

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і
робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему «Телекомунікаційна система контролю витоку газу з
газопроводу»

Виконав: студент 2 курсу, групи 601 ТТ
спеціальності 172 «Електронні
комунікації та радіотехніка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Романенко В. І.

(прізвище та ініціали)

Керівник Лисечко В. П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Шефер О.В.

(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Освітній рівень магістр
Спеціальність 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри автоматки,
електроніки та телекомунікацій

_____ д.т.н., проф. О.В. Шефер
“ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Романенко Владислав Ігоревич

1. Тема проекту (роботи) **«Телекомунікаційна система контролю витoku газу з газопроводу»**

керівник проекту (роботи) **Лисечко Володимир Петрович, д.т.н., професор**
затверджена наказом вищого навчального закладу від 09.08.2024 року № 818-ф,а

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 19.12.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи). Вихідними даними є матеріали зібрані під час проходження переддипломної практики. Інструкція з експлуатації стаціонарного інфрачервоного датчика-газоаналізатора, а також малопотужного радіочастотного приймача діапазону, 2400-2500 ГГц. Бездротова мережа на основі технології ZigBee.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Аналіз методів і засобів контролю технічного стану газопроводу. Використання бездротових сенсорних мереж у газотранспортній галузі. Дослідження сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоків газу. Оптимізація структури розподіленої системи контролю витоків газу. Аналітична оцінка сенсорної телекомунікаційної системи. Розроблення структури безпроводового модуля контролю витоків газу. Принцип розміщення бездротових модулів. Вибір вимірювального перетворювача. Обґрунтування та вибір приймально-передавального модуля. Аналіз триманих характеристик інформаційного потоку сенсорної мережі. Висновки.

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

Актуальність теми, об'єкт, предмет та мета роботи. Основні методи та засоби моніторингу газопроводів. Архітектура системи моніторингу газопроводів. Узагальнена схема телекомунікаційної системи контролю витoku газу. Основні рівні керування сенсорної телекомунікаційною системою контролю витoku газу. Архітектура сенсорної телекомунікаційної системи з урахуванням рівнів керування. Функціональна структура сенсорної телекомунікаційної системи контролю витoku газу з газопроводів. Узагальнена структура сенсорної телекомунікаційної системи контролю витoku газу. Модель системи масового обслуговування на базі сенсорної

телекомунікаційної системи. Функціональна схема сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоку газу. Принцип вимірювання витоку газу з трубопроводу та параметри газової хмари у 3-х вимірному просторі. Розподіл концентрації метану вздовж осі хмари викиду за різних швидкостей. Приймально - передавальний пристрій СТС контролю витоку газу. Схема включення бездротового приймально-передавального модуля. Структура інформаційних потоків в сенсорній телекомунікаційній системі. Функціональна схема інформаційно-діагностичної системи. Організаційно-функціональна структура телекомунікаційної системи контролю витоку газу з газопроводу.

6. Дата видачі завдання 02.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Термін	Категорія	Обсяг	
1	Вступ. Аналіз методів і засобів контролю технічного стану газопроводу.	07.10.24		15%	Пл. 1
2	Використання бездротових сенсорних мереж у газотранспортній галузі.	16.10.24	I	25%	Пл. 2, 3
3	Дослідження сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоків газу.	05.11.24		40%	Пл.4, 5
4	Оптимізація структури розподіленої системи контролю витоків газу.	12.11.24		50%	Пл.6
5	Аналітична оцінка сенсорної телекомунікаційної системи. Розроблення структури безпроводового модуля контролю витоків газу.	19.11.24	II	60%	Пл.7
6	Принцип розміщення бездротових модулів. Вибір вимірювального перетворювача. Обґрунтування та вибір приймально-передавального модуля.	26.11.24		70 %	Пл. 8,9
7	Аналіз триманих характеристик інформаційного потоку сенсорної мережі.	11.12.24		90 %	Пл. 10
8	Висновки. Формування додатків. Оформлення графічних матеріалів.	19.12.24	III	100%	Пл. 11, 12

Студент _____
(підпис)

Романенко В. І. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Лисечко В.П. _____
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	8
1.1. Аналіз методів і засобів контролю технічного стану газопроводу.....	8
1.2. Використання бездротових сенсорних мереж у газотранспортній галузі.....	11
1.3. Висновки за розділом та постановка завдання дослідження.....	16
2. ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.....	18
2.1 Дослідження сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоків газу.....	18
2.2. Оптимізація структури розподіленої системи контролю витоків газу.....	24
2.3. Аналітична оцінка сенсорної телекомунікаційної системи.....	35
2.4. Висновок за розділом.....	39
3. АПАРАТНА ЧАСТИНА.....	41
3.1. Розроблення структури безпроводового модуля контролю витоків газу.....	41
3.2. Принцип розміщення бездротових модулів.....	47
3.4. Вибір вимірювального перетворювача.....	54
3.5. Обґрунтування та вибір приймально-передавального модуля.....	61

3.6. Аналіз триманих характеристик інформаційного потоку сенсорної мережі.....	72
3.7 Висновки за розділом.....	79
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82
ДОДАТКИ	87

ВСТУП

Магістральний газопровід є найважливішою складовою паливно-енергетичного комплексу України.

Магістральні газопроводи є найбільш капіталомісткими спорудами нафтогазового комплексу, а продовження їхнього функціонування забезпечує величезний вигаш для економіки країни. Однією з найважливіших проблем газопровідного транспорту є збереження нормального стану лінійних ділянок промислових та магістральних газопроводів. Підземні газопроводи, що експлуатуються за нормальних режимів, можуть зберігатися кілька десятків років у робочому стані. Цьому сприяє велика увага, яка приділяється систематичному контролю технічного стану підземних і надземних газопроводів та своєчасна ліквідація дефектів, що виявляються.

Як правило, найчастіше дефекти на газопроводі з'являються в результаті корозії і рідше через механічні дії.

Визначення місця корозії та пошкоджень завжди пов'язані з великими труднощами та матеріальними витратами. Розріз газопроводу для його безпосереднього візуального обстеження економічно не вигідно. Крім того, обстеження лише зовнішньої поверхні труби, як правило, нічого не дає. Тому актуальною є завдання моніторингу технічного стану підземних та надземних промислових, магістральних продуктопроводів без їх відкриття.

Ця проблема пов'язана з великими технічними труднощами, проте сучасні методи і засоби вимірювальної техніки, що бурхливо розвиваються, дозволяють її вирішити. Дані технічні засоби, у свою чергу, відрізняються закладеними в методи дослідження фізичними явищами, принципом дії пристроїв, чутливістю, а також областю застосування, локальністю чи глобальністю діагностування, у сенсі масштабів охоплення географічної території прокладання газотранспортної мережі та іншими характеристиками.

Вирішення цього завдання полягає в тому, що додатково до існуючих методів та засобів вводяться в роботу розподілених мереж додаткові пристрої, які, не порушують технологічний режим експлуатації газових комунікацій, у режимі реального часу дозволили б контролювати виток газу з об'єктів газотранспортної мережі та передавати цю інформацію за допомогою бездротових телекомунікаційних технологій.

В даний час використання сенсорних мереж, що є розподіленими мережами та тими, що самоорганізуються, стійкі до відмови окремих пристроїв і передають інформацію використовуючи технологію бездротового зв'язку, є актуальною областю досліджень.

Кожен елемент даної мережі має автономне джерело енергії, приймально-передавальний пристрій, мікрокомп'ютер і становить область покриття від декількох метрів до десятків і сотень кілометрів, залежно від типу бездротового модуля та антени, а також за рахунок ретрансляції пакета даних від одного елемента до іншого з урахуванням топології мережі.

Для розширення радіусу дії сенсорної мережі між кінцевими пристроями використовуються ретранслятори, що дозволяють збільшити дальність роботи та якість сигналу.

У зв'язку з цим **об'єктом дослідження** є процес моніторингу технічного стану газотранспортної системи.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизованого контролю витоків газу з протяжних лінійних ділянок газогонів, а також способи передачі в бездротових мережах.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є підвищення ефективності експлуатації та обслуговування лінійних ділянок газопроводу на основі створення засобів автоматичного контролю витоків газу з використанням телекомунікаційних засобів бездротового зв'язку.

1. АНАЛИТИЧНА ЧАСТИНА

1.2. Аналіз методів і засобів контролю технічного стану газопроводу

Вплив вікового чинника неминучий [1], звідси можна дійти такого висновку, що характер дефектів газопроводів матиме вигляд «тунельної характеристики», тобто, у перші десять років проявляються технологічні фактори, після їх усунення аварійність знижується, але починає позначатися віковий фактор. Через віковий фактор (а це в основному через корозію та стрес-корозію) кількість технічних відмов газопроводів зростає, а в кінці терміну, близько 30-50 років, експлуатація таких газопроводів стає дуже небезпечною. Підтвердженням цього є динаміка аварійності на МР, яка за останні роки через корозію безперервно зростає [1].

Головною причиною виникнення дефектів є якість ізоляції та її товщина. Чим краща якість ізоляції труб, тим вищі захисні властивості, триваліший термін служби газопроводу. З часом протикорозійна ізоляція погіршується.

Коли корозійні каверни досягають діаметра 30-40 мм та глибини 4-5 мм при товщині стінки 9-10 мм, така корозія стає небезпечною.

Тріщини металу, що знаходиться під напруженням – так звані стрес-корозійні, знаходяться переважно в нижній частині перерізу труби.

Швидкість зростання глибини стрес-корозії становить від 0,15 до 1,5 мм/рік. Їй може супроводжуватися взаємодією та об'єднанням сусідніх тріщин. Розмір тріщини, що розвивається, може досягти критичного стану, поки не відбудеться втрата несучої здатності дефектної труби [2].

До дефектів втрати металу відносяться як корозійні дефекти, так і механічні пошкодження, отримані при транспортуванні, так і при виконанні будівельно-монтажних робіт та експлуатації труб. Будь-яка тріщина, що виникає через випадкове пошкодження, може розвинутися (наприклад, через

перепад кліматичних температур, коливань тиску в газопроводі, можливого додаткового зовнішнього навантаження моментом згину) і викликати значні руйнування внаслідок великої пружної енергії газопроводу. Особливо часті руйнування з цієї причини під час передпускових випробувань.

Експлуатаційні дефекти: від втоми металу; корозійні; надриви поверхні через одноразове застосування напружень; механічні – забоїни, вм'ятини та ін.

З появою засобів внутрішньотрубної діагностики [3], багато хто прогнозував, що всі інші способи та засоби діагностування дуже швидко зникнуть. Це не сталося з двох причин: перша - дуже високі витрати на виконання внутрішньотрубної діагностики; друга – інформація, одержана за допомогою цих засобів, забезпечує не повну діагностику газопроводу. Тому успішно продовжуються розвиватися й інші напрями моніторингу. Велику перспективу нині мають наземні засоби моніторингу лінійних ділянок газопроводів.



Рисунок 1.1 - Основні методи та засоби моніторингу газопроводів

Це пов'язано з появою бездротових сенсорних мереж (БСМ), тобто. установкою різних датчиків як безпосередньо на трубопроводі, так і поблизу нього, а інформація з них передається по різних бездротових каналах зв'язку (в радіо або оптичному діапазоні) на великі відстані.

БСМ легко вирішується завдання тотального контролю всіх лінійних ділянок газопроводів. Результати моніторингу концентруватимуться на операторських пунктах, що розміщуються на компресорних станціях. У перспективі дані БСМ оснащуватимуться, крім датчиків, і відеокамерами, які, нарешті, вирішать і проблему тотальної відео охорони всіх лінійних ділянок газопроводів, а зрештою, і всіх об'єктів і споруд магістральних газопроводів і навіть газопроводів, що розміщуються в населених пунктах.

Актуальним є розвиток комплексних систем моніторингу газопроводів, а саме – лазерних, наземних та мобільних вимірювань (засобами малої авіації), однак, під час воєнної агресії Росії це технічно не можливо.

Отже, інформація, представлена на рис. 1.1, буде розширена застосуванням БСМ, а в способах і методах будуть скорочені дистанційні системи моніторингу газопроводів, до яких відносяться аерокосмічні та лазерні способи, теплові та радіолокаційні методи обстеження газопроводів через їх високу вартість та обмежену ефективність .

Очевидно, що наземний метод, за допомогою БСМ, має використовуватися у місцях, де малоефективне використання дистанційних методів, це: переходи через різні перешкоди (дороги, водні ділянки, складні рельєфи місцевості тощо) та розташування газопроводів поблизу населених пунктів. Крім цього, застосування БСМ як реперні точки, особливо при використанні тепловізійно-телевізійних пристроїв значно підвищить точність обстеження.

1.2. Використання бездротових сенсорних мереж у газотранспортній галузі

На сьогоднішній день найбільш ефективними є дистанційні методи виявлення витоків газу (з борту вертольота), з використанням лазерних та тепловізійних пристроїв, проте їх низька ефективність, в основному через періодичний характер контролю, потребує розробки нових методів та пристроїв. А під час збройної агресії РФ проти України є надзвичайно небезпечною.

Найперспективнішим напрямком впровадження технічних засобів у процес моніторингу газопроводів є розробка спеціалізованих телекомунікаційних технічних засобів, у даному випадку автономних пристроїв, які використовують радіоканал для передачі інформації. При вирішенні цієї проблеми важливим є вибір структури таких засобів. В основу даної структури повинні бути закладені принципи типового, і навіть бажаного, стандартного технічного комплексу засобів на основі бездротових сенсорних мереж (БСМ) [3], зорієнтованого повністю на специфіку використання в газотранспортній галузі. Тільки такий підхід, зрештою, дасть бажані результати автоматизації процесу контролю витоків із газопроводів.

Основними принципами, що використовуються під час проектування структури сенсорної телекомунікаційної системи (СТС) контролю витоків газу із газопроводів є такі:

- системний підхід до проектування структури телекомунікаційної системи;
- багатofункціональність (гнучкість);
- модульність та стандартизація;
- універсальність по відношенню до обчислювальних засобів;
- територіальна розподіленість.

Принцип багатofункціональності, закладений у структуру СТС, дозволить реалізувати у процесі функціонування телекомунікаційної системи виконання кількох технічних завдань одним пристроєм, а отже, дозволить підвищити ефективність моніторингу газопроводів.

Серед цих завдань є прості – виявлення витoku метану та контроль працездатності обладнання, збільшення терміну служби системи електроживлення та збільшення інтервалу обслуговування; та складні – передача та контроль інформації в мережі, адаптивне керування системою живлення за рахунок зміни алгоритму обміну інформацією, облік зовнішніх факторів, адаптивне керування режимом роботи з урахуванням сезону, часу доби та погодних умов.

Ступінь багатofункціональності технічних засобів знаходиться у прямій залежності, як від характеру згрупованих завдань, так і від їх властивостей. Наприклад, при встановленні цифрової фотокамери, за фотографією можна судити як про проникнення в зону розміщення газопроводів сторонніх осіб, а за прапорцем на фото про параметри вітру (швидкість, напрямок). Однак багатofункціональність не означає простого арифметичного складання з функціональних компонентів системи. Багатofункціональність несе у собі можливість вирішення різних функцій мінімальною кількістю компонентів (вузлів, елементів тощо).

У процесі проектування СТС необхідно формалізувати структуру обміну даними, або забезпечити можливість емулювати мережі під технічні засоби різних типів пристроїв та ЕОМ. Найбільш простим шляхом є формалізація структури обміну даними, хоча це значно збільшить час обміну інформаційними потоками між СТС та ЕОМ, але у зв'язку з тим, що такий обмін буде епізодичним, тому суттєво не вплине на час обслуговування заявок – інформаційних потоків.

Такий підхід дозволить впроваджувати такі засоби практично на будь-яких ділянках газопроводів, як НАК «Нафтогаз», так і в системі ЖКГ, і в перспективі, не буде потрібно значної перебудови телекомунікаційної системи. Принцип універсальності також виходить з того, що моральне старіння сучасних апаратно-програмних засобів БСМ становить зазвичай менше 10 років, у зв'язку з бурхливим її розвитком, у той час як технічні засоби, що використовуються в технологічному процесі транспортування газу по газопроводах, мають бути розраховані на експлуатацію протягом тривалого часу, бажано порівнянним із терміном служби трубопроводів, а це десятки років.

Протяжність та розгалуженість газопроводів, проходження їх по складних територіях та відсутність транспортної комунікації обмежує застосування багатьох стандартних методів діагностування технічного стану магістралей. Вирішення цієї проблеми полягає в тому, що додатково до існуючих методів та засобів ввести в роботу розподілену мережу додаткових пристроїв, які, не порушуючи технологічних режимів експлуатації газових комунікацій, у режимі реального часу дозволили б контролювати витік газу з об'єктів газотранспортної мережі та передавати цю інформацію за допомогою бездротових телекомунікаційних технологій.

Створення типової структури СТС можливе лише на основі органічного злиття можливостей існуючих структур комплексів технічних засобів зв'язку, обчислювальної техніки та вимог до функціонування та експлуатації їх у складній газотранспортній системі. Ці вимоги можна розбити на чотири основні групи: функціональні; програмні технічні та експлуатаційні.

Функціональні вимоги включають:

- автоматичне вимірювання рівня концентрації витоку газів; точна прив'язка місця пошкодження об'єктів газопроводів, за інформацією виявленого витоку газу та метеоданих;

- передача, зберігання, систематизація та аналітична обробка інформації про технічний стан об'єктів газопроводів;
- оперативне переналадження СТС, під кілька завдань (можливість підключення різних сенсорів та інших);
- висока надійність інформаційного обміну з ЕОМ, що визначається завадостійкістю каналу зв'язку та роботою засобів зберігання інформації;
- автоматичне керування режимами роботи – адаптивні характеристики;
- малопотужні приймачі-передавачі;
- надійність та відмовостійкість СТС.

Функціональні вимоги до СТС мають розширити можливості підвищення якості технічного контролю працездатності газопроводів за рахунок: безперервності контролю – цілодобового та всесезонного режиму контролю; автоматичний контроль – безперервність контролю можна реалізувати лише за наявності автоматичного режиму роботи технічних засобів.

Технічні та експлуатаційні можливості СТС та комплексу апаратно-програмних засобів повинні бути взаємопов'язані та відповідно розглядаються разом, включаючи:

- високу надійність функціонування;
- поєднання з ЕОМ будь-якого типу;
- програмну сумісність;
- високу швидкість передачі;
- стандартизацію та уніфікацію основних вузлів;
- високу ремонтпридатність;
- зручність в експлуатації та обслуговуванні.

До неосновних відносяться економічні вимоги: низька вартість; мінімум обслуговуючого персоналу, особливо високої кваліфікації; висока ефективність

використання, що визначається можливістю використання різних сенсорів та інших гаджетів.

Пропонується до використання система автоматичного моніторингу магістрального газопроводу за допомогою бездротових модулів (БМ). Система (рис. 1.2) складається з двох однакових гілок з N кількістю БМ, кожна гілка охоплює половину відстані (в середньому 50 км) до наступної та попередньої компресорної станції (КС), при цьому перший БМ кожної гілки, встановлений поблизу ЕОМ та підключається до ЕОМ через інтерфейс USB. ЕОМ розміщуються на КС та оснащуються пакетом програмного забезпечення.

Запропонована система призначена для безперервного спостереження за станом газопроводу за допомогою виявлення витоків газу, що транспортується, за допомогою локальних засобів контролю БМ, що розміщуються поблизу газопроводу і об'єднаних бездротовим зв'язком в систему моніторингу.

Одним із важливих об'єктів дослідження є архітектура СТС, яка визначає структуру функціональних компонентів системи відповідно до технологічних та експлуатаційних вимог, логічну структуру інформаційних потоків, фізичну структуру засобів інформаційного обміну та системну структуру, також враховує вимоги до стандарту передачі даних по радіоканалу, вимоги до засобів інформаційного обміну.

Основним завданням СТС є забезпечення багатфункціонального доступу великої кількості сенсорів (користувачів) до ЕОМ, організованої на засадах поетапного формування інформації, за рахунок передачі її бездротовим каналом зв'язку.

Структурна схема з огляду на розміщення апаратури на газопроводі, являє собою протяжну систему: засоби зв'язку, сенсорні пристрої (датчики метану, цифрові фото або відеокамери), високопродуктивну ЕОМ, яка забезпечує інформаційний обмін між ЕОМ і БСС, обробку, що надходить з БСС інформації та сервіс необхідний для формування вихідних документів.

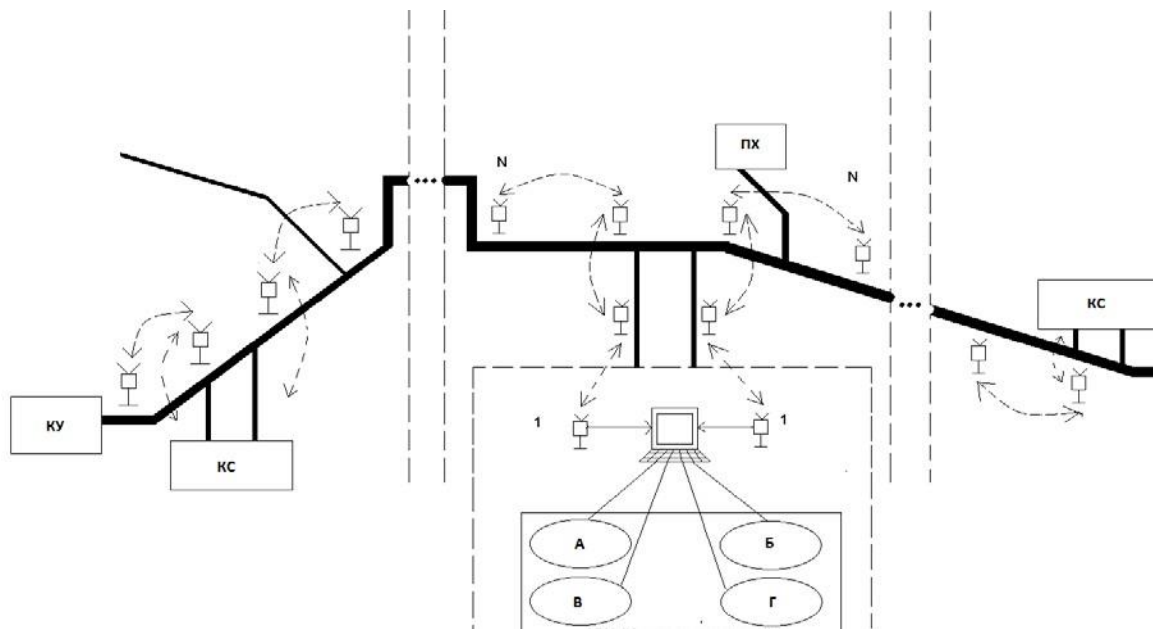


Рисунок 1.2. – Архітектура системи моніторингу газопроводів

На СТС покладається обов'язок забезпечення моніторингу газопроводів згідно з вищезазначеними вимогами. За необхідності можна створювати автономний контролюючий комплекс у складі однієї гілки СТС та мікро-ЕОМ. Дана структура дозволяє: зосередити всі вищеперелічені вимоги на одному спеціалізованому комплексі технічних засобів телекомунікаційної системи, стандартизувати технічні засоби, або створенням декількох різних типів СТС окремо для кожного завдання, або об'єднанням деяких форм в одному типі СТС. Отже, комплексу технічних засобів можна надати функції типової структури БСС, що дозволить зосередити максимальні зусилля з розвитку можливостей БСС, а значить і підвищити ефективність СТС в цілому.

