв

Рисунок 3.5 – Роз'єми підключення USB

Призначення контактів роз'єму наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Призначення контактів роз'єму

Номер контакту	Призначення	Колір дроту
1	V BUS	Червоний
2	D-	Білий
3	D+	Зелений
4	GND	Чорний
Оплетення	Екран	Оплетення

Тут GND - ланцюг "корпусу" для живлення периферійних пристроїв, VBus - + 5V також для ланцюгів живлення. Шина D + призначена для передачі даних по шині, а шина D-



для прийому даних.

Кабель для підтримки повної швидкості шини (full-speed) виконується як кручена пара, захищається екраном і може також використовуватися для роботи в режимі мінімальної швидкості (low-speed). Кабель для роботи тільки на мінімальній швидкості (наприклад, для підключення миші) може бути будь-яким і неекранованим.

Недоліки USB 2.0. Хоча пікова пропускну здатність USB 2.0 складає 480 Мбіт/с (60 Мбайт/с) на практиці забезпечити пропускну здатність, близьку до пікової, не вдається (~33,5 Мбайт/сек на практиці). Це пояснюється досить великими затримками шини USB між запитом на передачу даних і власне початком передачі. Наприклад, шина FireWire, хоча і має меншу пікову пропускну здатність 400 Мбіт/с, що на 80 Мбіт/с (10 Мбайт/с) менше, ніж у USB 2.0, в реальності дозволяє забезпечити більшу пропускну здатність для обміну даними з жорсткими дисками і іншими пристроями зберігання інформації. У зв'язку з цим різноманітні мобільні накопичувачі вже давно «впираються» в недостатню практичну пропускну здатність USB 2.0.

Мікроконтролер спілкується із зовнішнім світом за допомогою портів введення/виводу. У загальному випадку він може "сприймати" тільки цифрові сигнали - логічний нуль або логічну одиницю. Наприклад, для мікроконтролера ATmega8 при напрузі живлення 5 В логічний нуль - це напруга від 0 до 1,3 В, а логічна одиниця - від 1,8 до 5 В. Досить часто виникає потреба вимірювати напруги, які можуть приймати будь-яке значення в діапазоні від 0 до напруги живлення. Для цих цілей у складі мікроконтролерів AVR є аналого-цифровий перетворювач (АЦП).

На вхід АЦП подається безперервний аналоговий сигнал, а на виході виходить послідовність цифрових значень. АЦП має багато характеристик, але в якості основних можна назвати роздільну здатність, абсолютну точність, граничну частоту дискретизації і діапазон вхідних напружень.

Роздільна здатність (дозвіл) - це здатність АЦП розрізняти два значення вхідного сигналу. Визначається як величина зворотна максимальному числу кодових комбінацій на виході АЦП. У AVRа АЦП 10-ти розрядний. Максимальне число кодових комбінацій дорівнюватиме  $2^{10} = 1024$ . Роздільна здатність дорівнює  $1/1024$  від усієї шкали допустимих вхідних напруг. У даній розробці напруга живлення 3.3 В, тоді  $3.3/1024 = 0,0032$  В або приблизно 3 мВ. З таким кроком (крок квантування) АЦП буде вимірювати вхідну напругу.

Абсолютна точність - відхилення реального перетворення від ідеального. Виражається в кількості молодших значущих розрядів (LSB - least significant bit) АЦП. Для AVRа абсолютна похибка АЦП =  $\pm 2\text{LSB}$ . У даній розробці абсолютна точність буде дорівнювати  $2 * 3 \text{ мВ} = \pm 6 \text{ мВ}$ .

Гранична частота дискретизації визначає швидкодію АЦП і вимірюється в герцах або кількості вибірок в секунду (SPS – samples per second). Для мікроконтролерів AVR ця величина дорівнює 15 kSPS (кілло семплів в секунду). Практично АЦП AVRа працює і швидше, але при цьому його точність погіршується.

Діапазон вхідних напруг - це мінімальне і максимальне значення напруги, яке можна подавати на вхід АЦП. Для мікроконтролера AVR діапазон вхідної напруги АЦП дорівнює 0 - VCC (напруга живлення).

## 4 АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ

Найважливішими елементами в сенсорній мережі є вузли, які збирають дані з різних датчиків і передають їх на комп'ютер. Не менш важливу роль відіграє і координатор, який керує роботою мережі, зберігає дані про її топологію та служить шлюзом для передачі даних, що збираються всією бездротовою сенсорною мережею для подальшої обробки на комп'ютері. Обидва ці модуля побудовані на основі бездротового прийомо-передавача XB24-ACI-001 (рис.4.1). Це малогабаритний модуль стандарту ZigBee/IEEE 802.15.4, призначений для побудови промислових мереж передачі даних.



Рисунок 4.1 – ZigBee модуль XB24-ACI-001

Управління модулем здійснюється через інтерфейс UART за допомогою AT-команд. У таблиці 4.1 наведені основні характеристики даного модуля.

Таблиця 4.1 – Основні характеристики XB24-ACI-001

Параметри	Значення
Радіус дії в приміщенні, м	30
Радіус дії у вільному просторі, м	100
Максимальна вихідна потужність, мВт	1
Швидкість передачі даних по радіоканалу, біт/с	250000
Швидкість передачі даних по інтерфейсу, біт/с	1200...115200
Чутливість, дБм	-92
Напруга живлення, В	2,8...3,4
Струм споживання в режимі передачі, мА	45
Струм споживання в режимі прийому, мА	50
Струм споживання в режимі енергозбереження, мкА	10
Робоча частота, ГГц	2,4
Кількість каналів	16
Кількість адрес в мережі	65000
Розміри, мм	24,4x27,6
Робочий діапазон температур, °С	-40...85

Даний модуль підтримує 3 топології мережі: Point-to-Point, Point-to-Multipoint, Peer-to-Peer. Це дозволяє реалізувати мережу практично будь-якої складності. Додатково модуль має:

- 6 10-бітних АЦП;
- 8 цифрових каналів вводу/виводу;
- інтерфейс UART;
- API функції для програмування;
- 3 індикатори станів.

Існує і модуль XBee-PRO, який відрізняється від XBee підвищеною потужністю випромінювання і, відповідно, збільшеним радіусом дії. Модулі випускаються в трьох варіантах - з дротовою антеною, з вбудованою чіп-антеною і з роз'ємом для підключення зовнішньої антени.

#### 4.1 Координатор

Координатор складається з ZigBee прийомо-передавача XB24-ACI-001, який має 3 світлодіода, що відображають його стан:

1. Power – світлодіод, що індикуює включений модуль чи ні.
2. Associate – показує, чи встановлений зв'язок кінцевого пристрою з координатором.
3. RSSI – відображає потужність сигналу, використовуючи ШІМ.

XB24 з'єднується через інтерфейс UART з двонаправленим перетворювачем інтерфейсів FT232, який дає можливість підключити ZigBee модуль за допомогою інтерфейсу USB 2.0 до персонального комп'ютера для обміну даними. FT232 в свою чергу теж має два світлодіодних індикатора:

- RxLed – індикація даних, що приймаються;
- TxLed – індикація даних, що передаються.

Перетворювач інтерфейсів FT232 пов'язаний з енергонезалежною EEPROM пам'яттю, яка використовується для зберігання інформації про вузол. У даній розробці він називається «ZigBee Coordinator». Даний вузол не виконує ніяких функцій по обробці даних, тому в ньому відсутні будь-які мікропроцесорні пристрої. Схема електрична принципова координатора зображена на рисунку 4.2. Живлення координатора робиться тільки від порту USB, так як координатор має споживання струму порядку десятка міліампер і не передбачає подачу на нього напруги живлення більше 5 В.

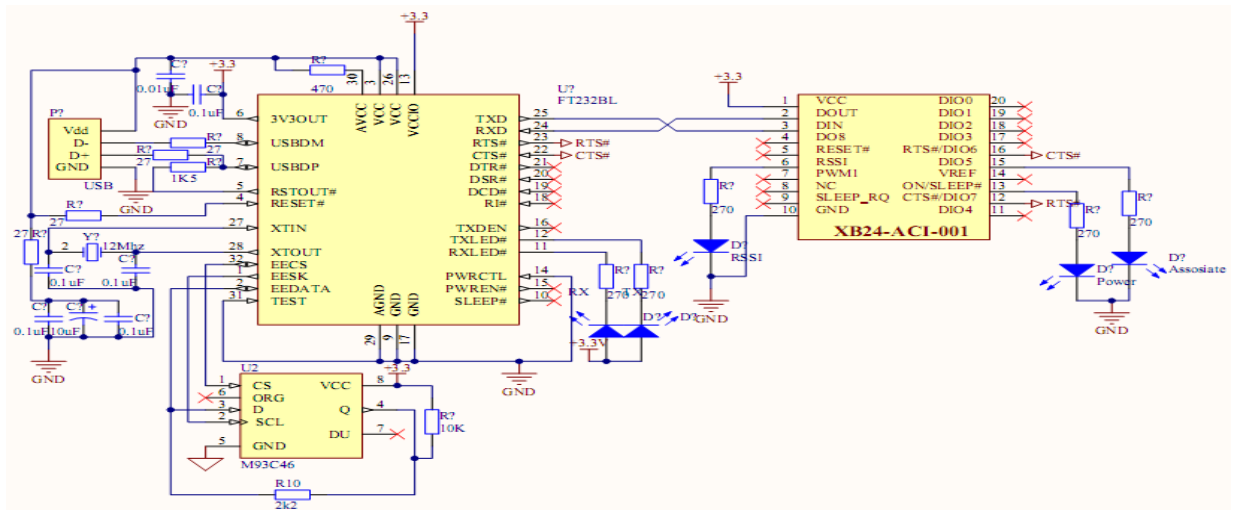


Рисунок 4.2 – Схема координатора електрична принципова

## 4.2 Вузол

Основним завданням вузла є збір даних від різноманітних датчиків, тому він, на відміну від координатора, виконаний на мікроконтролері сімейства AVR Atmega8, на який покладено функції збору, обробки, прийому і пересилання даних. Був обраний саме МК Atmega8 в силу його дешевизни, простоти і достатньої конфігурації для реалізації всіх функцій вузла. Структурна схема вузла зображена на рисунку 4.3.

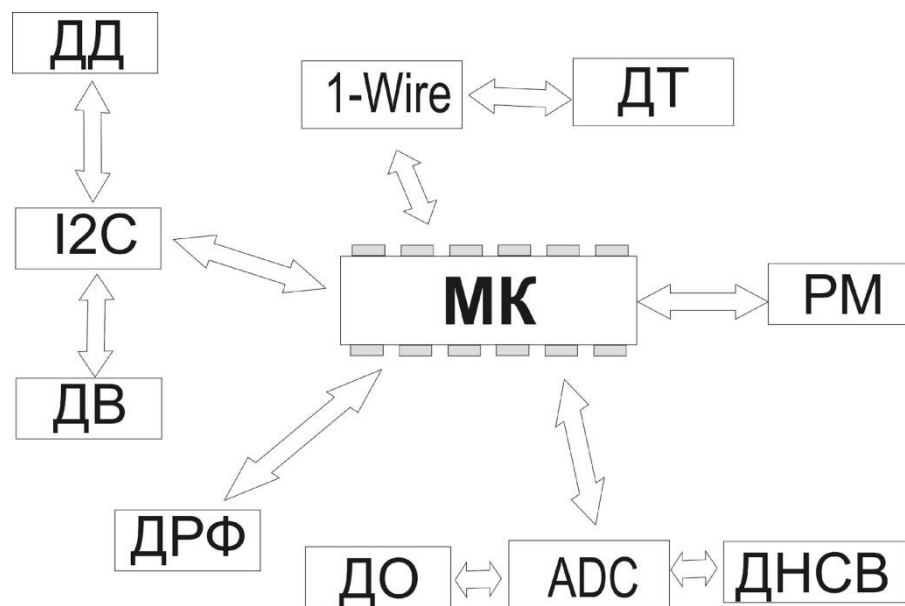


Рисунок 4.3 – Структурна схема вузла

Так як стояло завдання збору радіаційно-екологічних параметрів навколишнього середовища, то було обрано такі датчики:

- температури (ДТ);
- тиску (ДД);
- відносної вологості повітря (ДВ);
- освітленості (ДО);
- напрямку і сили вітру (ДНСВ);
- радіаційного фону (ДРФ).

У вузлі також є ZigBee прийомо-передавач XB24-ACI-001 з 3 індикаторами (Associate, RSSI, Power). Мікроконтролер Atmega8 з'єднаний через інтерфейс UART з XB24, за допомогою якого і здійснюється обмін інформацією. Живлення модуля проводиться від батарейки «Крона» з напругою 9В або 12В. Незважаючи на те, що живлення елементів вузла проводиться напругою 3.3В, така висока напруга на вході потрібна для датчика радіаційного фону СБМ-20. Схема електрична принципова вузла зображена на рисунку 4.4.

