

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»  
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації  
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»  
 Завідувач кафедри автоматики та  
 телекомунікацій

\_\_\_\_\_ Іван ЛАКТИОНОВ  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

## Випускна кваліфікаційна робота

\_\_\_\_\_ бакалавра  
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка телекомунікаційної інфраструктури екологічного моніторингу промислових підприємств з використанням технологій IoT»

Виконав студент 4 курсу, групи ТКР-18  
(шифр групи)

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_ Кобяков Данило Сергійович  
(Прізвище, Ім'я та По-батькові) (підпис)

Керівник ст. викл. каф. АТ \_\_\_\_\_ Гліб СТУПАК  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент к.т.н. доц. доц. каф. ЕТ \_\_\_\_\_ Олександр ШТЕПА  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль:

\_\_\_\_\_ ас. Дар'я ЖУКОВСЬКА  
(підпис)

*Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.*

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»  
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації  
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій  
(повна назва кафедри)

Захист відбувся \_\_\_\_\_  
(дата)

з оцінкою \_\_\_\_\_

Секретар ЕК \_\_\_\_\_  
(підпис)

## Випускна кваліфікаційна робота

### бакалавра

Тема: «Розробка телекомунікаційної інфраструктури екологічного моніторингу промислових підприємств з використанням технологій IoT»

Спецчастина: \_\_\_\_\_

Виконавець, студент

гр. ТКР–18

Данило КОБЯКОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Гліб СТУПАК

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Іван ЛАКТИОНОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Гліб СТУПАК

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Валерій ПОЦЕПАЄВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль

Дар'я ЖУКОВСЬКА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Державний вищий навчальний заклад  
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації  
 Кафедра Автоматика та телекомунікації  
 Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр  
 Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації  
(шифр і назва)  
 Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри АТ**  
**Іван ЛАКТИОНОВ**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Кобяков Данило Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка телекомунікаційної інфраструктури екологічного моніторингу промислових підприємств з використанням технологій IoT

керівник проекту (роботи) ст. викл. Ступак Гліб Володимирович

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 06.05.2022 року № 180

2. Строк подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту (роботи) \_\_\_\_\_

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз принципів побудови телекомунікаційних мереж та інфокомунікаційних систем і інфраструктур; моделювання інфокомунікаційної системи; розробка структури телекомунікаційної інфраструктури; вибір датчиків і мікропроцесора телекомунікаційної системи; вибір мережевого обладнання.

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

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| 1      | ст. викл. Ступак Г.В.                     |                |                  |
| 2      | зав. каф. АТ, д.т.н., доц. Лактіонов І.С. |                |                  |
| 3      | к.т.н., доц. каф. АТ, доц. Поцєпаєв В.В.  |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)                                                                                                                    | Строк виконання етапів проекту (роботи ) | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------|
| 1     | Аналіз сучасних шляхів розробки і проектування телекомунікаційних інфраструктур та інфокомунікаційних систем екологічного моніторингу промислових приміщень | 19.05.2022                               |          |
| 2     | Вибір датчиків, мережевого обладнання та розробка функціональної схеми телекомунікаційної системи для екологічного моніторингу промислових приміщень        | 30.05.2022                               |          |
| 3     | Комп'ютерне моделювання телекомунікаційних пристроїв інфраструктури екологічного моніторингу промислових приміщень                                          | 14.06.2022                               |          |
| 4     | Додаток А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві                                                                         | 16.06.2022                               |          |

Студент

(підпис)

Данило КОБЯКОВ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гліб СТУПАК

(прізвище та ініціали)

## ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

| Посада, Ім'я та ПРИЗВИЩЕ | Суть зауваження, оцінка та підпис |
|--------------------------|-----------------------------------|
|                          |                                   |

## АНОТАЦІЯ

Кобяков Данило Сергійович. Розробка телекомунікаційної інфраструктури екологічного моніторингу промислових підприємств з використанням технологій IoT / Кваліфікаційна випускна бакалаврська робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2022.

Пояснювальна записка: 65 стор., 28 рис., 1 табл., 21 посилань.

Останнім часом спостерігається досить зростаюча зацікавленість до розробки і впровадження комп'ютерних пристроїв і телекомунікаційних засобів з метою контролю та моніторингу параметрів, що характеризують якість повітря. На підставі цього особливу увагу до себе звертають модернізовані інфокомунікаційні пристрої та телекомунікаційні мережі і системи, що об'єднуються в різні за масштабами інфраструктури. Розробка такої інфраструктури дозволить значно оптимізувати час і ресурси на планування управлінських рішень з поліпшення екологічної безпеки промислових підприємств, а отже, тема даної роботи є досить актуальною.

Мета роботи полягає в тому, щоб удосконалити інфокомунікаційну інфраструктуру для екологічного моніторингу технологічних і виробничих приміщень промислових підприємств із урахуванням принципів IoT.

Основні завдання: провести огляд і аналіз використовуваних телекомунікаційних систем; вибрати датчики для інфокомунікаційної системи; вибрати мікроконтролер і телекомунікаційні та мережні пристрої; розробити функціональну схему телекомунікаційної системної інфраструктури; розробити алгоритми інфокомунікаційної системи екологічного аналізу для промислових підприємств; промодельовати удосконалену телекомунікаційну організацію пристрою; описати отримані результати і зробити відповідні висновки.

Ключові слова: ІНФРАСТРУКТУРА, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА, ДАТЧИК, МІКРОКОНТРОЛЕР, РОУТЕР, АЛГОРИТМ, ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                                                                                   | 9  |
| 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ШЛЯХІВ РОЗРОБКИ І ПРОЕКТУВАННЯ<br>ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ІНФРАСТРУКТУР ТА<br>ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО<br>МОНІТОРИНГУ ПРОМИСЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ ..... | 11 |
| 1.1 Актуальність теми та мета бакалаврської роботи.....                                                                                                                      | 11 |
| 1.2 Основні параметри, які впливають на якість повітря промислових<br>приміщень.....                                                                                         | 14 |
| 1.3 Опис і аналіз аналогічної системи інфокомунікаційного<br>екологічного моніторингу будівель.....                                                                          | 18 |
| Висновки до розділу 1.....                                                                                                                                                   | 23 |
| 2 ВИБІР ДАТЧИКІВ, МЕРЕЖЕВОГО ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРОБКА<br>ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ<br>ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПРОМИСЛОВИХ<br>ПРИМІЩЕНЬ.....         | 24 |
| 2.1 Датчики інфокомунікаційної інфраструктури екологічного<br>моніторингу промислових приміщень.....                                                                         | 24 |
| 2.2 Мікропроцесор і мережеве обладнання інфокомунікаційної<br>інфраструктури екологічного моніторингу промислових приміщень.....                                             | 30 |
| 2.3 Функціональна схема і алгоритм роботи інфокомунікаційної<br>інфраструктури екологічного моніторингу промислових приміщень.....                                           | 34 |
| Висновки до розділу 2.....                                                                                                                                                   | 39 |
| 3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ<br>ПРИСТРОЇВ ІНФРАСТРУКТУРИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ<br>ПРОМИСЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ.....                                              | 40 |

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 Загальні підходи до моделювання інфокомунікаційної системи екологічного моніторингу промислових приміщень..... | 40 |
| 3.2 Модель інфокомунікаційної системи екомоніторингу технологічних приміщень промислових підприємств.....          | 44 |
| 3.3 Модель програми бездротової передачі даних екологічного моніторингу.....                                       | 47 |
| 3.4 Аналіз параметрів безпеки інфокомунікаційної інфраструктури.....                                               | 50 |
| Висновки до розділу 3.....                                                                                         | 52 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                                      | 54 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                                    | 56 |
| ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....                           | 58 |

## ВСТУП

Актуальність роботи полягає в тому, що в останні роки підвищену увагу в усьому світі науковці та експерти приділяють глобальній проблемі відносно швидких темпів забруднення повітря, води та інших біологічних природних систем. Головною причиною динамічного зростання забруднення є електростанції, транспорт, сміття і відходи та інше.

Проте важливо також піклуватись про якість повітря в приміщеннях, в тому числі і на виробництві, адже воно впливає на стан здоров'я людей в десятки і сотні разів більш динамічно і негативно ніж повітря оточуючого середовища на вулиці.

Все це обумовлює зростаючий інтерес до комп'ютерних пристроїв і телекомунікаційних засобів, які функціонують у режимі моніторингу та контролю якості повітря. В цих умовах особливу увагу привертають до себе сучасні інфокомунікаційні системи та телекомунікаційні мережі, які здатні об'єднуватись з урахуванням певних умов у різні конфігурації системних інфраструктур. Такі мережі та системи дозволяють з будь-якого місця на планеті відстежувати результати моніторингу в реальному часі. Дані технічні засоби функціонують на засадах сучасних технологій як Інтернет речей (IoT), промисловий Інтернет речей (IIoT) та Industry 4.0. Таким чином, тема бакалаврської роботи є досить актуальною в теперішній час, а отже потребує пошуку шляхів її вирішення.

Мета роботи – удосконалити телекомунікаційну системну інфраструктуру задля моніторингу екологічних параметрів технологічних і виробничих приміщень промислових підприємств.

Основні завдання бакалаврської роботи:

1. Провести огляд і аналіз систем, які виконують моніторинг екологічних параметрів виробничих і технологічних приміщень підприємств різної промисловості.

2. Вибрати датчики для удосконалення інфокомунікаційної інфраструктури для екологічного моніторингу в технологічних і виробничих приміщеннях промислових підприємств.

3. Вибрати мікропроцесор і телекомунікаційні пристрої, що будуть входити до мережі екологічного інформаційного моніторингу в технологічних і виробничих приміщеннях промислових підприємств.

4. Розробити функціональну схему телекомунікаційної інфраструктури екомоніторингу для промислових підприємств.

5. Розробити алгоритми для інфокомунікаційної інфраструктури екологічного аналізу для промислових підприємств.

6. Провести моделювання удосконалених пристроїв, що входять до складу інфокомунікаційної інфраструктури, за допомогою комп'ютерних засобів.

7. Сформулювати висновки до бакалаврської роботи.

Дана бакалаврська робота містить 65 сторінок тексту, з яких основний текст займає 52 сторінки. Кількість рисунків – 28. Кількість таблиць – 1. Кількість джерел літератури – 21. Кількість додатків – 1 на 7 сторінках.

# 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ШЛЯХІВ РОЗРОБКИ І ПРОЕКТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ІНФРАСТРУКТУР ТА ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПРОМИСЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ

## 1.1 Актуальність теми та мета бакалаврської роботи

В останні роки дуже велику увагу в світі приділяють негативному забрудненню повітря та інших природних біосистем і середовищ. Основною причиною даного забруднення є транспорт, електростанції, побутові відходи та інше. Проте важливо також турбуватися про якість повітря в приміщеннях, в тому числі і виробничих, адже воно (промислове повітря) впливає на людину в десятки разів гірше, ніж повітря довколишнього середовища на вулиці.

Цвіль, пил та різні гази можуть поєднуватися з хімічними речовинами, такими як легкі органічні сполуки, що призводить до синтезу досить токсичного середовища у побутових і промислових приміщеннях. Це може призводити до таких захворювань, як алергія або астма. Основними небезпечними параметрами, що негативно впливають на якість повітря в приміщенні є: вологість, пил, чадний газ, вуглекислий газ і карбон моноксид.

Всі гази і хімічні сполуки, що потрапляють всередину будинків є в тій чи іншій мірі шкідливими для здоров'я людини. А також використання в приміщенні вугільних або газових котлів та / або генераторів може призводити до отруєння людей чадним газом, і в кінці це призводить також і до летальних випадків [1].

Таким чином, в останній час дуже підвищується інтерес до комп'ютерного інформаційного моніторингу якості повітря, а особливо до сучасних інфокомунікаційних систем і телекомунікаційних інфраструктур, яким оснащують різні промислові будівлі. Дані пристрої, технології і системи дозволяють з будь-якої точки планети бачити і аналізувати результати моніторингу. Вони функціонують на сучасних технологіях як Інтернет речей

(IoT) та промисловий Інтернет речей (IIoT). Все це враховується при пошуку оптимальних технічних рішень з урахуванням показника ціна / якість розробки і використання системи та побудови на їх основі масштабних інфраструктур.

Внутрішній моніторинг приміщень здійснюється за допомогою мобільних і мікропроцесорних пристроїв, які здатні вимірювати досить широкий спектр газів і хімічних речовин та є чутливими до низьких і наднизьких концентрацій. Широке впровадження і використання даних засобів стримується високою вартістю і вони зазвичай починають використовуватись лише тоді, коли повідомлено про наявність відповідних проблем.

Кількість сьогодні відомих досліджень, які проводяться для аналізу повітря, є достатньо великою. Проте виникає проблема недостатньої кількості оптимальних даних щодо оптимізації показника – ціна / якість для таких систем. Для цього потрібно, щоб кількість людей, які б використовували таку систему збільшувалася, а отже, подібні системи удосконалювались.

Отже, для розширення контингенту споживачів необхідно створити інфокомунікаційні інфраструктури сталого моніторингу незначної вартості. Зараз на ринку представлені системи комп'ютерного аналізу і моніторингу, що працюють за принципом від місця до місця, в яких здійснюється збирання даних, а потім їх математичний аналіз. Таким чином, є необхідність створення і впровадження засобів бездротового зв'язку мережі сенсорів для сталого віддаленого моніторингу і аналізу повітря в промислових і побутових приміщеннях одночасно з різних місць.

Розповсюдженою професійною інфраструктурною системою телекомунікаційного моніторингу є Graywolf Direct Sense моделі IQ 610. Дана системна інфраструктура складається зі значної сукупності датчиків вимірювання параметрів якості повітря. Ця система за допомогою USB підключається до ноутбука або персонального комп'ютера. Також система оснащена мобільною обчислювальною платформою, що робить її відносно легкою і зручною у використанні. Вона вимірює температуру, концентрацію CO<sub>2</sub>, концентрацію CO, концентрацію озону та відносну вологість повітря з

індикацією у різних одиницях у базовій комплектації. Система підтримує функцію розширення списку вимірювальних параметрів. Основний недолік цієї системи Graywolf Direct Sense моделі IQ 610 полягає в її вартості та специфіці технічного обслуговування. Також її не можливо використовувати в промислових приміщеннях, які є небезпечними місцями з високою концентрацією отруйних газів [2].

Основна перевага даної інфокомунікаційної інфраструктури – це її висока точність і чутливість вимірювань, так як вона використовує досить дорогі датчики.

Головна ідея даної бакалаврської роботи полягає в створенні недорогої інфраструктури задля сталого інформаційного моніторингу якості повітря в промислових приміщеннях на основі недорогих датчиків. Показання з датчиків повинні фіксуватися автоматично з певною частотою дискретизації, що визначає і змінює користувач. Також пропонується побудова бездротової мережі Wi-Fi для можливості моніторингу та аналізу параметрів повітря робочої зони промислових підприємств віддалено без реальної постійної участі будь-якої людини оператора.

Основна мета роботи полягає в удосконаленні інфокомунікаційних інфраструктурних систем, що призначені до виконання віддаленого моніторингу екологічних параметрів виробничих і технологічних приміщень на промислових підприємствах.