1.3. Висновки за розділом та постановка завдання дослідження

Проведений аналіз газотранспортної системи України, дослідження видів та причин дефектів та пошкоджень, існуючих методів та засобів контролю газопроводів показав, що через тривалий термін експлуатації газопроводів,

надійність даних об'єктів перебуває у критичному стані, при цьому промисловістю не випускаються ефективні засоби для її підвищення. Здебільшого проблема вирішується заміною дефектних ділянок газопроводів.

Ефективними є засоби контролю в режимі реального часу на основі детекторів з виявлення витоків газу, які можуть бути встановлені вздовж газопроводів для діагностування; дані системи враховують специфіку об'єкта діагностування, вимірних характеристик та параметрів. Звідси актуальною стає завдання розробки такої системи, яка здатна в комплексі вирішити існуючу проблему.

Існуючі передові досягнення в галузі телекомунікацій, а саме ефективні розподілені бездротові мережі зв'язку здатні забезпечити оперативний зв'язок і передавати технологічну інформацію між основними об'єктами, що відповідають за діагностування газотранспортної системи – бездротовими модулями, а персонал газотранспортного підприємства може приймати управлінські рішення у разі виходу з позаштатної ситуації, наприклад, при виявленні витoku газу.

Телекомунікаційна система дозволить створити централізоване управління ресурсами систем контролю з метою підвищення ефективної її роботи.

2. ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1 Дослідження сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоків газу

Можна відмітити, що сьогодні досить розробленими у науковому та практичному плані є питання, пов'язані з експлуатацією засобів та методів діагностування об'єктів газотранспортних систем, а також у галузі бездротових сенсорних мереж зв'язку. Останні дозволяють пов'язувати питання інтеграції діагностичної інформації використовуючи GPS координати. Для уточнення та розташування детекторів з виявлення витоків газу, за допомогою єдиної телекомунікаційної системи контролю витоків газу, котра забезпечує оперативне та швидке диспетчерське з'єднання абонентів газотранспортної мережі, здійснюючи при цьому передачу інформації на основі телекомунікаційних засобів.

У зв'язку з цим в магістерській роботі передбачається комплексування ефективних локальних пристроїв контролю витоків газу, телекомунікаційних засобів зв'язку та програмного забезпечення в єдину систему, узагальнену схему якої наведено на рис.2.1.

Керування даною автоматичною системою здійснюється на базі телекомунікаційних та інформаційних технологій, що дозволяють здійснювати збір, обробку, аналіз, відображення, поширення та прогнозування інформації за допомогою програмно-апаратних засобів на основі баз даних, електронних карт та іншої інформації [3].

Телекомунікаційну систему контролю витоків газу можна розбити на три основних рівня управління: локальний, апаратний, клієнтський (рис. 2.2).

Локальний рівень – засоби локального діагностування, як бездротового модуля, що складається з детектора витoku метану, так із радіопередавального пристрою, автономних джерел живлення та їх складових частин.

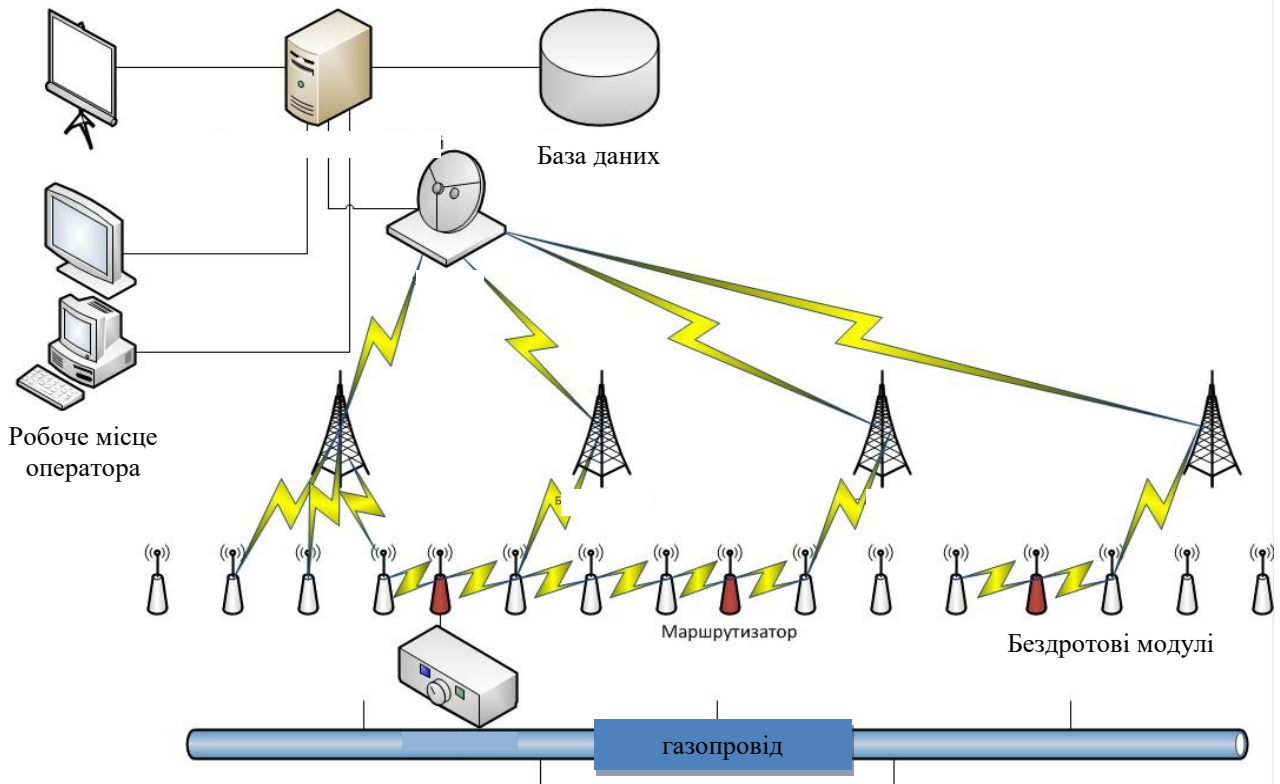


Рисунок 2.1 - Узагальнена схема телекомунікаційної системи контролю витoku газу

Апаратний рівень – телекомунікаційні засоби, здійснюють передачу та прийом інформації по різних каналах зв'язку розподіленої сенсорної мережі.

Клієнтський рівень – програмне забезпечення, включає у собі ряд серверних і клієнтських компонентів, взаємодіючих між собою через базу даних, які забезпечують прийом, накопичення, зберігання, обробку, відображення, аналіз і передачу інформації, що надходить від різноманітного устаткування системи до ухвалення управлінських рішень.

Об'єктом діагностування є газотранспортна система, що складається з 1, 2-х та більше ниткових магістральних газопроводів, компресорних станцій, відводів, підземних сховищ, компресорних установок та інших споруд.

Схема архітектури телекомунікаційної системи з урахуванням трьох рівнів управління представлена рис. 2.2. Сенсорна мережа складається з 2 гілок з N кількістю БМ, кожна гілка охоплює половину відстані до наступної та попередньої компресорної станції, при цьому перший БМ встановлюється поблизу ЕОМ, до якої підключається через USB.



Рисунок 2.2 - Основні рівні керування сенсорної телекомунікаційною системою контролю витоку газу

На кожному рівні управління реалізовані свої функціональні завдання, основними з яких є:

- 1) забезпечення роботи апаратних та програмних засобів у різних режимах роботи СТС;
- 2) передача інформації від територіально розподілених БМ встановлених вздовж магістралей для моніторингу обстановки на об'єктах;
- 3) автоматичне відстеження за станом лінійних ділянок газопроводів з виявленням витоків газу;
- 4) виявлення та локалізація місць пошкодження газової магістралі;
- 5) збір, передача, відображення, зберігання, обробка та аналіз інформації про стан обладнання та об'єктів ГТС;
- 6) забезпечення експлуатуючої організації інформацією про стан технічних засобів, у тому числі про відмови в роботі обладнання та аварії зареєстрованих СТС;
- 7) централізоване управління та прийняття адміністративних рішень щодо контролю витоків газу з газопроводів;
- 8) екологічний моніторинг навколишнього середовища та попередження надзвичайних ситуацій;
- 9) забезпечення взаємодії між діагностичним обладнанням, телекомунікаційними пристроями, центральним диспетчерським пунктом прийняття рішень за допомогою інформаційних технологій.

Створення СТС на основі БМ для моніторингу технічного стану газопроводів дозволить спланувати роботу відомств та організацій газотранспортної галузі, об'єднати різноманітні ресурси та сконцентрувати їх на вирішення загальної проблеми, забезпечення безпечної експлуатації та підвищення надійності функціонування.

Головними перевагами, які має СТС контролю витоків газу з об'єктів ГТС, є такі характеристики:

- висока точність визначення місця розташування дефектів; безвідмовність технічних засобів;
- мала похибка обчислень; надійність та оперативність передачі інформації; робота у режимі реального часу;
- незалежність від зовнішніх метеоумов;
- масштабне покриття території прокладання магістралі;
- здатністю до самоорганізації та самовідновлення;
- захисту від несанкціонованого доступу;
- компактність пристроїв;
- простотою встановлення, налаштування та обслуговування обладнання;
- тривалий термін автономної роботи.

Ці якості виводять цю систему на більш високий рівень серед інших систем діагностування за технологічними об'єктами газотранспортної мережі, багаторазово збільшуючи її надійність, точність інформації, що отримується, економічний ефект при експлуатації обладнання.

Створення подібної СТС передбачає вирішення двох аспектів: перший з них – виробничий, пов'язаний із забезпеченням вирішення виробничих завдань газотранспортної галузі за допомогою аналізу інформації, що отримується від локальних засобів діагностування, у вигляді детекторів виявлення витоків газу; другий – комерційний, під час використання цієї системи, хоч і потрібні додаткові фінансові ресурси розробку і установку засобів діагностування оснащених унікальним набором апаратури вздовж магістралей, проте з іншого боку це сприяє зростанню кількості споживачів, які використовуватимуть отриману інформацію, і навіть прийнятною вартістю послуг обслуговування.

Переваги СТС газопроводів полягають у тому, що вона дозволить автоматизувати процес збору та обробки даних з територіально розподіленої мережі газотранспортних об'єктів, оснащених засобами контролю витоків газу,

приймально-передавальними пристроями, що використовують різні канали зв'язку з відповідним програмним забезпеченням, що дозволяє відображати на електронній карті та технологічній схемі поточне положення БМ та надавати оцінку технічного стану об'єктів.

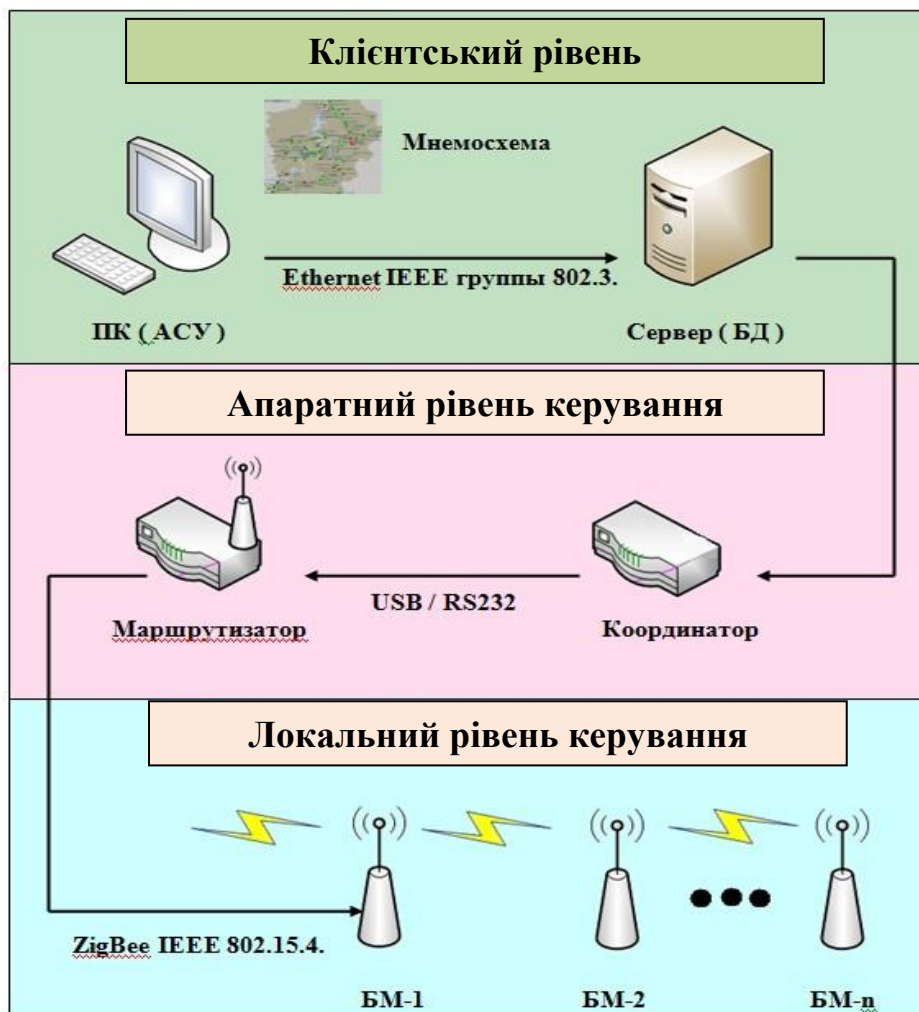


Рисунок 2.3 - Архітектура сенсорної телекомунікаційної системи з урахуванням рівнів керування

Можна відзначити, що сьогодні в газотранспортній галузі спостерігається підвищений попит на подібні багатофункціональні та комплексні рішення, де моніторинг, безпека та інформаційні послуги можуть здійснюватися з використанням сучасних телекомунікаційних засобів, що дозволяють обробляти та отримувати різну інформацію у форматі єдиного інтерфейсу та

мінімізувавши при цьому вплив «людського чинника» прийняття управлінських рішень [4].

2.2. Оптимізація структури розподіленої системи контролю витоків газу

Сьогодні бездротові системи найчастіше використовують для моніторингу параметрів роботи технологічного устаткування, оцінці кліматичних параметрів на промислових об'єктах ГТС, зокрема, для збору та передачі показників із розподілених датчиків щодо виявлення витоків газу при діагностиці газопроводів, останнім часом постійно зростає. Оскільки такий підхід дозволяє дистанційно здійснювати безперервний контроль у режимі реального часу з дальніх об'єктів, значно скорочуючи витрати часу та коштів на монтаж та подальше технічне супроводження пристроїв системи. Крім того, сенсорні мережі можуть бути незамінними для забезпечення контролю застарілого парку газопроводів, які мають особливу увагу у зв'язку з вичерпанням нормативного терміну експлуатації цих об'єктів та неможливістю застосування на них, наприклад, таких сучасних засобів діагностування як внутрішньотрубні снаряди-дефектоскопи [5].

На стадії технічного проектування, використовуючи додаток AllFusion Process Modeler r7 у форматі IDEF0 [6, 7], було розроблено функціональну структуру моделі сенсорної телекомунікаційної системи. AllFusion Process Modeler є інструментальним середовищем для візуалізації моделювання, аналізу, документування та оптимізації бізнес-процесів, що дозволяє графічно, використовуючи діаграми IDEF0, відображати інформаційні зв'язки, потоки даних між елементами системи та зовнішнім середовищем. У межі охоплення представленої моделі входять усі процеси, які у системі представлені функціональними блоками. Основними об'єктами моделі є:

- функціональні блоки (зображуються прямокутниками). Відображають назву функціональних елементів системи;

- стрілки входу (ліворуч від функціонального блоку). Відображають вхідні потоки даних із зовнішнього середовища чи іншої системи;

- стрілки керування (згори функціонального блоку). Відбивають команди (запити від користувачів чи інших систем), інструкції, алгоритми, вимоги, математичні моделі, що впливають роботу системи;

- стрілки виходу (праворуч від функціонального блоку). Відображають вихідні потоки (результати роботи системи) даних у зовнішнє середовище (користувачам та адміністраторам) або в іншу систему;

- стрілки виконавчих механізмів (знизу функціонального блоку).

Таке позначення відображає системні принципи: вхідні дані перетворюються на вихідні, керування обмежує або визначає умови виконання перетворень, механізми показують, хто, що і як виконує функції системи, котра моделюється.

На рис. 2.4 представлено функціональну структуру моделі сенсорної телекомунікаційної системи контролю витoku газу з газопроводів. У представленій моделі вхідними даними є інформація щодо необхідності проведення діагностування та аналізу технічного стану об'єктів газопроводів.

Ця інформація надходить у сенсорну телекомунікаційну систему у вигляді сигналів від апаратних засобів (бездротових модулів, розміщених уздовж магістралі, електроустаткування системи, телекомунікаційних пристроїв). А також у вигляді набору даних з інших інформаційних систем газотранспортного підприємства: у вигляді діагностичної інформації від технічних та експлуатаційних служб обслуговуючого підприємства; у вигляді даних, що описують існуючі процеси, що відбуваються в предметній області; у вигляді звітної інформації за різні періоди діагностування іншими методами та засобами неруйнівного контролю та дистанційного зондування.

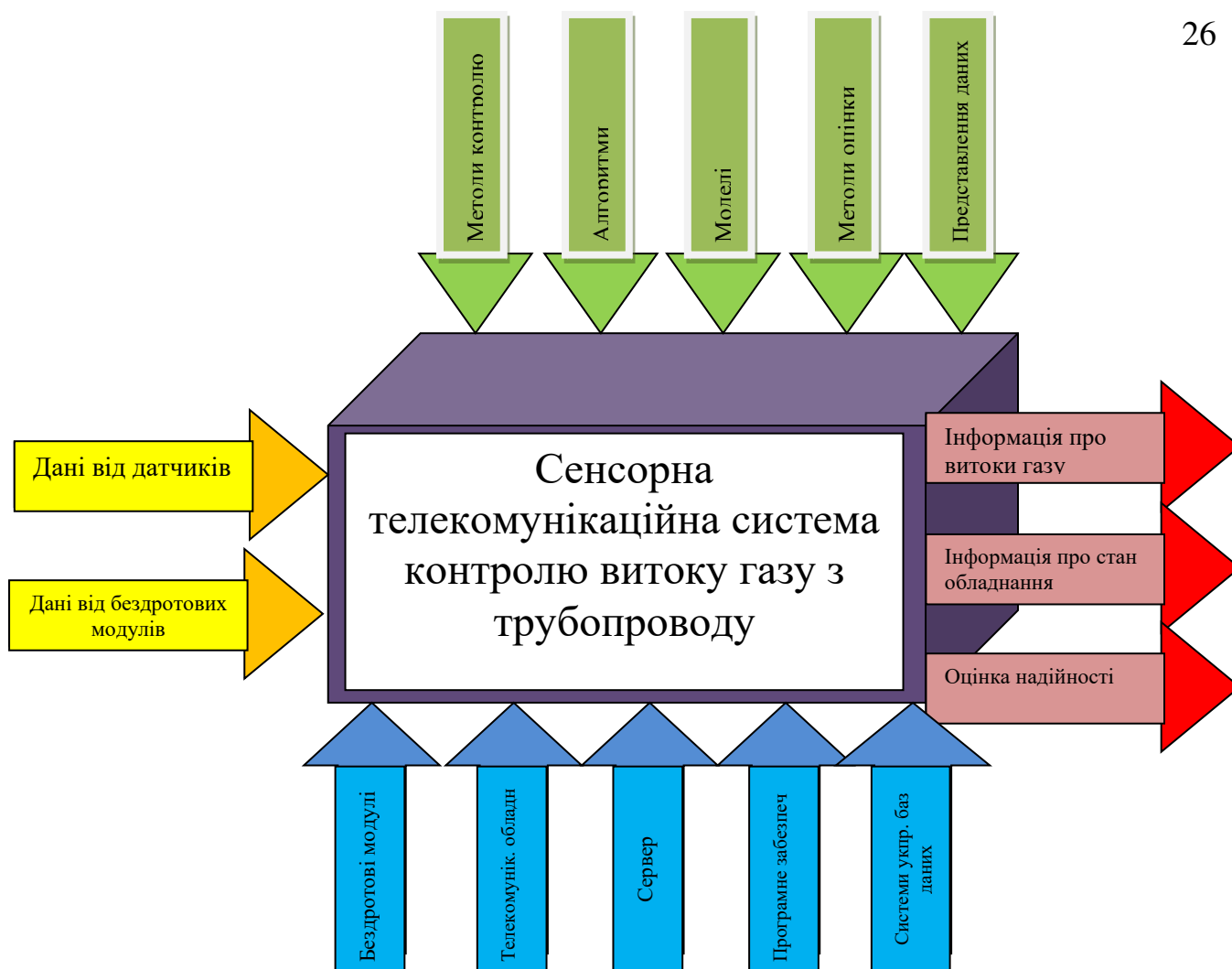


Рисунок 2.4 – Функціональна структура сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоку газу з газопроводів

При проведенні контролю витоків газу з газопроводів за допомогою цієї системи відбувається отримання та обробка цих даних, при цьому обробка вхідної інформації здійснюється на основі керуючих впливів.