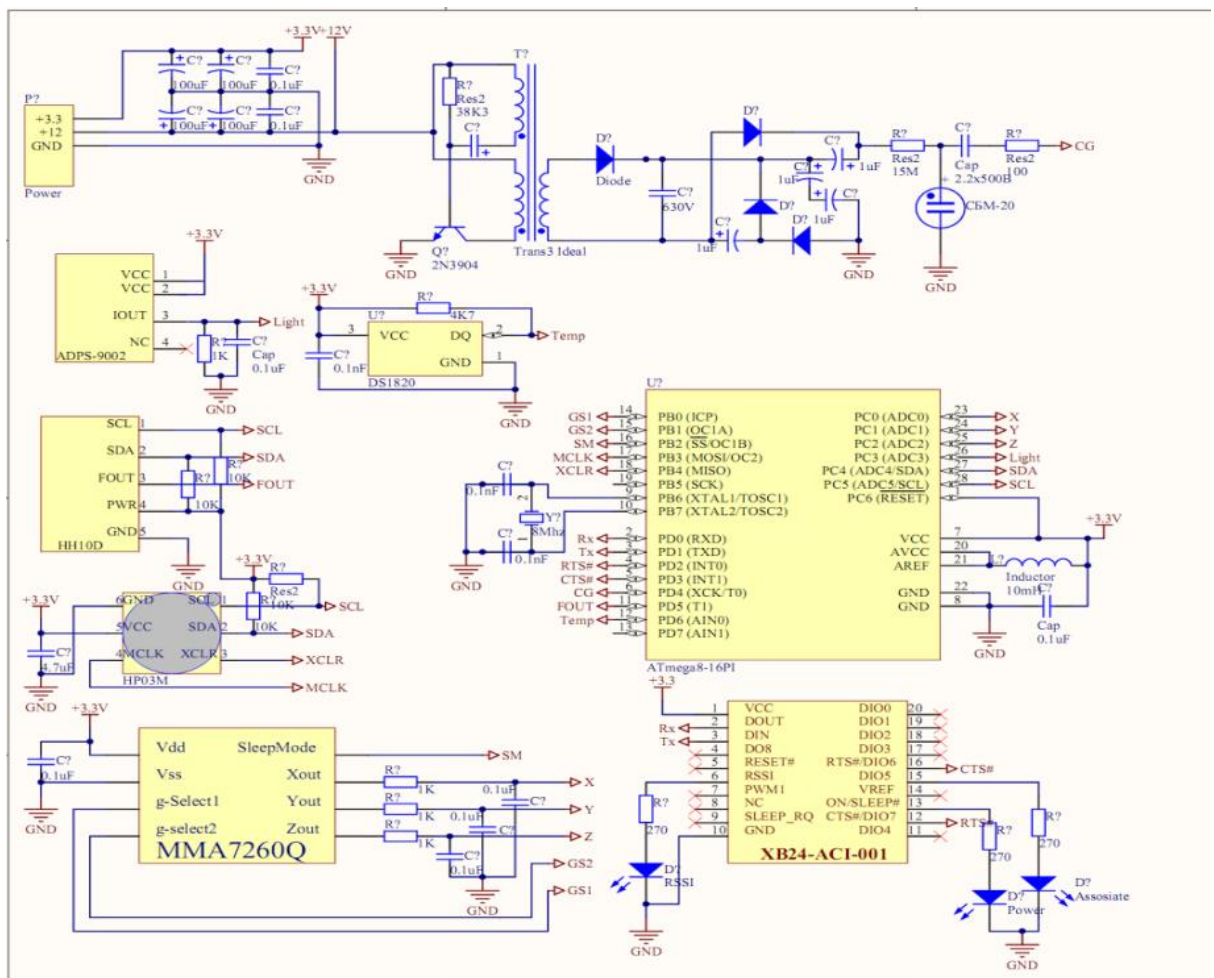


Рисунок 4.4 – Схема вузла електрична принципова

### 4.2.1 Вимірювання температури

На роль датчика температури був обраний датчик фірми Dallas Semiconductors DS18B20. DS18B20 цифровий термометр з програмованим дозволом, від 9 до 12-bit, який може зберігатися в EEPROM пам'яті приладу. DS18B20 обмінюється даними по 1-Wire шині і при цьому може бути як єдиним пристроєм на лінії, так і працювати в групі. Діапазон вимірювань від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  і точністю  $0.5^{\circ}\text{C}$  у діапазоні від  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ . DS18B20 може живитися напругою лінії даних ("parasite power") при відсутності зовнішнього джерела напруги.

Кожен DS18B20 має унікальний 64-бітний послідовний код, який дозволяє спілкуватися з безліччю датчиків DS18B20, встановлених на одній шині. Такий принцип дозволяє використовувати один мікропроцесор, щоб контролювати безліч датчиків DS18B20, розподілених по великій ділянці.

Переваги датчика:

- вимагає всього однієї лінії для обміну даними;
- не вимагає зовнішніх компонентів;
- перетворює значення температури в 12-ти бітний цифровий вигляд за 750 мс (максимум);
- може працювати як термостат.

Підключення датчика до шини може бути виконано двома способами (рис. 4.5):

- з використанням 3 провідників;
- з використанням 2 провідників (так зване «паразитне живлення»).

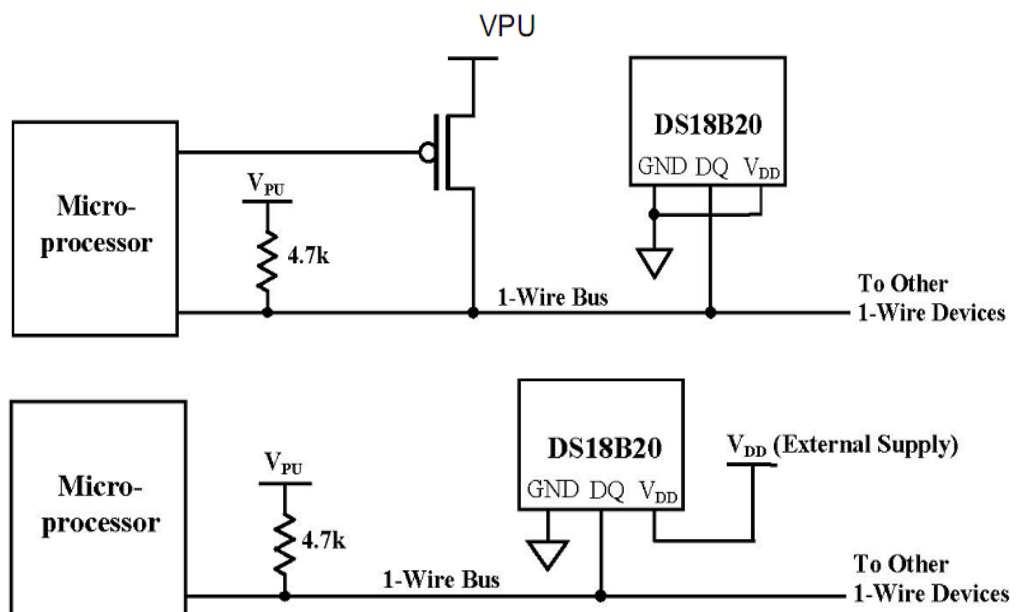


Рисунок 4.5 – Підключення датчика до шини.

Лінія даних повинна бути обов'язково підтягнута резистором 4.7k до лінії живлення.

#### 4.2.2 Вимірювання тиску

Для вимірювання тиску використаний датчик виробника HOPE MICROELECTRONICS HP03M. Даний датчик складається з двох модулів: модуля вимірювання температури і тиску. Модуль тиску датчика HP03M складається з п'єзореzystивного сенсора тиску та інтерфейсу ADC. ADC дає можливість отримувати тиск і температуру з 12 бітної точністю. За допомогою високоточного калібрування в пам'яті чіпа зберігаються 11 калібрувальних коефіцієнтів, тим самим дозволяючи читати точніші значення тиску і температури. Даний датчик взаємодіє з МК Atmega8 по шині I<sup>2</sup>C.

Переваги датчика:

- дозвіл перетворювача 16 біт;
- напруга живлення 2.2-3.6 В;
- низьке енергоспоживання;
- діапазон робочих температур -40..+85°C;
- не вимагає зовнішніх компонентів;
- при підключенні датчика (рис. 4.6) використовується 6 провідників:

2 провідника – живлення (VCC, GND); 2 провідника – шина I<sup>2</sup>C (SDA – повинен бути обов'язково підтягнутий резистором 4.7k до лінії живлення, SCL); 1 провідник – синхронізуючий сигнал 32.768 kHz з МК (MCLK); 1 провідник - скидання АЦП (XCLR).

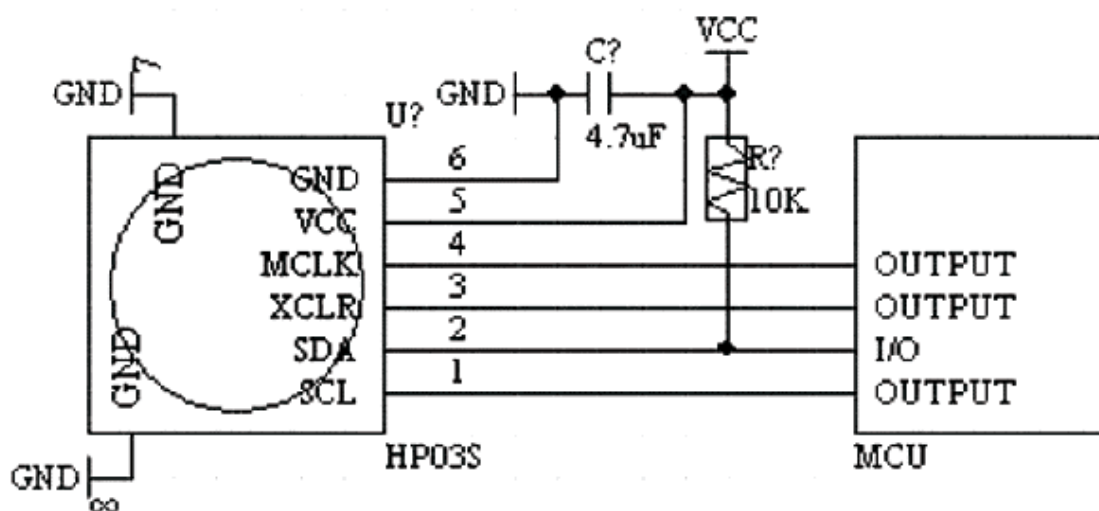


Рисунок 4.6 – Підключення барометра



### 4.2.3 Вимірювання відносної вологості повітря

Використано датчик вологості HH10D фірми Hore RF, який складається з ємнісного сенсора вологості, CMOS перетворювача частоти і пам'яті EEPROM для зберігання калібрувальних коефіцієнтів, які використовуються для розрахунку вологості. Завдяки датчику вологості ємнісного типу система може дуже швидко реагувати на зміну вологості.

Переваги датчика:

- дві точки для калібрування датчика;
- частотний вихід датчика легко інтегрується в призначений для користувача пристрій;
- дуже низьке енергоспоживання;
- не вимагає зовнішніх компонентів;
- датчик взаємодіє з МК по шині I<sup>2</sup>C (рис. 4.7) використовує для підключення 5 провідників:
- SDA, SCL – шина I<sup>2</sup>C (SDA – повинен бути обов'язково підтягнутий резистором 4.7k до лінії живлення);
- VSS, VDD – лінії живлення;
- FOUT – задаюча частота, по якій вираховується вологість.

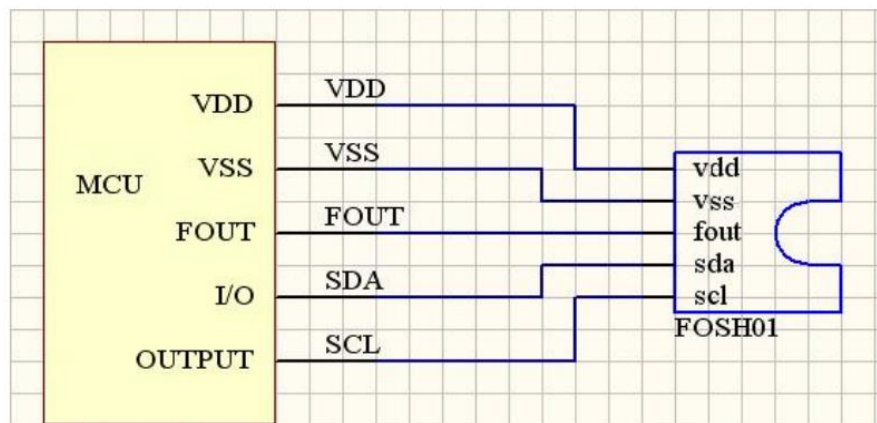


Рисунок 4.7 – Схема підключення датчика відносної вологості.

### 4.2.4 Вимірювання освітленості

Для вимірювання освітленості використаний датчик APDS-9002 фірми Agilen Technologies, який складається з спектрального фототранзистора, тим самим забезпечуючи відмінну чутливість, близьку до реакції людського ока.

Переваги датчика:

- гарна чутливість;
- мініатюрний корпус;
- стабільна робота від  $-40$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ ;
- напруга живлення  $2.5-5.5\text{ В}$ ;
- датчик використовує для підключення (рис. 4.8) всього 2 лінії живлення;
- аналоговий вихід.