Розробка і впровадження такої інфраструктури сталого моніторингу якості повітря в промислових приміщеннях надає можливість комп'ютерних вимірювань концентрацій різних газів та інших параметрів якості повітря в різних місцях одночасно. У якості цифрової платформи має бути використаний дешевий пристрій, як наприклад, Arduino. Для віддаленого бездротового обміну даними вимірювань мають бути налаштовані та підключені кілька стандартних сенсорних вузлів до інфокомунікаційної мережі. Це має бути здійснено за допомогою стандартних технологій, як наприклад, LoRa, Wi-Fi, Xbee та інше.

Також при розробці досліджуваної інфраструктури необхідно врахувати

те, що можливою є ситуація, коли система моніторингу та аналізу якості повітря в промислових приміщеннях розташовується у важкодоступних робочих зонах. Отже, дуже важливо, щоб переналаштування режимів роботи могло б здійснюватися віддалено за допомогою певних функцій у вбудованих програмних кодах. Також важливо дистанційно налаштувати конфігурацію датчиків, модулів і системи в цілому. Отже, між функціональними пристроями системної інфраструктури повинен бути організований надійний, безперебійний і стандартизований протокол зв'язку.

У зв'язку з тим, що система, яка розробляється в бакалаврській роботі, базується на принципах інфраструктурного модульного моніторингу та загально являє собою бездротову сенсорну мережу, то повинна бути врахована можливість за допомогою неї контролювати якість повітря як у великих будівлях, так і технологічних приміщеннях з небезпечними показниками, доступ до яких обмежений.

Отже, розробка модернізованої і удосконаленої телекомунікаційної інфраструктури для аналізу і моніторингу якості повітря виробничих і технологічних приміщень за допомогою сучасних інфокомунікаційних засобів і технологій, є актуальним завданням, яке потребує вирішення.

## 1.2 Основні параметри, які впливають на якість повітря промислових приміщень

Одними з основних параметрів, які впливають на якість повітря та комфорт перебування персоналу в технологічних приміщеннях є температура та вологість.

Також дуже важливо розуміти, що не існує поняття «ідеального» рівня вологості та температури, які будуть придатними і оптимальними для конкретної будівлі та людей, які в ній знаходяться. На даний показник впливає досить багато факторів, таких як одяг, відчуття комфорту та персональна

активність. Є так звані допустимі рівні коливання відносної вологості – від 20 до 60 %. Рівні менше 20 % взимку і більше 60 % влітку вважаються умовно неприйнятним. Це обумовлено тим, що в разі підвищення відносної вологості вище 60 % можливим є розвиток бактерій, цвілі та пилових кліщів, що посилюють можливість розвитку алергії і астми [3].

Відповідно до прийнятих рекомендацій міжнародної асоціації ASHRAE температура в приміщенні взимку повинна підтримуватися на рівні від 20 до 24 °C [3].

Наступним параметром, що впливає на якість повітря та безпеку тривалого перебування як на вулиці, так і в приміщеннях є вуглекислий газ. Він вважається складовою дихання та використовується як індикатор для оцінки того, чи в достатньому обсязі свіже повітря надходить до приміщення. Рівень вуглекислого газу на вулиці зазвичай коливається від 300 частин на мільйон до 400 частин на мільйон (ppm). Всередині будівель, а особливо промислових, рівень вуглекислого газу має більші значення, ніж на вулиці. При цьому, якщо рівень вуглекислого газу в приміщеннях перевищує значення 1000 ppm, то це означає, що присутні негаразди і несправності в системах вентиляції або наявні інтенсивні джерела викидів цього газу [4].

Нормальними вважаються показники концентрації CO<sub>2</sub> в промислових будівлях зі справними системами вентиляції від 500 ppm до 950 ppm. При підтриманні рівня концентрації CO<sub>2</sub> до 800 ppm при відповідних рівнях вологості та температури в приміщенні скарги на стан здоров'я співробітників, як правило зводяться до мінімуму. Отже, рівень 1000 ppm і вище має бути сигналом для покращення систем вентиляції або усунення джерел інтенсивного надходження CO<sub>2</sub> у промислових підприємствах та вжиття заходів із поліпшення екологічної ситуації на підприємстві в цілому.

Проте, у разі перевищення цих вимог не потрібно інтерпретувати ситуацію, як критичну, тому що підвищений рівень вуглекислого газу означає тільки, що кількість зовнішнього повітря є недостатньою. А отже, вищевказані діапазони екологічних параметрів є лише орієнтирами для визначення об'ємів

свіжого повітря, що надходить до приміщень.

Винятки становлять ті ситуації, де неможливе використання таких норм, є промислові райони, оскільки в них є ризик появи джерел з підвищеною концентрацією діоксиду вуглецю, вихлопних газів печей від двигунів внутрішнього згоряння та інше. В такому випадку потрібно вживати адміністративні і управлінські заходи з покращення загальної екологічної ситуації на підприємствах або в регіонах задля запобігання постійного впливу цих негативних газів на здоров'я багатьох людей.

Ще одним параметром повітря, який в значній мірі впливає на загальний інтегральний стан є чадний газ. За своєю природою він є окисом вуглецю. Він не має запаху і кольору та утворюється і присутній у вихлопних газах при неповному згорянні палива.

Нормою концентрації цього газу для офісних приміщень є межі від 0 до 5,5 ppm. Перевищення цього діапазону свідчить про наявність джерел забруднення у внутрішньому середовищі простору технологічного та / або побутового (офісного) приміщення. Рівень концентрації чадного газу всередині промислових будівель не повинен перевищувати 10 ppm. При досягненні рівня концентрації чадного газу більше 50 ppm необхідно негайно прийняти заходи з евакуації людей з будівель. Негативними симптомами та ознаками для здоров'я є такі, як: запаморочення, головний біль, нудота та інші [5].

Також до газів, які присутні в повітрі робочих зон підприємств відноситься озон. Він є одним з основних подразників системи дихання людей. Цей газ утворюється електричним обладнанням (в основному, проте є і менш інтенсивні фактори), яке функціонує в виробничих і технологічних зонах підприємств. Допустимий рівень озону для промислових галузей складає не вище 0,1 ppm. В процесі дихання при завищених концентраціях озону можливе виникнення таких симптомів, як: кашель, хрип, закладеність носа, віддишка, біль в грудях та інше [6].

Фірми, які виробляють устаткування для очищення повітря заявляють, що генератори озону здатні значно знижувати рівень летких органічних сполук в

повітрі. Проте дослідження такого устаткування довели і наявність ряду негативних факторів, які значно обмежують широке використання подібних технічних приладів.

У офісних приміщеннях на підприємствах головними джерелами озону можуть бути такі пристрої, як: сканери, принтери, ксерокси, мобільні засоби зв'язку, комп'ютерна техніка та інше [6].

Додатково леткі органічні сполуки виділяються в повітря робочих зон у вигляді газів з різних рідин і певних твердих речовин та їх сполук. До складу летючих органічних сполук входить доволі значна кількість хімічних речовин. Декотрі з цих речовин можуть мати довго і короткострокові наслідки для здоров'я людей. На більшості підприємств спостерігається динамічна негативна тенденція, що концентрація багатьох летючих органічних сполук в десятки або сотні разів більша, ніж в повітрі на вулиці. Вплив летючих органічних сполук на здоров'я людей різний і залежить від різних чинників і факторів. Основними такими чинниками є: тип і концентрація летючих органічних сполук, тривалість впливу на людину та можливість поєднання їх із іншими речовинами. Типові симптоми, які відзначають при дії летючих хімічних речовин наступні: подразнення слизових оболонок горла, носа і очей, сильний головний біль, підвищення тиску, нудота та навіть проблеми з нервовою системою, а також підвищення ризиків виникнення раку. Як правило, зовнішнє повітря довколишнього середовища здатне природним чином розбавляти і зменшувати інтенсивність впливу летючих органічних сполук [7].

До головних факторів техногенного типу впливу також відносяться пари від процесів горіння та пил, в основному, від механічних процесів. До пилу дуже вразливі люди, які хронічно страждають на алергію. До основних неприємних і небезпечних симптомів, які можуть виникати, відносять такі: кашель, утруднення дихання, виділення з носа, нежить, висипання, головні болі, запаморочення та інше. При тяжких стадіях алергічних реакцій у рідких випадках можливий також летальний результат.

Постійне тривале ураження легень через пилове забруднення може бути

визвано частками вугільного пилу, кремнезу, азбестовими волокнами та іншими дисперсними матеріалами. Вдихання у достатньо високих дозах свинцевого пилу може бути дуже небезпечним і основним джерелом отруєння свинцем у працівників, які займаються певними видами діяльності, такими як: ремонтні та будівельні роботи. Це може викликати підвищений артеріальний тиск, проблеми з репродуктивною функцією, зниження слуху, а у окремих випадках навіть смерть [8].

Таким чином, перелічені вище фактори і параметри впливають на екологічну безпеку приміщень промислових підприємств, а отже повинні постійно в сталому режимі вимірюватись і контролюватись засобами інфокомунікаційної і телекомунікаційної техніки в автоматичному режимі. Це дозволить у декілька разів зменшити ризики виникнення і розвитку захворювань у працюючого персоналу.

### 1.3 Опис і аналіз аналогічної системи інфокомунікаційного екологічного моніторингу будівель

Інфокомунікаційний моніторинг і комп'ютерний сталий аналіз якості повітря в технологічних і адміністративних будівлях та виробничих і офісних приміщеннях передбачає вимірювання різних характеристик повітря в різних місцях всередині будівлі, офісу чи робочій зоні.

Для реалізації такого виду інфокомунікаційного моніторингу передбачається фіксація параметрів і показників, які пов'язані з якістю аналізованого повітря, за допомогою бездротових датчиків. У якості процесора системи виступає плата-мікроконтролер, як наприклад, Arduino. Використовується також декілька пристроїв, що є сенсорними платами з технологією XBee, що виконує роль передавачів даних про результати вимірювань. Структурну схему аналогічної системи для цілей інфокомунікаційного моніторингу, яка була створена автором в роботі [9],

приведено на рисунку 1.1.

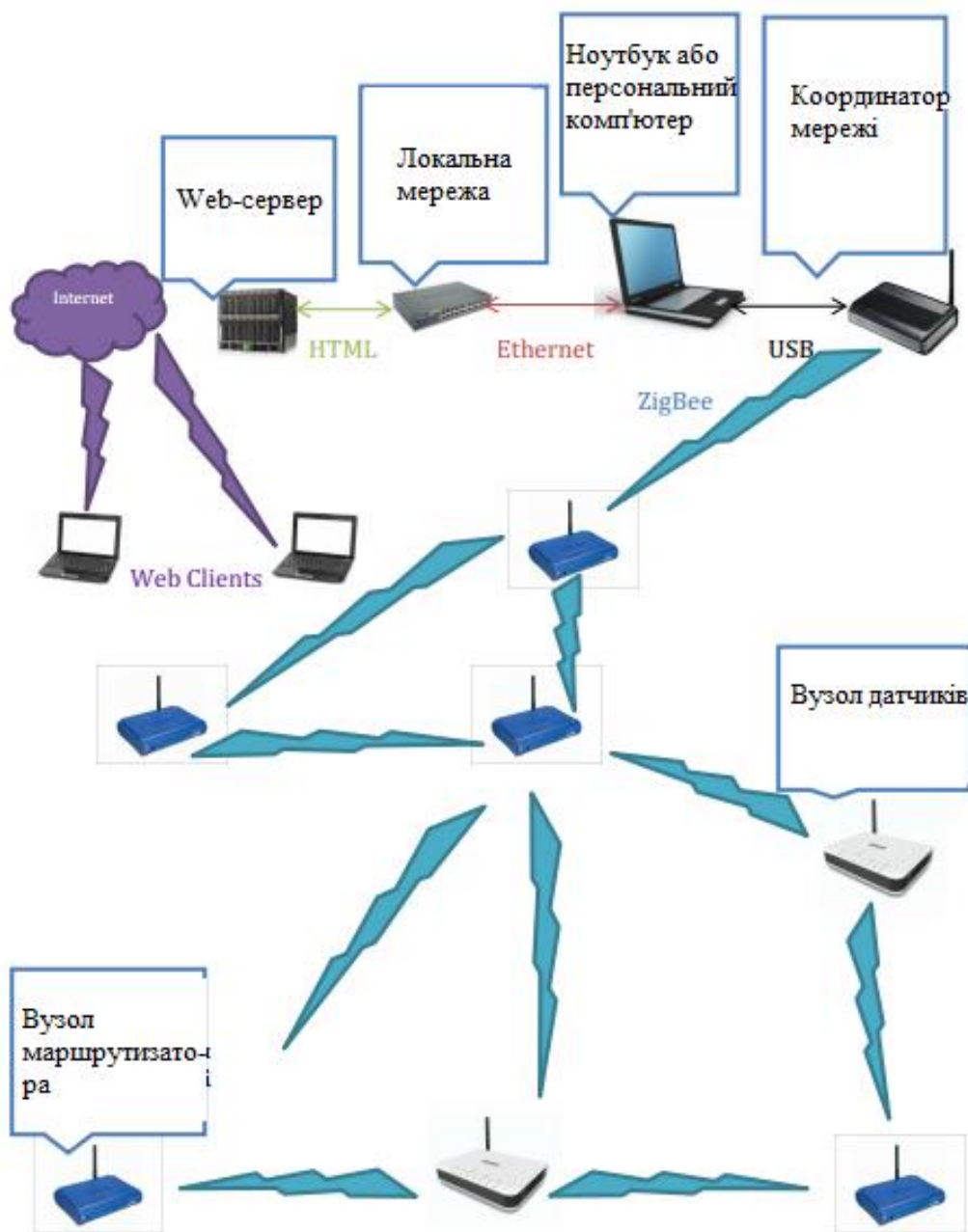


Рисунок 1.1 – Архітектура аналогічної інфокомунікаційної інфраструктури задля комп'ютерного моніторингу якості повітря в приміщеннях [9]

В цій системі плата Arduino поєднується разом з модулем XBee. Координуючий пристрій виступає в ролі базової станції, яка здійснює приймання і передавання даних на маршрутизатор в бездротовій мережі значної кількості датчиків. Також в роботі [9] використовуючи мову web-

програмування Python була розроблена графічна оболонка системи, яка візуалізує результати сталого екологічного моніторингу. Даний web-сервер додатково виступає в ролі програмного забезпечення, що дозволяє надавати і переглядати web-контент. Доступ до нього може бути отриманий через глобальну мережу Інтернет з будь-якої точки. Це робить розроблену систему досить зручною і гнучкою для використання в різних умовах.

За допомогою стандартного програмного забезпечення X-CTU виконувалось в цій роботі налаштування режимів доступу і роботи модулів ZIGBee в ролі координаторів мережі. Плата Arduino була запрограмована на мові C, що адаптована для програмування широковикористовуваних платформ сімейства Arduino.

Дана система, яка приведена на рисунку 1.1, складається з поєданого набору плат, датчиків і модулів: Arduino Uno, стандартні датчики різних екологічних параметрів, lcd-екран, пристрій XBee. Завдяки цьому пристрій [9], є компактним та більш зручним у використанні.

У якості основної плати автором роботи [9] було обрано недорого та зручну в управлінні плату Arduino моделі Uno R3. Ця плата легко програмується та може бути підключена до широкого спектру стандартного обладнання і компонент (див. рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд плати Arduino моделі Uno R3

При виборі плати розміщення датчиків системи потрібно було врахувати деякі монтажні і функціональні особливості датчиків, що використовувались. Більшість доступні і загальновпроваджені датчики концентрації різних газів мають вимоги попереднього розігріву за кілька годин перед використанням для робочих застосувань, отже вони потребують додаткової подачі струму живлення. Цей факт призводить до розсіювання більшої кількості теплової енергії. Отже, проблема, яка була вирішена в роботі [9], полягала в такому розташуванні датчиків на платі, щоб розсіюване тепло не впливало на надійність показань інших датчиків та при цьому всі датчики мали б вмістися в невеликій монтажній платі для зручного використання.