Вихідною інформацією для даної системи є: насамперед інформація про виявлені витоки газу; інформація з оцінками стану обладнання системи; резервне збереження результатів роботи системи у вигляді різної вихідної інформації на електронних та друкованих носіях; статистичні дані, отримані в результаті оцінки роботи системи загалом та її компонентів окремо; історія відмов обладнання за різні періоди експлуатації; отримані оцінки з надійно сти

обладнання та об'єкта діагностування; графічна інформація, що подається на електронних гартах, мнемосхеми технологічного обладнання із зазначенням технічних та експлуатаційних характеристик.

Узагальнена структура сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоку газу представлена рис. 2.5.

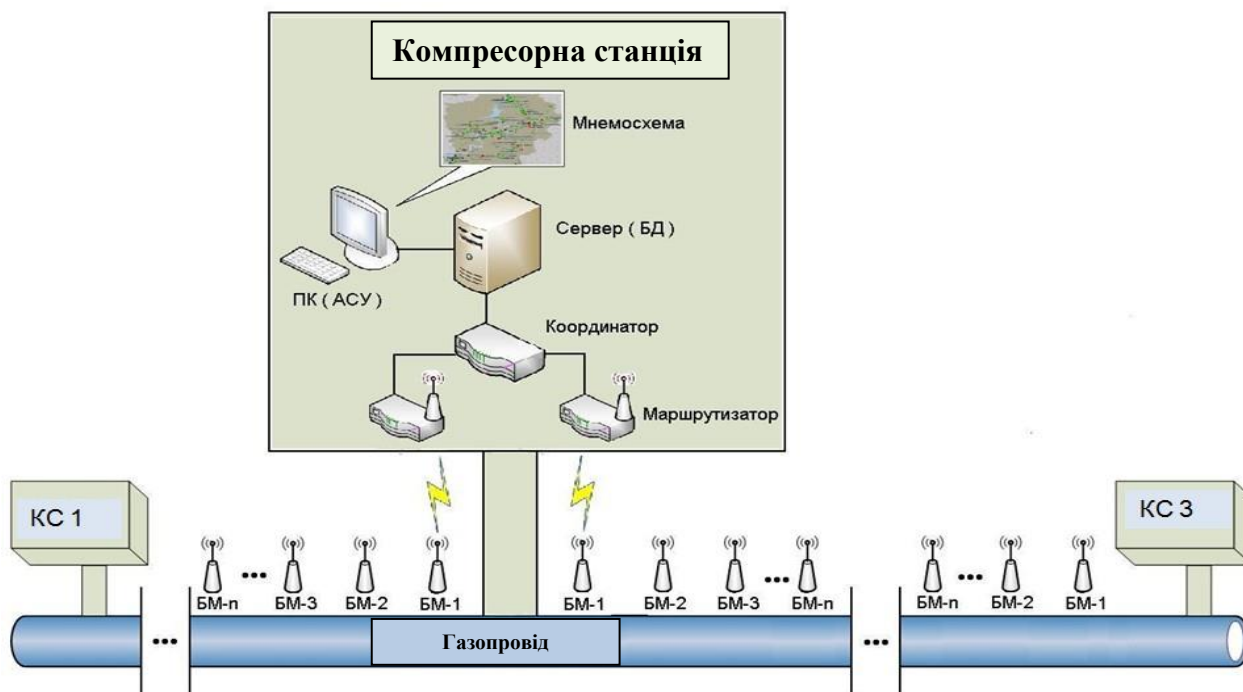


Рисунок 2.5 - Узагальнена структура сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоку газу

Телекомунікаційна система контролю витоку газу, дозволяє безперервно здійснювати контроль та оцінку технічного стану газопроводів, а також параметрів навколишнього середовища, побудована на основі сукупності різних апаратно-програмних засобів і, є бездротовою сенсорною мережею, побудованою на основі платформи MeshLogic, що складається з N-ї кількості розподілених в просторі бездротових модулів (БМ), а також шлюзу (точки збору інформації), сервера та Web сайту клієнта на ЕОМ, що забезпечують зв'язок БМ з базою даних (БД) та клієнтськими додатками (КП) встановленими на персональних комп'ютерах.

Розроблення СТС у реальному масштабі часу дозволяє не лише швидко розгорнути її у важкодоступних районах, але й ефектно вирішувати завдання моніторингу газопроводів, надаючи операторам системи можливість відслідковувати наявність витоків газу, а також виявляти місця несанкціонованого доступу та пошкоджень на об'єктах ГТС.

Сенсорна мережа складається з двох однакових гілок з N - кількістю БМ, кожна гілка охоплює половину відстані (в середньому 50 км) до наступної та попередньої компресорної станції (КС), при цьому перший БМ кожної гілки встановлюється безпосередньо поблизу ЕОМ, до якої підключається через інтерфейс USB. ЕОМ розміщуються на 1-ій КС та оснащуються пакетом програмного забезпечення (ПЗ) у вигляді АСУ «Моніторинг», що складається з деякої кількості підсистем, що реалізують певні завдання [7, 8]. Складність системи обумовлюється високою сукупністю різних технологій, які необхідно застосувати для отримання готового продукту.

Перевагою системи є те, що вона має велику мобільність та можливість встановлення в будь-якому важкодоступному місці газопроводу. Також безперечним плюсом є отримання даних у реальному масштабі часу.

Архітектура СТС складається із трьох основних рівнів (рис. 2.6), клієнтський, серверний та рівень БМ.

На клієнтському рівні система знаходиться на веб-сайті клієнта під керування CMS WordPress (система керування вмістом). На території, що покривається областю дії бездротових модулів, об'єднаних в єдину сенсорну мережу, можливе підключення будь-якого пристрою (кишенькового персонального комп'ютера – КПК, персонального комп'ютера – ПК, ноутбука та ін.) із встановленим спеціалізованим ПЗ, що дозволить синхронізувати роботу системи, забезпечуючи отримання необхідної інформації з подальшою її обробкою.

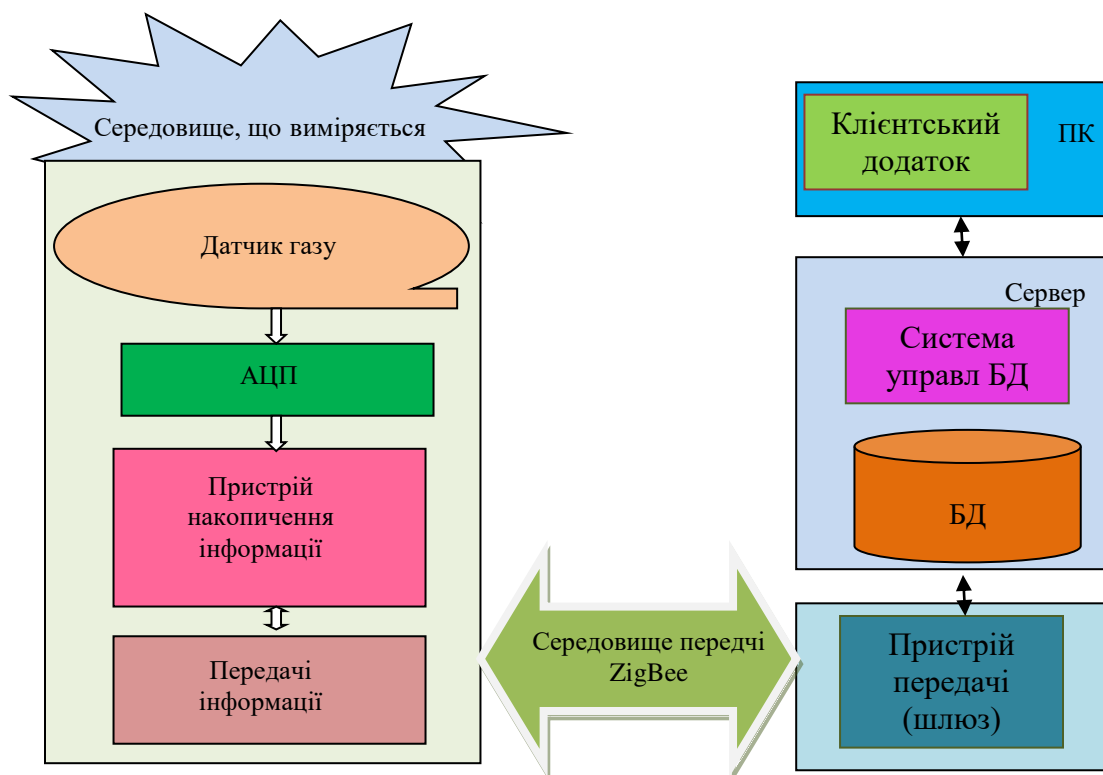


Рисунок 2.6 – Схема архітектури телекомунікаційної системи

На серверному рівні, телекомунікаційна система забезпечує зв'язок БМ – БД – КП. Програмне забезпечення виконане у вигляді сервісу, написаного мовою Java під Eclipse IDE, що забезпечує не тільки швидку інтеграцію з різними технологіями, але робить цю систему кроссплатформенною. БД реалізована за допомогою СУБД MySQL та сховищ у форматі XML. Тут також представлені web-сервер та сервер БД.

БМ є пристроєм, що працює від автономних джерел живлення та володіє набором наступних основних компонентів:

- чутливим елементом, що визначає наявність витоків газу з об'єктів ГТС є детектор витоків метану (ДВМ), який складається з високочутливого датчика виявлення витоків газу/метану (в даному випадку заявлений стаціонарний інфрачервоний датчик-газоаналізатор [9], призначений для автоматичного безперервного вимірювання концентрацій метану (CH₄) у повітрі відкритих просторів на газових магістралях) та енергонезалежної пам'яті;

- приймально-передавальний пристрій з функцією ретрансляції, що складається з керуючого мікроконтролера, приймача, вбудованої антени, флеш-пам'яті, зовнішніх схем узгодження рівнів USB, RS232 та цифрового порта;
- автономні джерела живлення (акумулятор, сонячна батарея, гібридний регулятор).

Програмне забезпечення відповідає за працездатність БМ і знаходиться під керуванням операційної системи реального часу TinyOS, здійснює прийом та передачу інформації/сигналів, яку отримує БМ за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

БМ встановлюються поблизу труби (5-10 м), на певній відстані (100 м) та з'єднуються між собою за допомогою бездротового радіозв'язку [10], утворюючи сенсорну мережу послідовно розташованих бездротових пристроїв, які за допомогою ретрансляції передають інформацію від точки до точки.

Враховуючи той факт, що дальність роботи БМ обмежується їх потужністю та можливостями автономного джерела живлення й досягає близько 100 м, проте організація даної топології мережі з використанням вузлових точок для ретрансляції даних дозволяє цю відстань збільшити до необхідної, щоб покрити територію газопроводів від однієї КС до іншої.

Вибір бездротового каналу зв'язку для передачі даних між БМ та ЕОМ пояснюється складністю прокладання кабелю у важкодоступних районах експлуатації газопроводів.

У ДВМ виконуються такі функції: виявлення витоку газу у вигляді чутливого сенсора; реєстрація часу виявлення (початок та закінчення) витоку в мікроконтролері; заряджання акумулятора пристроїв ДВМ за допомогою сонячних елементів та інших джерел автономного живлення; передача даних з усіх датчиків, з ретрансляцією інформації отриманої з попереднього на наступний БМ і далі, для введення її в ЕОМ; виявлення та фіксація місць несанкціонованого доступу та пошкоджень на об'єктах ГТС.

Принцип виявлення витoku газу в ДВМ, ґрунтується на процесі дифузійного розсіювання метану в атмосфері. Для цього використовувався метод М. Берлянда [11], заснований на математичній моделі розсіювання газоподібних домішок в атмосфері та поставлених експериментів, який дозволив розрахувати концентрацію газів у вертикальному та горизонтальному перерізі хмари метану, а також поля концентрацій, що створюються точковими джерелами викидів із труб.

БМ із заданим періодом виконує аналого-цифрове перетворення та нормалізацію сигналів з підключених датчиків та пристроїв, а також здійснюють первинну обробку даних. Після чого отримані сигнали у вигляді пакета з цифровими даними передаються радіоканалу в точку збору інформації на шлюз.

Шлюз здійснює з'єднання БМ з серверним рівнем, виконуючи роль автономного реєстратора показників, що надходять від БМ, і зберігає їх в енергонезалежній пам'яті, відзначаючи час надходження даних, реєструючи передбачувані витoki газу, відмови обладнання або каналу зв'язку та іншу службову інформацію для подальшого аналізу та архівації. Також передбачена можливість видачі даних на запит сервера. За допомогою спеціального ПЗ інформація зі шлюзу завантажується на серверний рівень для її подальшої обробки, збереження та відображення.

Залежно від умов застосування системи моніторингу можливі кілька варіантів взаємодії шлюзу та сервера:

- локальне підключення до сервера USB, RS-232, RS-485;
- віддалене підключення до сервера через модем.

Перший варіант найбільш простий у реалізації і призначається для систем, в яких можливо організувати провідний канал зв'язку між сенсорною мережею збору даних і сервером, в цьому випадку сервер можна встановлювати на компресорних станціях, що забезпечує оперативний контроль стану об'єктів, що спостерігаються.

Варіант віддаленого підключення до шлюзу бездротовим каналом зв'язку, при якому обладнання сенсорної мережі (ДВМ та шлюз) встановлюються поблизу газопроводів безпосередньо на розподілених модулях, а сервер – у будь-якому іншому зручному місці (наприклад, у центрі прийняття рішень обслуговуючого газотранспортного підприємства), дозволяє експлуатувати систему моніторингу без електропостачання. Перевага віддаленого доступу до системи полягає в тому, що забезпечується можливість кваліфікованим фахівцям здійснювати моніторинг розподілених об'єктів ГТС за необхідності періодичного виїзду та огляду.

Сучасні досягнення в галузі радіозв'язку та цифрової електроніки дають змогу створення досить дешевих та багатофункціональних пристроїв, що мають невеликі розміри й здатних передавати інформацію на значні відстані по радіоканалу.

В основному подібні пристрої мають набір наступних апаратних засобів: сенсорні датчики, мікропроцесори, радіопередавальні пристрої, що дозволяє в свою чергу реалізувати різні протоколи мережевої взаємодії між безліччю аналогічних пристроїв - створюючи так звані бездротові сенсорні мережі (БСС).

БСС – це система, що має розподілену та стійку до відмов окремих елементів мережу невеликих пристроїв з автономним джерелом живлення. Вузли такої системи передають повідомлення один через одного бездротовими каналами зв'язку, протоколом ZigBee, забезпечуючи значну площу покриття при малій потужності приймача.

Протокол ZigBee – це міжнародний відкритий стандарт, контрольований об'єднанням ZigBee Alliance, створений на основі стандарту IEEE802.15.4, забезпечує гнучкі та широкі мережеві топології, містить вбудовані функції для організації мереж і маршрутизації переданих даних, забезпечує просту установку та високу стійкість до збоїв, має необмежені можливості при покритті території [12].

Основними особливостями БСС є: малі габарити вузла та низька вартість; високий енергетичний потенціал; тривалий термін експлуатації; при щільному розміщенні пристроїв у просторі, великі масштаби мереж. Висока надійність і стійкість до відмови системи досягається наявністю безлічі різних маршрутів доставки даних; стійкість до змін топології мережі; самоналаштування та самовідновлення мережі; здатність вузлів обробляти отримані дані; обмежені обчислювальні, комунікаційні та енергетичні ресурси вузла [13].

При реалізації систем, які потребують застосування технології БСС, існує кілька варіантів розв'язання.

Перший варіант - побудова власної системи на основі стандарту ZigBee, з урахуванням того, що сьогодні є велика кількість різних ZigBee-пристроїв, наприклад мікросхеми приймачів стандарту IEEE 802.15.4 або готові ЕОМ - модулі з вбудованим ПЗ. Недолік цього варіанта полягає у витрачених часових ресурсах на вивчення стандарту IEEE 802.15.4, з глибоким розумінням механізмів побудови ефективних ZigBee-мереж у реальних умовах експлуатації даних технологій.

Інший варіант застосування доступної платформи, наприклад, Sensicast, в якій використовуються або власні приймачі, або використовують стандарт IEEE 802.15.4. Даний пристрій являє собою різні апаратні модулі, кожен зі своєю функціональністю, вбудованого ПЗ вузлів та ПЗ ЕОМ для управління БСС. Обмеженням даного варіанту є закритість платформи та відсутність можливості внести зміни до логіки мережевої взаємодії для реалізації вимог конкретної програми [14].

Однак переваги першого варіанта полягають у відносній простоті та малих термінах отримання працездатного рішення, а також у широкому використанні даних технологій у різних галузях виробництва: нафтогазова (автоматизація об'єктів видобутку та первинної підготовки нафти, виявлення витоків із трубопроводів); енергетична (моніторинг режимів роботи обладнання

підстанцій); будівельна (моніторинг технічного стану будівель та споруд); житлово-комунальне господарство (комерційний облік поквартирного споживання гарячої та холодної води, газу, електричної та теплової енергії); інші додатки (діагностика промислового обладнання) явно переважають.

До складу даної платформи входять: ZigBee координатор – центральний обчислювальний пристрій системи, що збирає дані з усіх сенсорів мережі, керує її виконавчими пристроями, забезпечує ініціалізацію БСС та зв'язок із зовнішнім світом через підключений комп'ютер; ZigBee маршрутизатор - пристрій для побудови великих мереж (до 1000 сенсорів), здійснює передачу пакетів вузлами мережі та шукає оптимальний маршрут для здійснення якісного зв'язку; ZigBee пристрій управління - пристрій для підключення різних датчиків та виконавчих пристроїв, що працює з найбільш популярними інтерфейсами; GSM-ZigBee маршрутизатор

– отримує дані від БСС та передає їх каналу GSM; ZigBee пристрій керування із зворотним зв'язком, має компактний розмір; ZigBee-VOIP гарнітура дозволяє здійснювати бездротовий телефонний зв'язок через Інтернет; ZigBee інтелектуальний шлюз дозволяє здійснювати стикування ZigBee мереж з іншими бездротовими мережами. Короткими характеристиками платформи є: сумісність із 2,4 ГГц IEEE802.15.4 та ZigBee; робоча напруга

2.7-3.6; струм споживання в режимі сну 2.8 мкА; дальність зв'язку 1-4 км на відкритому просторі; в час автономної роботи від двох батарей типу ААА до 2 років; габарити дослідного зразка 35x75 мм; 32-бітний RISC-процесор із тактовою частотою 16/32 ГГц; 96 кБ RAM; 192 кБ ROM; шина I2C; можливість організації до 10 цифрових входів/виходів.

Пристрої з модулями ZigBee поєднані із засобами, що використовуються для зберігання інформації, встановлюються на БМ та програмуються на зняття та передачу даних, після чого отримана інформація оперативно транслюється на ПК, де встановлено спеціальне ПЗ.

ПЗ надає оператору можливість зробити налаштування параметрів сенсорної мережі, відобразити на електронній карті газопроводів бездротові модулі з приведенням характеристик їх станів, доступно і швидко переглянути дані по будь-якому з газопроводів, здійснювати контроль ресурсів обладнання, виявляти магістралі, здійснювати прийом та передачу даних з мережі БМ та шлюзу сервера, зчитувати зі шлюзу накопичену інформацію, відобразити отримані дані у вигляді таблиць та графіків, зберігати інформацію в БД для її архівації та подальшої обробки та все це робити в режимі реального часу.

Використання даної сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоків газу з газопроводів, дозволяє розгорнути її в будь-якому місці ГТС, підвищити оперативність отримання та передачі даних, забезпечити контроль та моніторинг ТЗ газопроводів, проводити в режимі реального часу обробку та аналіз інформації, що надходить, уникнути великих матеріальних витрат на ремонт та усунення наслідків аварій на газопроводах.

2.3. Аналітична оцінка сенсорної телекомунікаційної системи

Аналітичну оцінку сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоків газу проведемо з урахуванням аналізу загальносистемного програмного забезпечення абонентських обчислювальних систем масового обслуговування (СМО) [15].

Якщо прийняти, за аналогію СМО, що в телекомунікаційній системі існує два потоки заявок:

1) t - заявки, власне, заявки - повідомлення, що надходять від сенсорів (датчиків метану, а в перспективі від фото/відеокамер, тощо) бездротової сенсорної мережі;

2) p – заявки, поточна робота ЕОМ (обробка t – заявок, організація обміну даними із СТС, системами управління базами даних (СУБД),

автоматизованими системами управління (АСУ) газотранспортного підприємства та іншими клієнтськими додатками).

За критерій ефективності роботи такої структури можна прийняти середній час перебування t -й p -заявок у мережі СМО, при двох обслуговуючих приладах: СМО_А - ЕОМ або сервер, і СМО_Б - телекомунікаційна (приймальна система). При цьому існує два можливі варіанти обслуговування t -й p -заявок.

Перший варіант, коли пріоритет в обслуговуванні відданий p -заявкам і другий - пріоритет в обслуговуванні відданий t -заявкам.

Для повного відображення специфіки застосування ЕОМ в сенсорній телекомунікаційній системі, необхідно врахувати роботу СМО і в режимі мультипрограмної суміші завдань (МСЗ) - це власне: обробка інформації, її візуалізація, зберігання та прийняття рішень.

У загальному вигляді СМО на базі СТС має наступний вигляд (рис. 2.7), де: C_1 - C_n – сенсори (для СМО це «і – користувачі») з приймально-передавальними блоками.