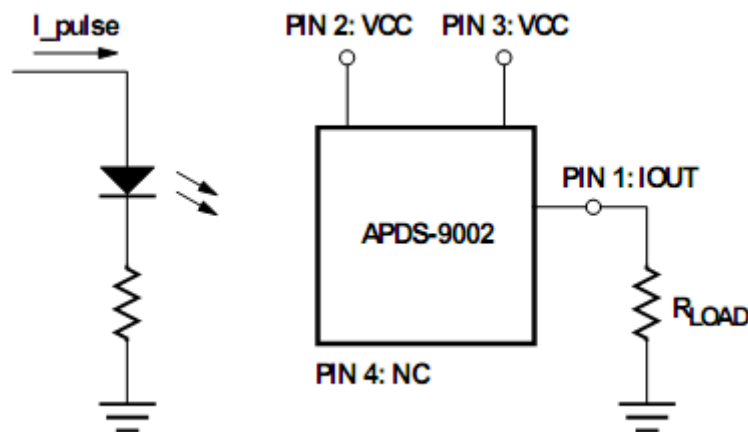


Рисунок 4.8 – Схема підключення датчика освітленості

#### 4.2.5 Радіаційний фон

Лічильник Мюллера-Гейгера - газорозрядний прилад для виявлення і дослідження різного роду радіоактивних та ін. іонізуючих випромінювань:  $\alpha$ - і  $\beta$ -частинок,  $\gamma$ -квантів, світлових і рентгенівських квантів, часток високої енергії в космічних променях і на прискорювачах. Гамма-кванти реєструються лічильником Гейгера - Мюллера по вторинним іонізуючим часткам - фотоелектронам, комптонівським електронам, електрон-позитрон парам; нейтрони реєструються по ядрам віддачі і продуктам ядерних реакцій, що виникають в газі лічильника. Працює лічильник при напруженнях, відповідних самостійному коронному розряду (участок V, рис.4.9).

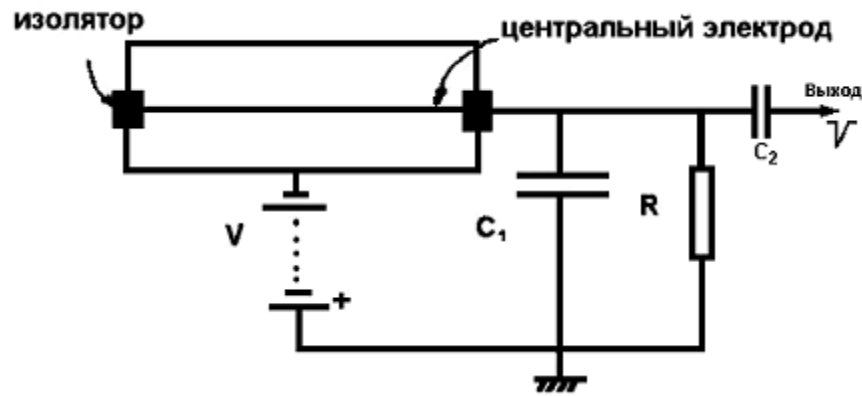


Рисунок 4.9 – Схема включення лічильника Гейгера

Цей лічильник має практично стовідсоткову ймовірністю реєстрації зарядженої частинки, так як для виникнення розряду досить однієї електрон-іонної пари.

Основними характеристиками лічильника є: рахункова характеристика - залежність швидкості рахунку від величини робочої напруги; ефективність лічильника - виражене у відсотках відношення числа рахованих частинок до числа всіх частинок, що потрапляють в робочий об'єм лічильника; дозволяючий час - мінімальний інтервал часу між імпульсами, при якому вони реєструються окремо і термін служби лічильників.

Лічильники Гейгера-Мюллера застосовуються для реєстрації всіх видів випромінювання. Вони можуть бути використані як для абсолютних, так і для відносних вимірювань радіоактивних випромінювань.

Був використаний датчик Мюллера-Гейгера СБМ-20, характеристики якого відображені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Характеристики СБМ-20

Параметри	Значення
Робоча напруга, В	400
Плато - область малої залежності швидкості рахунку від напруги живлення, В	100
Власний фон лічильника, імп/с, не більше	1
Радіаційна чутливість лічильника, імп/мкР (* - по кобальту-60)	78
Амплітуда вихідного імпульсу, В, не менше	50
Габарити, мм - діаметр x довжина	11x108

#### 4.2.6 Напрямок та швидкість вітру

Був розроблений датчик напрямку і швидкості вітру на основі 3-х осьового акселерометра ММА7260. Дані з акселерометра надходять в МК (рис.4.10), тут же вони обробляються і вираховуються такі параметри вітру, як напрям і швидкість. Додаткові лінії

даних дають можливість вибрати потрібну чутливість датчика.

Переваги акселерометра:

- змінна чутливість (1.5g, 2g, 4g,6g);
- маленький споживчий струм (500uA);
- струм споживання в сплячому режимі 3uA;
- напруга живлення 2.2-3.6;
- швидкий запуск;
- низька вартість.

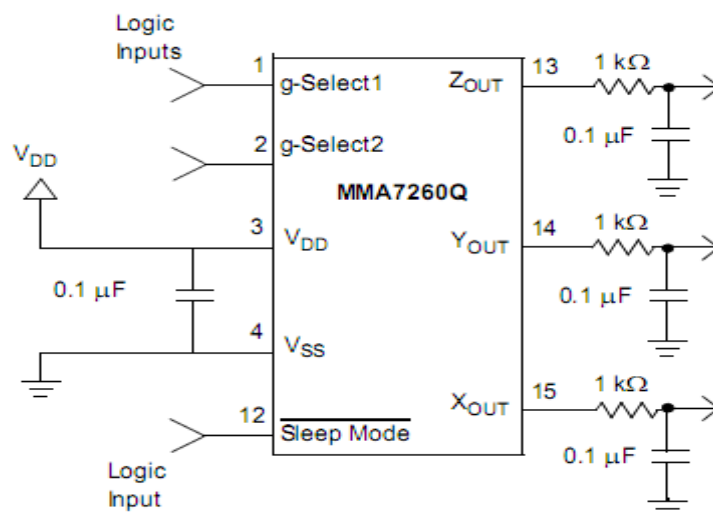


Рисунок 4.10 – Підключення акселерометра

## 5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Для візуалізації даних, зібраних в сенсорній мережі була розроблена програма візуалізації SVM D ZigBee 2.0 в C++Builder 6, інтерфейс якої представлений на рисунку 5.1

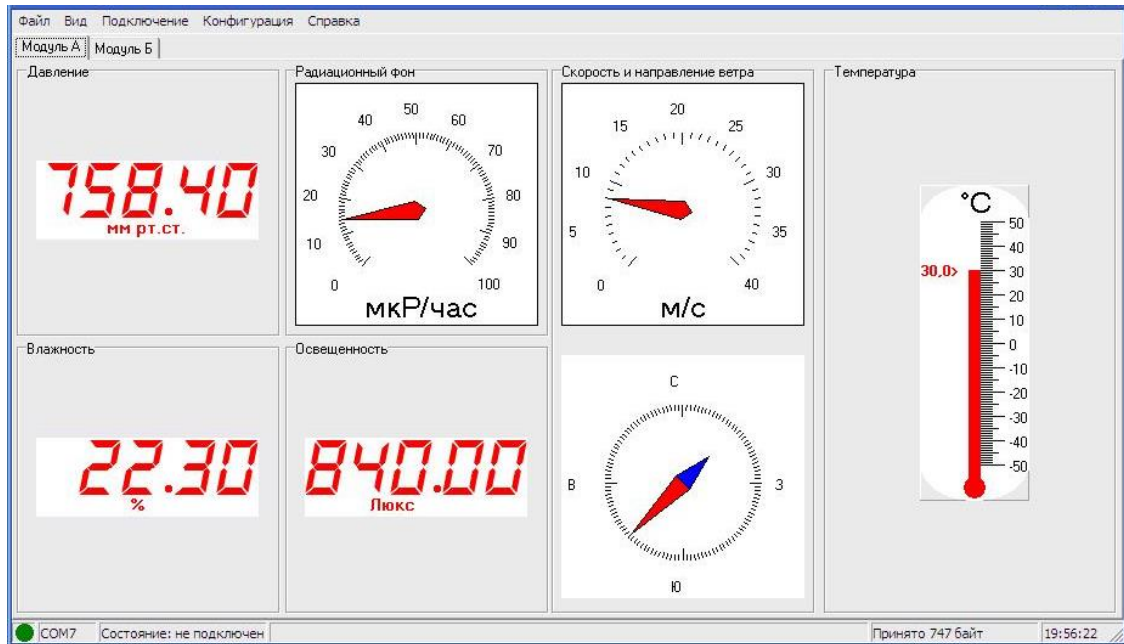


Рисунок 5.1 – Інтерфейс користувача

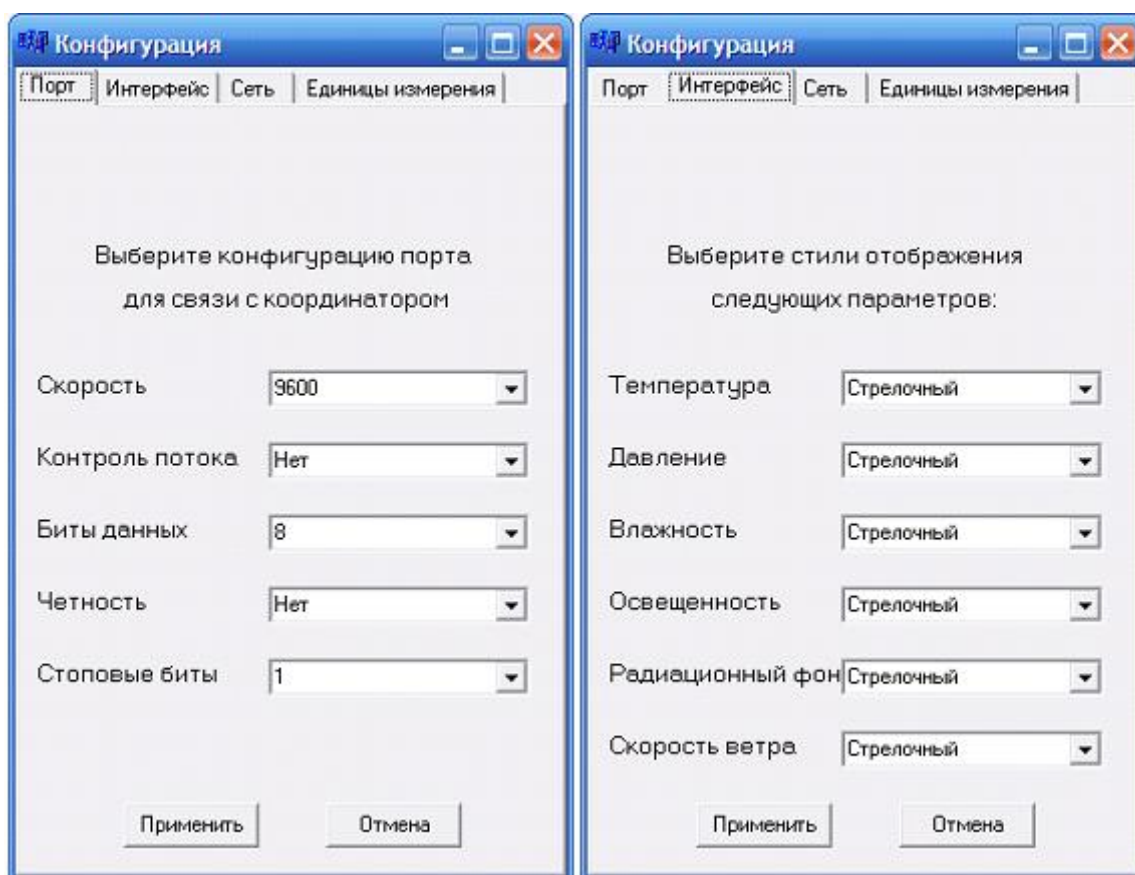
Для створення програми розроблений ряд власних компонентів, таких як:

- датчик тиску (відображає дані в одних із зазначених одиниць вимірювання: Па, Бар, Атм, технічна Атм, мм рт.ст., м вод.ст.);
- датчик радіаційного фону (виконується автоматичне перемикання між: мР/год, мкР/год);
- датчик вологості відображає відносну вологість у %;
- датчик освітленості відображає освітленість в одиницях вимірювання Люкс;
- датчик параметрів вітру візуалізує швидкість вітру в м/с, а напрямок вітру червоним кінцем вказується в сторону, куди дує вітер;
- датчик температури (відображає дані в одних із зазначених одиниць вимірювання: К, °F, °C);

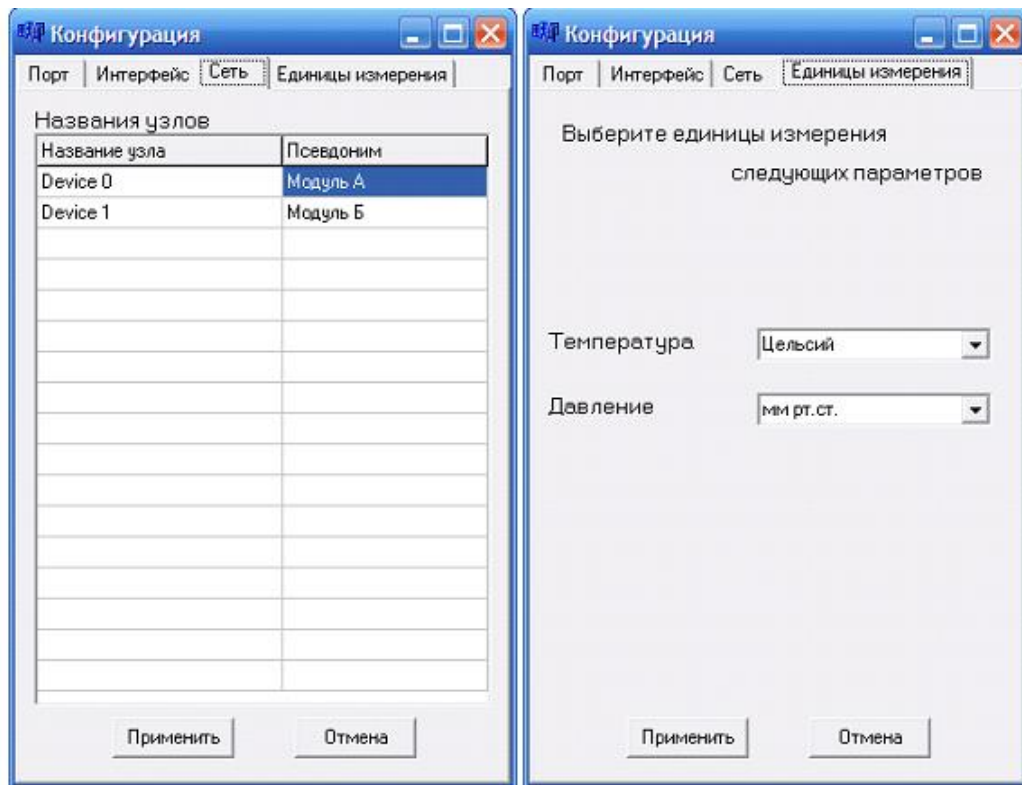
Всі з розроблених датчиків здатні візуалізувати дані в двох режимах: цифровий і стрілочний (рис. 5.1).