Надалі в роботі приведено перелік датчиків, які використав автор роботи [9] при проектуванні системи інфокомунікаційного екологічного моніторингу будівель у сталому режимі. Всі використані датчики є сертифікованими і компактними та зручно підключаються до мікроконтролера Arduino.

Як було вище вказано, то система, яку розробив автор роботи [9], та яка є аналогічною тій, що розробляється в даній бакалаврській роботі має у своєму складі чотири функціональні частини. Послідовність з'єднання і функціонування цих частин показана на рисунку 1.3.

Також як зазначалось раніше, то для створення графічного інтерфейсу користувача в роботі [9] автором було обрано мову web-програмування Python. Це було зроблено, тому що ця мова програмування надає оптимальні можливості для покращення дизайну графічного інтерфейсу, який буде відображати інформацію у компактному і зручному для користувача виді у вигляді графіків, вікон, кнопок, стрілочних показчиків датчиків. Все це робить розроблену систему дуже зручною. Описаний вище інтерфейс системи є досить простим та зрозумілим. Він має три вкладки: «Дані в реальному часі», «Зв'язок» та «Графік в реальному часі», як показано на рисунку 1.4.



Рисунок 1.3 – Структура розташування рівнів системного обладнання аналогічної системи [9]

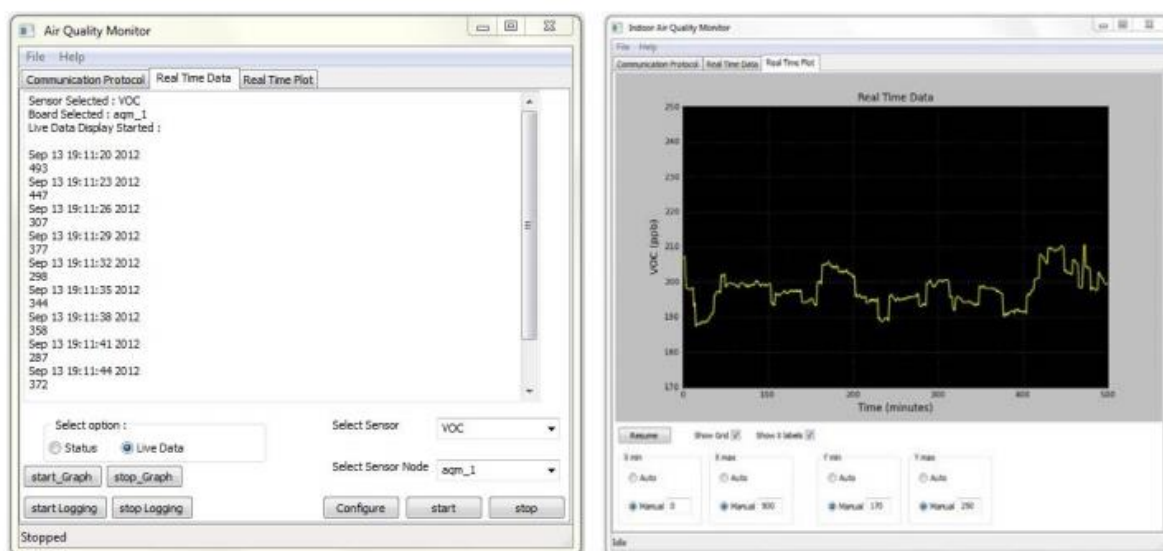


Рисунок 1.4 – Графічний вигляд екрану відображення даних системи, яка розроблена в роботі [9], та запропонована в якості аналога досліджуваної телекомунікаційної системи

Таким чином, приведений в цьому підрозділі опис і аналіз системи, яка

спроектована в роботі [9], є аналогічною до тієї, що розробляється і удосконалюється в даній бакалаврській роботі. Головним недоліком, який потрібно усунути в цій системі при розробці інфраструктури є уточнення щодо типів датчиків, мережевого інфраструктурного обладнання, а також можливості підключення і розташування більшої кількості датчиків у виробничих, офісних і технологічних приміщеннях промислових будівель.

## Висновки до розділу 1

В даному розділі виконано аналіз існуючих сучасних шляхів розробки і підходів проектування систем інфокомунікаційного екомоніторингу для телекомунікаційної IoT інфраструктури промислових будівель.

Основні результати даного розділу наступні:

1. Визначена актуальність теми і встановлена мета даної бакалаврської роботи.
2. Встановлені і детально описані основні параметри і хімічні речовини, від яких в достатній мірі залежить якість повітря офісних і виробничих приміщень у промислових будівлях.
3. Виконано аналіз аналогічної інфокомунікаційної системи екологічного сталого моніторингу промислових будівель. Виявлені її головні переваги і недоліки. В результаті цього було встановлено напрямки вдосконалення даної інфокомунікаційної системи для загальної телекомунікаційної інфраструктури на промисловості.

## 2 ВИБІР ДАТЧИКІВ, МЕРЕЖЕВОГО ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПРОМИСЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ

### 2.1 Датчики інфокомунікаційної інфраструктури екологічного моніторингу промислових приміщень

У розділі 1 з'ясовано про те, що до основного списку параметрів, від яких залежить поточний і прогнозований рівень екологічного стану промислових приміщень є наступним: концентрація пилу, концентрація вуглекислого газу, задимленість, вологість та температура виробничих приміщень. Отже, в цьому підпункті необхідно обрати та обґрунтувати доцільність використання конкретних різновидів датчиків, які будуть входити до складу удосконалюваної в бакалаврській роботі телекомунікаційної системи загальної IoT інфраструктури для використання на промислових підприємствах.

Першим зроблено вибір датчика концентрації пилу в повітрі робочої зони промислових (офісних, технологічних) приміщень. В якості моделі датчика концентрації пилу вибрано GP2Y1010AU0 [10]. Дану модель датчика вибрано через те, що він є досить дешевим та призначений для використання разом з популярною моделлю мікроконтролерів Arduino. Загальний зовнішній вигляд датчика GP2Y1010AU0 приведений на рисунку 2.1, а також на рисунку 2.2 приведена рекомендована схема його підключення до мікроконтролерів Arduino.

До основних характеристик датчика концентрації GP2Y1010AU0 відносяться [10]:

1. Тип датчика – аналоговий, оптичний.
2. Фізичний принцип вимірювань – фіксація показника щодо інтенсивності розсіювання потоку оптичного випромінювання на інфрачервоних довжинах хвиль.

3. Струм живлення – до 25 мА (імпульсний).
4. Постійна часу встановлення сигналу на виході датчика – не перевищує 30 мс.
5. Габарити корпусу датчика: довжина – 4,6 см, ширина – 3 см, висота – 1,76 см.

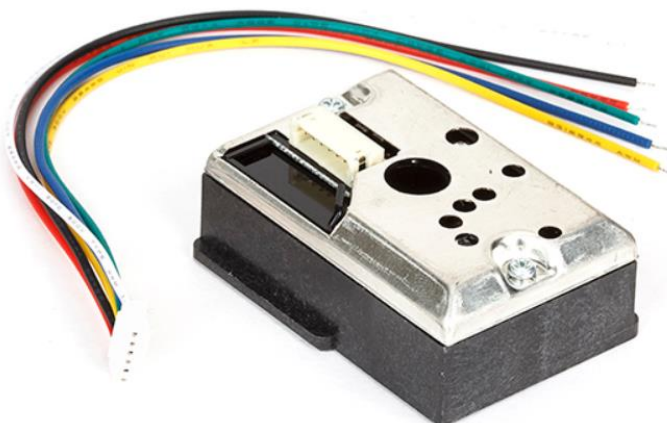


Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд датчика концентрації пилу в повітрі моделі GP2Y1010AU0

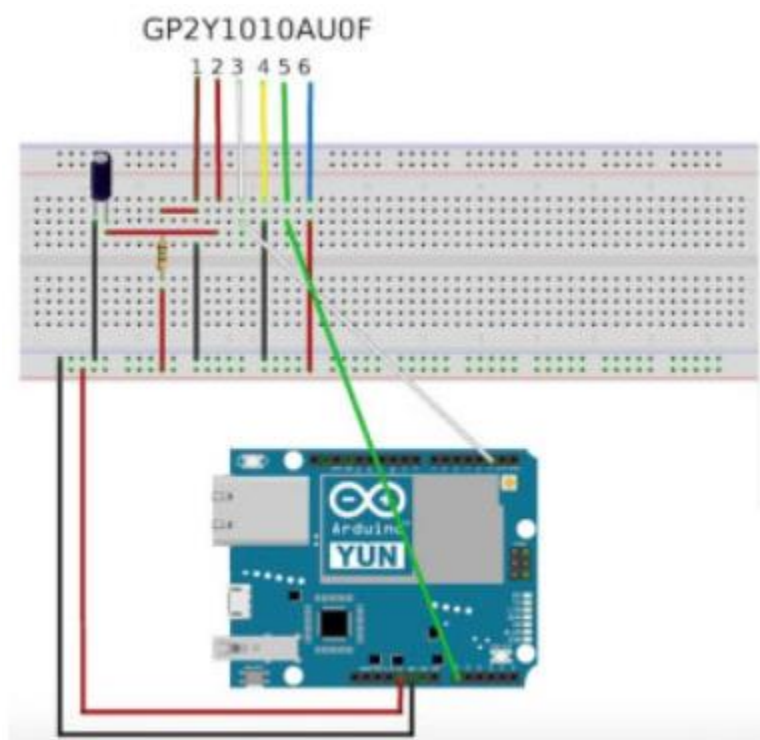


Рисунок 2.2 – Схема підключення датчика GP2Y1010AU0 до мікроконтролера Arduino Uno

Другим датчиком, який входить до складу вдосконалюваної телекомунікаційної системи комплексної IoT промислової інфраструктури є датчик концентрації вуглекислого газу. Так само, як і датчик концентрації пилу, ця модель датчика в основному обиралась виходячи з можливості його підключення до розповсюдженої мікроконтролерної платформи Arduino. Таким чином, вибрана модель датчика Waveshare MQ-5 [11]. Фото датчика Waveshare MQ-5 приведено на рисунку 2.3, а схему підключення до пристрою Arduino – на рисунку 2.4.



Рисунок 2.3 – Фото датчика для визначення концентрації вуглекислого газу моделі Waveshare MQ-5

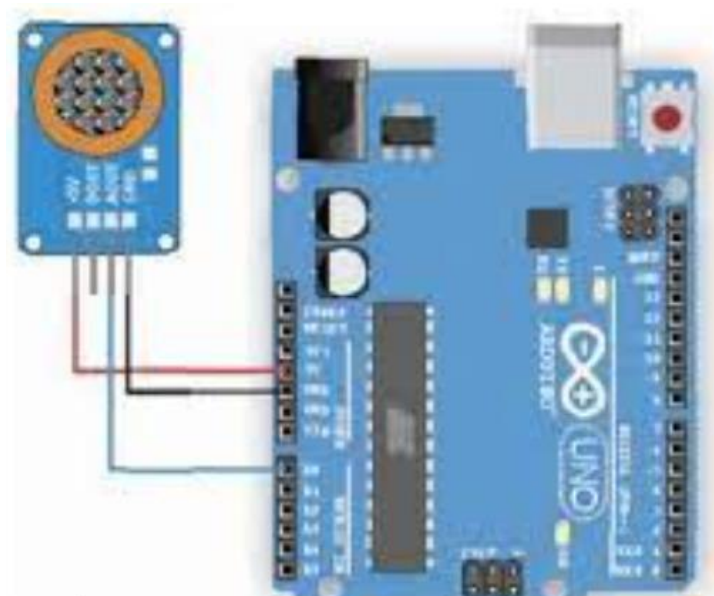


Рисунок 2.4 – Схема підключення датчика концентрації вуглекислого газу моделі Waveshare MQ-5 до Arduino Uno

До основних характеристик датчика концентрації вуглекислого газу Waveshare MQ-5 відносяться [11]:

1. Тип датчика – електрохімічний, аналоговий.
2. Діапазон напруги живлення – 2,5 В ... 5,0 В.
3. Є варіант виконання датчика з цифровим виходом.
4. Постійна напруга вихідного сигналу – 3,0 В ... 4,8 В.
5. Постійна часу встановлення сигналу на виході датчика – не перевищує 25 мс.
6. Габарити плати датчика: довжина – 4 см і ширина – 2,1 см.

Третім датчиком в інфокомунікаційній інфраструктурі екологічного моніторингу промислових приміщень є датчик задимленості. За аналогічними принципами до попередніх датчиків моделлю датчика задимленості вибрано – модульний датчик диму серії MQ-2 [12].

Дана модель датчика легко підключається до мікроконтролера Arduino у версіях UNO / NANO / MEGA / DUO та інше, тому і була вибрана для мікропроцесорного постійного вимірювання рівня задимленості промислових виробництв.

Зовнішній вигляд датчика представлений на рисунку 2.5, а запропонований варіант схеми підключення MQ-2 до Arduino Uno – на рисунку 2.6.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд датчика MQ-2

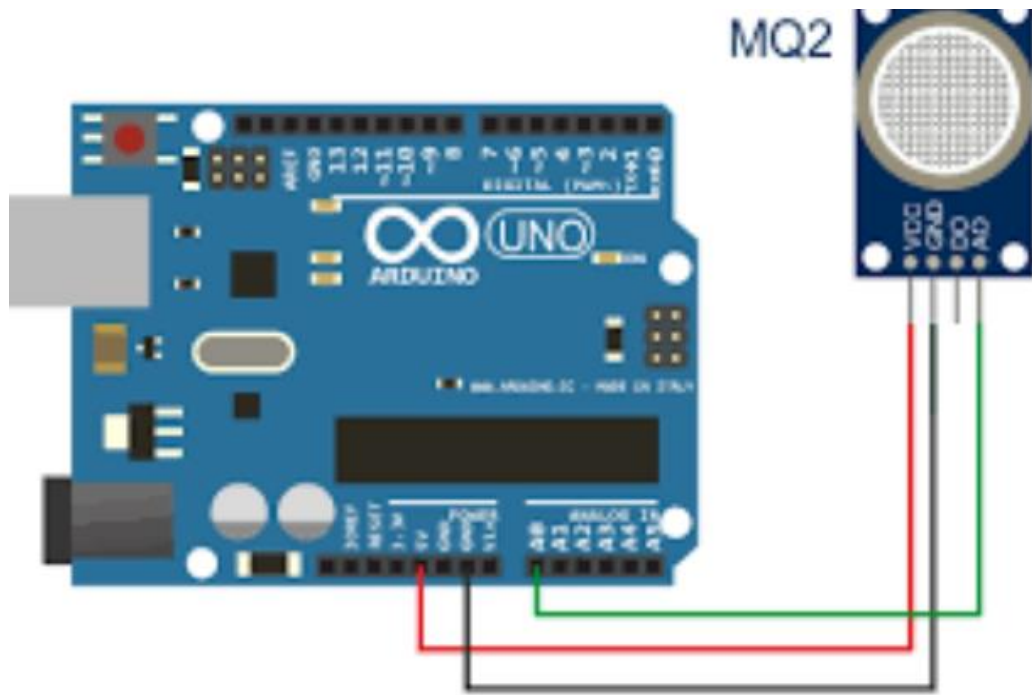


Рисунок 2.6 – Схема підключення датчика задимленості MQ-2 до мікроконтролера Arduino UNO

До основних характеристик датчика задимленості Waveshare MQ-2 відносяться [12]:

1. Різновид датчика – аналоговий, електрохімічний.
2. Є функція налаштування вибіркової і селективності.
3. Електрична потужність елемента нагрівача – до 0,9 Вт.
4. Можливими є металевий або пластиковий корпус.
5. Напруга живлення модуля датчика – 5 В.
6. Постійна часу досягнення сигналу на виході датчика перед вимірюванням – не перевищує 15 с.
7. Робочий рекомендований діапазон чутливості датчика – 300 ... 10000 ppm.