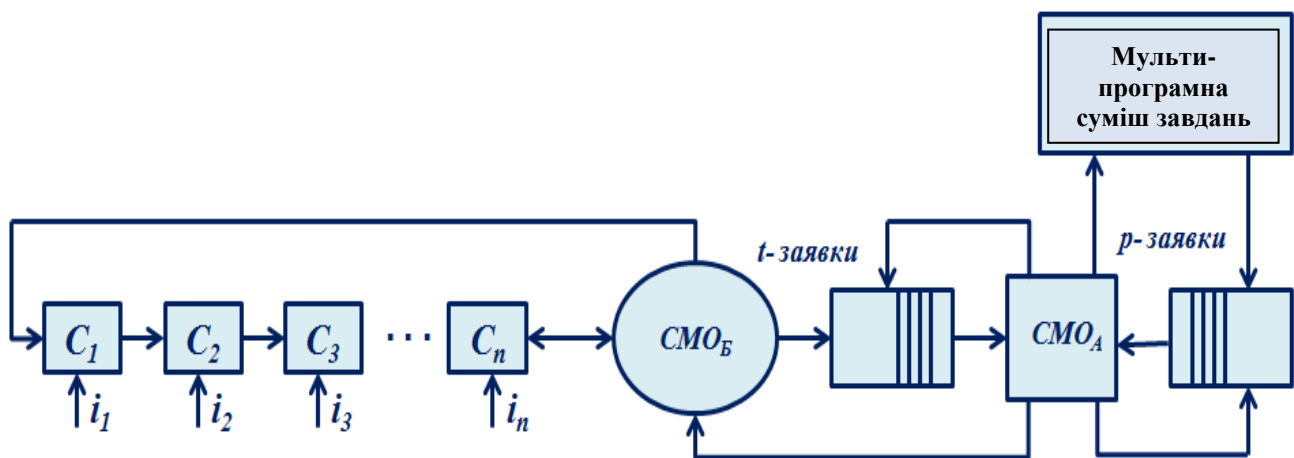


Рисунок 2.7 – Модель системи масового обслуговування на базі сенсорної телекомунікаційної системи

Структурна схема СМО для телекомунікаційної системи відображає обмін інформацією СМО_Б (прийом інформації від сенсорів, передача по мережі та введення інформації для обслуговування (обробки) із постановкою її на чергу в СМО_А).

При виведенні інформації зі СМО_А в СМО_Б, для подальшої її передачі в СТС (*i* – користувачеві), черга відсутня, оскільки введення здійснюється СМО_А і починається відразу після обслуговування чергової *t* - заявки.

Режим обслуговування *p* - заявки та режим мультипрограмної суміші завдань, залежить, як видно зі схеми, від стану СМО_А, де в залежності від пріоритету, у певний момент часу обслуговується одна із заявок.

Найбільш загальним параметром, що характеризує функціонування СТС, є середній час реакції СМО для *i* – користувача, (*i* = 1, *n*) T_i й має вигляд:

$$\bar{T}_p^i = \sum_{j=1}^5 \bar{T}_j^{(i)}, \quad (2.1)$$

де $T_j^{(i)}$ - середній час затримки повідомлення під час передачі каналом зв'язку від i_n – користувача до i_{n-1} – користувача (режим ретрансляції) і далі в СМО_Б;

$T_2^{(i)}$ - середній час затримки в СМО_Б; $T_3^{(i)}$ - середній час очікування в черзі на обслуговування в СМО_А; $T_4^{(i)}$ - середній час обслуговування СМО_А; $T_5^{(i)}$ - середній час передачі інформації по каналу зв'язку з СМО_А до i_n - користувача.

Определим все составляющие формулы (2.1).

$$\bar{T}_1^{(i)} = (\mu_i c_i - \lambda_i)^{-1}, \quad (2.2)$$

де c_i - пропускна здатність каналу, що зв'язує i_n – користувача з i_{n-1} – користувачем або навпаки; $1/\mu_i c_i$ - середній час передачі повідомлення; $1/\lambda_i$ - середній час очікування у черзі.

В даному випадку мається на увазі $\lambda_i > 0$, це вихідний потік від i - користувачів до СМО, що має пуассонівський розподіл.

Для телекомунікаційної системи бездротової мережі при n, i – користувачів, можна потік заявок штучним шляхом задати стаціонарним в інтервалі часу t_0 (цикл обміну інформацією), а саме:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i, (i = \overline{1, n}), \quad (2.3)$$

тобто, сумарний, вже стаціонарний потік, складається з ланцюжка послідовно просумованих у певному інтервалі часу n кількості t - заявок.

При цьому, $t_0 \gg t_2 - t_1$, де t_1 - час надходження інформації від сенсорів (або у перспективі від відео/фото камер); t_2 - формування відповіді це завдання.

Для дослідження отриманих залежностей скористаємося методом внутрішніх штрафних функцій [16]. Для чого потрібно знайти:

$$\min f(T^s, n, v, r), r = \overline{1, n}, n \rightarrow \infty, v \rightarrow \infty, T^s \rightarrow \infty, \quad (2.4)$$

за наступних умов:

$$\begin{aligned} f(T^s, n, v, r) &= A(T, n, v) + r - B(T'), \\ f(T^s, n, v, r) &= A(T', n, v) + r \times B(T), \\ f(T^s, n, v, r) &= A(T^s, v) + rB(n), \\ f(T^s, n, v, r) &= A(T^s, n) + rB(v), \end{aligned} \quad (2.5)$$

Таким чином, отримаємо сімейство кривих функцій T^p_i , коли пріоритет віддається якомусь одному параметру з набору (T^s, n, v) .

Як показує дослідження, найкращою є СМО телекомунікаційної системи бездротової сенсорної мережі, в якій при збільшенні числа i - користувачів (тобто $n > 100$) повинен зменшуватися обсяг виконуваної мультипрограмної суміші завдань, це означає, що обробку необхідно вести в іншій СМО_А (СМО з обробки p – заявок).

Найбільш оптимальним рішенням структури СМО_Б буде сенсорна телекомунікаційна система, в основу якої мають бути закладені функції управління процесом обміну та перетворення інформації між i - користувачами та ЕОМ. Таким пристроєм може бути сервер, функції якого можуть бути запрограмовані в ЕОМ.

2.4. Висновки за розділом

Для ефективного вирішення питання застосування сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоків газу з газової магістралі на основі бездротових модулів було досліджено концепцію побудови СТС відповідно до вимог цифрового відкритого стандарту бездротового зв'язку ZigBee та вимог до апаратно-програмних засобів, що використовуються в даній системі.

Розроблена модель за допомогою CASE-засобу, яка допомогла візуалізувати структуру та забезпечити ефективний процес діагностування та моніторингу технічного стану газопроводів.

Досліджено три основні рівні управління: локальний, апаратний, клієнтський, що здійснюються на базі телекомунікаційних та інформаційних технологій, що дозволяють здійснювати збір, обробку, аналіз, розповсюдження та прогнозування інформації за допомогою програмно-апаратних засобів.

Розроблена структура моделі сенсорної мережі, дозволила використовуючи можливості діаграми IDEF0, графічно відобразити зв'язки,

потоки даних між елементами системи та зовнішнім середовищем, що відбуваються в системі.

На основі аналізу обчислювальних засобів СМО було проведено аналітичну оцінку СТС, що сприяло оптимальному застосуванню телекомунікаційної системи та покращенню функції управління процесом обміну та перетворення інформації між різними пристроями.

3. АПАРАТНА ЧАСТИНА

3.1. Розроблення структури безпроводового модуля контролю витоків газу

Виявлення витоків газу на лінійних ділянках газопроводів здійснюється сенсорною телекомунікаційною системою за допомогою використання встановлених уздовж магістралі бездротових модулів. Основними компонентами останніх, є: вимірювальний перетворювач – високочутливий інфрачервоний датчик витоку метану; приймально-передавальний модуль та автономні джерела живлення.

Бездротовий модуль для контролю витоків газу сенсорної телекомунікаційної системи на основі стандарту ZigBee, що використовується для моніторингу та оцінки технічного стану магістральних газопроводів є апаратно-програмним комплексом для організації бездротової радіочастотної мережі, яка забезпечує автоматичний збір даних від розподілених у просторі сенсорів – бездротових модулів, та обробки телеметричної інформації.

До складу СТС контролю витоку газу входять (рис. 3.1): бездротові модулі з набором технічних засобів – сенсорів для оцінки рівня концентрації газу/метану на об'єктах газопроводів, прийому – передачі інформації каналами зв'язку, різних джерел живлення; радіоканал мережі збирання даних; модулі сполучення; бездротовий шлюз; сервер; канал зв'язку (провідний або бездротовий) між шлюзом та сервером; клієнтські програми у вигляді спеціалізованого програмного забезпечення.

Сукупність БМ утворює БСС, у якій з допомогою шлюзу зібрана інформація, передається на сервер або ЕОМ користувача для подальшої обробки. Передача інформації від шлюзу може здійснюватися проводовими або бездротовими каналами зв'язку.

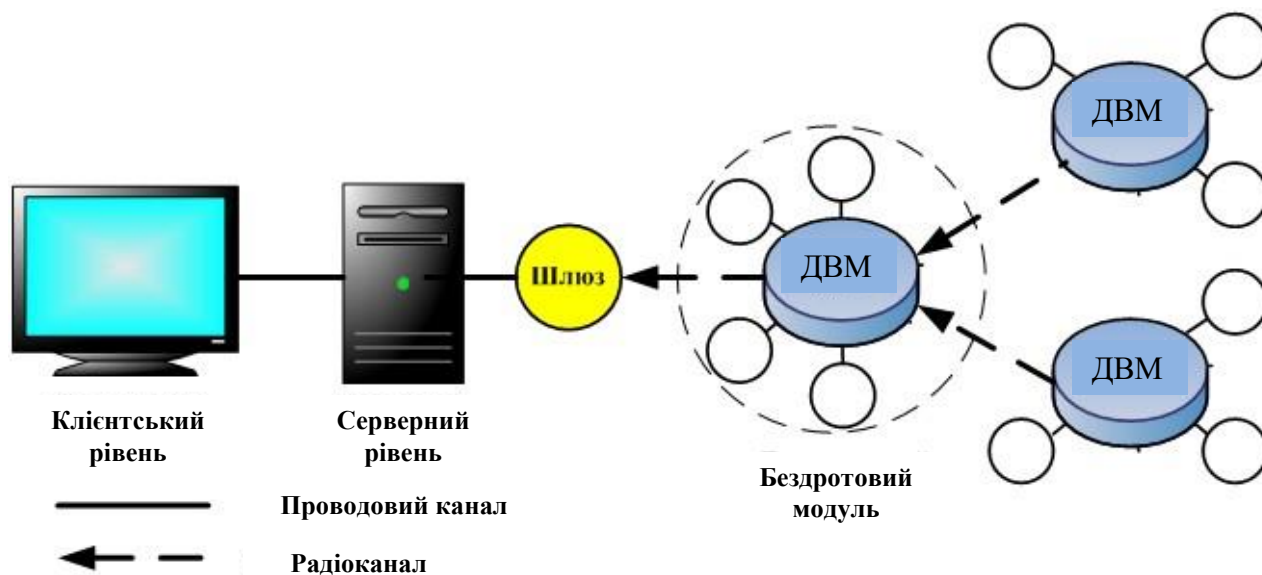


Рисунок 3.1 – Функціональна схема сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоків газу

Для організації бездротового зв'язку в ряді випадків може використовуватися інфраструктура операторів стільникового зв'язку. У БМ виконуються функції: - виявлення за допомогою сенсорних датчиків витоків газу; визначення часу виявлення початок/закінчення витоків газу в контролері; зарядки пристроїв БМ за допомогою акумулятора; передачі власної інформації та ретрансляція даних, отриманих від попереднього на наступний БМ, і т.д.

БМ являє собою пристрій (рис. 3.2), розміщений у корпусі з певним ступенем захисту, що використовується для вирішення завдань, пов'язаних зі збором даних від розподілених у просторі модулів контролю витоків газу, що працюють від автономних джерел живлення та має набір основних компонентів:

- детектор витоків метану (ДВМ), є чутливим елементом, що визначає наявність витоків газу у газопроводі, який при цьому складається з високочутливого датчика з виявлення витоків газу/метану (в даному випадку заявлений стаціонарний інфрачервоний датчик-газоаналізатор МПП ВГ-02-1-П-Х.1 [17], призначений для автоматичного безперервного вимірювання

концентрацій метану (CH₄) та ін. газів у повітрі відкритих просторів на газових магістралях, у тому числі у вибухонебезпечних зонах);

- приймально-передавальний пристрій з функцією ретрансляції, що складається з керуючого мікроконтролера, приймача, вбудованої антени, флеш-пам'яті, зовнішніх схем узгодження рівнів USB, RS232, цифрового порту.



Рисунок 3.2 - Блок-схема БМ з передачею даних

Для організації бездротової мережі використані малопотужні радіочастотні приймачі стандарту IEEE 802.15.4 діапазону частот, що не ліцензується, 2400-2483,5 ГГц і стек мережних протоколів MeshLogic.

Дальність радіозв'язку між сусідніми БМ визначається умовами поширення радіохвиль і може становити від десятків до кількох сотень метрів. Вбудований протокол БМ підтримує найпростіший варіант обміну даними/пакетами радіоканалу «точка-точка». Для ідентифікації БМ служить 32-бітна адреса, записана в незалежну пам'ять модуля.

Перед початком обміну даними першому модулю (розташованому на компресорній станції газопроводів) необхідно задати адресу віддаленого

модуля. Поточну адресу віддаленого модуля можна занести до енергонезалежної пам'яті відповідною командою конфігурації. Протокол обміну даними реалізований у БМ, його суть наступна, на кожен пакет, що передається модулем, має негайно прийти підтвердження прийому пакета від віддаленого модуля, при цьому цей віддалений модуль не обов'язково повинен бути наступним по ланцюжку, згідно стандарту IEEE 802.15.4 можливий через один чи кілька модулів.

Якщо підтвердження не прийшло, передача пакета повторюється, це буде відбуватися доти, доки буде досягнуто певний час, що визначається конфігурацією БМ.

Процедура запити даних показано на рис. 3.2. Такий протокол обміну даними повністю забезпечує повний контроль над втратою інформації.

Здатність БМ у разі необхідності ретранслювати пакети для доставки шлюзу дозволяє створювати розподілені системи зі значною площею покриття. При цьому бездротові модулі автоматично виконують пошук маршрутів як при початковому розгортанні мережі, так і у разі переміщення окремих БМ, їх вимикання для технічного обслуговування або виходу з ладу.

Така організація мережі забезпечує гнучкість при розгортанні сенсорної телекомунікаційної системи на об'єкті діагностування та підвищену надійність системи збирання інформації.

ПЗ відповідає за працездатність БМ і знаходиться під керуванням операційною системою (ОС) реального часу (РВ) TinyOS, здійснюючи прийом та передачу даних, які БМ отримує з ДУМ, ППУ, АП, і далі сигнали обробляються аналого-цифровим перетворювачем (АЦП).

Оскільки факт виявлення витoku газу запам'ятовується в контролері, результат контролю за добу в цілому достатньо передавати один раз, після дев'ятого такту роботи БМ, після чого інформаційний код обнулюється, при подальшій експлуатації режим роботи БМ можна легко змінити.

Формат асинхронної послідовності передачі даних (кадр) БМ містить n ($n=9$) бітів інформації, що пересилаються (у кожен такт роботи БМ записується відповідний розряд, при цьому логічна «1» відповідає наявності витоку газу). 10 біт адреси БМ дозволяють присвоїти адреси 1024 шт. БМ.

Розділові біти, логічний «0», визначають довжину адреси інформації, що передається. Стопові біти представляють код 10101010 і виконують додаткову функцію «тайм-паузи» при ретрансляції даних. Таким чином, кадр передачі складається з 32 біт.

Передача інформації здійснюється в напівдуплексному режимі для зменшення споживаної потужності в певні моменти часу. Від інтервалу між передачами залежить потужність джерел живлення.

Оскільки розмір всіх кадрів однаковий, то обсяг інформації, що передається а також приймається, від одного БМ до іншого $a_1 \dots a_N$ буде весь час збільшуватися на один кадр, при цьому загальний обсяг інформації, що передається і приймається в мережі буде завжди однаковий.

Внаслідок проведених досліджень сенсорної телекомунікаційної системи було встановлено, що за кількості БМ, що розглядаються на ділянці газопроводів, $N=500$. Інформація, що передається першим БМ1, (тобто розмір 1 кадру), дорівнює $a_1=32$ біт, тоді розмір для a_N визначається як

$$a_N = a_1 + (N-1)d = d * N, \quad (3.1)$$

де d - крок прогресії, приймається, що $d=a_1$.

У результаті інформація, що передається БМ, становить:

$$a_N = 500 * 32 = 16000 \text{ біт.} \quad (3.2)$$

Обсяг інформації, що передається через всі БМ, становить:

$$S_N = ((a_1 + a_N) / 2) * N = ((32 + 16000) / 2) * 500 = 4 * 10^6 \text{біт.} \quad (3.3)$$

Отже, БМ із заданим періодом виконують нормалізацію та АЦП сигналів з підключених до них датчиків та пристроїв, а також здійснюють їх первинну обробку. Далі отримані результати у вигляді пакета із цифровими даними передаються в точку збору інформації. Особливостями даної розробки є мінімальна кількість провідних каналів зв'язку між елементами системи (кабелі використовується тільки для з'єднання шлюзу з сервером і далі з ЕОМ, допускається бездротовий спосіб з'єднання апаратних засобів, наприклад Wi-Fi); можливість інтеграції в єдиній системі великої кількості різних цифрових та аналогових датчиків; гарна масштабованість мережі та висока надійність доставки даних; дистанційне збирання даних; дистанційне керування системою збору даних; здійснення процедури контролю без порушення технічних характеристик об'єкта діагностування; простота реконфігурації та масштабування системи; довготривала робота системи загалом і модулів зокрема, без додаткового обслуговування.

Основними перевагами є: гнучкість конфігурації під час встановлення модулів; використання дешевих, але якісних датчиків виявлення витоків метану; сумісність із широкою номенклатурою датчиків від різних виробників; для передачі інформації використовується радіоканал на частоті 2,4 ГГц, який не вимагає сертифікації; знижені трудовитрати на монтаж, пуско-налагодження та супровід; простота нарощування системи; висока стійкість до відмов при виході з ладу модулів; тривалий термін служби елементів живлення за рахунок автоматичного переходу в режим сну.

Слід також зазначити, що застосування технології бездротових сенсорних мереж та модульної конструкції бездротових пристроїв дозволяють значно знизити як початкові капітальні вкладення у проект реалізації СТС контролю

витоків газу так і моніторингу газопроводів, так і витрати за можливої модернізації системи у процесі її експлуатації. Впровадження даної телекомунікаційної системи на основі бездротових модулів дозволяє за інших рівних умов значно знизити термін окупності проекту, що особливо важливо в поточній економічній ситуації воєнного стану.

3.2. Принцип розміщення бездротових модулів

Для визначення відстані між БМ і висотою їх встановлення були проведені розрахунки значення приземної концентрації метану (ПКМ) при його витоку з газопроводів через отвір діаметром D , величина якого визначена за формулою:

$$c(x, y, z) = r(u) \cdot c_m \cdot S_x(x, u) \cdot S_y(x, y, u) \cdot S_z(x, z, u), \quad (3.4)$$

де $c(x, y, z)$ - ПКМ у точці з координатами x, y, z ;

c_m – тах значення ПКМ;

$r(u)$ - функція, що враховує вплив швидкості вітру на максимальне значення ПКМ;

$S_x(x, u)$ - функція, що враховує розподіл ПКМ уздовж осі x , хмари викиду;

$S_y(x, y, u)$ - функція, що враховує розподіл ПКМ поперек осі y ;

$S_z(x, z, u)$ - функція, що враховує розподіл ПКМ за висотою (вісь z).

Для визначення тах значення ПКМ за умови $\Delta T \approx 0$ (холодні викиди – температура метану в трубі приблизно дорівнює температурі атмосферного повітря) використовувалася формула:

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot n}{H^{4/3}} \cdot K, \quad (3.5)$$

де A - коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери (для ХМАО $A = 160-200$);

M - масова витрата метану, що викидається в атмосферу;

n - коефіцієнт, що враховує умови виходу метану з отвору труби;

H – висота джерела викиду над рівнем поверхні землі (для наземних джерел при розрахунку приймається величина $H = 2$ м);

$$K = D/8 V_1, \quad (3.6)$$

де V_1 – об'ємна витрата метану, що визначається по $V_1 = (\pi D^2/4) w_1$, де w_1 – середня швидкість витікання метану із труби. Швидкість виходу метану з труби w_1 через отвір площею S в атмосферу визначається на підставі рівняння Бернуллі для адіабатного процесу (за умови, що швидкість газу менша за швидкість звуку) [18]:

$$w_1 = \sqrt{\frac{2\gamma P_0}{\gamma-1 \rho_0} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}, \quad (3.7)$$

де p_1, p_0 – атмосферний тиск та тиск метану в трубі; ρ_0 – щільність метану у трубі; $\gamma = c_p/c_m$ – показник адіабати для даного газу (зокрема для метану $\gamma = 1,33$). Масова витрата метану M визначається з формули:

$$M = S \rho_1 w_1 = S \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{p_0}{\rho_0} \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}, \quad (3.8)$$

де ρ_1 – щільність газу в атмосфері.

Наведена масова витрата метану з труби визначається як:

$$M_{\max} = S \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma+1} p_0 \rho_0}. \quad (3.9)$$

Така кількість метану витікає з магістрального трубопроводу у разі, коли тиск газу в трубі досягає «критичного» значення p^*_0 по відношенню до

атмосферному p_1 : $p^*_0 = p_1 \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$. Для метана $p^*_0 = 1,85 p_1$.

В цьому випадку швидкість закінчення метану дорівнює місцевій (критичній) швидкості звуку a_1 у поперечному перерізі отвору:

$$w_1 = a_1 = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma+1} \frac{p_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma+1} RT_0}, \quad (3.10)$$

де R - постійна метану; T_0 – температура метану в трубі.