Програма автоматично визначає порт, до якого підключений координатор мережі. Для цього необхідно клікнути Пошук пристроїв в меню Підключення. Якщо координатор був

знайдений, червоний індикатор підключення координатора в нижньому лівому кутку вікна загориться зеленим, і поруч буде відображений порт, на якому він був знайдений. Програма також сама виявляє втрату зв'язку з координатором, в наслідок чого індикатор підключення знову стане червоним. Програма автоматично виявляє кількість вузлів, які пересилають дані координатору, і динамічно додає вкладки в головному вікні програми з назвою модуля. У меню Налаштування присутні 4 вкладки (рис. 5.2): на першій можна вибрати настройки порту, на другій можна вибрати режим відображення інформації (стрілочний, цифровий), на третій - псевдоніми для вузлів, які будуть відображатися у всій програмі замість імен вузлів, на четвертій - вибрати одиниці виміру для температури та тиску.



(a)



(б)

Рисунок 5.2 – Пункты меню Настройки: (а) – настройки порта та интерфейсу;  
(б) – настройки сети і единиц измерения

Пункт графики зависимостей (рис. 5.3) з меню Вид даёт возможность сравнительно оценить показания с разных узлов, які відображаються на графіку.

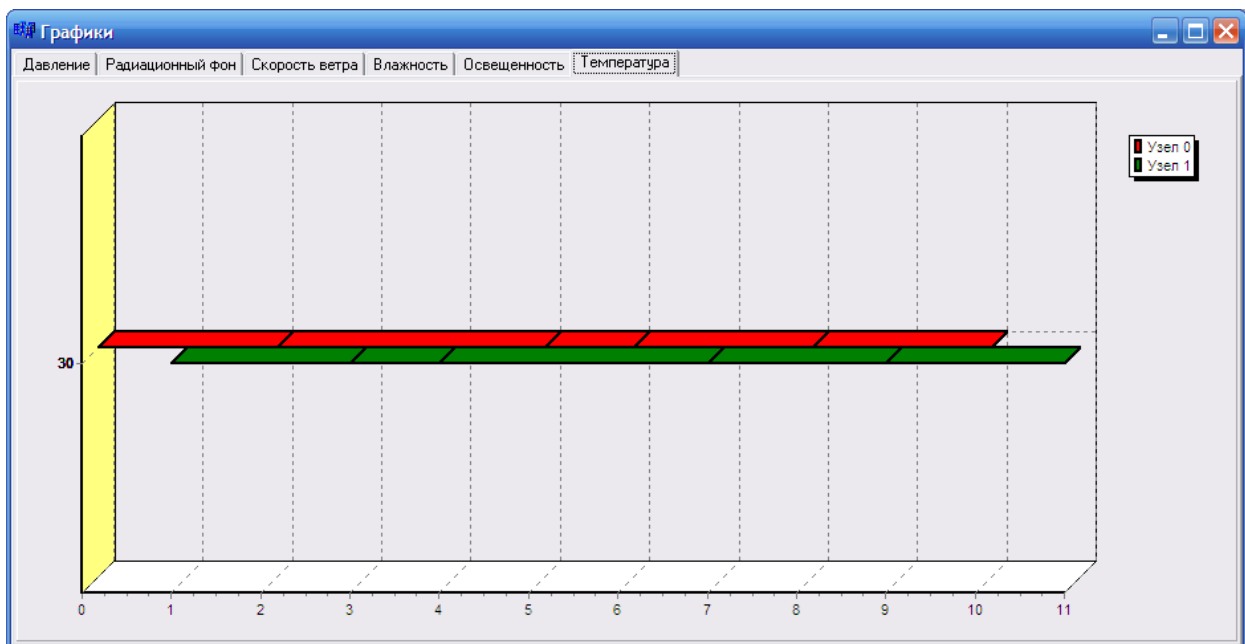


Рисунок 5.3 – Графики зависимостей

Пункт Відкрити з меню Файл дозволяє в той час, поки не ведеться прийом даних від датчиків, відкрити вже збережені дані, які відобразяться у вікні Графіки.

Пункт Зберегти з меню Файл дозволяє зберегти всі отримані дані за поточний сеанс.

Для початку роботи з програмою потрібно виконати наступні кроки:

1. Підключити координатор.
2. Виконати Пошук пристроїв в меню Підключення.
3. Після того, як координатор буде знайдений, підключитися до нього з меню

Підключення.

Після цього почнеться прийом і візуалізація даних від підключених вузлів.

Більш докладний опис по роботі з програмою знаходиться в довідці програми.



## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ. ЕКОЛОГІЯ**

В даному розділі проведено аналіз потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, причин пожеж. Розглянуті заходи, які дозволяють забезпечити гігієну праці і виробничу санітарію. На підставі аналізу розроблені заходи з техніки безпеки та рекомендації з пожежної профілактики.

Завданням даної магістерської роботи було дослідження бездротових мереж з низьким енергоспоживанням та розробка з'єднання низько швидкісних периферійних компонентів з мікроконтролером в лабораторії екологічного призначення. Так як в процесі проектування використовувалося різне програмне забезпечення, то аналіз потенційно небезпечних виробничих чинників виконується для робочого місця, на якому використовується персональний комп'ютер.

### **6.1 Загальні питання з охорони праці**

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці. В законі України «Про охорону праці» визначається, що охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

#### **6.1.1 Організаційно-технічні заходи з безпеки праці**

В організації/підприємстві проводиться навчання і перевірка знань з питань охорони праці відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 N 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за N 231/10511 [18].

Також впроваджені організаційні заходи з пожежної безпеки - навчання і перевірку

знань відповідно до вимог Типового положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 29.09.2003 N 368, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 11.12.2003 за N 1148/8469 [19].

## 6.2 Аналіз стану умов праці

Робота над створенням системи емоційної класифікації проходитиме в приміщенні багатоквартирного будинку. Для даної роботи достатньо однієї людини, для якої надано робоче місце зі стаціонарним комп'ютером.

### 6.2.1 Вимоги до приміщень

Геометричні розміри приміщення зазначені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Розміри приміщення

Найменування	Значення
Довжина, м	5
Ширина, м	5
Висота, м	3
Площа, м <sup>2</sup>	25
Об'єм, м <sup>3</sup>	75

Згідно з [20] розмір площі для одного робочого місця оператора персонального комп'ютера має бути не менше 6 кв. м, а об'єм — не менше 20 куб. м. Отже, дане приміщення цілком відповідає зазначеним нормам.

### 6.2.2 Вимоги до організації місця праці

При порівнянні відповідності характеристик робочого місця нормативним основні вимоги до організації робочого місця відповідними фактичними значеннями для робочого місця, констатуємо повну відповідність.

Приміщення кабінету знаходиться на другому поверсі трьох поверхової будівлі і має об'єм 78 м<sup>3</sup>, площу – 25 м<sup>2</sup>. У цьому кабінеті обладнано три місця праці, з яких два укомплектовані ПК.

Температура в приміщенні протягом року коливається у межах 18–24°C, відносна вологість — близько 50%. Швидкість руху повітря не перевищує 0,2 м/с. Шум в лабораторії знаходиться на рівні 50 дБА. Система вентилявання приміщення — природна неорганізована, а опалення — централізоване.

Розміщення вікон забезпечує природне освітлення з коефіцієнтом природного освітлення не менше 1,5%, а загальне штучне освітлення, яке здійснюється за допомогою восьми люмінесцентних ламп, забезпечує рівень освітленості не менше 200 Лк.

### **6.2.3 Навантаження та напруженість процесу праці**

Як приклад наведено опис процесу праці *”оформлення роботи”* під час виконання магістерської роботи: за фізичним навантаженням робота відноситься до категорії легкі роботи (Ia), її виконують сидячи з періодичним ходінням. Щодо характеру організування виконання дипломної роботи, то він підпадає під нав'язаний режим, оскільки певні розділи роботи необхідно виконати у встановлені конкретні терміни. За ступенем нервово-психічної напруги виконання роботи можна віднести до II – III ступеня і кваліфікувати як помірно напружений – напружений за умови успішного виконання поставлених завдань.

Рекомендовано застосування екранних фільтрів, локальних світлофільтрів (засобів індивідуального захисту очей) та інших засобів захисту, а також інші профілактичні.

## **6.3 Виробнича санітарія**

На підставі аналізу небезпечних та шкідливих факторів при виробництві (експлуатації), пожежної безпеки можуть бути надалі вирішені питання необхідності забезпечення працюючих достатньою кількістю освітлення, вентиляції повітря, організації заземлення, тощо.

### **6.3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при виробництві (експлуатації) виробу**

Роботу, пов'язану з ЕОП з ВДТ, у тому числі на тих, які мають робочі місця, обладнані ЕОМ з ВДТ і ПП, виконують із забезпеченням виконання НПАОП 0.00.-1.28-10 «Правил

охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин», які встановлюють вимоги безпеки до обладнання робочих місць, до роботи із застосуванням ЕОМ з ВДТ і ПП. Переважно роботи за проектами виконують у кабінетах чи інших приміщеннях, де використовують різноманітне електрообладнання, зокрема персональні комп'ютери (ПК) та периферійні пристрої.

Основними робочими характеристиками персонального комп'ютера є наступні:

- робоча напруга  $U = +220\text{В} \pm 5\%$ ;
- робочий струм  $I = 2\text{А}$ ;
- споживана потужність  $P = 350\text{Вт}$ .

### 6.3.2 Пожежна безпека

Небезпека розвитку пожежі на обчислювальному центрі обумовлюється застосуванням розгалужених систем електроживлення ЕОМ, вентиляції і кондиціонування.

Запобігти утворенню горючого середовища (замінити горючі речовини і матеріали на негорючі і важкогорючі) не надається технічно можливим. Тому проектом передбачаються способи і засоби запобігання утворення (або внесення) в горюче середовище джерел запалювання, таких як:

- застосування електроустаткування, відповідної пожежонебезпечної і вибухонебезпечної зон відповідно до ПУЕ;
- застосування в конструкції швидкодійних засобів захисного відключення можливих джерел запалення;
- виключення можливості появи іскрового розряду в горючому середовищі з енергією, рівної і вище мінімальної енергії запалення.

Простори усередині приміщень в межах, яких можуть утворюватися або знаходитися пожежонебезпечні речовини і матеріали відповідно до [22] відносяться до пожежонебезпечної зони класу П-Іа. Це обумовлено тим, що в приміщенні знаходяться тверді горючі та важкозаймисті речовини та матеріали. Приміщенню, у якому розташоване робоче місце, присвоюється II ступень вогнестійкості.

### 6.3.3 Електробезпека

На робочому місці виконуються наступні вимоги електробезпеки: ПК, периферійні пристрої та устаткування для обслуговування, електропроводи і кабелі за виконанням та

ступенем захисту відповідають класу зони за ПУЕ (правила улаштування електроустановок), мають апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів. Лінія електромережі для живлення ПК, периферійних пристроїв і устаткування для обслуговування, виконана як окрема групова три- провідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників мають спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Електромережа штепсельних розеток для живлення персональних ПК, укладено по підлозі поруч зі стінами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання. Металеві труби та гнучкі металеві рукави заземлені. Захисне заземлення включає в себе заземлюючих пристроїв і провідник, який з'єднує заземлюючий пристрій з обладнанням, яке заземлюється - заземлюючий провідник.

## 6.4 Гігієнічні вимоги до параметрів виробничого середовища

### 6.4.1 Мікроклімат

Мікроклімат робочих приміщень – це клімат внутрішнього середовища цих приміщень, що визначається діючою на організм людини з'єднанням температури, вологості, швидкості переміщення повітря. Отже оптимальні значення для температури, відносної вологості й рухливості повітря для зазначеного робочого місця відповідають [23] і наведені в табл. 6.4:

Таблиця 6.4 – Норми мікроклімату робочої зони об'єкту

Період року	Категорія робіт	Температура С <sup>0</sup>	Відносна вологість %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодна	легка-1 а	22 - 24	40 – 60	0,1
Тепла	легка-1 а	23 - 25	40 – 60	0,1

Дане приміщення обладнане системами опалення, кондиціонування повітря або припливно-витяжною вентиляцією. У приміщенні на робочому місці забезпечуються оптимальні значення параметрів мікроклімату: температури, відносної вологості й рухливості повітря у відповідності до [23]. Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі

мають відповідати [23].