Четвертим і п'ятим датчиками, які входять до складу телекомунікаційної системи для сталого екомоніторингу промислових приміщень є температура і вологість. При аналізі доступних на ринку датчиків, які можуть підключатись до мікроконтролерів Arduino, було виявлено, що існує значна кількість напівпровідникових датчиків з можливістю одночасного моніторингу

температури і вологості повітря приміщень в одному корпусі. З урахуванням дешевезни при задовільних технічних параметрах різновиду сенсорів вибрано було датчик моделі – Waveshare DHT 22 [13], яка задовольняє умовам вище.

Зовнішній вигляд датчика приведений на рисунку 2.7, а схема підключення – на рисунку 2.8.



Рисунок 2.7 – Фото зовнішнього виду датчика температури-вологості Waveshare DHT 22

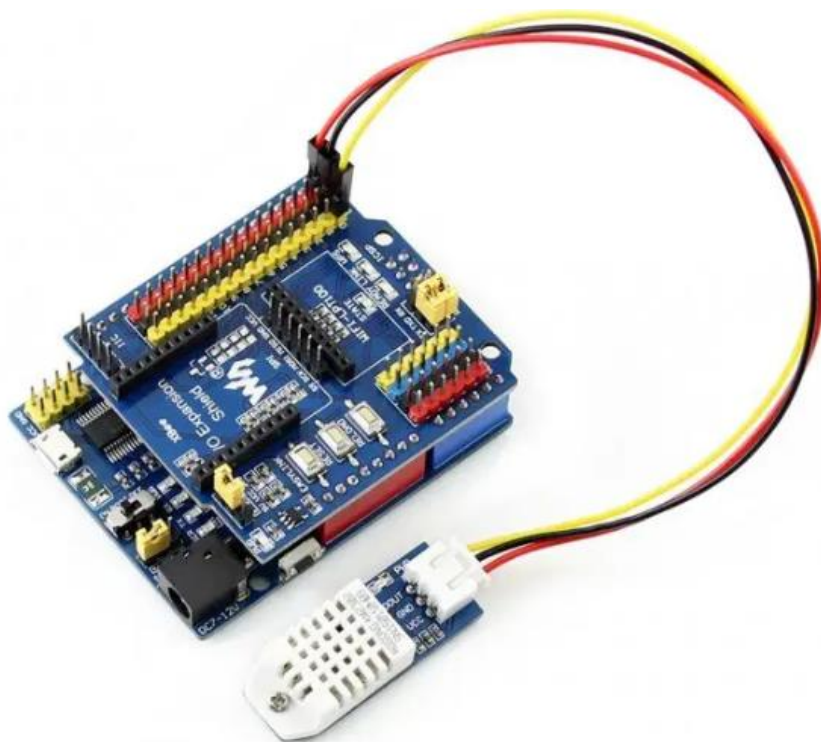


Рисунок 2.8 – Фото схеми підключення датчика температури-вологості Waveshare DHT 22 до Arduino Uno

До основних характеристик датчика температури-вологості моделі Waveshare DHT 22 відносяться [13]:

1. Різновид датчика – напіпровідниковий, цифровий.
2. Гранична точність вимірювання за параметром температури –  $\pm 0,5$  °C в діапазоні -40 °C до +80 °C.
3. Гранична точність вимірювання за параметром вологості –  $\pm 2$  % в діапазоні 1 % до 99 %.
4. Напруга живлення – 3,3 В або 5 В.
5. Граничні типові габарити плати датчика: ширина – 1,54 см і довжина 3,99 см.
6. В комплекті наявний трьохпровідний шлейф.

Таким чином, обрані вище моделі датчиків, які використовуються для екологічного моніторингу промислових приміщень (див. рис. 2.1 – 2.8) будуть задіяні в розділах бакалаврської роботи, де буде розроблятися структурна схема і комп'ютерна модель телекомунікаційної інфраструктури.

## 2.2 Мікропроцесор і мережеве обладнання інфокомунікаційної інфраструктури екологічного моніторингу промислових приміщень

З урахуванням того, що однією з головних умов, яку треба забезпечити використовуючи телекомунікаційну систему для інфраструктури комплексного екологічного моніторингу в промислових приміщеннях є те, що дані про температуру, концентрацію вуглекислого газу, вологість, запиленість та задимленість мають вимірюватись у декількох точках приміщення та передаватись до диспетчерського пункту оператора. Після цього ці дані повинні автоматично оброблятися і робитись певні висновки про екологічний стан відповідних приміщень промислових виробництв.

Таким чином, у якості ядра блоку збирання та обробки даних про екологічний стан промислових приміщень вибрано мікропроцесорний пристрій

Arduino Mega R3 2560 з інтегрований модулем ESP 8266 Wi-Fi [14], який показаний на рисунку 2.9, а також на рисунку 2.10 приведена структурна схема Arduino Mega R3 2560 з інтегрований модулем ESP 8266 Wi-Fi.



Рисунок 2.9 – Фото зовнішнього виду мікропроцесорної плати Arduino Mega R3 2560 з інтегрований модулем ESP 8266 Wi-Fi

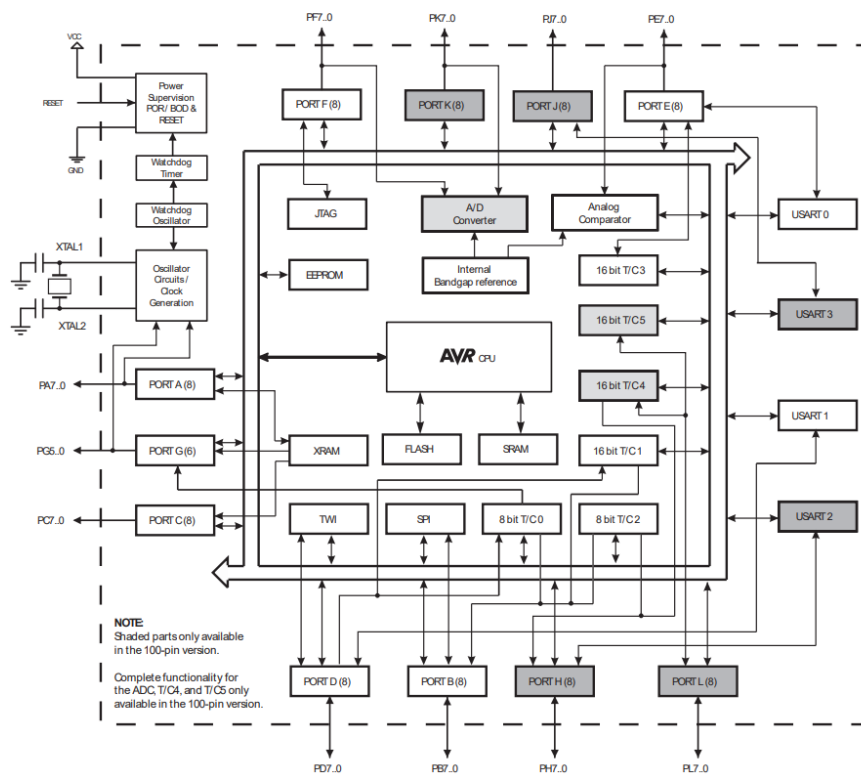


Рисунок 2.10 – Структурна схема мікропроцесорної плати Arduino Mega R3 2560 з інтегрований модулем ESP 8266 Wi-Fi

Цей мікропроцесорний засіб (див. рис. 2.9 і 2.10) вибраний на підставі того, що в одному пристрої поєднано два функціональні засоби: мікроконтролер (Arduino Mega R3 2560) та мережевий модуль, який виконує передачу даних про вимірювальні параметри (ESP 8266 Wi-Fi).

До типових базових параметрів і характеристик заявленого пристрою відносяться [14]:

1. За блоковим модулем Arduino Mega R3 2560:
  - 1.1 Тип вбудованого мікроконтролера – AT mega 2560.
  - 1.2 Напруга робочого діапазону – 6 ... 12 В.
  - 1.3 Типорозмір роз'єму – стандартний 5,5 x 2,1 мм.
  - 1.4 Кількість входів-виходів цифрових – 56 (16 можуть задіюватись у якості ШІМ).
  - 1.5 Кількість аналогових пінів (входів) – 16.
  - 1.6 Об'єм пам'яті типу Flash – 256 кБайт.
  - 1.7 Стандартна частота кварцу – 16 МГц.
2. За модулем ESP 8266 Wi-Fi:
  - 2.1 Об'єм пам'яті типу Flash – 32 МБайт.
  - 2.2 Підтримувані стандартні протоколи Wi-Fi – 802.11 b/g/n.
  - 2.3 Наявний функціонал Wi-Fi Direct (тип P2P), а також soft-AP.
  - 2.4 Наявний інтегральний вбудований стек типу TCP/IP
  - 2.5 Наявний вбудований інтегральний TR перемикач, LNA, balun, та підсилювач потужності, а також типу мережі
  - 2.6 Вбудований пристрій PLL, а також інтегрована адаптована система керування режимами живлення.
  - 2.7 Номінальна потужність за виходом +20,5 дБм у стандартному режимі 802.11b
  - 2.8 Наявна фізична підтримка антен типу диверсіті.
  - 2.9 Номінальне граничне значення струму витоку в пасивному стані – 10 мкА.
  - 2.10 Синхронізація режимів пробудження / відправлення пакетів даних –

до 25 мс.

#### 2.11 Споживана потужність в активному режимі – до 1 мВт.

Після обробки даних вимірювань про температуру, запиленість, задимленість, вологість та вміст вуглекислого газу повітря робочої зони промислових підприємств за допомогою мікроконтролера результати вимірювань повинні бути передані за допомогою Wi-Fi локальної мережі до диспетчерського пункту підприємства.

В якості Wi-Fi роутера мережі промислового підприємства обрано промислову модель маршрутизатора фірми-виробника Teltonika моделі Rut 950 з підтримкою 2G / 3G / 4G і DUAL-SIM. Ця модель обрана з урахуванням вимог до надійності і завадостійкості обміну пакетами даних в умовах промислових підприємств, де наявна значна кількість потужного і силового обладнання. Зовнішній вигляд роутера Teltonika моделі Rut 950 з підтримкою 2G / 3G / 4G і DUAL-SIM приведений на рисунку 2.11 [15].



Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд вибраної моделі промислового Wi-Fi роутера

До основних характеристик цієї моделі мережевого обладнання інфокомунікаційної інфраструктури для телекомунікаційного екологічного моніторингу приміщень промислових підприємств відносяться [15]:

1. Підтримка двох Sim-карток.
2. Підтримка стандартів Wi-Fi і LTE / 4G.
3. Параметри модулів стільникового зв'язку: 4G / LTE – Cat 4 зі швидкістю до 150 Мбіт/с, 3G – швидкість до 42 Мбіт/с, 2G – швидкість до 236 кбіт/с.
4. Інтегрований функціонал E-mail та SMS оповіщення.
5. Підтримка набору стандартів бездротового зв'язку – IEEE 802.11b/g/n.
6. Гранично максимальна кількість одночасно підключених пристроїв – 100 одиниць.
7. Кількість портів типу Ethernet RJ45 зі швидкістю 10 / 100 Мбіт/с – 4 штуки.
8. Вбудована операційна система типу RutOS.
9. Підтримка функціоналу Hotspot і OpenVPN.
10. Наявна можливість віддаленого налаштування та керування роутером за допомогою системи Teltonika-RMS.

Отже, перелік мікропроцесорного і мережевого обладнання, яке приведено і описано в даному підрозділі бакалаврської роботи може бути використано у випадку проектування та моделювання телекомунікаційної промислової IoT інфраструктури екологічного моніторингу промислових приміщень у наступних розділах.

### 2.3 Функціональна схема і алгоритм роботи інфокомунікаційної інфраструктури екологічного моніторингу промислових приміщень

Для отримання інформації про екологічний стан приміщень промислових підприємств, а також у подальшому формулювання управлінських рішень

відносно корегування екологічних планів тих чи інших підприємств необхідно отримувати безперервно вимірювані дані у динамічному й сталому режимах про температуру, вологість, концентрацію пилу, показник задимленості і концентрацію вуглекислого газу. Для цього в попередніх підрозділах були вибрані конкретні моделі датчиків, мікропроцесора і мережевого обладнання.

Також з урахуванням того, що промислові приміщення є досить значними за площею та об'ємом, то кількість однотипних датчиків повинна бути обрана виходячи з вимог до точності, швидкості і надійності задачі аналізу. Таким чином, розроблена функціональна схема телекомунікаційної системи для IoT інфраструктури системи екомоніторингу внутрішнього простору промислових приміщень наведена на рисунку 2.12.

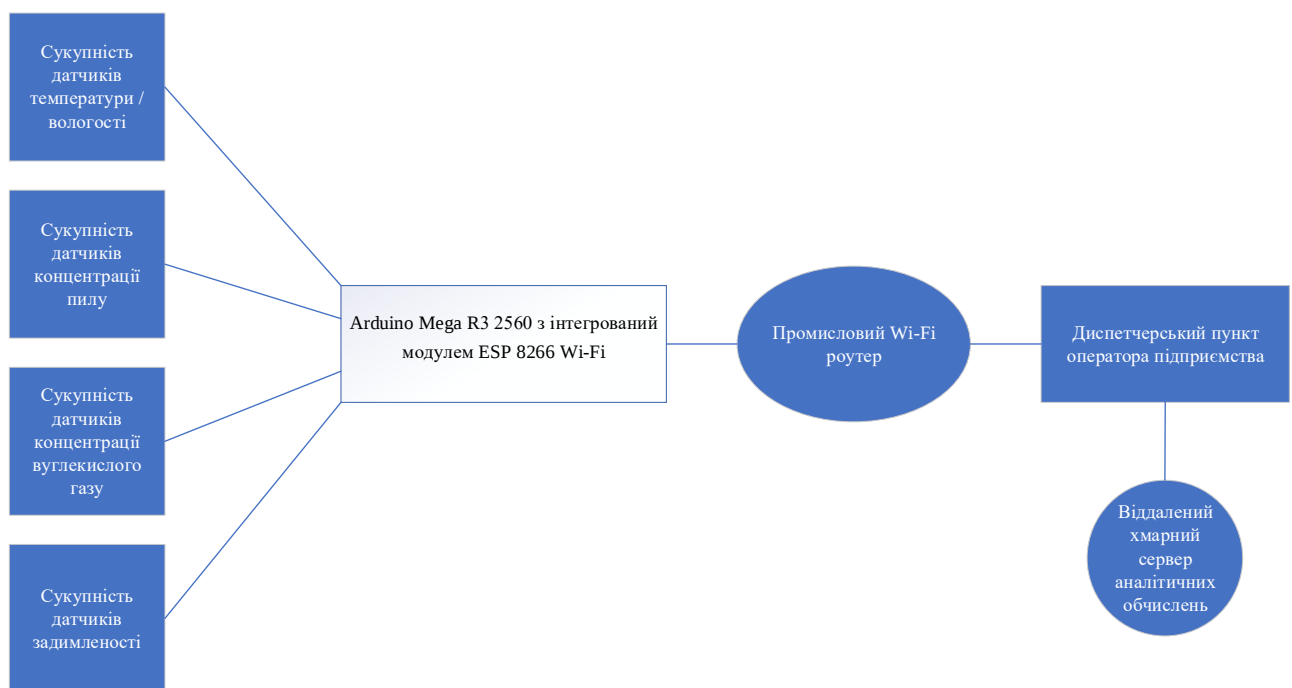


Рисунок 2.12 – Функціональна схема телекомунікаційної системи для IoT інфраструктури екомоніторингу внутрішнього простору промислових приміщень

Також додатково до структури інфокомунікаційної системи екомоніторингу внутрішнього простору промислових приміщень було введено блок, що виконує віддалені хмарні аналітичні обчислення (див. рис. 2.12) задля

того, щоб можливим було виконання функцій резервного архівування та прогнозування даних в заданому інтервалі часу за допомогою інтелектуальних обчислювальних алгоритмів, які в автоматичному режимі можуть виконуватись програмних забезпеченням спеціалізованих хмарних IoT-технологій. Тобто, запропонована на рисунку 2.12 функціональна схема телекомунікаційної системи екологічного моніторингу внутрішнього простору промислових приміщень відповідає сучасним напрямкам Industry 4.0 та промислового Інтернету речей (IIoT), що доводить її високу ефективність порівняно з існуючими і використовуваними на сьогодні аналогічними системами.