Витрата залишається постійною і рівною M_{\max} , також і в тому випадку, коли тиск у трубі $p_0 > p^*_0$. Це відбувається внаслідок того, що метан в поперечному перерізі отвору труби тече зі швидкістю звуку та зміна зовнішнього стану неспроможна вплинути на процес його витоку.

У реальних умовах завжди виконується умова $p_0 > p^*_0$, оскільки $p_0 > 2 \text{ атм}$.

Це означає, що витрата та швидкість витоку метану з труби рівні відповідно M_{\max} і a_1 .

Для задач виявлення та визначення величини концентрації витoku метану з газопроводу цікавить величина C_{xy} , що представляє собою проінтегровану за висотою h концентрацію метану у хмарі витoku:

$$C_x^h(x) = \int_{y_m} C_{xy}^h(x, y) dy \quad (3.11)$$

Величина, приведена до одиниці висоти, являє собою усереднену кількість метану, що міститься в приземному шарі атмосфери товщиною 1 м. Моделювання проводились з використанням програмного забезпечення MathCad, результати представлені у вигляді графіків – ізолінії відносного розподілу концентрації метану - хмари витoku газу. Вихідні дані були прийняті виходячи з параметрів вуглеводневої сировини, що транспортується магістральними газопроводами.

Параметри газової хмари, представлені рис. 3.4, визначалися з допомогою спеціального вимірювального стенду (рис. 3.3), основою якого є портативний детектор виявлення витоків метану (ДВМ), який визначає вміст/концентрацію метану повітря на рівні ГДК.

Результати вимірювань усереднювалися протягом 10 хв. При швидкості вітру, що змінюється в діапазоні $U=10$ м/с, були експериментально отримані параметри газової хмари в 3-мірному просторі, представлені на рис. 3.4.

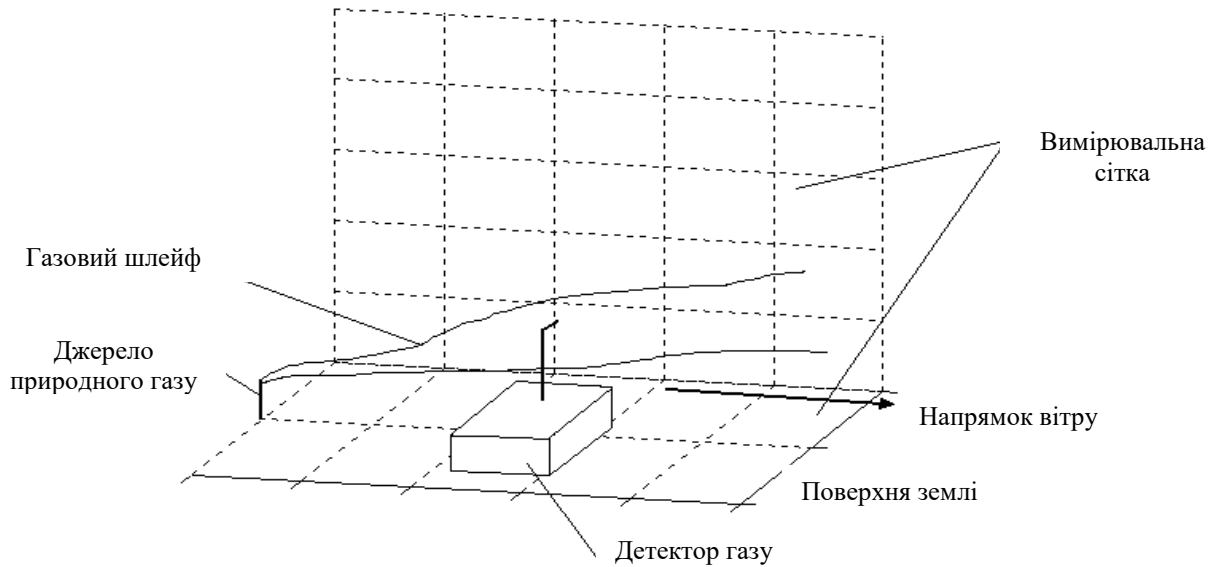


Рисунок 3.3 – Принцип вимірювання витoku газу з трубопровода

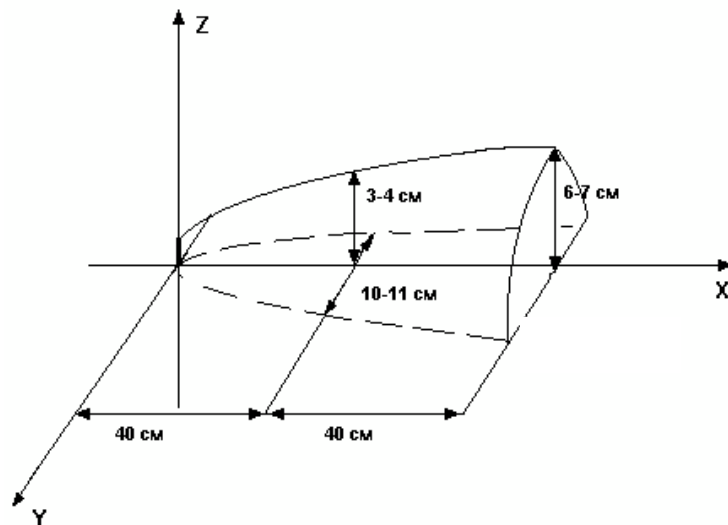


Рисунок 3.4 - Параметри газової хмари у 3-х вимірному просторі

Згідно з проведеними розрахунками, представленими вище, були побудовані ізолінії газової хмари з отвору певного діаметра при різних швидкостях вітру. На рис. 3.5 представлено розподіл концентрації метану вздовж осі хмари викиду (вісь x).

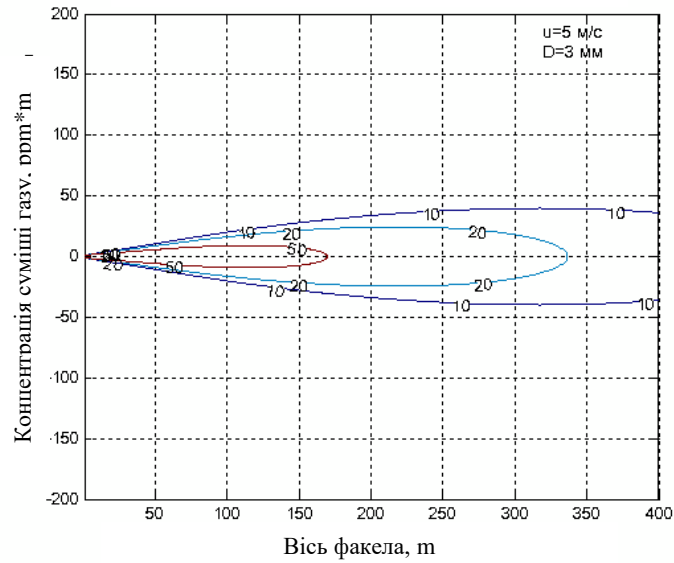


Рисунок 3.5 - Розподіл концентрації метану вздовж осі хмари викиду при $U=5$ м/сек

На рис. 3.6 представлено розподіл концентрації метану по висоті хмари викиду (вісь z).

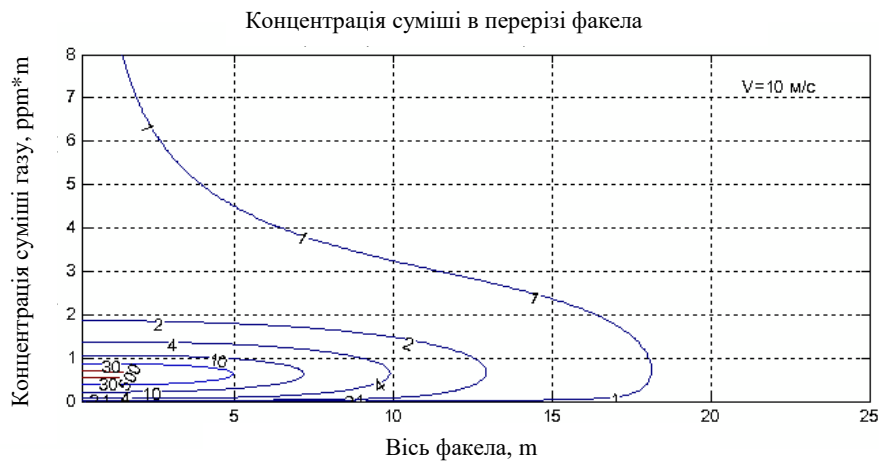


Рисунок 3.6 - Розподіл концентрації метану по висоті хмари викиду, при $U=10$ м/сек

На рис. 3.7 представлено розподіл концентрації метану в перерізі хмари, що збігається з віссю хмари (вісь y). Згідно з проведеними розрахунками та

моделюванням - максимальна концентрація хмари метану, при найбільш поширеній швидкості вітру 10 м/сек, знаходиться в межах 100 м від місця витоку газу, а висота хмари максимальної концентрації становить від 0,5 до 1,5 м.

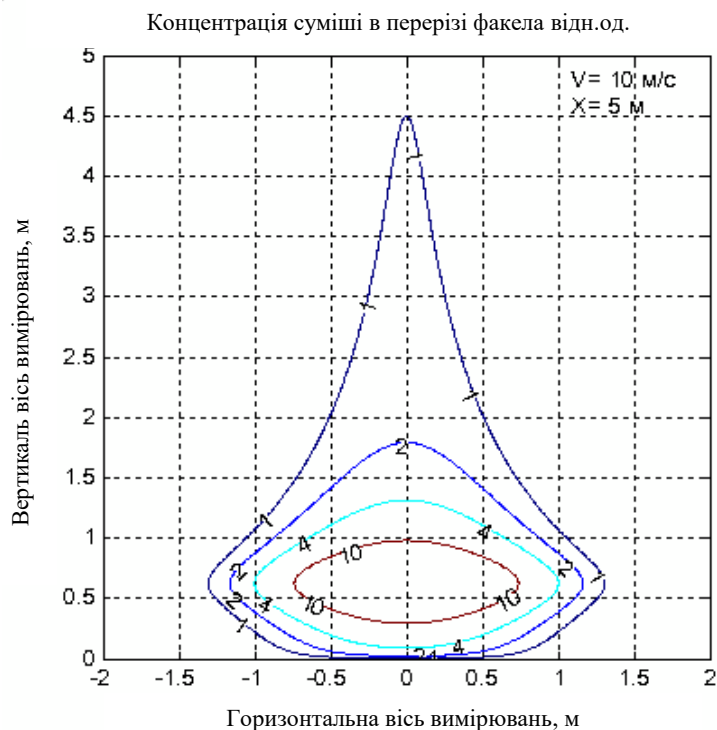


Рисунок 3.7 - Розподіл концентрації метану в перерізі хмари, що збігається з віссю хмари на відстані від витоку метану 50 м і при $U=10 \text{ м/с}$

Отже, отримані розрахункові та експериментальні дані були використані як граничні параметри розміщення БМ вздовж газопроводів. Необхідно також відзначити, що параметри розміщення БМ не залежать від радіоканалу, що використовується, та забезпечує впевнений обмін інформацією до 1200 м (на відкритій місцевості). Однак на найбільш небезпечних ділянках газопроводів – це водні перешкоди, близькість автомобільних доріг чи інших небезпечних ділянок, БМ можна розміщувати і на ближчій відстані.

При встановленні БМ вздовж газопроводів також необхідно враховувати вплив метеорологічних даних, а також особливостей рельєфу поверхні. Ці характеристики впливають на поширення забруднюючих речовин, у разі – парникового газу/метану, саме на умови формування хмари витоку газу та її поширення у зоні моніторингу.

У зв'язку з тим, що зміна вертикалі всіх метеорологічних величин найбільш виражені до висоти близько 100 м, вище за яку ці величини наближаються до значень у вільній атмосфері, а також з урахуванням того, що встановлюватися БМ будуть в середньому на висоті до 1,5 м. Тому варто враховувати вплив таких метеорологічних параметрів як, швидкість вітру, стратифікація та турбулентність атмосфери, що безпосередньо впливає на результати діагностування ТС газопроводів.

Контроль витоків метану з газопроводів проводився поблизу газопроводу (мінімальна відстань 10 м), коли швидкість вітру істотно впливала на точність визначення концентрації метану або об'єму витоку газу. При низьких джерелах викидів відзначається високий рівень забруднення метану. Спостерігається слабкий вітер (0-1 м/с), рахунок скупчення газу у приземному шарі атмосфери. З цього випливає, що моніторинг газопроводів з метою виявлення слабких витоків ефективно проводити у безвітряну погоду, проте через накопичення газу точність визначення обсягу витоку буде дуже низькою.

3.4. Вибір вимірювального перетворювача

У загальному випадку датчики/газоаналізатори призначені для безперервного автоматичного вимірювання небезпечних концентрацій метану (CH_4), а також у разі необхідності пропану (C_3H_8), суми граничних вуглеводнів $\text{C}_1\text{-C}_{10}$ (ΣCH), у тому числі парів нафти та нафтопродуктів, об'ємної частки

діоксиду вуглецю (CO_2) у повітрі приміщень та відкритих просторів, у тому числі у вибухонебезпечних зонах, газових магістралях, тощо.

Обрано стаціонарний оптичний інфрачервоний (ІЧ) датчик газу для виявлення витоків метану, засновану на принципі поглинання газом ІЧ випромінювання.

Принцип роботи датчика, заснований на зміні інтенсивності інфрачервоного випромінювання до і після поглинання в інфрачервоному детекторі з вибірковою чутливістю (рис. 3.8).

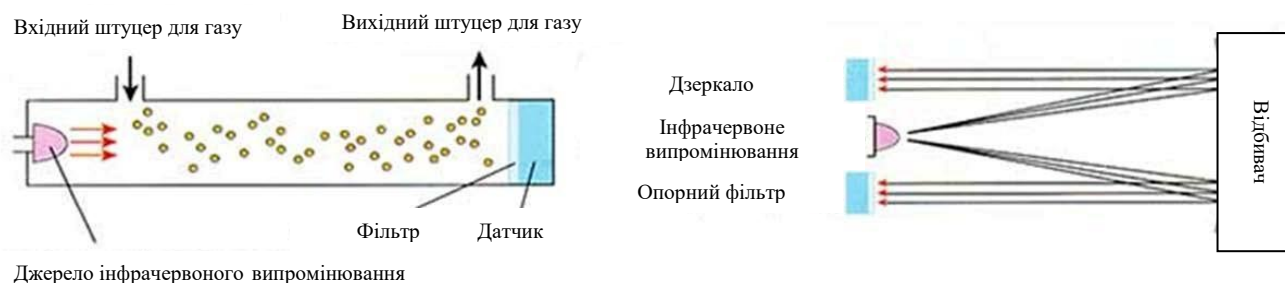


Рисунок 3.8 – Принцип виявлення газу ІЧ датчиками

Поглинання ІЧ випромінювання це простий фізичний процес, який не залежить від кисню, не використовує отруйні речовини, має чудову стійкість до вібрації і перешкод, при цьому має такі переваги як: висока точність, вибірковість, прекрасна чутливість і надійність, швидкий відгук і малий час відновлення, мініатюрність; лінійність у широкому діапазоні (0...100%), стабільність з детектування газу; модифікації зі стандартними вихідними сигналами та з первинними сигналами; великий термін експлуатації; можливість тривалої безперервної роботи; сумісність із комп'ютером.

В результаті проведеного аналізу та оцінки показників якості технічних засобів було обрано оптичний ІЧ датчик для визначення концентрації метану МП ВГ-02-1-П-Х.1 [19], з ультранизким енергоспоживанням, зовнішній вигляд якого представлений на рис. 3.9.

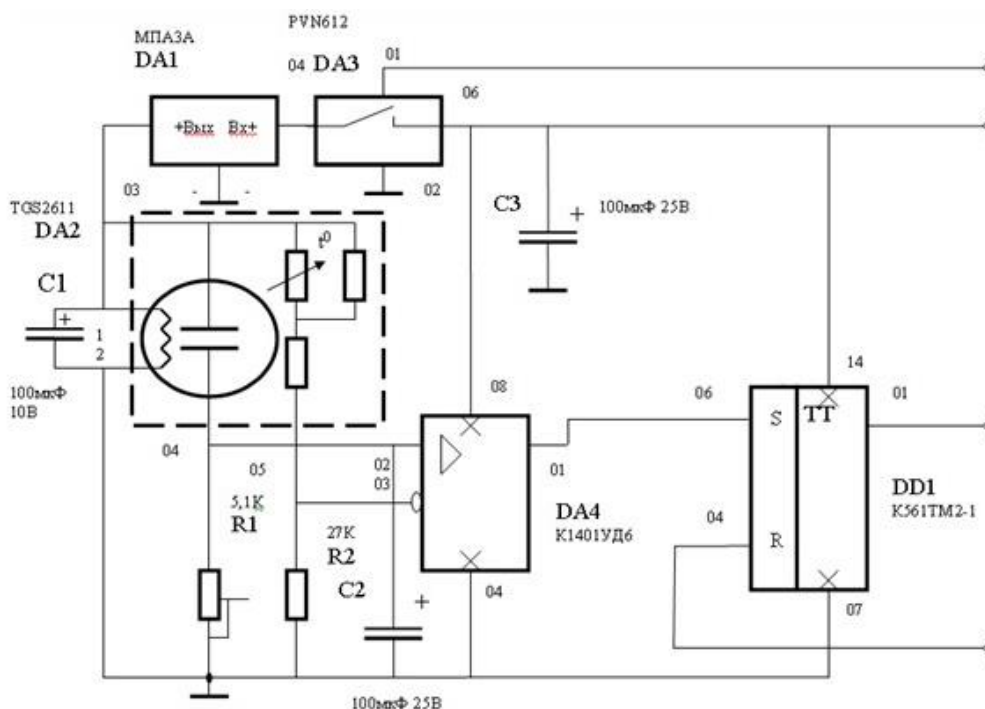


Рисунок 3.9 – Датчик витoku метану

Датчик містить джерело і приймач інфрачервоного випромінювання, оптичну систему та програмно-апаратний блок для обробки сигналу. Зв'язок із реєструючою електронікою здійснюється за допомогою UART інтерфейсу. У даному пристрої використовується технологія NDIR (non-dispersive infrared), що дозволила об'єднати в собі низьке енергоспоживання (в 50 разів економічніше за конкурентні аналоги) і високу ефективність, яка досягається за рахунок: тривалої експлуатації; ергономічності та зручності використання; стійкості до зовнішніх впливів агресивного середовища; стійкості до дестабілізуючих температурних факторів (досягнута за рахунок розробки нових типів світлодіодів, які мають оптимізований спектр випромінювання та використовують спеціалізовані алгоритми обробки сигналів); довготривалу стабільність датчиків (була забезпечена застосуванням спеціально розроблених фотодіодів на основі тонких плівок твердих розчинів системи PbSe - CdSe, які приблизно в 10 разів більш чутливі, ніж піроелектричні фотоприймачі);

мініатюрних розмірів (отримані за допомогою застосування системи ефективних параболічних міні дзеркал із високим коефіцієнтом світлопередачі).

З рис. 3.9 видно, що сигнал про наявність газу знімається з резистора R1, який забезпечує налаштування чутливості датчика в лабораторних умовах у межах 30 ppm. При високій фоновій концентрації метану на трасі газопроводів, чутливість датчика можна змінювати за допомогою R1 під час монтажу системи. Сигнал з датчика надходить на вхід компаратора 02 DA4 і порівнюється з потенціалом схеми температурної компенсації, що містить групу термістора і резисторів датчика (резистор R2). Попадання хмари метану (при витокі газу) на сенсор викликає зменшення опору сенсора, а значить спрацювання компаратора - вихід 01 якого встановлюється практично в нульовий стан і викликає спрацювання тригера DD1 (установкою в стан логічної «1»), тим самим забезпечується запам'ятовування наявності газу (витікання метану із газопроводів). Електролітичний конденсатор C2, крім згладжування пульсацій сенсора, виключає хибне спрацювання компаратора під час включень датчика (командою «Увімк. Дат.»). Мікроелектронне реле DA3 дозволяє керувати роботою схеми підключення датчика в програмованому режимі за командами з контролера, а DC-DC перетворювач DA1 забезпечує необхідне живлення (+5 В) сенсора. Сигнал (Уст «0») встановлює тригер DD1 у нульовий стан, за командою з контролера ППУ, після закінчення зчитування інформації про витік газу, тобто. Схема підключення датчика газу готується до наступного циклу детектування газу.

Датчик обмінюється інформацією з реєструючим пристроєм за протоколом обміну даними по шині UART. Основними характеристиками UART є: швидкість обміну – 9600 біт; 8-бітна послідовна послідовка 1 стоп біт, без перевірки парності. Вхідні та вихідні логічні рівні 0... 2.7 В. Символи "Команд" закодовані в ASCII, після тексту команди повинен стояти символ ВК повернення каретки) - (0Dh). Відповідь кодується ASCII символами

"Слова/числа" у відповіді можуть розділятися символом табуляції - 09h або символом пропуску 20h (дана характеристика постійно уточнюється). Наприкінці посилки ставиться символ ВК - (0Dh).

Робота з мережевою адресою здійснюється у наступному режимі. Передбачено надання пристрою мережевої адреси в діапазоні 0 – FF. Це дозволяє підключити на одну лінію UART від 255 приладів та більше. При включенні пристрою присвоюється адреса «00». Для перегляду та зміни адреси введено такі команди: «!**» - запит адреси мережі. Датчик повертає мережеву адресу у форматі "! XX", де "XX" - адреса в шістнадцятковій формі. %XXYY – датчику з адресою XX присвоюється адреса YY. "NETON" - команда, яка здійснює запис мережевої адреси на згадку про прилад. "NETOFF" - команда, за якою скасовується збереження мережевої адреси в пам'яті приладу. При скиданні живлення мережна адреса дорівнює «00». Порядок запиту даних подано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Запит даних пристроєм МІП ВГ-02-1-ІІ-Х.1

Команда	Відгук										
	Номер значення										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DATA	<i>Concl</i>										
F	<i>Term</i>	<i>S</i>	<i>Us</i>	<i>Uref</i>	<i>St</i>	<i>St`</i>	<i>Stz</i>	<i>Conc</i>	<i>Concl</i>	<i>Stzkt</i>	<i>Sn</i>

На команди, що їх запитують, якщо їх синтаксис вірний, перетворювач видає відгук про позитивне або негативне укладання по кожній конкретній команді. Якщо рішення позитивне, то відгук є посланою командою з додаванням символів «OK», інакше додаються символи «FAULT». Наприклад, при подачі команди "ZERO2", у разі справності перетворювача, з нього повинен прийти відгук "ZERO2" "OK". Якщо синтаксис не вірний, то перетворювач не реагує на цю команду.