Контроль параметрів мікроклімату в холодний і теплий період року здійснюється не менше 3-х разів на зміну (на початку, середині, в кінці).

#### 6.4.2 Освітлення

Світло є природною умовою існування людини. Воно впливає на стан вищих психічних функцій і фізіологічні процеси в організмі. Хороше освітлення діє тонізуюче, створює гарний настрій, покращує протікання основних процесів вищої нервової діяльності.

Збільшення освітленості сприяє поліпшенню працездатності навіть в тих випадках, коли процес праці практично не залежить від зорового сприйняття. При поганому освітленні людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно, виникає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків.

У приміщенні, де розташовані ЕОМ передбачається природне бічне освітлення, рівень якого відповідає ДБН В.2.5-28:2015[31]. Джерелом природного освітлення є сонячне світло. Регулярно повинен проводитися контроль освітленості, який підтверджує, що рівень освітленості задовольняє ДБН В.2.5-28:2015[31] і для даного приміщення в світлий час доби достатньо природного освітлення.

*Розрахунок освітлення.*

Для будівель виробництв світловий коефіцієнт приймається в межах 1/6 - 1/10:

$$\sqrt{a^2 + b^2} \cdot S_b = (1/8 \div 1/10) \cdot S_n \quad (6.1)$$

де  $S_b$  – площа віконних прорізів, м<sup>2</sup>;

$S_n$  – площа підлоги, м<sup>2</sup>.

$$S_n = a \cdot b = 5 \cdot 5 = 25 \text{ м}^2$$

$$S_{вік} = 1/8 \cdot 25 = 3,125 \text{ м}^2$$

Приймаємо 2 вікна площею  $S = 1,6 \text{ м}^2$  кожне.

Світильники загального освітлення розташовуються над робочими поверхнями в рівномірно-прямокутному порядку. Для організації освітлення в темний час доби передбачається обладнати приміщення, довжина якого складає 5 м, ширина 5 м, світильниками ЛПО2П, оснащеними лампами типу ЛБ (дві по 80 Вт) з світловим потоком 5400 лм кожна.

Розрахунок штучного освітлення виробляється по коефіцієнтах використання світлового потоку, яким визначається потік, необхідний для створення заданої освітленості при загальному рівномірному освітленні. Розрахунок кількості світильників  $n$  виробляється по формулі (6.2):

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{F \cdot U \cdot M} \quad (6.2)$$

де  $E$  – нормована освітленість робочої поверхні, визначається нормами – 300 лк;

$S$  – освітлювана площа, м<sup>2</sup>;  $S = 25$  м<sup>2</sup>;

$Z$  – поправочний коефіцієнт світильника ( $Z = 1,15$  для ламп розжарювання та ДРЛ;  $Z = 1,1$  для люмінесцентних ламп) приймаємо рівним 1,1;

$K$  – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в процесі експлуатації – 1,5;

$U$  – коефіцієнт використання, залежний від типу світильника, показника індексу приміщення і т.п. – 0,575

$M$  – число люмінесцентних ламп в світильнику – 2;

$F$  – світловий потік лампи – 5400лм (для ЛБ-80).

Підставивши числові значення у формулу (4.2), отримуємо:

$$n = \frac{300 \cdot 25 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{5400 \cdot 0,575 \cdot 2} \approx 2.$$

Приймаємо освітлювальну установку, яка складається з 2-х світильників, які складаються з двох люмінесцентних ламп загальною потужністю 160 Вт, напругою – 220 В.

### 6.4.3 Шум та вібрація, електромагнітне випромінювання

Рівень шуму, що супроводжує роботу користувачів персональних комп'ютерів (зумовлений як роботою системних блоків, клавіатури, так і друкуванням на принтерах, а також зовнішніми чинниками), коливається у межах 50–65 дБА [24]. Шум такої інтенсивності на тлі високого ступеня напруженості праці негативно впливає на функціональний стан користувачів. У залах опрацювання інформації та комп'ютерного набору рівні шуму не повинні перевищувати 65 дБА.

Віброізоляцію можливо здійснювати за допомогою спеціальної прокладки під системний блок, який послаблює передачу вібрацій робочого столу. Вібрація на робочому

місці в приміщенні, що розглядається, відповідає нормам [24]. Допустимий рівень вібрацій на робочому місці: для 1 ступеня шкідливості до 3 дБ; для 2-3 - 1-6 дБ; для 3 - більше 6 дБ.

#### **6.4.4 Вентилювання**

У приміщенні, де знаходяться ЕОМ, повітрообмін реалізується за допомогою природної організованої вентиляції (вентиляційні шахти) і установки в віконному отворі автономного кондиціонера БК-2000. Цей метод забезпечує приплив потрібної кількості свіжого повітря, що визначається в СНіП (30 м<sup>3</sup> на годину на одного працюючого).

Також має здійснюватися провітрювання приміщення, в залежності від погодних умов, тривалість повинна бути не менше 10 хв. Найкращий обмін повітря здійснюється при наскрізному провітрюванні.

#### **6.5 Заходи з організації виробничого середовища та попередження виникнення надзвичайних ситуацій**

Відповідно до санітарно-гігієнічних нормативів та правил експлуатації обладнання наводимо приклади деяких заходів безпеки.

*1) Заходи безпеки під час експлуатації персонального комп'ютера та периферійних пристроїв передбачають:*

- правильне організування місця праці та дотримання оптимальних режимів праці та відпочинку під час роботи з ПК;
- експлуатацію сертифікованого обладнання;
- дотримання заходів електробезпеки;
- забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату;
- забезпечення раціонального освітлення місця праці (освітленість робочого місця не перевищувала 2/3 нормальної освітленості приміщення);
- облаштовуючи приміщення для роботи з ПК, потрібно передбачити припливно-витяжну вентиляцію або кондиціонування повітря:

*2) Заходи безпеки під час експлуатації інших електричних приладів передбачають дотримання таких правил:*

- постійно стежити за справним станом електромережі, розподільних щитків, вимикачів, штепсельних розеток, лампових патронів, а також мережевих кабелів живлення,



за допомогою яких електроприлади під'єднують до електромережі;

- постійно стежити за справністю ізоляції електромережі та мережевих кабелів, не допускаючи їхньої експлуатації з пошкодженою ізоляцією;

- не тягнути за мережевий кабель, щоб витягти вилку з розетки;

- не закривати меблями, різноманітним інвентарем вимикачі, штепсельні розетки;

- не підключати одночасно декілька потужних електропристроїв до однієї розетки, що може викликати надмірне нагрівання провідників, руйнування їхньої ізоляції, розплавлення і загоряння полімерних матеріалів;

- не залишати включені електроприлади без нагляду;

- не допускати потрапляння всередину електроприладів крізь вентиляційні отвори рідин або металевих предметів, а також не закривати їх та підтримувати в належній чистоті, щоб уникнути перегрівання та займання приладу;

- не ставити на електроприлади матеріали, які можуть під дією теплоти, що виділяється, спалахнути (канцелярські товари, сувенірну продукцію тощо).

#### **Вимоги безпеки при надзвичайних ситуаціях:**

1) При раптовому припиненні подачі електричної енергії вимкнути всі пристрої ПК в такій послідовності: периферійні пристрої, ВДТ, системний блок, стабілізатор (або блок безперервного живлення). Витягнути вилки з розеток. При наявності ознак горіння (дим, запах горілого) необхідно вимкнути всі пристрої ПК, знайти місце загоряння і виконати всі можливі заходи для його ліквідації, попередивши терміново про це керівництво.

2) При замиканні, перевантаженні електричного струму на електричному обладнанні, внаслідок ураження грозової блискавки та ймовірної небезпеки ураженням електричним струмом, приймають наступне:

- попередження замикання здійснюється правильним вибором, монтажем експлуатації мереж;

- застосування захисту схем у вигляді швидкодіючих реле, а також вимикачів, плавких запобіжників, автоматичних вимикачів.

#### **Розрахунок захисного заземлення (забезпечення електробезпеки будівлі).**

Загальний опір захисного заземлення визначається за формулою:

$$R_{ззп} = \frac{R_3 \cdot R_n}{R_n \cdot n \cdot \eta_3 + R_3 \cdot \eta_n}, \quad (6.3)$$

де  $R_z$  - опір заземлення, якими когут бать труби, опори, кути і т.п., Ом;

$R_{ш}$  - опір опори, яке з'єднує заземлювачі, Ом;

$n$  - кількість заземлювачів;

$\eta_z$  - коефіцієнт екранування заземлювача; приймається в межах  $0,2 \div 0,9$ ;  $\eta_z = 0,7$

$\eta_{ш}$  - коефіцієнт екранування сполучної стійки; приймається в межах  $0,1 \div 0,7$ ;  $\eta_{ш} = 0,5$ ;

Опір заземлення визначається за формулою:

$$R_z = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right), \quad (6.4)$$

де  $\rho$  - питомий опір ґрунту, залежить від типу ґрунту, Ом·м;

для піску -  $400 \div 700$  Ом·м; приймаємо  $\rho = 400$  Ом·м;

$l$  - довжина заземлювача, м; для труб - 2-3 м;  $l = 3$  м;

$d$  - діаметр заземлювача, м; для труб - 0,03-0,05 м;  $d = 0,05$  м;

$t$  - відстань від середини забитого в ґрунт заземлювача до рівня землі, м;  $t = 2$  м.

$$R_z = \frac{400}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 110, \text{ Ом}$$

Опір смуги, що з'єднує заземлювачі, визначається за формулою:

$$R_{ш} = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t^1}, \quad (6.5)$$

де  $L$  - довжина смуги, що з'єднує заземлювачі (м) і приблизно дорівнює периметру будівлі:  $P_{\text{буд.}} = 42 \cdot 2 + 38 \cdot 2 = 160$  м;  $L = 160$  м;

$b$  - ширина смуги, м;  $b = 0,03$  м;

$t_1$  - глибина заземлення від рівня землі, м;  $t_1 = 0,5$  м.

$$R_{ш} = \frac{400}{2 \cdot 3,14 \cdot 160} \cdot \ln \frac{2 \cdot 160^2}{0,03 \cdot 0,5} = 5,99, \text{ Ом}$$

Кількість заземлювачів захисного заземлення визначається за формулою:

$$n = \frac{2 \cdot R_3}{4 \cdot \eta_3}, \quad (6.6)$$

де 4 - допустимий загальний опір, Ом;

2 - коефіцієнт сезонності.

Визначаємо загальний опір захисного заземлення:

$$R_{ззп} = \frac{110 \cdot 5,99}{5,99 \cdot 79 \cdot 0,7 + 110 \cdot 0,5} = 1,7 \text{ Ом}$$

Висновок: дане захисне заземлення буде забезпечувати електробезпеку будівлі, так як виконується умова:  $R_{ззп} < 4 \text{ Ом}$ .

При виникненню пожеж при роботі на ПЕОМ від таких можливими джерел запалювання як:

- іскри і дуги коротких замикань;
- перегрів провідників, резисторів та інших радіодеталей ПЕОМ, від тривалої перевантаження та наявність перехідного опору;
- іскри при розмиканні і розмиканні ланцюгів;
- розряди статичної електрики;
- необережному поводженню з вогнем, а також вибухи газо-повітряних і паро-повітряних сумішей.

## **6.6 Охорона навколишнього природного середовища**

### **6.6.1 Загальні дані з охорони навколишнього природного середовища**

Діяльність за темою магістерської роботи, а саме: аналіз математичних методів оцінки надійності БСМ і програмних продуктів для імітаційного моделювання БСМ, вибір найбільш підходящої системи для оцінки працездатності БСМ та оцінка впливу перешкод і потужності передачі радіосигналу на працездатність БСМ., процес виконання якої впливає на навколишнє природне середовище і регламентується нормами діючого законодавства: Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» [25], Законом України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» [26], Законом України «Про відходи» [27], Законом України «Про охорону атмосферного повітря»

[28], Законом України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» [29], Водний кодекс України[30].

Основним екологічним аспектом в процесі діяльності за даними спеціальностями є процеси впливу на атмосферне повітря та процеси поводження з відходами, які утворюються, збираються, розміщуються, передаються на знешкодження, утилізацію, тощо в ІТ галузі.

Вплив на атмосферне повітря при нормальних умовах праці не оказує, бо не має в приміщенні сканерів, принтерів та інших джерел викиду забруднюючих речовин в повітря робочої зони.

В процесі створення/розробки програми на робочому місці виникають процеси поводження з відходами ІТ галузі. Нижче надано перелік відходів, що утворюються в процесі роботи:

- Відпрацьовані люмінесцентні лампи - I клас небезпеки
- Змінні носії інформації - IV клас небезпеки
- Макулатура - IV клас небезпеки
- Матеріали пакувальні пластмасові забруднені (ємності з-під тонеру, фарби, інш.) - IV клас небезпеки
- Побутові відходи - IV клас небезпеки

## **Висновки до розділу 6**

Завдяки виконаній роботі був проведений аналіз умов праці, небезпечних та шкідливих чинників, з якими стикається робітник. Також було визначено параметри і певні характеристики приміщення для роботи над запропонованим проектом написаному в дипломній роботі. Описано, які заходи потрібно зробити для того, щоб дане приміщення відповідало необхідним нормам, було комфортним і безпечним для робітника. Також впроваджені організаційні заходи з пожежної безпеки.

Була наведена схема, розміри приміщення та наведено значення температури, вологості й рухливості повітря, необхідна кількість і потужність ламп та інші параметри, значення яких впливає на умови праці робітника, а також – наведені інструкції з охорони праці, техніки безпеки при роботі на комп'ютері.