Отже, до головного функціоналу розроблюваної телекомунікаційної системи в складі IoT інфраструктури промислових і офісних приміщень відносяться:

1. Вимірювання концентрації пилу в декількох точках приміщення.
2. Вимірювання температури повітря в декількох точках приміщення.
3. Вимірювання вологості повітря в декількох точках промислового приміщення.
4. Вимірювання концентрації вуглекислого газу в багатьох точках простору приміщення.
5. Вимірювання показника запиленості в декількох точках приміщення промислового приміщення.
6. Введення вимірних даних до мікропроцесора.
7. Виконання мікропроцесорної обробки даних вимірювань.
8. Передача даних до локальної промислової мережі підприємства.
9. Відправка даних до диспетчерського центру промислового підприємства.
10. Відправка даних на хмарний сервер задля наступних аналітичних обчислень.
11. Отримання оброблених і прогнозованих даних.
12. Формування управлінських рішень щодо покращення загальної екологічної ситуації на підприємстві в найближчій перспективі.

Деталізована блок-схема алгоритму обробки даних наведена на рисунку 2.13.

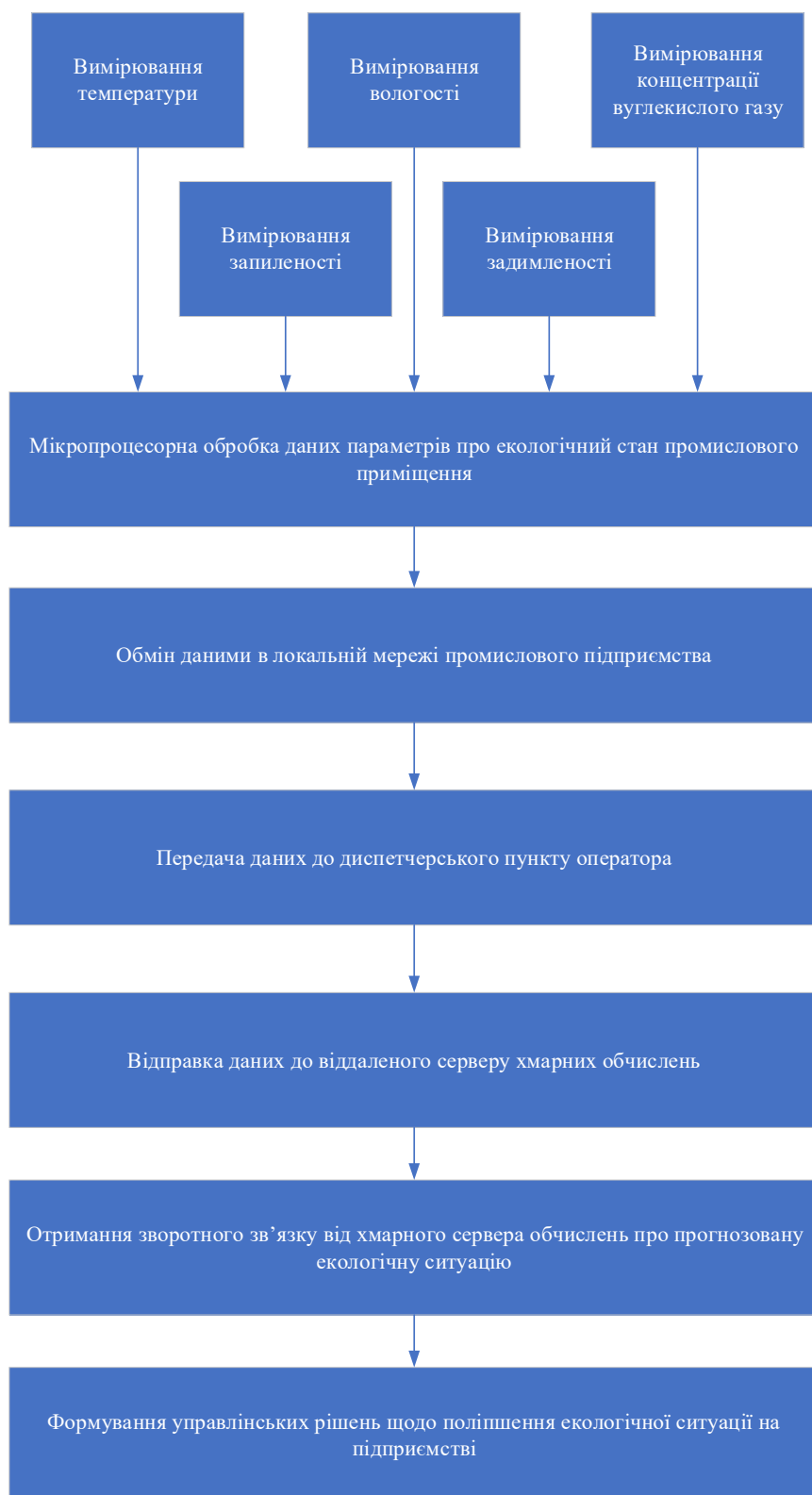


Рисунок 2.13 – Алгоритм роботи телекомунікаційної системи для IoT інфраструктури екологічного моніторингу промислових приміщень

Також, як встановлено з вищесказаного, то система базується на зборі інформації про однотипні параметри з різних точок приміщення, а також багатократному взаємному передаванні сигналів вимірювального моніторингу, отже, даний факт має бути врахований в алгоритмі функціонування інфокомунікаційної системи екологічного моніторингу промислових приміщень, як це приведено на рисунку 2.14.

Всі датчики системи оснащені платами перетворень їх вихідних сигналів до стандартної протокової форми, наприклад: I2C, 1-Wire або SPI. Отже, вони також отримують зворотні сигнали синхронізації від мікропроцесора системи.

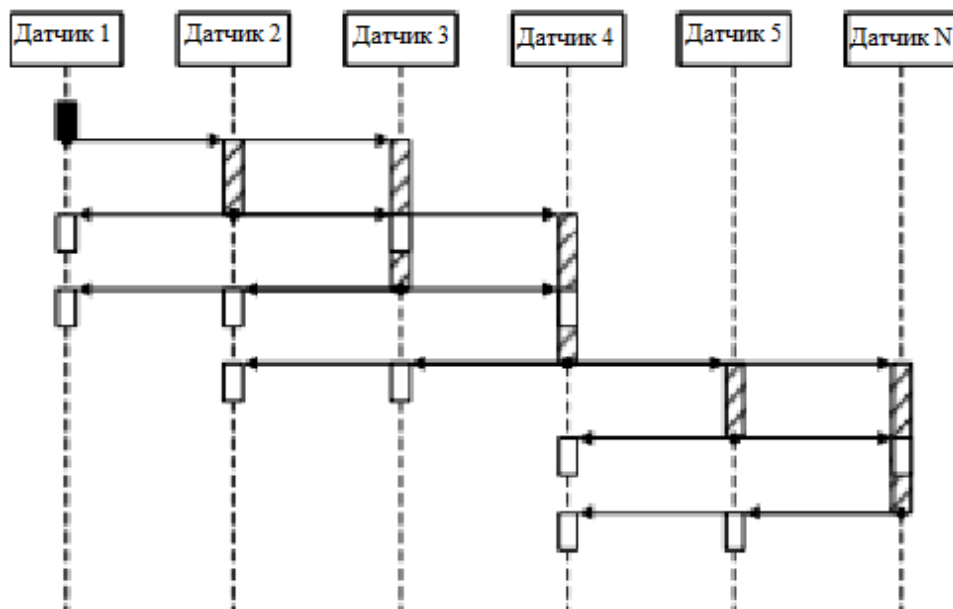


Рисунок 2.14 – Функціональна діаграма, що пояснює принцип багатократних вимірювань і передавань даних за допомогою розробленої телекомунікаційної IoT інфраструктури

Таким чином, розроблені і описані в даному підрозділі функціональна схема та алгоритм функціонування телекомунікаційної системи сталого екологічного моніторингу промислових (офісних) приміщень становлять основу для подальшого моделювання та проектування розроблюваної в бакалаврській роботі інфраструктури.

## Висновки до розділу 2

У даному розділі вибрано датчики, мікропроцесорний засіб і мережеве обладнання, а також розроблено функціональну схему телекомунікаційної системи для промислової IoT інфраструктури з екологічного моніторингу виробничих або офісних приміщень промислових підприємств:

1. Вибрані датчики температури, концентрації пилу, концентрації вуглекислого газу, вологості робочої зони промислових і технологічних (офісних) приміщень.

2. Вибраний Arduino Mega R3 2560 з інтегрований модулем ESP 8266 Wi-Fi для мікропроцесорної обробки даних вимірювань про параметри екологічного моніторингу промислових приміщень.

3. Вибрано Teltonika моделі Rut 950 з підтримкою 2G / 3G / 4G і DUAL-SIM для промислової маршрутизації пакетів даних про результати вимірювань параметрів екомоніторингу.

4. Спроектовано функціональну схему та розроблено алгоритм функціонування телекомунікаційної системи, що входить до загальної інфраструктури з екологічного IoT моніторингу промислових приміщень.

## З КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ ІНФРАСТРУКТУРИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПРОМИСЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ

### 3.1 Загальні підходи до моделювання інфокомунікаційної системи екологічного моніторингу промислових приміщень

Загальною моделлю інфокомунікаційної системи для телекомунікаційного екологічного моніторингу промислових приміщень на базі модуля Wi-Fi зв'язку ESP 8266 Wi-Fi представляється стандартними елементами, які передають дані між собою всередині мережі:

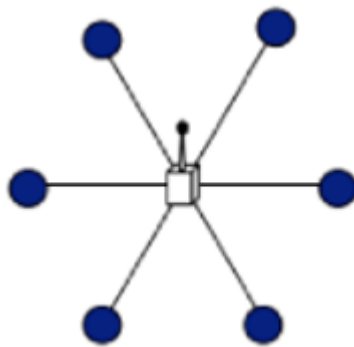
1. Кінцевий пристрій (бездротовий датчик): кожен датчик або їх група в мережі повинна містити засіб передавання інформації до мікропроцесора системи для оцінки екологічного стану.

2. Роутер: потрібен для ретрансляції вимірюваного сигналу всередині мережі.

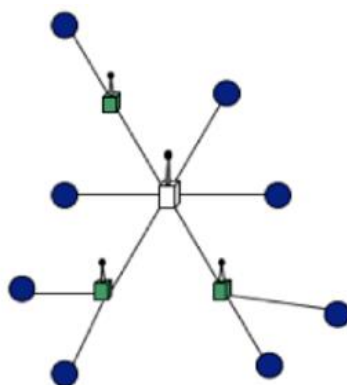
3. Координуючий пристрій: потрібен для збирання вимірюваних даних з усіх кінцевих пристроїв мережі.

Основною задачею, яку має виконувати координуючий пристрій є створення і синхронізація мережі сукупності бездротових датчиків. Він також встановлює, який із пристроїв мережі датчиків знаходиться в активному (передає дані) режимі, а який – в пасивному (передача даних не відбувається). Роутер крім багатократної ретрансляції даних також має визначати оптимальний маршрут, за яким має виконуватись обмін вимірювальними даними. Таким чином, якщо один із роутерів мережі виходить із працездатного стану, то повинна виконуватись функція прокладання нового шляху передачі інформації. Кінцеві сукупності бездротових датчиків збирають вимірювані дані про конкретні параметри екологічного стану виробничих і технологічних приміщень промислових підприємств та передають їх на мікроконтролер.

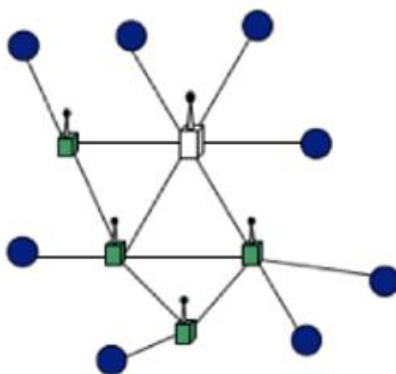
На базі пристрою ESP 8266 Wi-Fi можуть бути створені та використані три основних розповсюджених типи мереж бездротових датчиків, як приведено на рисунку 3.1.



а – зірка



б – дерево



в – Mesh-мережа

Рисунок 3.1 – Існуючі моделі типів бездротових мереж сукупності датчиків

В даній роботі для моделі телекомунікаційної інфраструктури, до якої входить мережа бездротових датчиків екологічного моніторингу промислових приміщень, взята типова структура мережі Mesh.

Модуль бездротового обміну вимірювальними даними ESP 8266 Wi-Fi, який вбудований до мікроконтролерного пристрою Arduino Mega R3 2560, передає інформацію на частоті 2,4 ГГц [14]. Він також підтримує часове розділення каналів, за якими передаються дані. Даний принцип показаний на рисунку 3.2.