Команда «DATA» призначена для виведення інформації про концентрацію метану, містить статус байта та контрольної суми порахованої як виключне «АБО». Відгук - значення концентрації $Conc1$ з урахуванням масштабування як 5-разрядного десяткового цілого числа (таблиця 3.4). Формат відгуку - 5 байт ASCII – значення концентрації та символ $0Dh$. Дані про концентрацію є 16-ти бітне число. Першим передається старший байт $Conc1H$, другим молодший $Conc1L$. $StatusByte$ має структуру $ControlSum = ControlSum \wedge EveryByte$.

Таблиця 3.2

Структура відгуку команди DATA

Команда	ВІДГУК				
	номер байта та його значення				
	1	2	3	4	5
DATA (44 41 54 41 45)	<i>Conc1H</i>	<i>Conc1L</i>	<i>StatusByte</i>	<i>ControlSum</i>	<i>0Dh</i>

Команда "F" - призначена для детального аналізу роботи датчика. Відгук на команду «F»: перший символ у посилці – $0Eh$, дані – 5 байт ASCII, розділовий символ між даними – $09h$, після передачі S_n (серійного номера), слідує символ $09h$, потім значення контрольної суми всієї посилки, пораховане за правилом, що виключає або $ControlSum = ControlSum \wedge data$. Далі слідує символ $09h$ і символ $0Dh$. Де: $Term$ – температура датчика у відліках АЦП, S – відношення U_s/U_{ref} з урахуванням коефіцієнта «ZERO1», U_s – сигнал робочого приймача у відліках АЦП, U_{ref}

– сигнал опорного приймача у відліках АЦП, St – фільтроване відношення S помножене на температурний коефіцієнт, St' – фільтроване St , Stz – відношення St' з урахуванням коефіцієнта «ZERO2», $Conc$ – концентрація (розрахована відповідно до заводського калібрування), $Conc1$ – масштабована концентрація з урахуванням калібрувального коефіцієнта, $Stzkt$ – відношення Stz з урахуванням температурного коефіцієнта чутливості, S_n – серійний номер приладу (8 символів).

В якості енергонезалежної пам'яті було обрано пристрій FM1114, компанії Ramtron [19], провідної розробки в галузі енергонезалежної сегнетоелектричної пам'яті з довільним доступом (FRAM), яка заповнювала свій асортимент приладами, що зберігають свої логічні стани при відсутності живлення та автоматично відновлюються. Його подачі, побудованими з урахуванням 4-битної пам'яті FRAM.

Прилад серії FM1114, у своєму застосуванні, аналогічний D-тригерам і може бути використаний як звичайний логічний блок, на відміну від якого, зберігає свій стан за відсутності напруги живлення. Мікросхема FM1114 працює в діапазоні напруги живлення від 2,7 до 3,6 В, а струм в режимі простою не перевищує 10 мкА. Кількість змін стану не обмежена, максимальна частота перемикань становить 1 ГГц, діапазон робочих температур тягнеться від -40 до +85°C. Прилади випускаються в 16-контактних корпусах типу QFN. FRAM - оперативний енергонезалежний запам'ятовуючий пристрій (ЗУ), що поєднує високу швидкодію і малу споживану потужність, з властивістю зберігання даних і відсутність доданої напруги, але без їх періодичного відновлення, що необхідно для схем постійної пам'яті. Основними перевагами є: інформація при вимкненні живлення не стирається; тривалість циклів запису та читання однакова; не потрібен цикл стирання даних, що замінюються; невелике енергоспоживання; великий ресурс із запису, до 10¹⁶; промислові стандарти призначення висновків; хороша стійкість до зовнішніх впливів.

У порівнянні з флеш-пам'яттю час запису даних у ЗУ цього типу і споживана ним потужність набагато менша, а ресурс за циклами запису набагато вищий. Пояснюється це тим, що традиційні енергонезалежні мікросхеми пам'яті є приладами з плаваючим потенціалом затвора, і операція запису вимагає високої напруги для проштовхування електронів через бар'єрний шар оксиду. До того ж, ця операція тривала, викликає високу механічну напругу в оксиді, що скорочує довговічність і погіршує надійність приладу. Незвичайні і

настільки цінні властивості FRAM забезпечує сегнетоелектрик, що використовується як діелектрик накопичувального конденсатора осередку пам'яті. У цьому ЗУ зберігає дані у вигляді заряду конденсатора, а й у вигляді електричної поляризації кристалічної структури сегнетоелектрика.

Однією з важливих відмінних рис FRAM є повна відсутність будь-яких затримок при зчитуванні та запису інформації, що виконуються зі швидкістю передачі даних системної шини. Повний цикл займає менше часу, ніж одиничний тактовий цикл шини, тому будь-яка операція може починатися негайно після циклу запису даних або адресації.

3.5. Обґрунтування та вибір приймально-передавального модуля

Серед апаратних засобів, що використовуються при розробці БМ, важливе місце відводилося вибору приймально-передаючих пристроїв, необхідних для прийому та передачі інформації по радіоканалу СТС, яка складаються з керуючого мікроконтролера, приймача, вбудованої антени, флеш-пам'яті та ін. (рис. 3.10).

Перевага бездротових систем зв'язку полягає в усуненні більшої частини звичайних провідних з'єднань, а також немає необхідності дотримуватися регламентованих правил обміну інформацією, і ліцензія на протоколи передачі даних не потрібна. Крім того, не порушується робота систем через електромагнітні перешкоди та перешкоди з боку інших частотних каналів, в результаті може бути досягнутий високий ступінь захисту інформації.

Найважливішим чинником під час роботи БСС є обмежена ємність акумуляторних батарей, встановлюваних на БМ. Слід враховувати, що замінити батареї найчастіше або неможливо або складно.

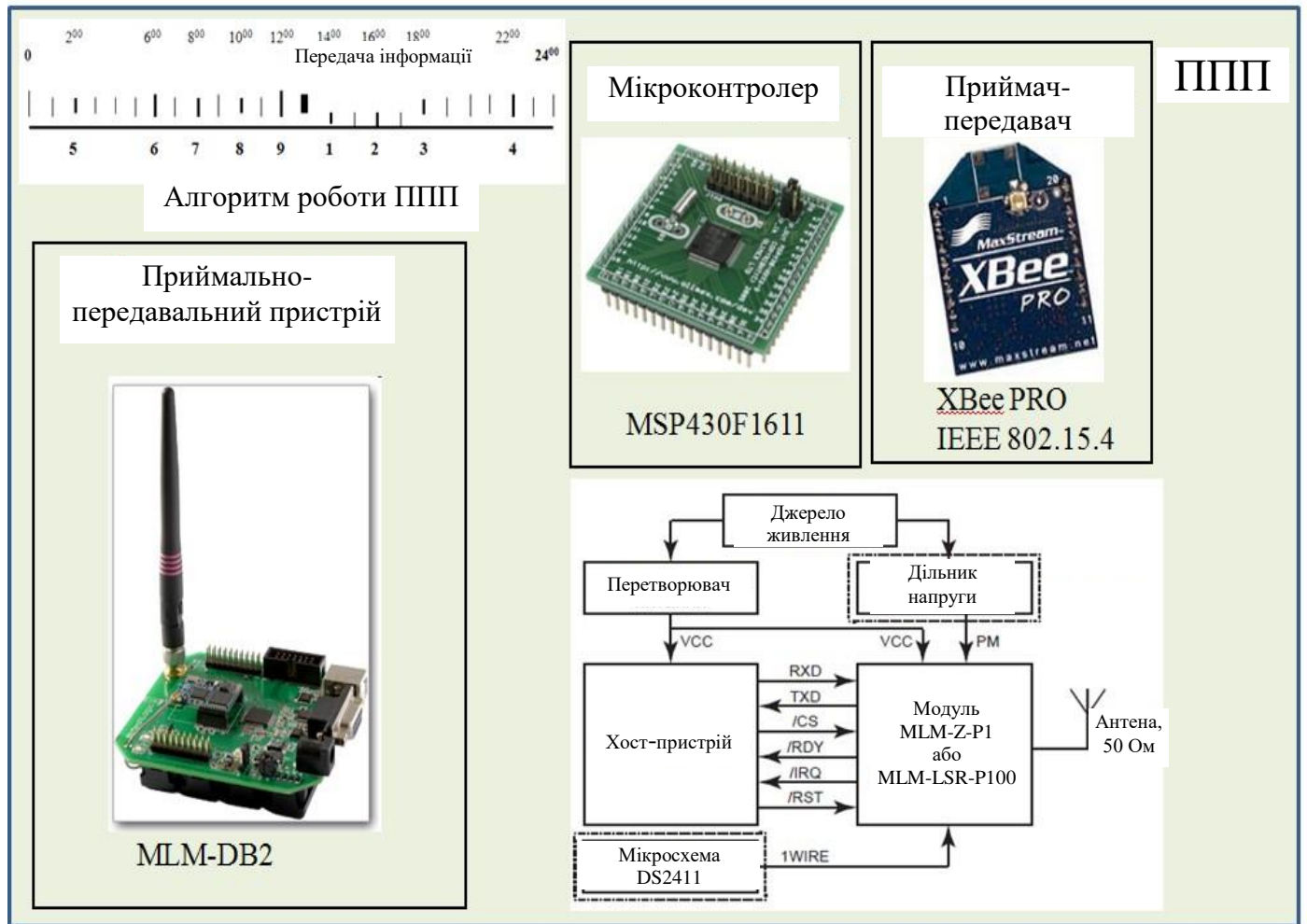


Рисунок 3.10 – Приймально - передавальний пристрій СТС контролю витоку газу

У зв'язку з цим на БМ необхідно виконувати найпростішу первинну обробку, орієнтовану на невеликий обсяг інформації, що передається, мінімізувавши при цьому число циклів прийому і передачі даних.

Ці завдання можуть бути реалізовані за рахунок використання спеціальних комунікаційних протоколів альянсу ZigBee. Цей альянс був створений у 2002 році саме для координації робіт у галузі БСС, до нього увійшли найбільші розробники апаратних та програмних засобів: Philips, Ember, Samsung, IBM, Freescale Semiconductor та ін.

Специфікація ZigBee забезпечує стандартизацію організації бездротового зв'язку між пристроями від різних виробників у різних галузях застосування та враховує такі характеристики як: просторова масштабованість мережі (до 64 тис. вузлів); функціональна масштабованість мережі (кількість мереж можна нарощувати без переналаштування роутерів та координатора мережі); легкість установки та налагодження; висока живучість мережі – при втраті зв'язку з вузлами мережі мережа перебудовується, змінюючи структуру та маршрутизацію; легкість спостереження за мережею; відкрита архітектура; висока якість зв'язку; високий рівень захисту інформації у мережі [21].

Архітектура стека ZigBee, представлена рис. 3.11, визначає своєю чергою ряд рівнів, кожен із яких відповідає за певну частину стандарту IEEE 802.15.4 і надає послуги рівню розташованому вище, логічний зв'язок між рівнями визначають інтерфейси [22].

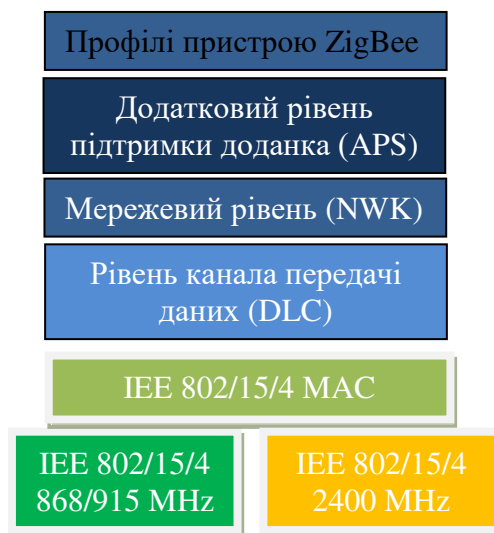


Рисунок 3.11 - Архітектура стека ZigBee

Бездротові мережі на основі ZigBee будуються на основі трьох базових архітектур: зірка, кластерне дерево, комірка (mesh). З усіх архітектур, що розглядаються, найбільшими перевагами для побудови СТС для моніторингу газопроводів має архітектура (mesh-мережа) виходячи з того, що вона: задає

альтернативні шляхи проходження пакетів у мережі; дозволяє масштабувати мережу; вносить гнучкість мережі; збільшується дальність зв'язку та підвищується надійність мережі.

На даний момент ZigBee розробив стандарт IEEE 802.15.4, який підкріплений наявністю виробництва повністю сумісних апаратних та програмних продуктів, що дозволяє пристроям перебувати в сплячому режимі більшу частину часу, що продовжує термін служби батареї.

В результаті проведеного аналізу та оцінки показників якості технічних засобів було обрано бездротовий пристрій MLM-DB2 на базі платформи MeshLogic з ультранизким енергоспоживанням, зовнішній вигляд якого представлений на рис. 3.10. Дані пристрої призначені для створення розподілених бездротових систем збору даних і повністю реалізують усі функції роботи з радіоканалом і мережевою взаємодією. У пристрій інтегрована версія мережевого стека MeshLogic, оптимізована для завдань передачі інформації від багатьох пристроїв до однієї або декількох точок збору. Управління модулем виконується за послідовним інтерфейсом набором команд API.

Особливостями даного пристрою на рівні апаратного забезпечення є: фізичний рівень стандарту IEEE 802.15.4; діапазон частот 2400-2483,5 ГГц; різні варіанти підключення 50-омної антени, U.FL-роз'єм або контакти; швидкість послідовного інтерфейсу управління від 9600 до 921 600 біт/с; унікальний 48-розрядний серійний номер; флеш-пам'ять об'ємом 4 Мб для зберігання даних користувача; низьке енергоспоживання. Повний перелік технічних характеристик представлено в таблиці 3.3.

Під час передачі інформації/пакетів бездротової мережі необхідно враховувати такі характеристики, як: діапазон ідентифікаторів мережі має значення 0x0000-0xFFFFE; діапазон мережевих адрес 0x0001-0xFFFFE; ширококомовна мережна адреса 0x0000; обсяг даних у пакеті трохи більше

95 байт; об'єм буфера прийому 100 байт. Типова схема включення представлена рис. 3.12.

Таблиця 3.3

Технічні характеристики MLM-DB2

Параметр	Значення	Примітки
Радіоканал		
Тип	IEEE 802.15.4	
Діапазон частот	2400-2483,5 ГГц	
Кількість каналів	16	
Вихідна потужність	от -24 дБм до 0 дБм	0 дБм
Чутливість	-95 дБм	
Антенa	50 Ом	U.FL-роз'єднувач
Енергоспоживання		
Напруга живлення	от 2,7 до 3,6 В	
Режим передачі	21 мА	при 3,3 В
Режим приймання	24 мА	при 3,3 В
Режим управління	3,7 мА	при 3,3 В
Черговий режим	9 мкА	при 3,3 В
Інтерфейс управління		
Тип	UART	
Біт даних	8	
Стоп-біт	1	
Парність	нет	
Контроль потоку	нет	
Швидкість	від 9600 до 921600 біт/с	115200 бит/с
Додаткові функції		
Серійний номер	48 біт	
Флеш-пам'ять	4 Мб	

В якості хост-пристрою використаний мікроконтролер, що має послідовний інтерфейс UART (сигнали TXD і RXD) для управління модулем відповідно до системи команд, опис якої міститься в документі, а також кількома лініями цифрового вводу-виводу для сигналів /CS, /RDY, /IRQ та /RST. Аналоговий сигнал РМ являє собою нормовану до діапазону 0-2,5 напругу.

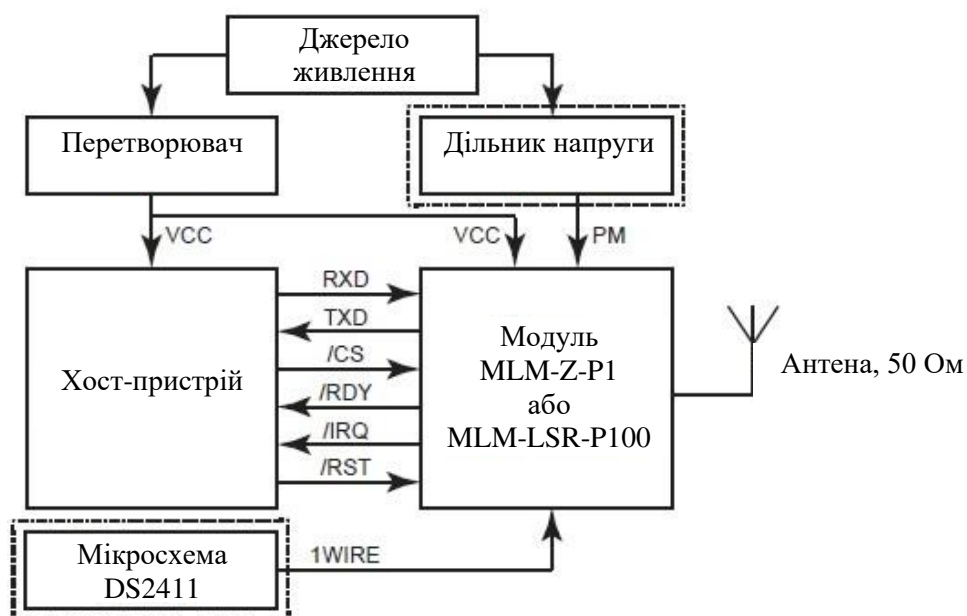


Рисунок 3.12 - Типова схема включення бездротового приймально-передавального модуля

Кожна мікросхема має унікальний 64-розрядний код, 48 біт якого використовуються модулем як його серійний номер. У свою чергу, молодші 16 біт серійного номера задають значення за замовчуванням мережевої адреси модуля. Якщо мікросхема не підключена до модуля MLM, його серійний номер встановлюється рівним 0, а мережевий адресу - 1, у разі хост пристрій самостійно задає мережеві адреси модулів і контролює їх унікальність межах мережі.

Основним робочим режимом управління модулів є режим очікування, у якому сигнали /CS і /RST повинні бути у пасивному стані (високий рівень). У цьому режимі модулі самостійно виконують такі функції (рис. 3.13(a)): велику частину часу модулі знаходяться в режимі сну для мінімізації енергоспоживання і періодично перевіряють стан каналу; періодично модулі передають службові ширококомвні сигнальні пакети (Link-сигнали та Route-сигнали) для оцінки поточного стану мережі.

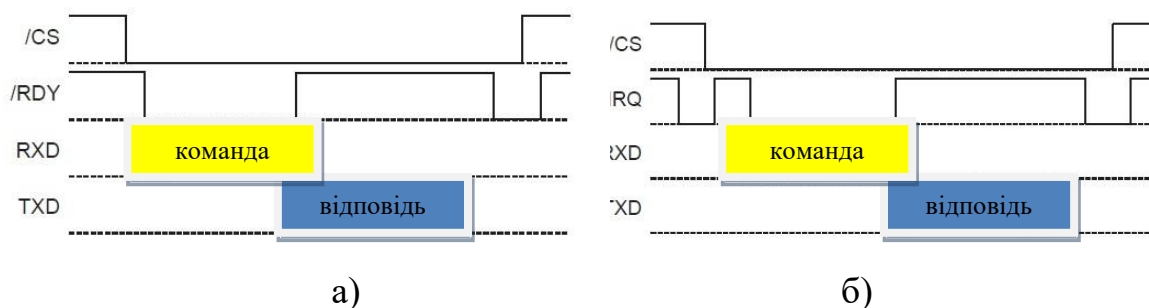


Рисунок 3.13 - Цикл передачі команди та відповіді модулем (а), читання прийнятого пакета даних (б)

Взаємодія між хост-пристроєм та модулем виконується за командним інтерфейсом в режимі управління, при цьому цикл обміну повідомленнями складається з наступних дій: хост пристрій встановлює сигнал /CS у низький рівень для активації інтерфейсу управління модуля (режим управління); про готовність прийняти команду модуль повідомляє установкою сигналу /RDY в низький рівень; дочекавшись готовності модуля, хост-пристрій передає за послідовним інтерфейсом команду; після отримання команди модуль деактивує послідовний інтерфейс, виставляє високий рівень /RDY і приступає до виконання команди; після виконання команди модуль передає відповідь і знову встановлює низький рівень сигналу /RDY, повідомляючи про готовність прийняти наступну команду; отримавши від модуля відповідь, хост-пристрій може передати наступну команду або завершити цикл обміну, встановивши сигнал /CS пасивний стан (режим очікування).

Прийом радіоканалу пакетів даних здійснюється наступним чином. У звичайному робочому режимі модуль періодично прослуховує канал і при отриманні ширококомовного пакета даних або призначеного йому адресного пакета модуль зберігає його в буфері прийому та виставляє в активний рівень сигнал переривання /IRQ, при виявленні якого хост-пристрій може прочитати прийнятий пакет. Цикл обміну має вигляд, показаний рис. 3.13(б).

При розробці БМ використовувалися радіомодулі XBee компанії Digi (рис. 3.10), що належать до класу ZigBee-модулів з уже встановленим програмним забезпеченням. При цьому передбачається, що модуль, як правило, працює під управлінням зовнішнього хост-процесора. У той же час виробник допускає завантаження в модуль власної програми користувача, яка при цьому має самостійно взаємодіяти зі стеком ZigBee, що підключається на етапі компіляції програми. Модулі дозволяють побудувати mesh-мережу, що включає сплячі та мобільні пристрої, основний режим роботи - це робота під управлінням зовнішнього мікроконтролера, що управляє модулем за допомогою простих AT-команд або впорядкованих структур даних (режим API).