## ВИСНОВКИ

У зв'язку з необхідністю удосконалення параметрів роботи приладів вітчизняного виробника, а саме створення системи визначення параметрів робочого середовища, яка проводить автоматичні виміри параметрів повітря робочої зони, реєстрацію та перерахунок показників якості повітряного середовища для приведення їх до нормальних умов, прописаних в методиках вимірювань, був організований даний проект. Він є актуальним і значущим для роботи лабораторії аналітичних екологічних досліджень.

Поставлена мета - вивчення сфери застосування бездротових мереж з низьким енергоспоживанням і розробка з'єднання низькошвидкісних периферійних компонентів з мікроконтролером в аналітичній лабораторії.

В результаті виконання роботи було виконано наступне:

- На підставі проведеного аналізу науково-технічної літератури синтезовано структуру і алгоритми роботи вузлів сенсорної мережі.
- Проведено комп'ютерне моделювання схем в середовищі Proteus 7.7.
- Розроблено програму, що дозволяє вести контроль параметрів навколишнього середовища, яка сполучена з ПК за допомогою USB інтерфейсу.
- Проведено лабораторне моделювання та верифікацію програмних і апаратних засобів.
- Реалізована програмна і апаратна частина вузлів сенсорної мережі.
- Розроблено програмне забезпечення для візуалізації та аналізу отриманої інформації в середовищі C++ Builder 6.

За результатами виконання магістерської роботи опублікована стаття і представлена доповідь на всеукраїнській науково - практичній конференції.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Максим Сергиевский. Беспроводные сенсорные сети // КомпьютерПресс, №8, 2007.
2. <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/app/micros/avr/avr318.htm> Интерфейс 1-Wire
3. «Product manual for OEM RF Modules XB24-XPB24» 2006
6. Сергеев Н. «Стандарт ZigBee и аппаратные решения компании Maxstream на его базе.» 2007
7. В.Варгаузин, "Радиосети для сбора данных от сенсоров, мониторинга и управления на основе стандарта IEEE 802.15.4: RFID", 2005
8. Е.Баранова, "IEEE 802.15.4 и его программная надстройка ZigBee", 2007
9. Соколов М. Программно-аппаратное обеспечение беспроводных сетей на основе технологии ZIGBEE/802.15.4 / М. Соколов // Электронные компоненты. – 2004. – №12. – с.80-87.
10. IEEE 802.15.4. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003
11. IEEE Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2006
12. А.А. Дедюхин «Декодирование и анализ сигналов шин I2C, SPI, RS-232C, RS-422, RS-485 и UART с использованием осциллографов LeCroy» ЗАО «Прист» 2005
13. Олег Пушкарев. «Проверка дальности связи ZigBee-модулей MaxStream в условиях городской квартиры». Новости электроники №5/2006.
14. Сергей Гринченко. «Проверка дальности связи ZigBee модулей от Digi в условиях загородного коттеджа.» Беспроводные технологии, №2/2009.
15. Li, L. Qvs: Quality-aware voice streaming for wireless sensor networks / L. Li, G. Xing, L. Sun, and Y. Liu // Technical Report MSU-CSE-09-9, Department of Computer Science and Engineering, Michigan State University, East Lansing, Michigan, March 2009. – 11 p.
16. Александр Калачев Беспроводные приложения: план действий, компоненты Texas Instruments – и вперед!// Новости Электроники, №4, 2011.
17. Н.Е. Клименко, М.В. Сергиевский, С.Н. Сыроежкин, Применение беспроводных сенсорных сетей для оценки состояния критически важных объектов // Труды научной сессии МИФИ-2009, том V.
18. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) [Електронний ресурс] / Законодавство України -

Режим доступу: [www.URL: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05](http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05) - 21.12.2017 р.

19. Типове положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України (НАПБ Б.02.005-2003) [Електронний ресурс] / Законодавство України - Режим доступу: [www.URL: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z1148-03](http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z1148-03) - 21.12.2017 р.

20. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень (ДСН 3.3.6.042.-99) [Електронний ресурс] / Законы Украины - Режим доступу: [www.URL: http://uazakon.com/documents/date\\_42/pg\\_ikcfxj.htm](http://uazakon.com/documents/date_42/pg_ikcfxj.htm) - 22.12.2017 р.

21. Правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин (ДСанПіН 3.3.2.007-98) [Електронний ресурс] / Педрада - Режим доступу: [www.URL: http://zakon.pedrada.com.ua/regulations/10637/478672/](http://zakon.pedrada.com.ua/regulations/10637/478672/) - 22.12.2017 р.

22. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою (НАПБ Б.03.002-2007) [Електронний ресурс] / ДНАОП - Режим доступу: [www.URL: https://dnaop.com/html/32980/doc-НАПБ\\_Б.03.002.-2007](https://dnaop.com/html/32980/doc-НАПБ_Б.03.002.-2007) - 23.12.2017 р.

23. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень (ДСН 3.3.6.042-99) [Електронний ресурс] / UAinfo - Режим доступу: [www.URL: http://ua-info.biz/legal/basetp/ua-zmptaе.htm](http://ua-info.biz/legal/basetp/ua-zmptaе.htm) - 23.12.2017 р.

24. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку (ДСН 3.3.6.037-99) [Електронний ресурс] / Нормативно-директивні документи МОЗ України - Режим доступу: [www.URL: http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1789](http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1789) - 23.12.2017 р.

25. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» [Електронний ресурс] / rada.gov.ua - Режим доступу: [www.URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12)

26. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» [Електронний ресурс] / rada.gov.ua - Режим доступу: [www.URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12)

27. Закон України «Про відходи» [Електронний ресурс] / rada.gov.ua - Режим доступу: [www.URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80)

28. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» [Електронний ресурс] / rada.gov.ua - Режим доступу: [www.URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12)

29. Закон України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» [Електронний ресурс] / rada.gov.ua - Режим доступу: [www.URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1809-14](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1809-14)

30. Водний кодекс України [Електронний ресурс] / rada.gov.ua - Режим доступу:  
www.URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>

31. ДБН В.2.5-28:2015 Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] /  
dbn.co.ua - Режим доступу: www.URL: [http://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_v\\_2\\_5\\_28/1-1-0-1188](http://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_28/1-1-0-1188)



## ДОДАТОК А

## Вимірювання тиску АТМega8 и HP03M

```

// I2C Bus functions
#asm
.equ __i2c_port=0x15 ;PORTC
.equ __sda_bit=4
.equ __scl_bit=5
#endasm
#include <i2c.h>

static unsigned int HP_C1; //калібрувальний коефіцієнт C1
static unsigned int HP_C2; //калібрувальний коефіцієнт C2
static unsigned int HP_C3; //калібрувальний коефіцієнт C3
static unsigned int HP_C4; //калібрувальний коефіцієнт C4
static unsigned int HP_C5; //калібрувальний коефіцієнт C5
static unsigned int HP_C6; //калібрувальний коефіцієнт C6
static unsigned int HP_C7; //калібрувальний коефіцієнт C7
static unsigned int HP_A; //калібрувальний коефіцієнт A
static unsigned int HP_B; //калібрувальний коефіцієнт B
static unsigned int HP_C; //калібрувальний коефіцієнт C
static unsigned int HP_D; //калібрувальний коефіцієнт D
static unsigned int HP_D1; //измеренный код давления D1
static unsigned int HP_T1; //змеренный код температуры T1

/* read a byte from the EEPROM */
unsigned char eeprom_read(unsigned char EEPROM_BUS_ADDRESS, unsigned char
address) {
unsigned char data;
i2c_start();
i2c_write(EEPROM_BUS_ADDRESS);
i2c_write(address);
i2c_start();
i2c_write(EEPROM_BUS_ADDRESS | 1);
data=i2c_read(0);
i2c_stop();
return data;
}

flash unsigned char* HP03M_init()
{
    HP_C1=eeprom_read(0xA0,0x16)<<8;
    HP_C1=HP_C1|eeprom_read(0xA0,0x17);
    HP_C2=eeprom_read(0xA0,0x18)<<8;
    HP_C2=HP_C2|eeprom_read(0xA0,0x19);
    HP_C3=eeprom_read(0xA0,0x20)<<8;
    HP_C3=HP_C3|eeprom_read(0xA0,0x21);
    HP_C4=eeprom_read(0xA0,0x22)<<8;

```

```

    HP_C4=HP_C4|eeprom_read(0xA0,0x23);
    HP_C5=eeprom_read(0xA0,0x24)<<8;
    HP_C5=HP_C5|eeprom_read(0x25,0x17);
    HP_C6=eeprom_read(0xA0,0x26)<<8;
    HP_C6=HP_C6|eeprom_read(0xA0,0x27);
    HP_C7=eeprom_read(0xA0,0x28)<<8;
    HP_C7=HP_C7|eeprom_read(0x29,0x17);
    HP_A=eeprom_read(0xA0,0x30);
    HP_B=eeprom_read(0xA0,0x31);
    HP_C=eeprom_read(0xA0,0x32);
    HP_D=eeprom_read(0xA0,0x33);
}

int HP03m_Pressure(int *temp)
{
    long OFF,SENS,X,dUT;

    PORTB.4=1;    // піднімаємо XCLR
    // читаємо тиск
    i2c_start();
    i2c_write(0xEE);
    i2c_write(0xFF);
    i2c_write(0xF0);
    i2c_stop();
    delay_ms(40);
    i2c_start();
    i2c_write(0xEE);
    i2c_write(0xFD);
    i2c_start();
    i2c_write(0xEE|1);
    HP_D1=i2c_read(0)<<8;
    HP_D1=HP_D1|i2c_read(0);
    i2c_stop();
    // читаємо температуру
    i2c_start();
    i2c_write(0xEE);
    i2c_write(0xFF);
    i2c_write(0xE8);
    i2c_stop();
    delay_ms(40);
    i2c_start();
    i2c_write(0xEE);
    i2c_write(0xFD);
    i2c_start();
    i2c_write(0xEE|1);
    HP_T1=i2c_read(0)<<8;
    HP_T1=HP_T1|i2c_read(0);
    i2c_stop();
    PORTB.4=0;    // скидаємо XCLR

    if(HP_T1>=HP_C5)        dUT=HP_T1-HP_C5-((HP_T1-HP_C5)/(2<<7))*((HP_T1-
HP_C5)/(2<<7))*HP_A/(2<<HP_C);

```

```
else
    dUT=HP_T1-HP_C5-((HP_T1-HP_C5)/(2<<7))*((HP_T1-
HP_C5)/(2<<7))*HP_B/(2<<HP_C);
    OFF=(HP_C2+(HP_C4-1024)*dUT/(2<<14))*4;
    SENS=HP_C1+HP_C3*dUT/1024;
    X=SENS*(HP_D1-7168)/(2<<14)-OFF;
    *temp=250+dUT*HP_C6/(2<<16)-dUT/(2<<HP_D);
    return X*10/32+HP_C7;
}
```

## ДОДАТОК Б

## Вимірювання освітленості датчиком APDS-9002 фірми Agilen Technologies

```

// I2C Bus functions
#asm
.equ __i2c_port=0x15 ;PORTC
.equ __sda_bit=4
.equ __scl_bit=5
#endasm
#include <i2c.h>

static unsigned int LP_C1; // калібрувальний коефіцієнт C1
static unsigned int LP_C2; // калібрувальний коефіцієнт C2
static unsigned int LP_C3; //калібрувальний коефіцієнт C3
static unsigned int LP_C4; //калібрувальний коефіцієнт C4
static unsigned int LP_C5; //калібрувальний коефіцієнт C5
static unsigned int LP_C6; //калібрувальний коефіцієнт C6
static unsigned int LP_C7; //калібрувальний коефіцієнт C7
static unsigned int LP_A; //калібрувальний коефіцієнт A
static unsigned int LP_B; //калібрувальний коефіцієнт B
static unsigned int LP_C; //калібрувальний коефіцієнт C
static unsigned int LP_D; //калібрувальний коефіцієнт D
static unsigned int LP_D1; // виміряний код тиску D1
static unsigned int LP_T1; // виміряний код температури T1

/* read a byte from the EEPROM */
unsigned char eeprom_read(unsigned char EEPROM_BUS_ADDRESS, unsigned char
address) {
unsigned char data;
i2c_start();
i2c_write(EEPROM_BUS_ADDRESS);
i2c_write(address);
i2c_start();
i2c_write(EEPROM_BUS_ADDRESS | 1);
data=i2c_read(0);
i2c_stop();
return data;
}

flash unsigned char* HP03M_init()
{
LP_C1=eeprom_read(0xA0,0x16)<<8;
LP_C1=LP_C1|eeprom_read(0xA0,0x17);
LP_C2=eeprom_read(0xA0,0x18)<<8;
LP_C2=LP_C2|eeprom_read(0xA0,0x19);
LP_C3=eeprom_read(0xA0,0x20)<<8;
LP_C3=LP_C3|eeprom_read(0xA0,0x21);
LP_C4=eeprom_read(0xA0,0x22)<<8;