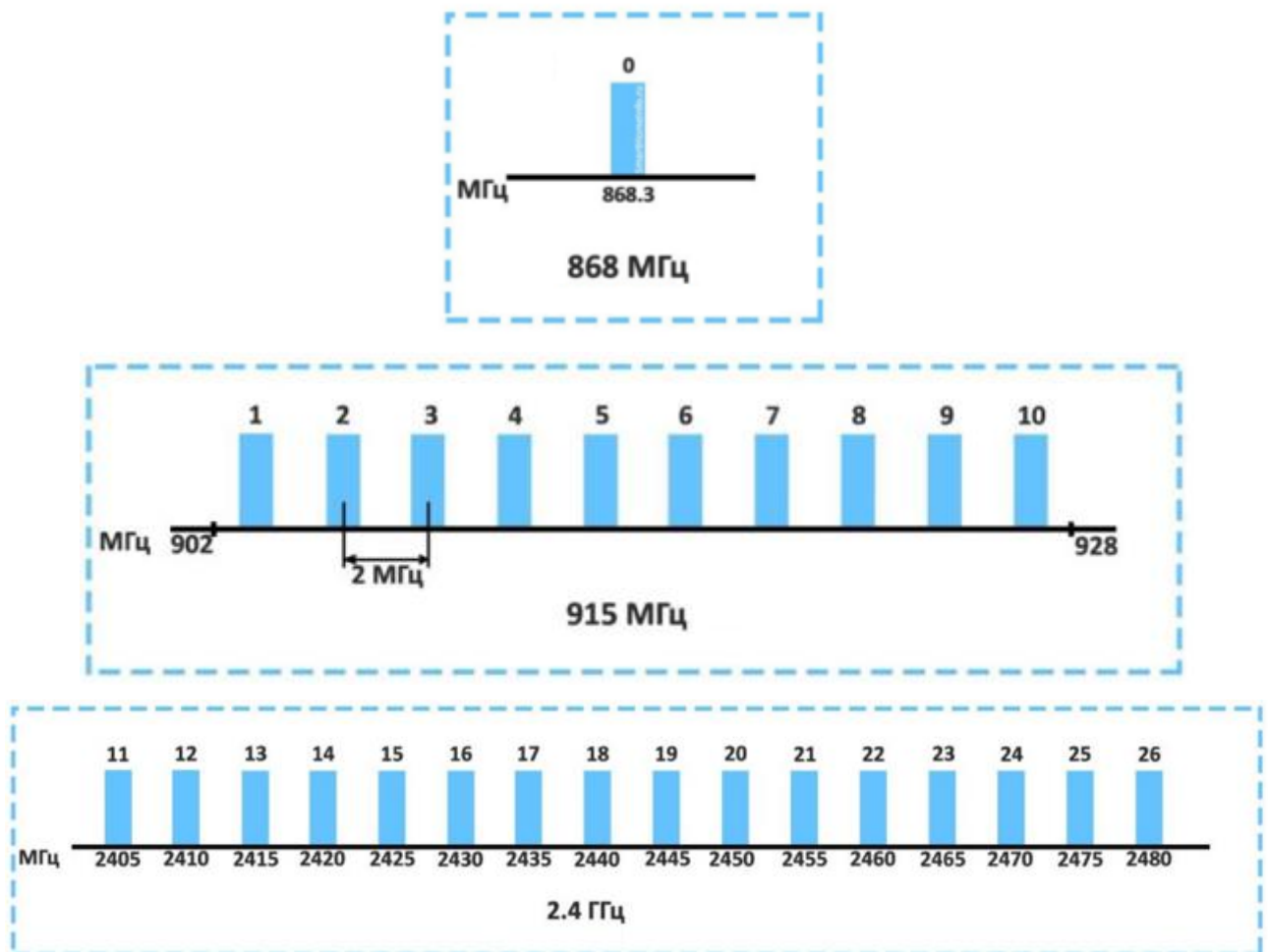


Рисунок 3.2 – Модель частотного розділення пакетів даних для пристрою ESP 8266 Wi-Fi

Більш детально даний принцип передачі даних за каналами з частотним розділенням при використанні пристрою ESP 8266 Wi-Fi в складі

телекомунікаційної IoT інфраструктури екомоніторингу промислових приміщень приведений на рисунках 3.3 і 3.4 [16–18].

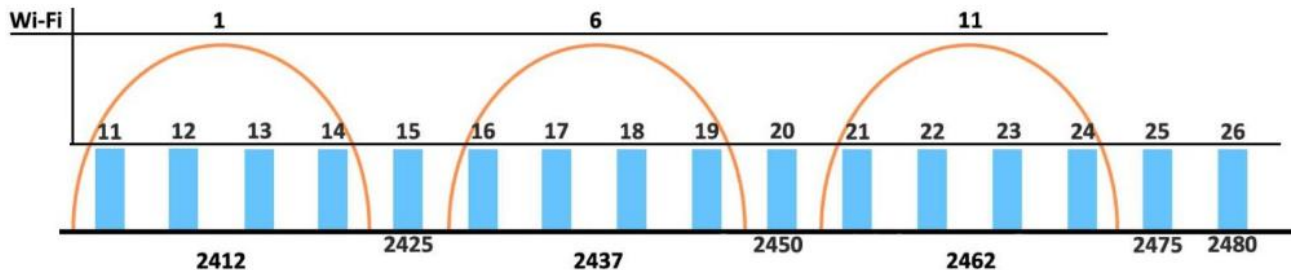


Рисунок 3.3 – Детальний принцип передачі пакетів даних за допомогою пристрою ESP 8266 Wi-Fi

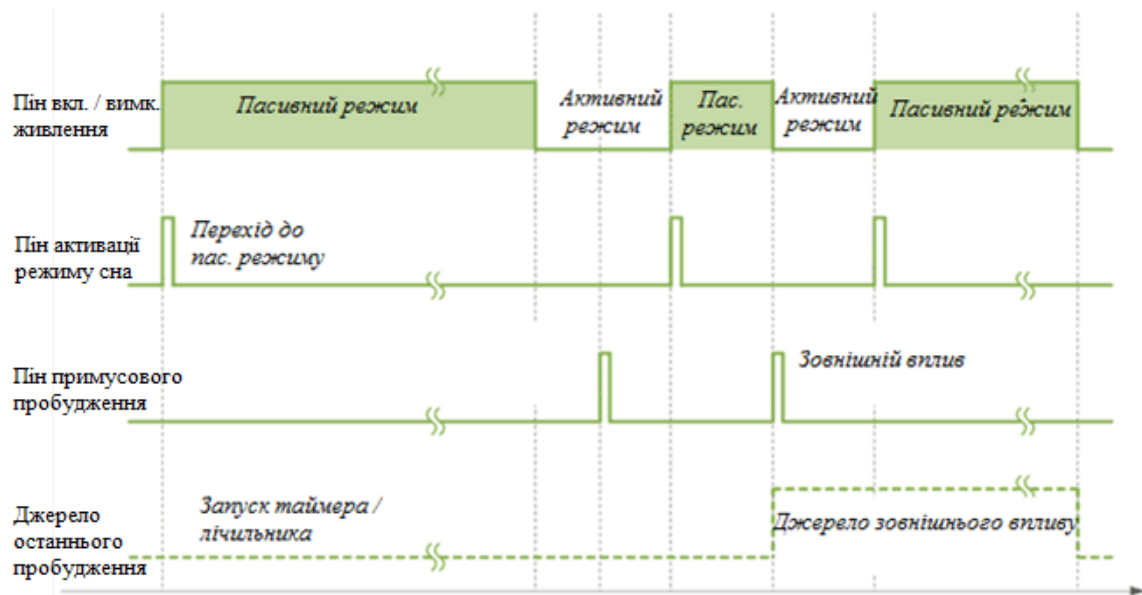


Рисунок 3.4 – Діаграма керування пристроєм ESP 8266 Wi-Fi в енергоефективному режимі

Таким чином, є можливість зробити переходи між активним і пасивним режимами передачі даних за допомогою програмного коду мікропроцесорного пристрою Arduino, який міститься в системі.

Отже, в даному підрозділі роботи основні принципи, які використано при моделюванні телекомунікаційної IoT інфраструктури екологічного

моніторингу промислових приміщень були розроблені. Дана інформація буде використана при розробці комп'ютерної моделі системи, яка досліджується в бакалаврській роботі, в наступних підрозділах.

### 3.2 Модель інфокомунікаційної системи екомоніторингу технологічних приміщень промислових підприємств

На даному етапі бакалаврської роботи розроблена комп'ютерна модель інфокомунікаційної системи екологічного моніторингу виробничих і технологічних приміщень підприємств промисловості в онлайн середовищі моделювання бездротових мереж датчиків [19].

Для моделювання були вибрані два варіанти приміщень:

1. Технологічне – з потужним електричним обладнанням та комп'ютерною технікою. Його параметри:

1.1. Розміри приміщення: довжина – 50 м і ширина – 30 м.

1.2. Кількість датчиків: 10 шт.

1.3. Тип налаштування датчиків: оптимізоване енергоспоживання (автоматично вмикаються переходи між активним і пасивним режимами).

2. Виробниче – з великими розмірами та значною кількістю працюючого персоналу. Його параметри:

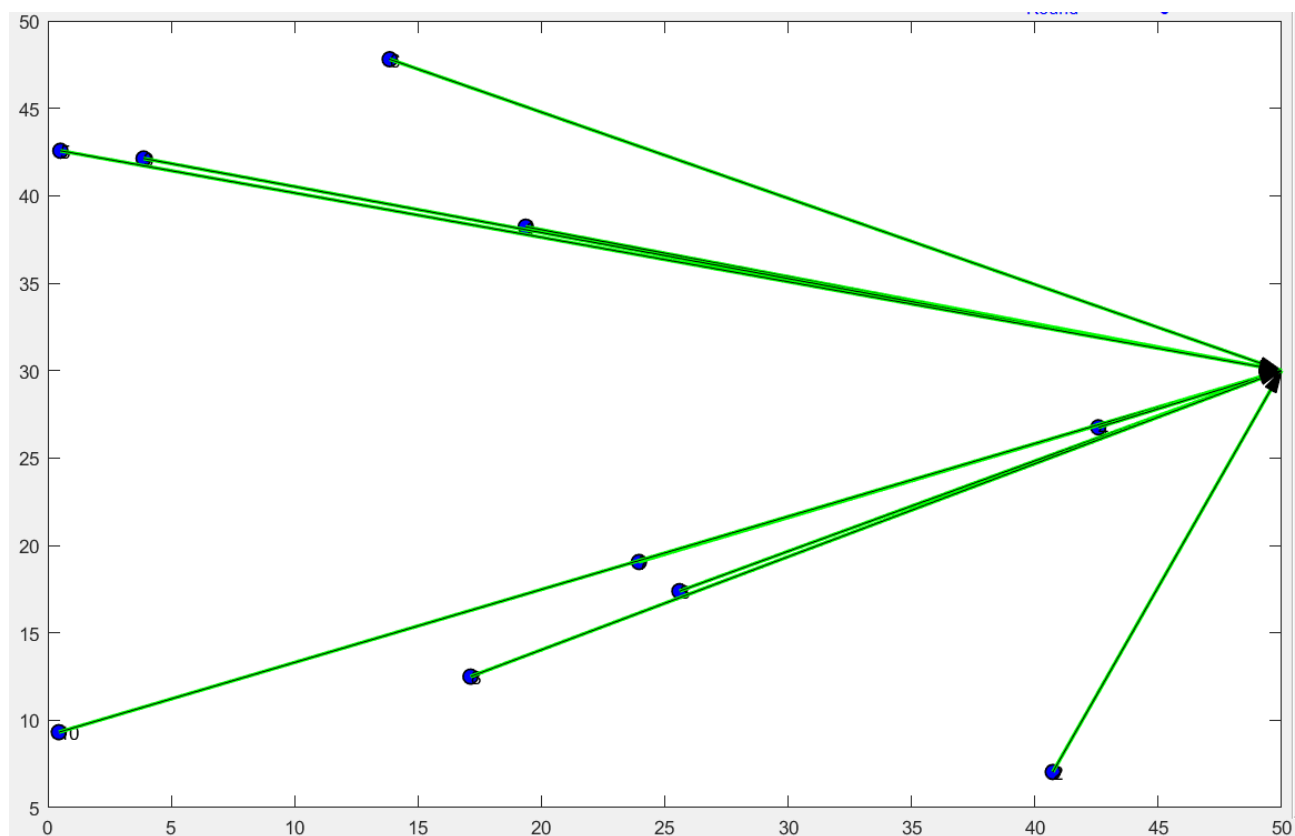
2.1. Розміри приміщення: довжина – 150 м і ширина – 150 м.

2.2. Кількість датчиків: 50 шт.

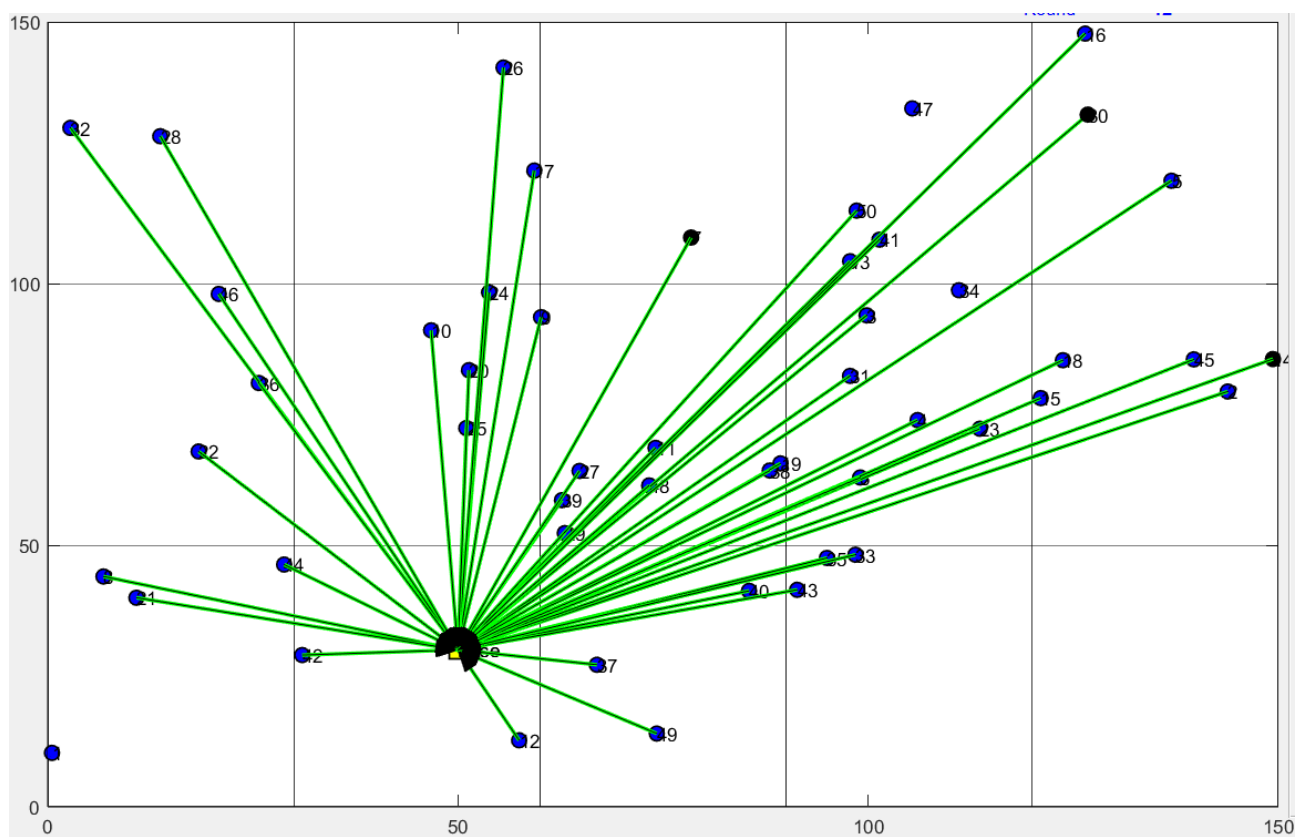
2.3. Тип налаштування датчиків: оптимізоване енергоспоживання (автоматично налаштовуються переходи між пасивним і активним режимами передачі).

Результати моделювання блоку мережі бездротових датчиків щодо прокладання оптимальних маршрутів обміну інформацією для системи екологічного моніторингу виробничих / технологічних приміщень в промислових умовах з урахуванням їх основних характеристик приведені на

рисунку 3.5.