ZigBee-профіль дозволяє організувати прозору передачу даних між будь-якими вузлами мережі та надає доступ до мультиплексованих цифрових (12) та аналогових (4) портів вводу/виводу на віддалених вузлах. Основними завданнями даного модуля є робота з зовнішніми датчиками, які видають значення параметрів у вигляді аналогової напруги або мають виходи з двома станами: «включено/вимкнено». Для керування зовнішніми пристроями, крім цифрових виходів, можна використовувати 2 виведення ШІМ (10 біт). Також XBee-модуль безпосередньо сполучається з будь-якими пристроями, що мають UART-інтерфейс [23]. Для керування модулем за допомогою зовнішнього мікроконтролера рекомендується включити режим API, оскільки саме він забезпечує доступ до всіх ресурсів модуля, у цьому випадку можна створювати мережні вузли, що працюють з публічними профілями, затвердженими ZigBee-альянсом.

Пропускна здатність ZigBee-мережі залежить від топології мережі, напряму передачі інформації, рівня сигналу та навіть співвідношення числа роутерів та кінцевих пристроїв. Для XBee-модулів ZB максимальна пропускна здатність приблизно дорівнює 35 кбіт/с. Незважаючи на відносно невисокі швидкості передачі, це не є критичним параметром для більшості застосувань,

для яких, власне, і розроблявся цей стандарт. У системах збору інформації з бездротових датчиків обсяг корисних даних становить десятки байт: такий обсяг не висуває високих вимог до середньої швидкості передачі даних.

Однак, крім швидкості передачі, в мережах з mesh-топологією дані будуть доходити до вузла збору інформації зі змінною затримкою, яку необхідно враховувати при ухваленні рішення про брак повідомлення і, відповідно, повторних спроб передачі. Проста віддача команди на пересилання пакета призводить до дії складного алгоритму роботи стека ZigBee (рис. 3.24).

Розглянемо основні параметри тимчасових затримок різних типів повідомлень. При подачі команди на виявлення всіх БМ в мережі (ND) в пакеті, що передається, присутня максимальна тимчасова затримка, яку можуть використовувати БМ мережі при відправці відповіді. Ця затримка необхідна для того, щоб усі модулі мережі встигли надіслати повідомлення у відповідь і ці повідомлення не заважали один одному. Ця затримка встановлюється командою NT і за промовчаням дорівнює 6 секунд. При подачі запиту ND не слід робити жодних дій, доки не пройде час NT. Чим менше вузлів у мережі, тим менше може бути значення NT. Мінімум допустимий час NT – 3,2 с. Не рекомендується розсилати ширококомовні повідомлення частіше ніж 1 раз на 8 секунд.

Під час надсилання повідомлення на віддалений БМ використовується параметр NH (максимальна кількість ретрансляцій) для встановлення максимального часу очікування відповіді. За замовчуванням значення NH - 1,6 с на одну спробу надсилання. З урахуванням того, що час передачі пакета між 2 сусідніми БМ становить 50 мс і ще 100 мс необхідно на обробку даних, встановлене за умовчанням значення NH визначає максимальну дальність 8 ретрансляцій. Якщо модуль надсилає повідомлення і не отримує відповіді від віддаленого вузла за 1,6 секунди, він автоматично робить ще 2 спроби.

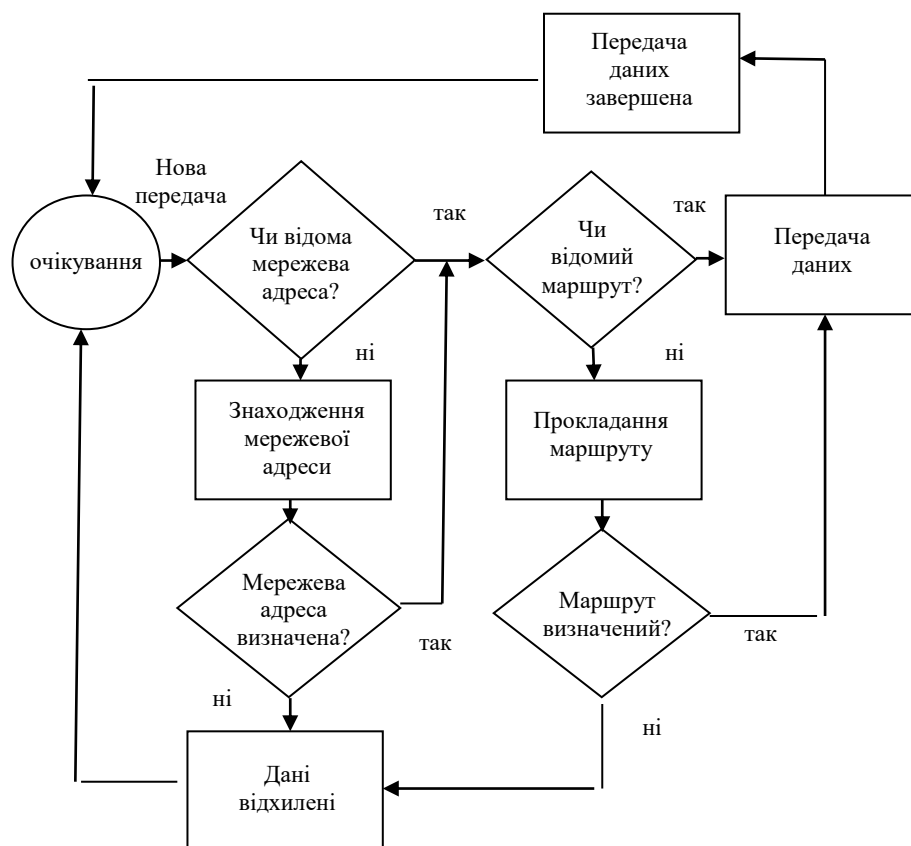


Рисунок 3.14 – Алгоритм роботи стека ZigBee

Загальний час, що відводиться стеком на доставку (з підтвердженням) одного повідомлення, буде 4,8 секунд для мережі глибиною в 8 ретрансляцій. Якщо повідомлення відправляється на сплячий кінцевий БМ, то до часу доставки ще необхідно додати час сну (параметр SP), тривалість якого може досягати десятків секунд.

Для модуля ZigBee існує три способи передачі у вигляді транзакцій. Перший відповідає за передачу даних від мережного пристрою до координатора. Другий за пересилання даних від координатора до мережевого пристрою. Третій відповідає за обмін даними між мережевими пристроями. За реалізації топології точка-точка можливе використання всіх трьох видів транзакцій передачі. Механізм кожного способу обміну даними залежить від того, чи мережа PAN підтримує передачу маяків, які необхідні для відновлення мережі.

Розглянемо перший спосіб передачі в мережі PAN з підтримкою кадрів-маяків, мережевий пристрій передає дані координатору, який намагається визначити кадр-маяк. У разі виявлення маяка, мережевий пристрій синхронізується із структурою суперкадра/інформаційного кадру. У наступний момент часу мережевий пристрій передає свій інформаційний кадр, використовуючи алгоритм CSMA-CA, координатору. Координатор підтверджує доставку шляхом надсилання кадру підтвердження.

На рис. 3.15 (а) відображено послідовність дій. Далі, при передачі координатором даних мережевого пристрою, він по мережевому маяку визначає, які дані очікують на відправку (рисунок 3.15 (б)). Для цього мережевий пристрій періодично прослуховує мережеві маяки, і якщо в черзі є повідомлення, що очікують відправлення, то з використанням механізму CSMA-CA передається MAC-команда запиту даних. Координатор підтверджує отримання запиту даних за допомогою відповідного кадру (АСК), після чого кадр, що очікує відправки, даних пересилається. Шляхом надсилання кадру підтвердження СУ підтверджує успішне отримання даних. Після чого повідомлення видаляються зі списку, що очікують відправки.

В сети PAN, каждое мережевий пристрій может обмениваться данными с любым другим устройством в пределах радиодоступности, чтобы это осуществлялось эффективно, мережевий пристрій должны синхронизовать друг друга, данная опция реализуется посредством привлечения механизма CSMA-CA.

Поле данных MAC содержит структуру суперкадра/кадра-маяка MAC/информационного кадра пояснения. Кадр-маяк MAC передается на уровень PHY в качестве блока сервисных данных - PSDU, который становится полем данных PHY, который имеет заголовок - SHR, служащий для синхронизации данных и содержащий преамбулу и разграничитель кадра - SFD, заголовок - PHR, содержит длину поля данных PHY.

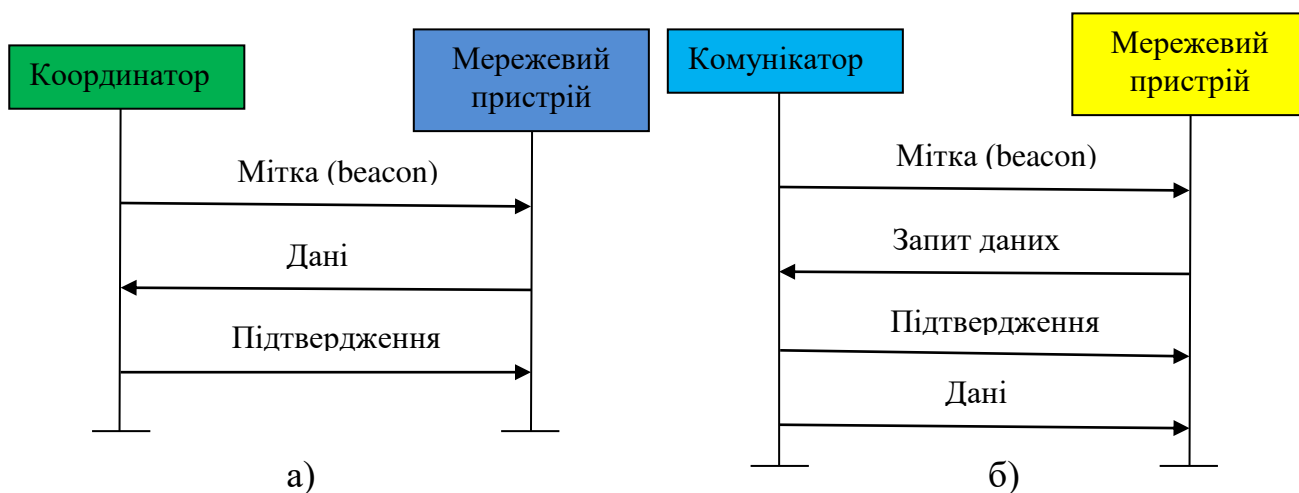


Рисунок 3.15 - Передача даних координатору в PAN (а), из коммунікатора (б)

Поля SHR, PHR и PHY образуют пакет - PSDU. Заголовок MHR, поле данных MAC и MFR образуют поле данных MAC кадра, т.е., MPDU. Данная сумма вычисляется по формуле $G16(x)=x16+x12+x5+1$, с использованием образующего полинома. MPDU передается на физический уровень PHY в виде PSDU, который становится полем данных PHY, который имеет заголовок SHR, содержащий последовательность в виде преамбулы и поля SFD, а также поля PHR, которое в свою очередь содержит значение длины поля PHY. Преамбула и поле SFD обеспечивают синхронизацию.

3.6. Аналіз триманих характеристик інформаційного потоку сенсорної мережі

Виходячи зі специфіки побудови та особливостей розміщення бездротової сенсорної мережі (БСС) (сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоків газу – СТС КВГ) на лінійній ділянці магістрального газопроводу, інформаційні потоки мережі мають таку структуру (рис. 3.16).

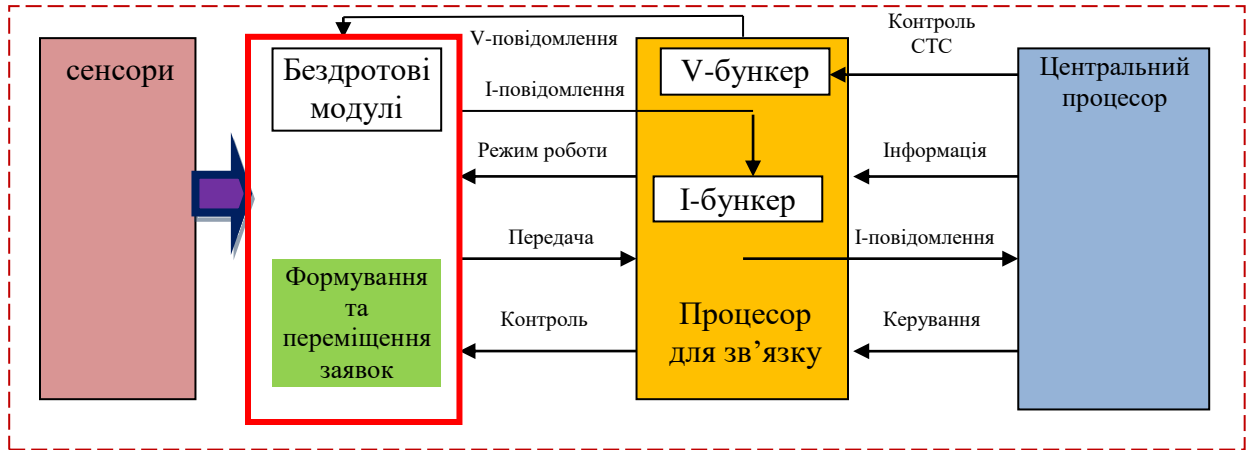


Рисунок 3.16 – Структура інформаційних потоків в сенсорній телекомунікаційній системі

Інформаційні потоки СТС включають:

а) внутрішні інформаційні потоки: V повідомлення, що надходять і - користувачам (бездротовим модулям - БМ) із зв'язкового процесора (ЗП) за допомогою технічних засобів СТС, для дистанційного керування, встановлення режимів роботи БМ та контролю системи передачі даних;

б) зовнішні інформаційні потоки: W повідомлення – інформація з АРМ, що забезпечує роботу СП, наповнення V – повідомлення, контролю працездатності СТС.

V повідомлення складається з інформації: V_n повідомлення, яке містить дані про управління та режими роботи БМ та V_k , повідомлення, що використовується для контролю передачі даних у БСС у вигляді тестових кодів, відповідно:

$$V = V_n + V_k. \quad (3.12)$$

Цикл обміну інформацією T_0 (цикл передачі даних в СТС), для збільшення ступеня достовірності інформації, що передається, розбивається, як

мінімум, на два періоди: перший T_n - період передачі інформації в мережу; другий T_k - час контролю технічного стану мережі та прийому інформації від i - користувачів, а саме, даних від сенсорів:

$$T_0 = T_n + T_k. \quad (3.13)$$

Оскільки в СТС за період T_{ni} – користувачеві пред'являється V_n – повідомлення: основна інформація у вигляді повідомлення та допоміжна інформація – у вигляді пояснення за допомогою БСС та р-заявки – що характеризують роботу автоматизованого робочого місця оператора системи, у термінах системи масового обслуговування це матриця P_{ni} .

V_k інформація, що циркулює у мережі в T_k періоді, бере участь у режимі контролю передачі у вигляді набору тестового коду, який необхідний для контролю працездатності СТС. У цей період формуються t-заявки, тобто. вимірювана інформація від сенсорів мережі (або інформація з перспективних пристроїв), у вигляді матриці P_{pk} .

Загальна схема організації ПЗ представлена рс 3.17. Основне призначення програмних модулів ЕС та їх функції:

- модуль введення, коригування, видалення інформації про характеристики апаратних засобів, здійснює введення даних; збереження введених даних у БД; перевірку коректності введених даних; коригування наявних даних; видалення наявних даних;

- модуль розрахунку експертних оцінок та отримання вагових коефіцієнтів для характеристик технічних засобів, що здійснює введення експертних оцінок важливості груп характеристик; введення експертних оцінок важливості характеристик групи, якій вони належать; введення експертних оцінок характеристик кожного апаратного засобу; розрахунок експертних

оцінок та отримання вагових коефіцієнтів характеристик для кожного технічного засобу; запис у БД отриманих результатів;

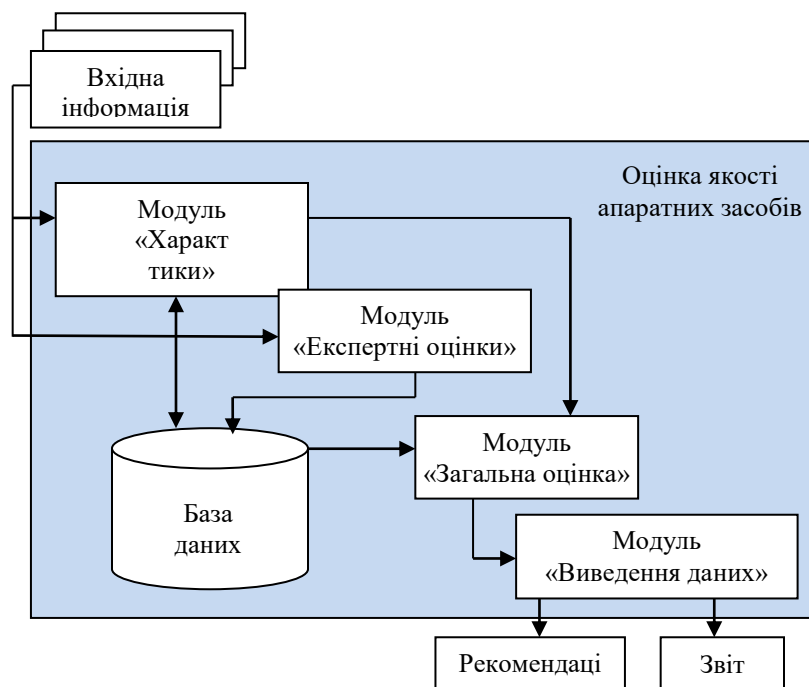


Рисунок 3.17 – Функціональна схема інформаційно-діагностичної системи

- модуль оцінки якості апаратних засобів, здійснює вибір із запропонованого списку апаратних засобів тих, серед яких необхідно вибрати найкраще; вибір із запропонованого списків підстилаючих поверхонь; виведення результату розрахунку у вигляді таблиць; видача рекомендацій щодо вибору технічних засобів, для прийняття управлінських рішень;

- модуль виведення отриманих результатів у вигляді діаграм та звітів, здійснює формування та виведення результатів оцінки у вигляді діаграм; формування та виведення звіту про результати оцінки; збереження звіту; виведення звіту на друк.

У розробленій телекомунікаційній системі для вибору найбільш ефективних апаратних засобів, що використовують у СТС, зrealізований такий алгоритм, що ґрунтується на оцінці числових X та функціональних Y

параметрів - більше значення відповідає кращому апаратному засобу. Функціональним параметрам надаються числові експертні коефіцієнти (ЕК). Основними характеристиками, якими буде звістка оцінка технічних засобів СТС є: кількісні характеристики (технічні параметри типу: обсяг пам'яті, кількість аналізованих параметрів, час обчислення чи реакції, та інші параметри типу: похибка, чутливість, діапазон, надійність, споживана потужність та інших.); якісні характеристики (функціональність, експлуатаційні вимоги, інформаційні вимоги).

У цьому алгоритмі застосовується експертна оцінка (ЕО) кожної характеристики кожного АС. Для того, щоб ЕО була справедливою і вірною, як альтернативний метод оцінювання був обраний метод аналізу ієрархій, який заснований на парних порівняннях між собою альтернатив і критеріїв. На першому етапі необхідно визначитися із двома списками.

У першому списку буде відображено всі альтернативи, тобто. між чим і чим ми робимо свій вибір. У другому списку буде представлена інформація, за якими ознаками/критеріями ми робимо свій вибір.

Наступний етап - визначення ступеня важливості перерахованих критеріїв, при цьому за шкалою від 1 до 9, роблять парні порівняння всіх критеріїв. На наступному етапі - за шкалою від 1 до 9 проводять парні порівняння всіх альтернатив по кожному з критеріїв. Після отримання всіх експертних результатів у вигляді відповідей на поставлені питання дані обробляються, і всі альтернативи отримують свою оцінку і відповідно сходінку в ієрархії. На останньому етапі експерт робить свій вибір, ґрунтуючись на отриманій ієрархії альтернатив. Блок-схема процесу оцінки КАС представлена на рис. 3.18. Після запуску системи оператором відбувається введення експертних оцінок (якщо це необхідно або нового апаратного засобу).

ПК здійснює експертну оцінку характеристик апаратних засобів, оцінка їх важливості та оцінка важливості груп, яким апаратні засоби належать. Отримані

результати можна зберегти у БД. Далі оператор вибирає апаратні засоби, якість яких потрібно порівняти. Також вибирає тип поверхні, що підстилає, в умовах якої буде експлуатуватися обраний апаратний засіб. Потім ПК проводить оцінку КАС. Результати наводяться в таблиці, які можна переглянути в залежності від вибраного пункту виведення результатів. Результатом роботи є: рекомендації щодо вибору апаратного засобу; діаграми із результатами оцінки; звіт.

Інтерфейс ЕС містить кілька форм, які дозволяють відображати різні критерії, що використовуються для оцінки КАС. При натисканні кнопки «Технічні засоби» користувач може переглядати характеристики обраного апаратного засобу, вибирати необхідну групу характеристик, переглядати і редагувати її зміст, додавати нові засоби в БД.

При проведенні моніторингу газопроводів БМ необхідно вибрати апаратні засоби (наприклад, датчики виявлення концентрації метану, приймально-передавальні пристрої та ін. пристрої), які дозволять значно підвищити достовірність даних і ефективність роботи з виявлення витоків газу. покращеними експлуатаційними можливостями та технічними характеристиками. На основі вище наведених алгоритмів та за допомогою ПЗ, наведемо приклад вибору датчика виявлення витоків метану з 5-ти аналізованих, це MSH-P-NC (виробник Dynament), CH-A3 (Alpasense), МІП ВГ-02 (Optosense), HS- 131 (Sencera), TGS2611 (Figaro).

Підсистема виведення – відображає результати обробки даних на екрані у вигляді графіків, таблиць, картографічної інформації.