```

```

LP_C4=LP_C4|eeprom_read(0xA0,0x23);
LP_C5=eeprom_read(0xA0,0x24)<<8;
LP_C5=LP_C5|eeprom_read(0x25,0x17);
LP_C6=eeprom_read(0xA0,0x26)<<8;
LP_C6=LP_C6|eeprom_read(0xA0,0x27);
LP_C7=eeprom_read(0xA0,0x28)<<8;
LP_C7=LP_C7|eeprom_read(0x29,0x17);
LP_A=eeprom_read(0xA0,0x30);
LP_B=eeprom_read(0xA0,0x31);
LP_C=eeprom_read(0xA0,0x32);
LP_D=eeprom_read(0xA0,0x33);
}

int HP03m_Pressure(int *temp)
{
    long OFF,SENS,X,dUT;

    PORTB.4=1;    // піднімаємо XCLR
    // читаємо тиск
    i2c_start();
    i2c_write(0xEE);
    i2c_write(0xFF);
    i2c_write(0xF0);
    i2c_stop();
    delay_ms(40);
    i2c_start();
    i2c_write(0xEE);
    i2c_write(0xFD);
    i2c_start();
    i2c_write(0xEE|1);
    LP_D1=i2c_read(0)<<8;
    LP_D1=LP_D1|i2c_read(0);
    i2c_stop();
    //читаем температуру
    i2c_start();
    i2c_write(0xEE);
    i2c_write(0xFF);
    i2c_write(0xE8);
    i2c_stop();
    delay_ms(40);
    i2c_start();
    i2c_write(0xEE);
    i2c_write(0xFD);
    i2c_start();
    i2c_write(0xEE|1);
    LP_T1=i2c_read(0)<<8;
    LP_T1=LP_T1|i2c_read(0);
    i2c_stop();
    PORTB.4=0;    // скидаємо XCLR

    if(LP_T1>=LP_C5)          dUT=LP_T1-LP_C5-((LP_T1-LP_C5)/(2<<7))*((LP_T1-
LP_C5)/(2<<7))*LP_A/(2<<LP_C);

```

```
    else                                dUT=LP_T1-LP_C5-((LP_T1-LP_C5)/(2<<7))*((LP_T1-
LP_C5)/(2<<7))L_B/(2<<LP_C);
    OFF=(LP_C2+(LP_C4-1024)*dUT/(2<<14))*4;
    SENS=LP_C1+LP_C3*dUT/1024;
    X=SENS*(LP_D1-7168)/(2<<14)-OFF;
    *temp=250+dUT*LP_C6/(2<<16)-dUT/(2<<LP_D);
    return X*10/32+LP_C7;
}
```

## ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори	Джерела факторів (види робіт)	Кількіс на оцінка	Нормативні документи
1	2	3	4
<b>фізичні</b>			
- підвищена температура поверхонь обладнання	експлуатація ЕОМ, принтерів, сканерів чи/або серверного обладнання для роботи	2	ДСН 3.3.6.042-99
- підвищений рівень шуму на робочому місці	-//-	2	ДСН 3.3.6.037-99
- підвищений рівень вібрації	-//-	2	ДСН 3.3.6.039-99 ДСТУ ГОСТ 12.1.012-90
- підвищена або знижена вологість повітря	-//-	2	ДСН 3.3.6.042-99
- підвищена або знижена рухливість повітря	-//-	1	ДСН 3.3.6.042-99
- підвищений рівень іонізуючого випромінення в робочій зоні	-//-	2	ДСН 3.3.6.042-99 ГОСТ 12.1.006-84
- підвищений рівень електромагнітного випромінення	-//-	2	ГОСТ 12.1.006-84
- підвищений рівень напруги електричної мережі, замикання якої може відбутися через тіло людини	-//-	4	ГОСТ 12.1.030-81 ГОСТ 13109-97
- підвищена напруженість електричного поля	-//-	2	ГОСТ 12.1.006-84
- підвищена напруженість магнітного поля	-//-	2	ГОСТ 12.1.006-84

## Продовження таблиці В1

1	2	3	4
- недостатність природного світла	порушення умов праці (вимог до приміщень)	2	ДБН В.2.5-28:2015
- недостатнє освітлення робочої зони	порушення гігієнічних параметрів виробничого середовища	3	ДБН В.2.5-28:2015
- підвищена яскравість світла	порушення умов праці (організації місця праці- налагодження моніторів)	1	ДСанПіН 3.3.2.007-98
- понижена контрастність	-//-	1	ДСанПіН 3.3.2.007-98
<b>хімічні:</b>			
- загазованість повітря робочої зони, яка впливає на організм людини через органи дихання та надає токсичну і канцерогенну дію	від експлуатації сканерів, принтерів для роботи – O <sub>3</sub> , оплавлення електричних і комутаційних кабелів, резисторів, конденсаторів, напівпровідникових діодів, транзисторів й інше в ЕОМ та системах кондиціонування повітря - CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , H <sub>2</sub> S, HCl, H, NH <sub>3</sub> , ClF <sub>3</sub> , F <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SeO <sub>2</sub> , SeF <sub>6</sub> , TeF <sub>6</sub> , COCl <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> , інш.	3	НПАОП 40.1-1.21-98 ДБН В.2.5-67:2013 ГОСТ 12.1.005-88 ГОСТ 12.1.044-89
<b>психофізіологічні:</b>			
- нервово-психічна перевантаження (розумове, перенапруження аналізаторів-зорових)	- пошук інформації для постановки теми; - пошук та аналіз аналогів і літератури; - пошук наявних технологій, моделювання та аналіз алгоритмів; - виконання роботи за темою диплома, тестування; - оформлення роботи	4	НПАОП 0.00-1.28-10 ДСанПіН 3.3.2.007-98
- фізичні (статичне – сидіння)	порушення умов праці (організації місця праці- сидіння користувача, ) та організації робочого часу - безпервна робота)	2	НПАОП 0.00-1.28-10 ДСанПіН 3.3.2.007-98



Таблиця В.2 - Відомості про місце утворення та місце розташування відходів

№ з/п	Код та найменування відходів за ДК -005-96	Технологічний процес або виробництво, де утворюються відходи/клас небезпеки	Місце розташування відходу, тара та її кількість, місткість, розміри у разі наявності майданчиків розташування відходів необхідно зазначити тип покриття та наявність даху)	№ на схемі (додається масштабна схема місць розміщення відходів)
1	2	3	5	7
1	7710.3.1.26 Лампи люмінесцентні, та відходи, які містять ртуть, інші зіпсовані або відпрацьовані (Відпрацьовані ртутьвмісні люмінесцентні лампи)	1	буд.84, в приміщенні кладової S=100м <sup>2</sup> , в кількість 50 од.	8401-TX
2	7720.3.1.01 Відходи комунальні (міські) змішані, у т.ч. сміття з урн (Побутові відходи)	4	зовнішній майданчик зберігання побутових відходів біля буд .84 S=5м <sup>2</sup> V= 2,08м <sup>3</sup> - 2од.	8401-TX
3	7710.3.1.01 Макулатура паперова та картонна (Макулатура)		буд .84 4 поверх кім. 412 S =5,0 м. <sup>2</sup>	8401-TX
4	7710.3.1.03 Бій скла технічного та скловиробів, що не підлягає спеціальному обробленню. (Склобій)	4	буд .84 1 поверх кладова S=2м <sup>2</sup> V= 0,2м <sup>3</sup> - 1од.	8401-TX
5	7730.3.1.02 Матеріали пакувальні пластмасові зіпсовані, відпрацьовані чи забруднені (Матеріали пакувальні забруднені)	4	буд.84, контейнер V=0,9м <sup>3</sup> (3 од.)	8401-TX

## Продовження таблиці В2

1	2	3	5	7
6	Змінні носії інформації	4	буд. 84, кім. 412 $V=0,0005 \text{ м}^3$	8401-ТХ
7	Відходи системних блоків (в комплекті) Пакувальні матеріали батареї Відходи друкуєчих пристроїв. Акумулятор для джерел безперебійного харчування	4	буд. 84, кім. 412 $m=5,0 \text{ кг.}$	8401-ТХ
8	Пакувальні матеріали, що не вміщують целюлозу	4	буд. 84, кім. 412 $S =5,0 \text{ м.}^2$	8401-ТХ
9	Батареї та акумулятори (малі)	3	буд. 84, кім. 412 $V=0,0005 \text{ м}^3$	8401-ТХ
10	Відходи друкуєчих пристроїв.	4	буд. 84, кім. 412 $V=1,0 \text{ м}^3$	8401-ТХ
11	Акумулятор для джерел безперебійного живлення	3	буд. 84, кім. 412 $S =5,0 \text{ м.}2$	8401-ТХ

## ДОДАТОК С

### Комп'ютерна презентація

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

### МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

Розробка і дослідження сенсорної мережі  
екологічного призначення

ст. гр. КІ-17дм Посохов Ілля Олегович

Науковий керівник:

Сафонова С.О.

*кандидат технических наук, доцент*

Активация V

Рисунок С.1- Слайд №1

## Актуальність

У сучасному житті полегшення роботи оператора будь-якої складної системи стало нормальним явищем. Будь-який дорогий прилад високої чутливості закордонних виробників має датчики і блоки, які приводять параметри робочого середовища до нормальних умов, прописаних в методиках визначення для кожного шуканого елемента; що робить достовірним кінцевий результат вимірювання. Особливостями таких приладів є: великий рідкокристалічний екран з дисплеєм ідентифікації цілі, простий у використанні користувальницький інтерфейс меню - вивід графічного зображення всіх визначених параметрів на екран, автоматичний режим балансу параметрів і ручне регулювання балансу повітряного середовища.

Для приладів вітчизняного виробника така система визначення параметрів робочого середовища відсутня і тому в будь-якій лабораторії виникає питання щоденних замірів, реєстрації та перерахунків параметрів показників якості повітряного середовища робочої зони для приведення їх до нормальних умов, прописаних в методиках вимірювань. Це і робить даний проект актуальним і важливим для роботи лабораторії аналітичних екологічних досліджень.

Це робить даний проект значущим для роботи лабораторії аналітичних екологічних досліджень

Рисунок С.2- Слайд №2

## Постановка мети і завдань дослідження

Метою данної роботи є вивчення сфери застосування бездротових мереж з низьким енергоспоживанням та розробка з'єднання низькошвидкісних периферійних компонентів з мікроконтролером в аналітичній лабораторії.

Для досягнення поставленої мети, були проведені наступні заходи:

- виявлення сфери застосування бездротових мереж з низьким енергоспоживанням;
- розглянути прикладні аспекти практичної реалізації бездротових вузлів;
- виявлення перспективних стандартів та протоколів бездротових сенсорних мереж;
- вивчить протоколи;
- розробить апаратну реалізацію за допомогою координатора та вузлів.

Рисунок С.3- Слайд №3

## Бездротові мережі з низьким енергоспоживанням

В даний час спостерігається стійка тенденція до переходу на автоматизовані системи обліку ресурсів. В цьому зацікавлені і споживачі ресурсів, і постачальники ресурсів, а також компанії, що займаються розподілом ресурсів. Частіше за все зустрічається в повсякденному житті прояв цієї тенденції - установка індивідуальних лічильників. У загальному випадку лічильники споживання ресурсів можна розділити на дві великі категорії - лічильники електроенергії та витратоміри.

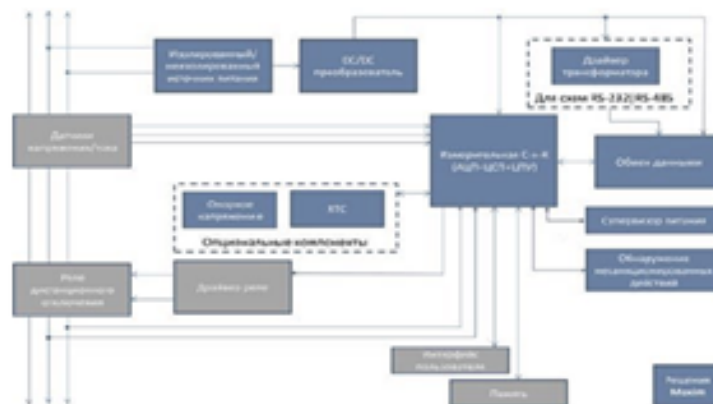


Рисунок С.4- Слайд №4

## Функціональні особливості БСМ

З урахуванням різних механізмів використання мережевих ресурсів бездротові сенсорні мережі в залежності від характеру функціонування можна розділити на наступні типи:

**Проактивні мережі.** Вузли такої мережі періодично включають свої сенсори і передавачі, знімають показання сенсорів і передають дані на шлюз. Таким чином, вони фіксують стан контрольованого середовища з певною періодичністю і використовуються зазвичай для додатків, що вимагають регулярного моніторингу деяких параметрів.

**Реактивні мережі.** Вузли реактивних мереж, так само, як і проактивних, з певною періодичністю знімають показання, однак залишають поза передачею їх, якщо отримані дані відповідають нормованій області показань сенсорів. У той же час дані про нештатні зміни параметрів або їх виходи за межі діапазону нормальних значень негайно передаються на шлюз. Реактивні мережі призначені для роботи з додатками реального часу.

**Гібридні мережі.** Являють собою комбінацію двох наведених вище типів мереж. У гібридних мережах сенсорні вузли не тільки періодично передають зняті за допомогою сенсорів дані, але й оперативно реагують на вихід показань з діапазону нормованих значень.