а – Варіант 1 (технологічне приміщення)



б – Варіант 2 (виробниче приміщення)

### Рисунок 3.5 – Результати моделювання мережі бездротових датчиків

Таким чином, результати моделювання, які представлені на рисунку 3.5, підтверджують можливість використання Wi-Fi мережі датчиків типу Mesh у складі телекомунікаційної інфраструктури в умовах і виробничих, і технологічних приміщень промислових підприємств для екологічного аналізу якості повітря робочих зон різних видів промисловості.

Також в цьому підрозділі було виконано розрахунок показників пропускної здатності мережі бездротових датчиків за формулою [20]:

$$PZ = \sum_{i=1}^N V_{channel_i}, \quad (3.1)$$

де  $PZ$  – загальна пропускна здатність телекомунікаційної інфраструктури;

$N$  – кількість каналів мережі сенсорів;

$i$  – порядковий номер каналу бездротової мережі сенсорів;

$V_{channel_i}$  – відповідна пропускна здатність конкретного каналу бездротової мережі сенсорів.

Для кожного окремого рівневого каналу бездротової мережі сенсорів пропускна здатність може бути розрахована за формулою [20]:

$$V_{channel_i} = WZ_i \cdot \log_2 \left( \frac{PS_i}{PN_i} + 1 \right), \quad (3.2)$$

де  $WZ_i$  – ширина смуги пропускання відповідного сенсорного бездротового каналу;

$PS_i$  – потужнісний рівень корисного сигналу;

$PN_i$  – потужнісний рівень шуму в конкретному сенсорному каналі.

Так як усі канали бездротових сенсорів працюють на транспортному рівні

за Wi-Fi технологією, то розрахунки для всіх каналів є ідентичними:

- $WZ_i = 40 \cdot 10^3$  кГц;
- відношення  $PS_i/PN_i=100$ .

Таким чином, за формулою (3.2) величина пропусної здатності кожного каналу телекомунікаційної інфраструктури дорівнює  $2,7 \cdot 10^5$  кБіт/с. Для всієї системи (кількість каналів змінюється від 10 до 20) дорівнює від  $27 \cdot 10^5$  кБіт/с до  $54 \cdot 10^5$  кБіт/с, що цілком відповідає поставленим вимогам і може свідчити про можливість використання такої мережі бездротових сенсорів у складі телекомунікаційної інфраструктури підприємств.

### 3.3 Модель програми бездротової передачі даних екологічного моніторингу

В роботі був написаний програмний код для передачі даних за допомогою мережевого пристрою ESP 8266, як приведено на рисунку 3.6.

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(8, 9);
#define WIFI_SERIAL mySerial

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial) {
    }
    Serial.print("Serial init OK\r\n");
    WIFI_SERIAL.begin(9600);
}

void loop()
{
    int T=analogRead(A0);
    int H=analogRead(A1);
    int CO2=analogRead(A2);
    int dust=analogRead(A3);
    int dym=analogRead(A4);
    if (WIFI_SERIAL.available()) {
        Serial.write(WIFI_SERIAL.read());
    }

    if (Serial.available()) {
        WIFI_SERIAL.write(Serial.read());
        serial.println(T);
        serial.println(H);
        serial.println(CO2);
        serial.println(dust);
        serial.println(dym);
    }
}
```

Рисунок 3.6 – Програмний код обміну даними

Дана програма функціонує за алгоритмом, який приведений на рисунку 3.7 нижче.

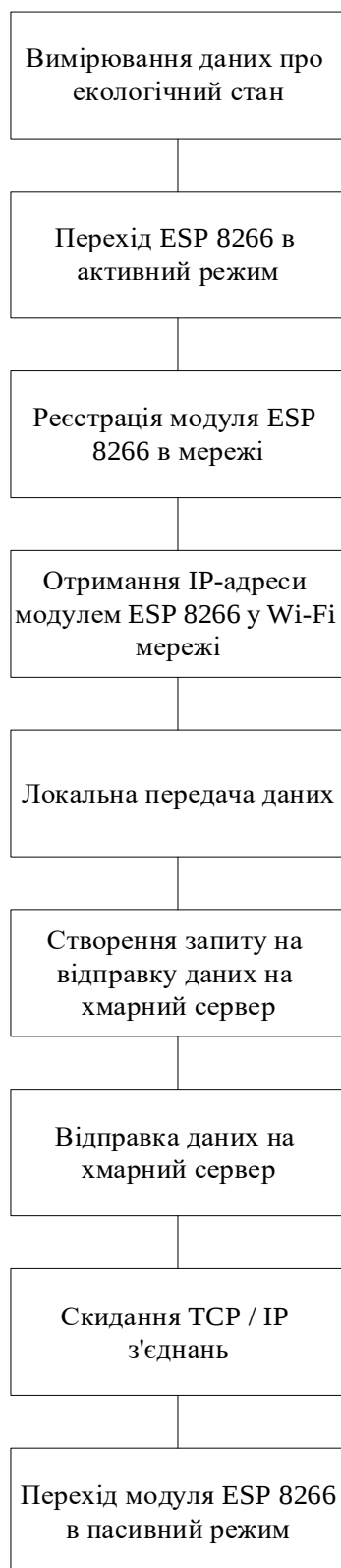


Рисунок 3.7 – Алгоритм передачі даних про результати телекомунікаційного моніторингу параметрів екологічного стану

Результати вимірювань на послідовному порті та хмарному сервері про передачу даних температури і вологості повітря приведені на рисунках 3.8 і 3.9 нижче.

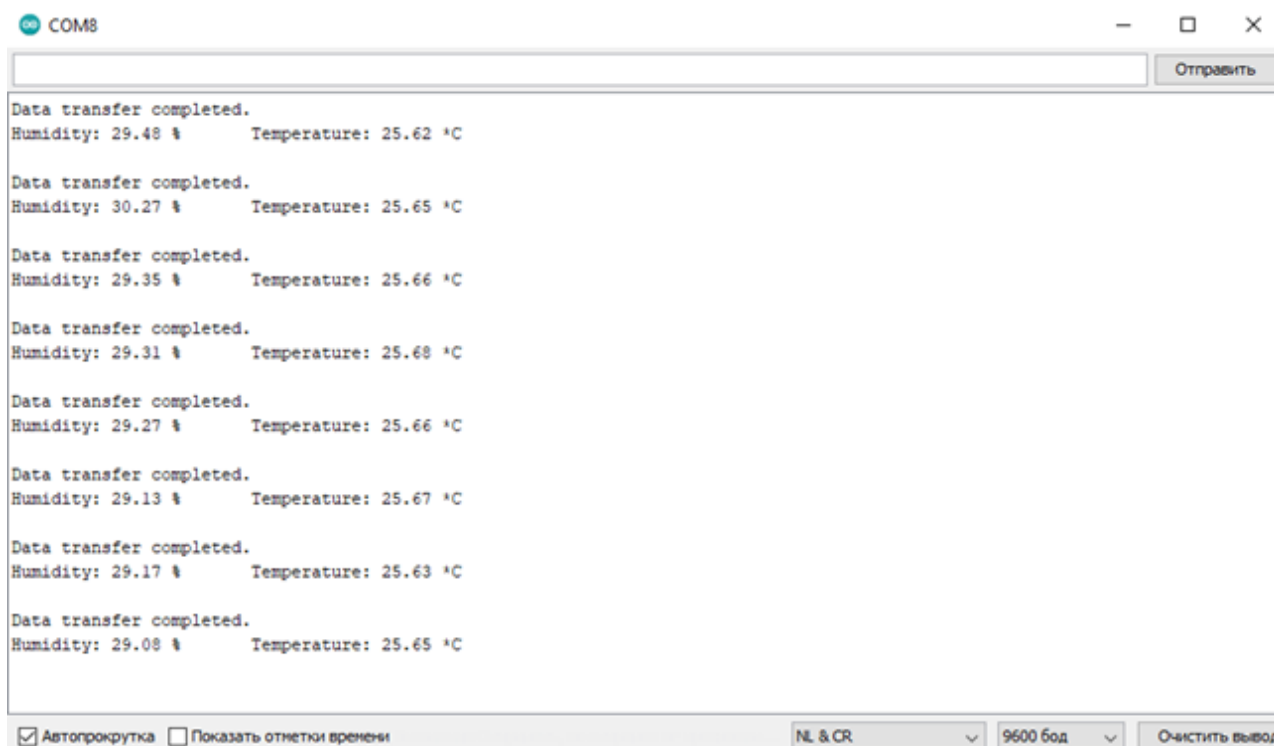
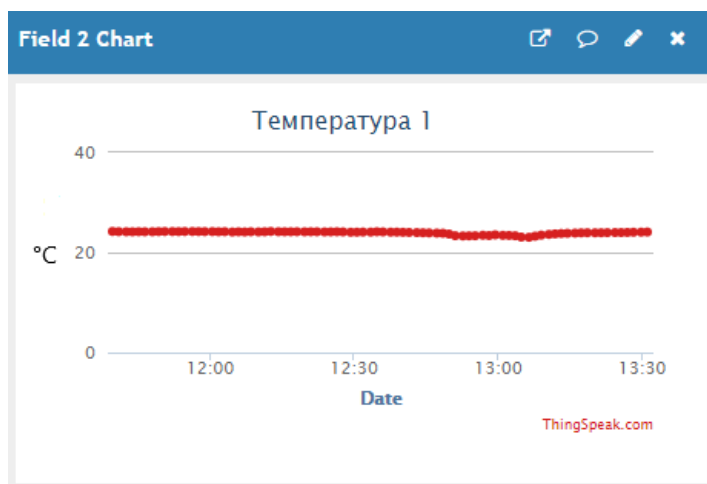
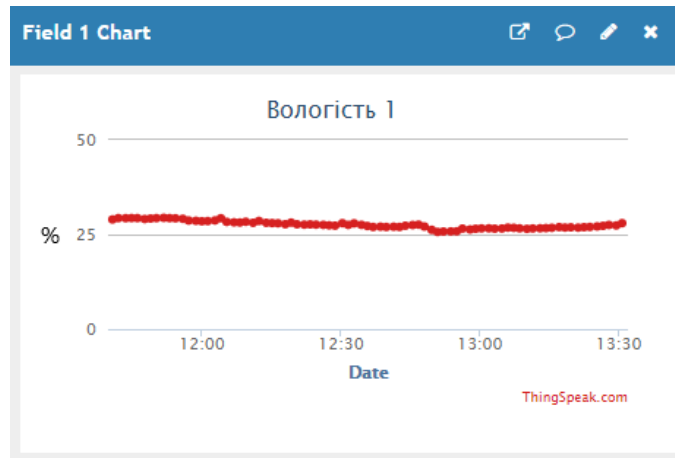


Рисунок 3.8 – Результати вимірювань та передачі даних за Wi-Fi про температуру і вологість повітря на послідовному порті телекомунікаційної інфраструктури, яка розроблена



а – температура



б – вологість

Рисунок 3.9 – Результати вимірювань на хмарному сервері

Таким чином, результати даного розділу бакалаврської роботи дозволили використовувати мікропроцесорний засіб Arduino Mega R3 2560 з інтегрованим ESP 8266 Wi-Fi для передавання даних телекомунікаційних вимірювань про екологічний моніторинг на комп'ютер і хмарний сервер одночасно.

### 3.4 Аналіз параметрів безпеки інфокомунікаційної інфраструктури

У якості основного методу оцінки параметрів безпеки телекомунікаційної інфраструктури задля екологічного моніторингу і поточного контролю промислових підприємств з активним впровадженням технологій IoT використаний метод ранжування за відносними показниками [21]. Цей підхід відноситься до розряду експертних методів і його логіка полягає в наступному:

- обираються пари критеріїв;
- кожні обрані пари критерії порівнюються за ступенем важливості;
- кожен експерт ставить оцінку 0 або 1 кожному критерію в парі (можливий варіант, коли експерт ділить бали навпіл і виставляє кожному критерію оцінку – 0,5);
- на останньому етапі виконується обчислення суми (з урахуванням

вагових коефіцієнтів – балів від експертів) та відповідне нормування загальних оцінок за кожним критерієм за наступною формулою:

$$Summa_i = \frac{P_{factor_i}}{\sum_{i=1}^n P_{factor_i}}, \quad (3.3)$$

де  $Summa_i$  – це нормований показник ранжируваної суми вагів відповідних критеріїв безпеки телекомунікаційної інфраструктури;

$P_{factor_i}$  – сумарна оцінка від експертів за визначеним окремим безпековим критерієм;

$\sum_{i=1}^n P_{factor_i}$  – оцінка у вигляді суми від всіх експертів для всіх критеріїв мережної безпеки телекомунікаційної інфраструктури.

Для телекомунікаційної мережі, яка призначена для екологічного моніторингу в умовах визначених типів промислових підприємств, було виконано приблизну безпекову оцінку, як це показано в таблиці 3.1 і рисунку 3.10. В якості головних критеріїв мережної безпеки були обрані:

- доступність інформації;
- цілісність даних;
- конфіденційність доступу до інформації.

Таблиця 3.1 – Приклад експертних оцінок безпекових критеріїв телекомунікаційної інфраструктури

|                                        | Експертна оцінка 1 | Експертна оцінка 2 | Експертна оцінка 3 |
|----------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Інформаційна доступність               | 1                  | 0,5                | 0                  |
| Конфіденційність доступу до інформації | 1                  | 1                  | 1                  |
| Цілісність інформації                  | 0                  | 0,5                | 1                  |

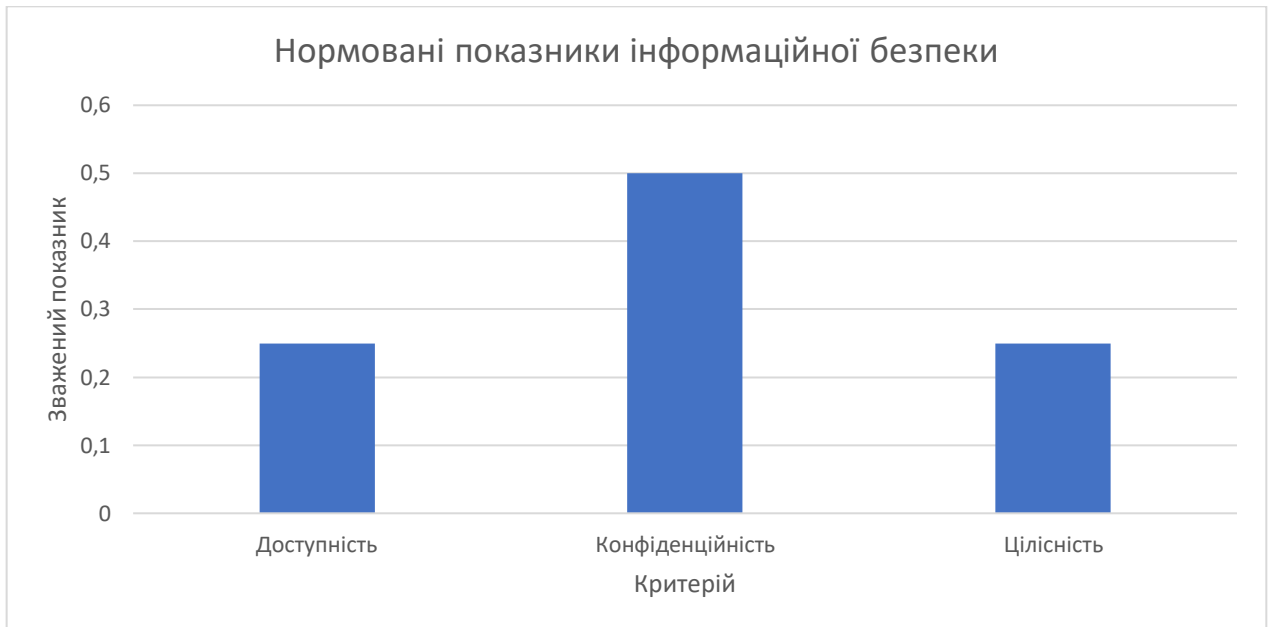


Рисунок 3.10 – Результати нормованої оцінки критеріїв інформаційної безпеки за експертними даними для телекомунікаційної інфраструктури для зазначеного екологічного моніторингу

Таким чином, отримані в підрозділі 3.4 кількісні оцінки критеріїв щодо інформаційної безпеки телекомунікаційної інфраструктури доводять можливість її використання в промислових умовах.

### Висновки до розділу 3

У даному розділі проведене комп'ютерне моделювання телекомунікаційних пристроїв, що входять до загальної будови IoT-інфраструктури екологічного моніторингу промислових приміщень. В розділі розроблено і описано:

1. Підходи до моделювання телекомунікаційної системи сталого екологічного моніторингу промислових приміщень в загальному вигляді.
2. Інфокомунікаційну модель системи про екологічний моніторинг виробничих і технологічних приміщень для умов промислових підприємств.
3. Програмний код для бездротової мережної передачі даних про

екологічні параметри промислових підприємств.

4. Здійснено розрахунки параметрів пропускної здатності для кожного каналу бездротових сенсорів ( $2,7 \cdot 10^5$  кБіт/с) та всієї телекомунікаційної інфраструктури (від  $27 \cdot 10^5$  кБіт/с до  $54 \cdot 10^5$  кБіт/с).

4. Виконано аналіз параметрів безпеки інфокомунікаційної інфраструктури за методикою ранжування за відносними показниками експертних оцінок, а саме: цілісності даних, доступності до інформації та конфіденційності доступу.

## ВИСНОВКИ

В даній бакалаврській роботі була досягнута основна мета роботи, яка полягала в тому, щоб запропонувати і довести підходи до удосконалення телекомунікаційної інфраструктури промислових підприємств із їх екологічного моніторингу.

До основних вирішених завдань роботи і відповідних результатів відносяться:

1. В першому розділі проведено опис і аналіз існуючих способів і підходів розроблення і проектування телекомунікаційних систем інфокомунікаційного екомоніторингу промислових будівель. Головні результати даного розділу полягають в: обґрунтована актуальність теми бакалаврської роботи і встановлена її мета; виявлені і змістовно описані параметри і характеристики, що в достатньому ступені впливають на якість повітря технологічних і офісних приміщень промислових будівель; виконаний аналіз інфокомунікаційної системи екомоніторингу промислових будівель, що використана в роботі в якості аналогу.

2. В другому розділі вирішене одне з основних завдань, тобто вибрано датчики системи, мікропроцесорний пристрій і мережеве телекомунікаційне обладнання, а також розроблено функціональну схему інфокомунікаційної інфраструктури для екологічного моніторингу виробничих і технологічних приміщень промислових підприємств: вибрані датчики концентрації пилю, температури, концентрації вуглекислого газу і вологості технологічної зони промислових приміщень; вибраний мікроконтролерний пристрій версії Arduino Mega R3 2560 з інтегрований модулем бездротового зв'язку ESP 8266 Wi-Fi; вибраний промисловий роутер Teltonika моделі Rut 950, що підтримує 2G / 3G / 4G і DUAL-SIM, та який призначений для промислової маршрутизації пакетів вимірюваних даних; спроектовано функціональну схему телекомунікаційної IoT інфраструктури та розроблено її алгоритм функціонування про визначення

екологічного стану промислових приміщень.

3. В третьому розділі вирішене одне з основних завдань, тобто проведене комп'ютерне моделювання та програмування пристроїв, які входять до загальної телекомунікаційної IoT-інфраструктури щодо екологічного моніторингу стану промислових приміщень: запропоновано і описано підходи до комп'ютерного моделювання системи інфокомунікаційного екологічного аналізу промислових приміщень в загальному вигляді; досліджена інформаційна модель телекомунікаційної системи загального екологічного моніторингу технологічних і виробничих для умов промислових підприємств на онлайн сервері розробки; написаний і протестований програмний код, який реалізує бездротовий мережний обмін вимірювальними даними в загальній телекомунікаційній IoT інфраструктурі про екологічні показники приміщень промислових підприємств; розраховано пропускну здатність для бездротових сенсорів транспортного рівня телекомунікаційної інфраструктури; оцінено показники мережної інфокомунікаційної безпеки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. United States Protection Environment Agency: [Online]: – Режим доступу: <http://www.epa.gov/iaq/>. – Загл. з екрану.
2. Sensing Graywolf Solution: [Online]: – Режим доступу: <http://www.wolfsense.com/>. – Загл. з екрану.
3. American Society of Refrigerating, Heating and Air Conditioning Engineers: [Online]: – Режим доступу: <http://www.ashrae.org/>. – Загл. з екрану.
4. Occupational Administration of Health and Safety: [Online]: – Режим доступу: <http://www.osha.gov/>. – Загл. з екрану.
5. Underwriters Laboratories: [Online]: – Режим доступу: <http://www.ul.com/global/eng/pages/>. – Загл. з екрану.
6. Vermont Health Department: [Online]: – Режим доступу: [http://healthvermont.gov/enviro/indoor\\_air/Ozone.aspx](http://healthvermont.gov/enviro/indoor_air/Ozone.aspx) . – Загл. з екрану.
7. Effect of Volatile Organic Compounds: [Online]: – Режим доступу: [http://healthvermont.gov/enviro/indoor\\_air/voc.aspx](http://healthvermont.gov/enviro/indoor_air/voc.aspx) . – Загл. з екрану.
8. Effect of Particulates: [Online]: – Режим доступу: [http://healthvermont.gov/enviro/indoor\\_air/particulate.aspx](http://healthvermont.gov/enviro/indoor_air/particulate.aspx). – Загл. з екрану.
9. Borkar Ch. Development of wireless sensor network system for indoor air quality monitoring. Master Thesis of Science University of North Texas. 2012. 77 pp.
10. Arduino. Оптичний датчик пилу та диму: [Online]: – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1351-opticheskii-datchik-pili-i-dima-gp2y1010au0f>. – Загл. з екрану.
11. Waveshare MQ-5. Датчик Газа для Arduino: [Online]: – Режим доступу: [https://evo.net.ua/waveshare-mq-5-datchik-gaza-9531/?gclid=Cj0KCQjw0umSBhDrARIsAH7FCod05BDz5U8HWh47QpvgC2ctzEPa2L0luFu5JvWjSeVeb5\\_7xmdaQrEaAmZFEALw\\_wcB](https://evo.net.ua/waveshare-mq-5-datchik-gaza-9531/?gclid=Cj0KCQjw0umSBhDrARIsAH7FCod05BDz5U8HWh47QpvgC2ctzEPa2L0luFu5JvWjSeVeb5_7xmdaQrEaAmZFEALw_wcB). – Загл. з екрану.
12. Arduino. Модуль датчика диму: [Online]: – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod298-modyl-datchika-dima-mq-2>. – Загл. з екрану.

13. DHT 22. Модуль датчика вологості: [Online]: – Режим доступу: / температури: [https://evo.net.ua/waveshare-dht22-datchik-temperatury-vlazhnosti-11092/?gclid=Cj0KCQjw0umSBhDrARIsAH7FCoeu7-9qR4XZ-wdG7umaUkPlToorOq0ygSNj9eyEN55haeom9lthHq8aAoRcEALw\\_wcB](https://evo.net.ua/waveshare-dht22-datchik-temperatury-vlazhnosti-11092/?gclid=Cj0KCQjw0umSBhDrARIsAH7FCoeu7-9qR4XZ-wdG7umaUkPlToorOq0ygSNj9eyEN55haeom9lthHq8aAoRcEALw_wcB). – Загл. з екрану.

14. Плата для розробки. Arduino MEGA2560 R3 з вбудованим ESP 8266 Wi-Fi: [Online]: – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod4174-kontroller-mega2560-eth-r3-s-atmega2560-i-w5500>. – Загл. з екрану.

15. Secur. Маршрутизатор TELTONIKA RUT 950: [Online]: – Режим доступу: [https://secur.ua/marshrutizator-teltonika-rut950-2g-3g-4g-dual-sim.html?utm\\_campaign=Smart\\_Shopping\\_RU\\_Ukraine\\_NP&utm\\_term=&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&gclid=Cj0KCQjw0umSBhDrARIsAH7FCod2SpwmsuDUq7n-Xyh8bpQ-rfzJtyEkEF2kvPCj856yj\\_QrPUm4prYaAr7pEALw\\_wcB](https://secur.ua/marshrutizator-teltonika-rut950-2g-3g-4g-dual-sim.html?utm_campaign=Smart_Shopping_RU_Ukraine_NP&utm_term=&utm_source=google&utm_medium=cpc&gclid=Cj0KCQjw0umSBhDrARIsAH7FCod2SpwmsuDUq7n-Xyh8bpQ-rfzJtyEkEF2kvPCj856yj_QrPUm4prYaAr7pEALw_wcB). – Загл. з екрану.

16. Figueiredo C.P., Ruff R., Muhle C., Mendes P.M., Becher K., Hoffmann P. Design and Realization of a Wireless Sensor Gateway for Health Monitoring. In 32<sup>nd</sup> Annual Int. Conf. of The IEEE EMBS. Buenos Aires. 2017. P. 1–5.

17. Mesquita J., Guimaraes D., Pereira C. et al. Assessing the ESP8266 WiFi module for the Internet of Things. In 2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). Vasteras, 2018. P. 784–791.

18. Budi hertanto D., Asnawi R., Surwi F., Setiawan N. Prototype Development Of Distance Detection System Based On The Internet Of Things Using Esp 8266 Wifi Nodemcu Module. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2111. 2021. P. 1–5.

19. Wireless Sensor Network Simulator GUI. Math Works: [Online]: – Режим доступу: [https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/75271-wireless-sensor-network-simulator-gui?s\\_tid=FX\\_rc3\\_behav](https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/75271-wireless-sensor-network-simulator-gui?s_tid=FX_rc3_behav). – Загл. з екрану.

20. Системи передачі даних: [Online]: – Режим доступу:

<http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/7384/1/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96%20%D0%B2%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D1%96%D0%B2%D0%BA%D0%B8.pdf>. – Загл. з екрану.

21. Кількісні методи експертного оцінювання: [Online]: – Режим доступу: <http://heqes.kubg.edu.ua/wp-content/uploads/2017/10/%D0%9A%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BA%D1%96%D1%81%D0%BD%D1%96-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8-%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D0%BE%D1%86%D1%96%D0%BD%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F.pdf>. – Загл. з екрану.

## ДОДАТОК А

### Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу та організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце з персональним комп'ютером, повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світових прорізів, площа освітленості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світових прорізів. Віконні прорізи в приміщенні з персональним комп'ютером повинні мати регульовані жалюзі чи завіски або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць з персональним комп'ютером у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з персональними комп'ютерами рекомендується розміщувати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з персональним комп'ютером повинна складати  $6 \text{ м}^2$ , об'єм –  $20 \text{ м}^3$ . Неприпустиме розташування персонального комп'ютера, під час якого працюючий звернений обличчям або спиною до вікон чи кімнати задньої частини персонального комп'ютера, де монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень з персональними комп'ютерами полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери, що миються, плівкові та рулонні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені до «Переліку дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

У лабораторії вимірjuвальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з персональними комп'ютерами розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами 3 м. Екрани моніторів знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ( $S=21 \text{ м}^2$ ,  $V=73,5 \text{ м}^3$ ) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78

та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 м від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050х590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів, відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння та спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

#### А.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрати повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаються за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})}, \quad (\text{А.1})$$

де  $Q_{\text{НАД}}$  – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

$c$  – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

$p$  – об'ємна вага повітря (1,226 кг/м<sup>3</sup>);

$t_{\text{В}}$  – температура витяжного повітря (30°C);

$t_{\text{Н}}$  – температура приточного повітря (20°C).

Розраховується надлишкове надходження тепла за формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{А.2})$$

де  $Q_{\text{УСТ}}$  – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{ПЕР}}$  – виділення тепла від персоналу;

$Q_{\text{ОСВ}}$  – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{СР}}$  – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначається виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де  $P$  – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

$K_a$  – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

$K_6$  – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{УСТ}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначається виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{\text{ПЕР}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.4})$$

де  $n$  – кількість працюючих;

$g$  – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначається надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{ОСВ}} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.5})$$

де  $E_M$  – нормована освітленість для зорової роботи, величина якої дорівнює

300 лк;

$g_1$  – питоме тепловиділення на 1 м<sup>2</sup> підлоги під час освітленості в 1 лк (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>.

Визначається надходження тепла від сонячної радіації через вікна за формулою:

$$Q_{\text{CP}} = F \cdot g_2 \cdot K_{\text{ОСЛ}} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.6})$$

де  $F$  – площа віконних прорізів (3 x 2,5=7,5 м<sup>2</sup>);

$g_2$  – кількість тепла, що надходить через 1 м<sup>2</sup> віконного прорізу (65 ккал/год.);

$K_{\text{ОСЛ}}$  – коефіцієнт ослаблення, приймається 0,4.

Визначається кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{CP}} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначаються витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 м<sup>3</sup>/год., що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та (40 – 60) %, відповідно.

Під час збереження всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, швидкість руху повітря (0,1 – 0,2) метрів в секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія під час збереження всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ( $a=6$  м), ширина ( $b=3,5$  м), висота ( $H=3,5$  м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття  $P_{\text{стелі}} = 70 \%$ ,  $P_{\text{стін}} = 50 \%$ . Висота робочих поверхонь (столів)  $h_p = 0,7$  м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, що розташовано на стелі, відстань від світильника до стелі  $h_c = 0,4$  м. Мінімальна освітленість за нормами  $E=200$  лк.

1) Визначається висота підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути в межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. Освітлення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідного відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначається висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,7 = 2,4 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається під час відповідного співвідношення відстані між світильниками ( $L$ ) та висоти їх підвісу ( $h$ ).

3) Визначається рекомендована відстань між світильниками:

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,4 = 1,68 \text{ м.}$$

4) Розраховується необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{1,68^2} = 7,4.$$

Приймається 8 світильників, з обліком розмірів приміщення вони розташовуються у два ряди по 4 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ( $\Phi_{\text{л}}$ ) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де  $E$  – нормативна освітленість, лк;

$K_3$  – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

$S$  – площа приміщення, що освітлюється, м<sup>2</sup>;

$Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

$N$  – кількість світильників;

$n$  – кількість ламп у світильнику;

$\eta$  – коефіцієнт використання світового потоку, що визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення ( $i$ ) та

коефіцієнтів відбиття стін і стелі.

6) Визначається показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання  $\eta = 0,48$  для світильника УПМ-15 ( $i = 2,5$ ,  $P_{\text{стелі}} = 70\%$ ,  $P_{\text{стін}} = 50\%$ )

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обирається лампа Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої дорівнює 2000 лм. Хоча це значення на 19,2 % більше розрахованого, проте не перевищує встановлену норму ( $-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$ ). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ Вт.}$$