Рисунок С.5- Слайд №5

## Конфігурація стеків протоколів 802.15.4 та ZigBee



Рисунок С.6- Слайд №6

## Стек протоколів ZigBee

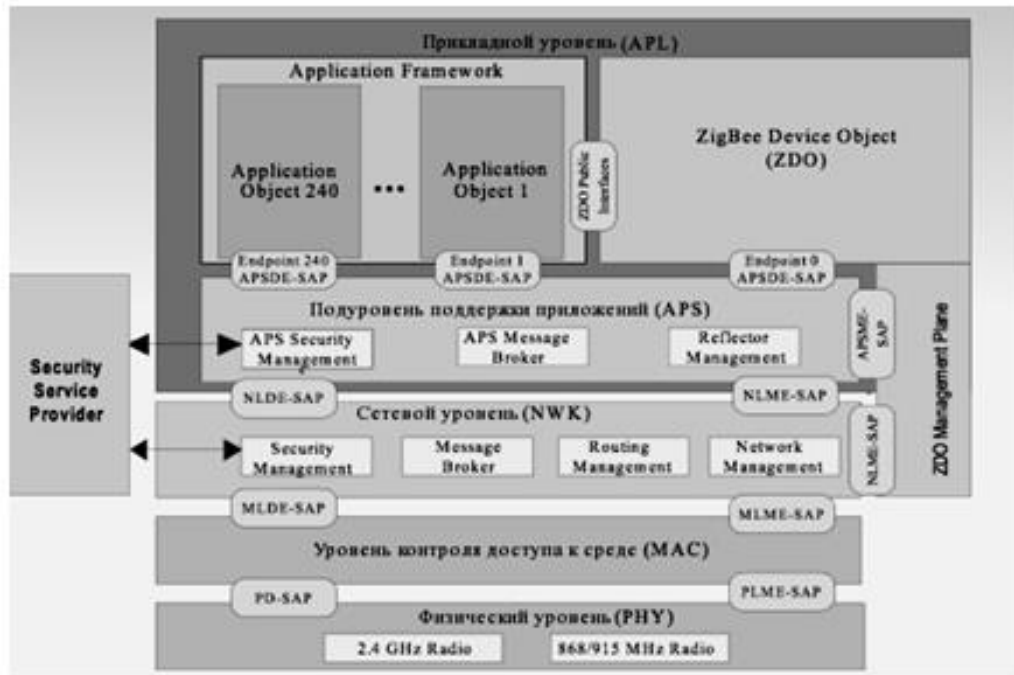


Рисунок С.7- Слайд №7

## Мережі ZigBee

Специфікація ZigBee розроблена на базі міжнародного стандарту IEEE 802.15.4 для створення недорогих бездротових мереж передачі невеликих обсягів даних з низьким енергоспоживанням.

Сфери застосування таких мереж:

- автоматизація будівель, де технологія ZigBee використовується для зв'язку з датчиками температури, вологості, освітлення, вентиляції та ін.;
- діагностичне медичне обладнання;
- системи охоронної та пожежної безпеки;
- побутова електроніка і периферія персональних комп'ютерів.

Основна особливість технології ZigBee полягає в тому, що вона при відносно невисокому енергоспоживанні підтримує не тільки прості топології бездротового зв'язку, а й складні бездротові мережі з сітчастою топологією з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень ("mesh-мережі").

Рисунок С.8- Слайд №8

## Порівняння провідних бездротових технологій

Параметр	Bluetooth/IEEE 802.15.1	ZigBee/IEEE 802.15.4	Wi-Fi/IEEE 802.11
Дальність	~10 (50-100) м	10-100 м	~100 м
Швидкість передачі	723 Кбіт/с	250 Кбіт/с	1...2 Мбіт/с , до 54 Мбіт/с
Максимальна кількість учасників мережі	8	64 000	Необмежено
Споживана потужність	10 мВт	1 мВт	50 мВт
Термін роботи від двох батарей розміру AA	–	6 міс.у режимі очікування	–
Вартість/важкість (умовні одиниці)	10	1	20
Повторна передача	Так	Так	DCF - Ні ; PCF та HCF - Так
Основне призначення	Зв'язок периферії з ПК	Бездротові мережі датчиків	Бездротове розширення

Рисунок С.9- Слайд №9

## Апаратна реалізація

Це малогабаритний модуль стандарту ZigBee/IEEE 802.15.4, призначений для побудови промислових мереж передачі даних. Управління модулем здійснюється через інтерфейс UART за допомогою AT-команд.

Даний модуль підтримує 3 топології мережі: Point-to-Point, Point-to-Multipoint, Peer-to-Peer. Це дозволяє реалізувати мережу практично будь-якої складності.

Додатково модуль має:

- 6 10-бітних АЦП;
- 8 цифрових каналів вводу/виводу;
- інтерфейс UART;
- API функції для програмування;
- 3 індикатори станів.



Рисунок С.10- Слайд №10

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Для візуалізації даних, зібраних в сенсорній мережі була розроблена програма візуалізації SVM D ZigBee 2.0 в C++Builder 6, інтерфейс якої представлений на рисунку.

Рисунок С.11- Слайд №11

Для створення програми розроблений ряд власних компонентів, таких як:

- датчик тиску (відображає дані в одних із зазначених одиниць вимірювання: Па, Бар, Атм, технічна Атм, мм рт.ст., м вод.ст.);
- датчик радіаційного фону (виконується автоматичне перемикання між: мР/год, мкР/год);
- датчик вологості відображає відносну вологість у %;
- датчик освітленості відображає освітленість в одиницях вимірювання Люкс;
- датчик параметрів вітру візуалізує швидкість вітру в м/с, а напрямок вітру червоним кінцем вказується в сторону, куди дую вітер;
- датчик температури (відображає дані в одних із зазначених одиниць вимірювання: К, °F, °C);

Всі з розроблених датчиків здатні візуалізувати дані в двох режимах: цифровий і стрілочний

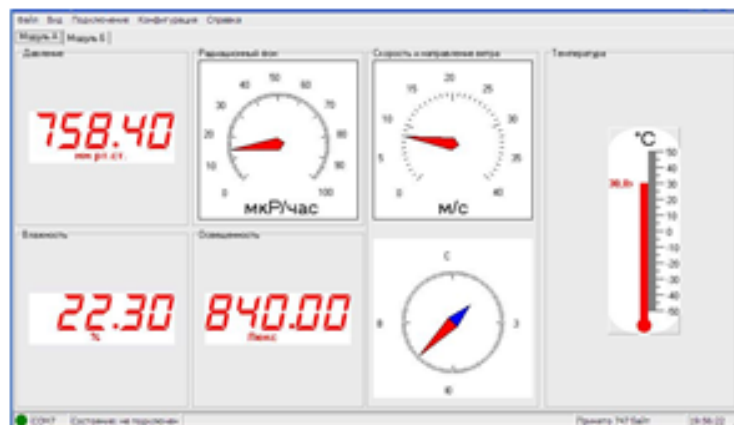


Рисунок С.12- Слайд №12



Програма автоматично виявляє кількість вузлів, які пересилають дані координатору, і динамічно додає вкладки в головному вікні програми з назвою модуля.

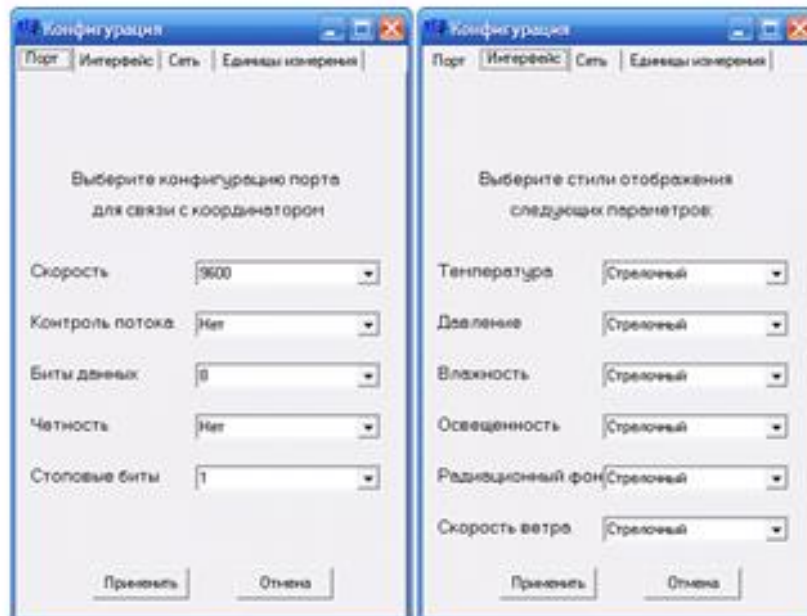


Рисунок С.13- Слайд №13

У меню Налаштування присутні 4 вкладки на першій можна вибрати настройки порта, на другій можна вибрати режим відображення інформації (стрілочний, цифровий), на третій - псевдоніми для вузлів, які будуть відображатися у всій програмі замість імен вузлів, на четвертій - вибрати одиниці виміру для температури та тиску.

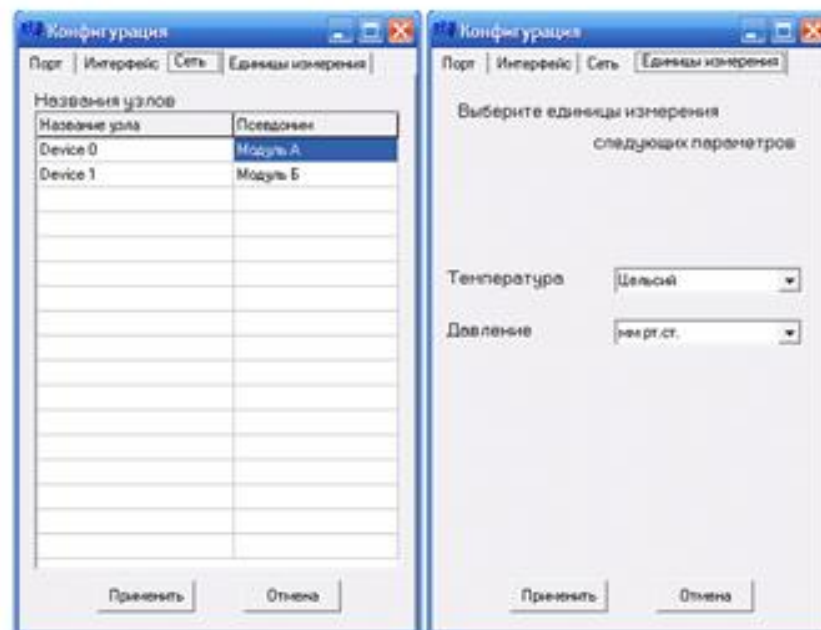


Рисунок С.14- Слайд №14

Пункт графіки залежностей з меню Вид дає можливість порівняно оцінити показання з різних вузлів, які відображаються на графіку.

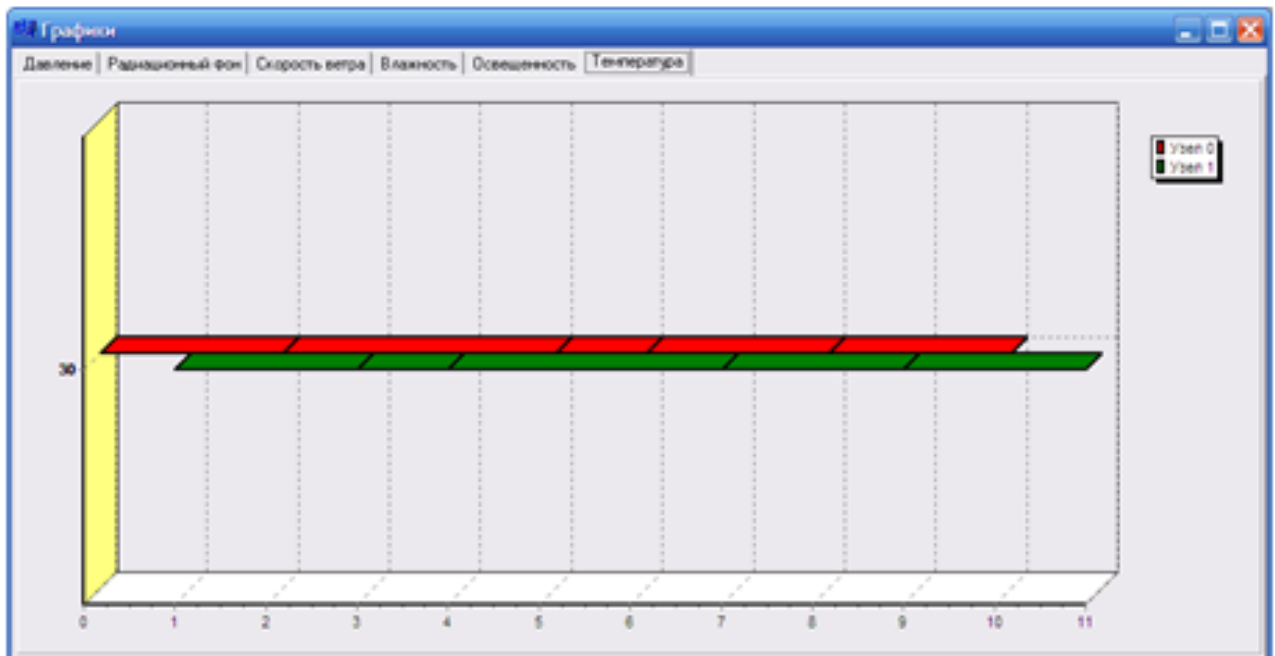


Рисунок С.15- Слайд №15

## ВИСНОВКИ

У зв'язку з необхідністю удосконалення параметрів роботи приладів вітчизняного виробника, а саме створення системи визначення параметрів робочого середовища, яка проводить автоматичні виміри параметрів повітря робочої зони, реєстрацію та перерахунок показників якості повітряного середовища для приведення їх до нормальних умов, прописаних в методиках вимірювань, був організований даний проект. Він є актуальним і значущим для роботи лабораторії аналітичних екологічних досліджень.

Рисунок С.16- Слайд №16