Підсистема довідки та допомоги - забезпечує користувача ПЗ довідковою інформацією, підказками, системними повідомленнями, які полегшать роботу користувача. Містить короткий посібник користувача.

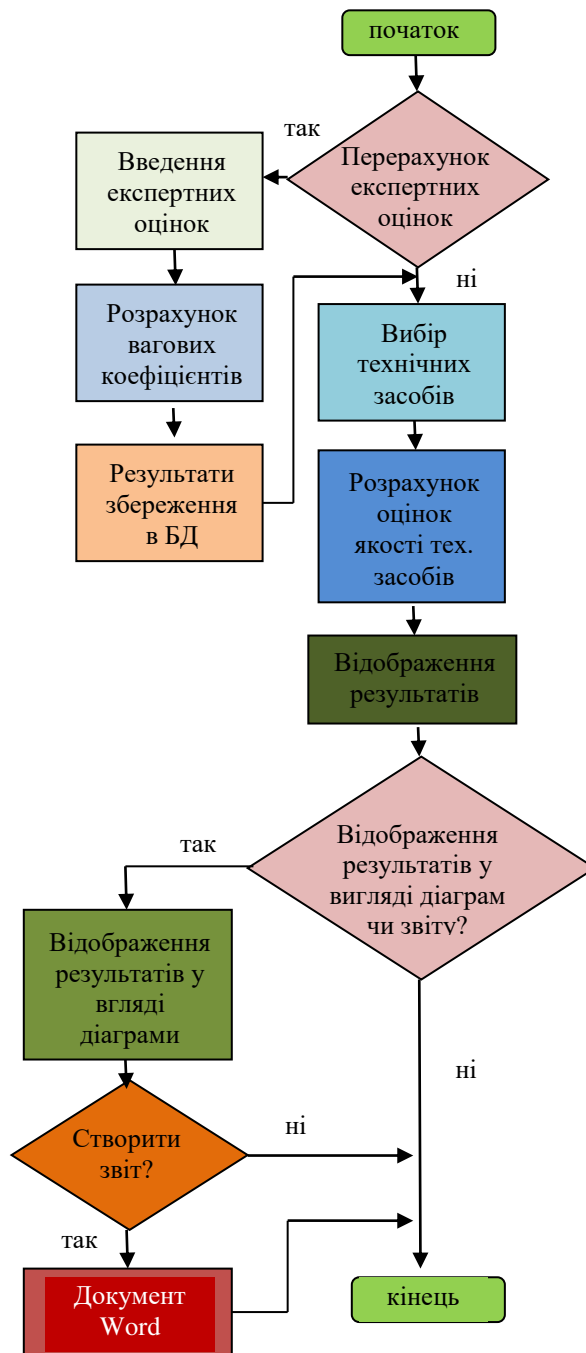


Рисунок 3.18 - Алгоритм моделі процесу оцінки якості технічних засобів

Завершальним етапом є побудова організаційно-функціональної структури телекомунікаційної системи контролю витoku газу з газопроводу (рис. 3.19).

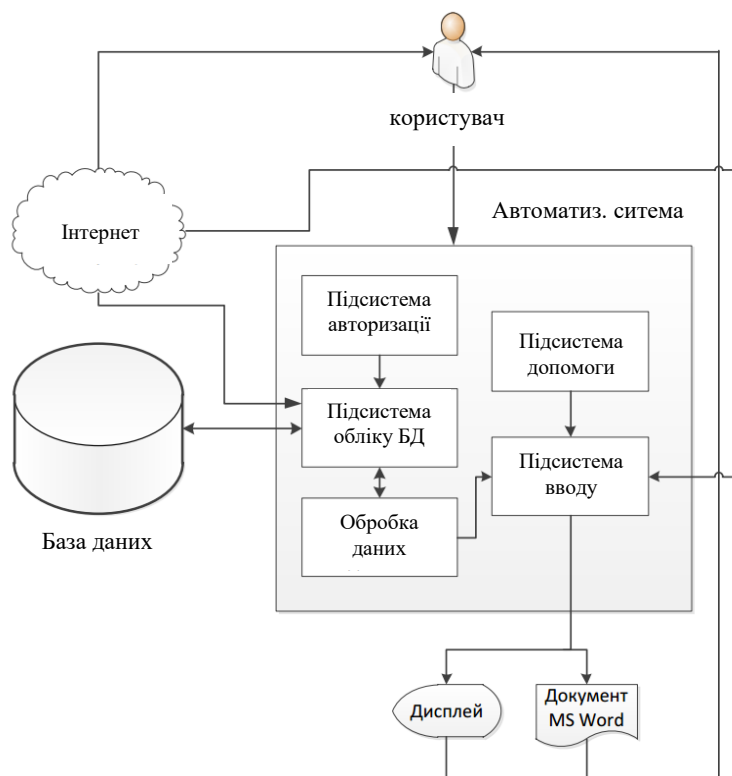


Рисунок 3.19 - Організаційно-функціональна структура телекомунікаційної системи контролю витоку газу з газопроводу

3.9. Висновки за розділом

Наведено узагальнену структуру бездротового модуля, що дозволяє виявляти витоки газу та фіксувати час виявлення пошкодження газопроводу.

Вибрано основні елементи ДВМ та описано метод виявлення витоку метану, що дозволило розрахувати концентрації газів у вертикальному та горизонтальному перерізі хмари метану. Описаний спосіб передачі інформації в сенсорній мережі.

Побудована організаційно-функціональна структура телекомунікаційної системи контролю витоку газу з газопроводу.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи магістра, вкнано:

Проведений аналіз газотранспортної системи України, дослідження видів та причин дефектів та пошкоджень, існуючих методів та засобів контролю газопроводів показав, що через тривалий термін експлуатації газопроводів, надійність даних об'єктів перебуває у критичному стані.

Для ефективного вирішення питання застосування сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоків газу з газової магістралі на основі бездротових модулів було досліджено концепцію побудови СТС відповідно до вимог цифрового відкритого стандарту бездротового зв'язку ZigBee та вимог до апаратно-програмних засобів, що використовуються в даній системі.

Розроблена модель за допомогою CASE-засобу, яка допомогла візуалізувати структуру та забезпечити ефективний процес діагностування та моніторингу технічного стану газопроводів.

Розроблена структура моделі сенсорної мережі, дозволила використовуючи можливості діаграми IDEF0, графічно відобразити зв'язки, потоки даних між елементами системи та зовнішнім середовищем, що відбуваються в системі.

На основі аналізу обчислювальних засобів СМО було проведено аналітичну оцінку СТС, що сприяло оптимальному застосуванню телекомунікаційної системи та покращенню функції управління процесом обміну та перетворення інформації між різними пристроями.

Наведено узагальнену структуру бездротового модуля, що дозволяє виявляти виток газу та фіксувати час виявлення пошкодження газопроводу.

Вибрано основні елементи ДВМ та описано метод виявлення витoku метану, що дозволило розрахувати концентрації газів у вертикальному та

горизонтальному перерізі хмари метану. Описаний спосіб передачі інформації в сенсорній мережі.

Побудована організаційно-функціональна структура телекомунікаційної системи контролю витоку газу з газопроводу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грудз В.Я., Грудз Я.В., Боднар В.М., Самсоненко В.В. Прогнозування ремонтних робіт магістральних газопроводів в умовах централізованої системи обслуговування. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2018. №3(68). С. 31 – 38.

2. Технологія ремонту газового обладнання і трубопровідних систем: монографія / І. І. Капцов, В. Г. Котух, Ю. В. Пахомов; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 232 с.

3. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://tsoua.com/news/nadijnist-ukrayinskoyi-gts-zabezpechuye-vchasna-vnutrishnotrubna-diagnostyka/>

4. Соловійов О.Б. Проведення внутрішньотрубної діагностики прикордонних ділянок магістральних газопроводів Сумського ЛВУМГ МГ "Київтрансгаз" / О.Б. Соловійов // Підвищення надійності та ефективності роботи лінійної частини магістральних газопроводів газотранспортної системи ДК «Укртрансгаз». – Київ: НВЦ «Техдіагаз», 2012. – С. 86 – 92.

5. Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.ndt.com.ua/ru/products/ut/flaw-detectors?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIx6eC9rDoiQMVyWtBAh1hOADzEAAAYASAAEgLNDBwE

6. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем: навчальний посібник / за ред. В. С. Авраменко, А.С. Авраменко. Черкаси: Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

7. Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.lucidchart.com/pages/landing/process-map-software?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=chart_en_tier3_desktop_search_nb_exact-

14. Rhodes R., Marsh D. Policy Network in British Politics. A Critique of Existing Approaches // Policy Network in British Government / Ed. By D. Marsh and R. Rhodes. – Oxford : Clarendon Press, 1992.

15. Базильський А.А., Янковський О.А., Дяченко В.О. Моделі представлення елементів систем масового обслуговування // Проблеми інформатизації. Тези доповідей восьмої міжнародної науково-технічної конференції / Черкаси-Харків-Баку-Бельсько-Бяла, 2020 – Т1.– С.47.

16. Методи оптимізації та дослідження операцій [Текст] : навчальний посібник /Укладачі: Я. Б. Сікора, А.Й. Щехорський, Б.Л. Якимчук. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2019. – 148 с.

17. Лукінюк М.В., Лукін В.Є., Шворов С.А., Гладкий А.М., Гунченко Ю.О., Ємельянов П.С. Контрольно-вимірювальні прилади систем керування / Лукінюк М.В., Лукін В.Є., Шворов С.А., Гладкий А.М., Гунченко Ю.О., Ємельянов П.С. – К.: «Видавництво “Науковий світ”».2016. – 649 с.

18. Powers J.M. Lecture notes on gas dynamics. Notre Dame, Indiana, USA: University of Notre Dame. 2019. 166 p.

19. Дерев'янка О.А., Бондаренко С.М., Антошкін О.А., Мурін М.М., Могильніков О.М. Автоматика для запобігання вибухам та пожежам Посібник / Дерев'янка О.А. та інш. – Харків: АЦЗУ, 2006. – 279 с.

20. Електронний ресурс. Режим доступу: [https://ua.allelcoelec.com/productdetails/Ramtron\(Cypress-Semiconductor\)/fm1114-qg.html](https://ua.allelcoelec.com/productdetails/Ramtron(Cypress-Semiconductor)/fm1114-qg.html)

21. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/vymohy-do-zakhystu-informatsii-v-informatsiinykh-systemakh-u-voieny-yi-chas-roziasnennia-derzhspetsviazku>

22. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://sites.google.com/view/vovkpetro>

23. Електронний ресурс. Режим доступу:

<https://itmaster.biz.ua/directory/standarts/uart.html>

24. Дорошенко Я. В. та ін., «Застосування сучасних програмних комплексів комп'ютерного моделювання для підвищення якості проектування та спорудження трубопроводів,» Науковий вісник ІФНТУНГ, № 2 (24), с. 117-120, 2010.

25. Електромагнітна сумісність радіоелектронної апаратури./ Іванов В. О., Габрусенко Є. І., Ільницький Л. Я., Щербіна О. А – К.: НАУ, 2014. – 312 с.

26. Williams T. EMC for Product Designers. Fifth Edition – Newnes, 2016. – 564 p.

ДОДАТКИ

1. ANALYTICAL PART

1.2. Analysis of methods and means of monitoring the technical condition of the gas pipeline

The influence of the age factor is inevitable [1], from this we can conclude that the nature of defects in gas pipelines will have the form of a "tunnel characteristic", that is, in the first ten years, technological factors have passed, after their elimination, the accident rate decreases, but the age factor begins to affect. Due to the age factor (and this is mainly due to corrosion and stress corrosion), the number of technical failures of gas pipelines increases, and at the end of the term, about 30-50 years, the operation of such gas pipelines becomes very dangerous. This is confirmed by the dynamics of the accident rate on MR, which has been continuously increasing in recent years due to corrosion [1].

The main cause of defects is the quality of insulation and its thickness. The better the quality of pipe insulation, the higher the protective properties, the longer the service life of the gas pipeline. Over time, anti-corrosion insulation decreases.

When corrosion cavities reach a diameter of 30-40 mm and a depth of 4-5 mm with a wall thickness of 9-10 mm, such corrosion becomes dangerous.

Metal cracks under tension - the so-called stress corrosion cracks - are located mainly in the lower part of the pipe cross-section.

The rate of growth of the depth of stress corrosion is from 0.15 to 1.5 mm/year. And it can be accompanied by the interaction and merging of neighboring cracks. The size of the developing crack can reach a critical state until the bearing capacity of the defective pipe is lost [2].

Metal loss defects include both corrosion defects and mechanical damage received during transportation, as well as during construction and installation work and operation of pipes. Any crack that occurs due to accidental damage can develop

(for example, due to a drop in climatic temperatures, pumping pressure in the gas pipeline, possibly additional external load by bending moment) and cause significant destruction due to the large elastic energy of the gas pipeline. Especially often, destruction for this reason occurs during pre-commissioning tests.

Operational defects: from the second metal; corrosion; surface tears due to a single application of stress; mechanical - notches, dents, etc.

With the advent of in-pipe diagnostics [3], many predicted that all other methods and means of diagnosis would disappear very quickly. This did not happen for two reasons: the first - the very high costs of performing in-pipe diagnostics; the second - the information stored with the help of these means, which provides incomplete diagnostics of the gas pipeline. Therefore, other areas of monitoring continue to develop successfully. Ground-based means of monitoring linear sections of gas pipelines do not have great prospects.



Figure 1.1 - Basic methods and means of monitoring gas pipelines

This is due to the emergence of wireless sensor networks (WSN), i.e. the installation of various sensors both directly on the pipeline and near it, and information from them is transmitted via various wireless communication channels (in the radio or optical range) over long distances.

WSN easily solves the problem of total control of all linear sections of gas pipelines. The monitoring results will be concentrated on operator stations located at compressor stations. In the future, these WSNs will be equipped, in addition to sensors, with video cameras, which will finally solve the problem of total video surveillance of all linear sections of gas pipelines, and ultimately, all objects and structures of main gas pipelines and even gas pipelines located in settlements.

The development of complex gas pipeline monitoring systems is relevant, namely laser, ground-based and mobile measurements (by means of small aircraft), however, during the military aggression of Russia this is technically impossible.

Therefore, the information presented in Fig. 1.1 will be expanded by the use of BSM, and in the methods and techniques, remote gas pipeline monitoring systems will be reduced, which include aerospace and laser methods, thermal and radar methods of gas pipeline inspection due to their high cost and limited effectiveness.

Obviously, the ground method, using BSM, should be used in places where the use of remote methods is inefficient, these are: crossings over various obstacles (roads, water areas, complex terrain, etc.) and the location of gas pipelines near settlements. In addition, the use of BSM as reference points, especially when using thermal imaging and television devices, will significantly increase the accuracy of the inspection.

1.2. The use of wireless sensor networks in the gas transportation industry

Today, the most effective are remote methods for detecting gas leaks (from a helicopter), using laser and thermal imaging devices, but their low efficiency, mainly

due to the periodic nature of control, requires the development of new methods and devices. And during the armed aggression of the Russian Federation against Ukraine, it is extremely dangerous.

The most promising direction for introducing technical means into the process of monitoring gas pipelines is the development of specialized telecommunication technical means, in this case autonomous devices that use a radio channel to transmit information. When solving this problem, the choice of the structure of such means is important. The basis of this structure should be the principles of a typical, and even desirable, standard technical complex of means based on wireless sensor networks (WSN) [3], oriented entirely to the specifics of use in the gas transportation industry. Only such an approach, in the end, will give the desired results of automating the process of monitoring leaks from gas pipelines.

The main principles used when designing the structure of a sensor telecommunication system (STS) for monitoring gas leaks from gas pipelines are as follows:

- a systematic approach to designing the structure of a telecommunication system;
- multifunctionality (flexibility);
- modularity and standardization;
- universality in relation to computing resources;
- territorial distribution.

The principle of multifunctionality, embedded in the structure of the STS, will allow the implementation of several technical tasks by one device during the operation of the telecommunication system, and therefore, will allow increasing the efficiency of gas pipeline monitoring.

Among these tasks are simple ones - detection of methane leaks and control of equipment performance, increasing the service life of the power supply system and increasing the maintenance interval; and complex ones - transmission and control of

information in the network, adaptive control of the power supply system by changing the information exchange algorithm, accounting for external factors, adaptive control of the operating mode taking into account the season, time of day and weather conditions.

The degree of multifunctionality of technical means is directly dependent on both the nature of the grouped tasks and their properties. For example, when installing a digital camera, one can judge by the photo whether unauthorized persons have entered the gas pipelines, and by the flag on the photo about the wind parameters (speed, direction). However, multifunctionality does not mean simple arithmetic addition of the functional components of the system. Multifunctionality carries the possibility of solving various functions with a minimum number of components (nodes, elements, etc.). In the process of designing a STS, it is necessary to formalize the data exchange structure, or to provide the ability to emulate networks for technical means of different types of devices and computers. The simplest way is to formalize the data exchange structure, although this will significantly increase the time for exchanging information flows between the STS and the computer, but due to the fact that such exchange will be episodic, it will not significantly affect the time for servicing applications.

k – information flows.

This approach will allow to implement such means practically on any sections of gas pipelines, both in NJSC "Naftogaz" and in the housing and communal services system, and in the future, there will be no need for significant reconstruction of the telecommunications system. The principle of universality also proceeds from the fact that the moral obsolescence of modern hardware and software of BSM is usually less than 10 years, due to its rapid development, while the technical means used in the technological process of gas transportation through gas pipelines should be designed for operation for a long time, preferably comparable to the service life of pipelines, which is tens of years.

The length and branching of gas pipelines, their passage through difficult territories and the lack of transport communication limits the application of many standard methods of diagnosing the technical condition of highways. The solution to this problem is to introduce, in addition to existing methods and means, a distributed network of additional devices that, without violating the technological modes of operation of gas communications, would allow real-time monitoring of gas leakage from gas transmission network facilities and transmitting this information using wireless telecommunication technologies.

The creation of a typical STS structure is possible only on the basis of an organic merger of the capabilities of existing structures of complexes of technical means of communication, computing equipment and requirements for their functioning and operation in a complex gas transmission system. These requirements can be divided into four main groups: functional; software technical and operational.

Functional requirements include:

- automatic measurement of the concentration level of gas leakage; accurate binding of the location of damage to gas pipeline facilities, based on information on the detected gas leak and meteorological data;
- transmission, storage, systematization and analytical processing of information on the technical condition of gas pipeline facilities;
- operational reconfigurability of the STS, for several tasks (the ability to connect various sensors and others);
- high reliability of information exchange with the computer, which is determined by the noise immunity of the communication channel and the operation of information storage devices;
- automatic control of operating modes - adaptive characteristics;
- low-power transceivers;
- reliability and fault tolerance of the STS.

Functional requirements for the STS should expand the possibilities of improving the quality of technical control of the operability of gas pipelines due to: continuity of control - round-the-clock and all-season control mode; automatic control - continuity of control can be implemented only if there is an automatic mode of operation of technical means.

The technical and operational capabilities of the STS and the complex of hardware and software tools must be interconnected and, accordingly, considered together, including:

- high reliability of operation;
- combination with any type of computer;
- software compatibility;
- high transmission speed;
- standardization and unification of the main nodes;
- high maintainability;
- ease of operation and maintenance.

The non-basic requirements include economic requirements: low cost; minimum number of service personnel, especially highly qualified; high efficiency of use, which is determined by the possibility of using various sensors and other gadgets.

A system for automatic monitoring of the main gas pipeline using wireless modules (BM) is proposed for use. The system (Fig. 1.2) consists of two identical branches with N number of BMs, each branch covers half the distance (on average 50 km) to the next and previous compressor stations (CS), while the first BM of each branch is installed near the computer and is connected to the computer via the USB interface. The computers are placed on the CS and equipped with a software package.

The proposed system is designed for continuous monitoring of the state of the gas pipeline by detecting leaks of transported gas using local control devices of the BM located near the gas pipeline and connected wirelessly into a monitoring system.

The STS is responsible for ensuring gas pipeline monitoring in accordance with the above requirements. If necessary, an autonomous control complex can be created as part of one STS branch and a microcomputer. This structure allows: to concentrate all of the above requirements on one specialized complex of technical means of the telecommunications system, to standardize technical means, either by creating several different types of STS separately for each task, or by combining some forms in one type of STS. Therefore, the complex of technical means can be given the functions of a typical FSS structure, which will allow to concentrate maximum efforts on developing the capabilities of the FSS, and therefore increase the efficiency of the STS as a whole.

1.3. Conclusions by section and statement of the research task

The analysis of the gas transportation system of Ukraine, the study of the types and causes of defects and damage, existing methods and means of monitoring gas pipelines showed that due to the long service life of gas pipelines, the reliability of these facilities is in a critical state, while the industry does not produce effective means to increase it. For the most part, the problem is solved by replacing defective sections of gas pipelines.

Effective are real-time monitoring tools based on gas leak detectors, which can be installed along gas pipelines for diagnostics; these systems take into account the specifics of the diagnostic object, measured characteristics and parameters. Hence, the task of developing such a system that is capable of solving the existing problem in a comprehensive manner becomes relevant.

Existing advanced achievements in the field of telecommunications, namely effective distributed wireless communication networks, are able to provide operational communication and transmit technological information between the main objects responsible for diagnosing the gas transportation system - wireless modules,

and the personnel of the gas transportation enterprise can make management decisions in the event of an emergency situation, for example, when a gas leak is detected.

The telecommunications system will allow for the creation of centralized management of control system resources in order to increase its effective operation.

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ВИТОКУ
ГАЗУ З ГАЗОПРОВОДУ

Кваліфікаційна робота магістра

Виконав:

В. І. РОМАНЕНКО

Керівник:

д.т.н., професор

В.П. ЛИСЕЧКО

Полтава 2025

Основні напрямки діагностики

Визначення
дефектів
геометрії та
порушення

Обстеження
стану ізоляції

Виявлення
витоків газу

Обстеження
стану магістралі

Обстеження
трубопровідної
арматури

Обстеження
структурних
елементів
магістралі

Оцінка
надійності

Обстеження
газорозподільчої
системи

Основні методи обстеження

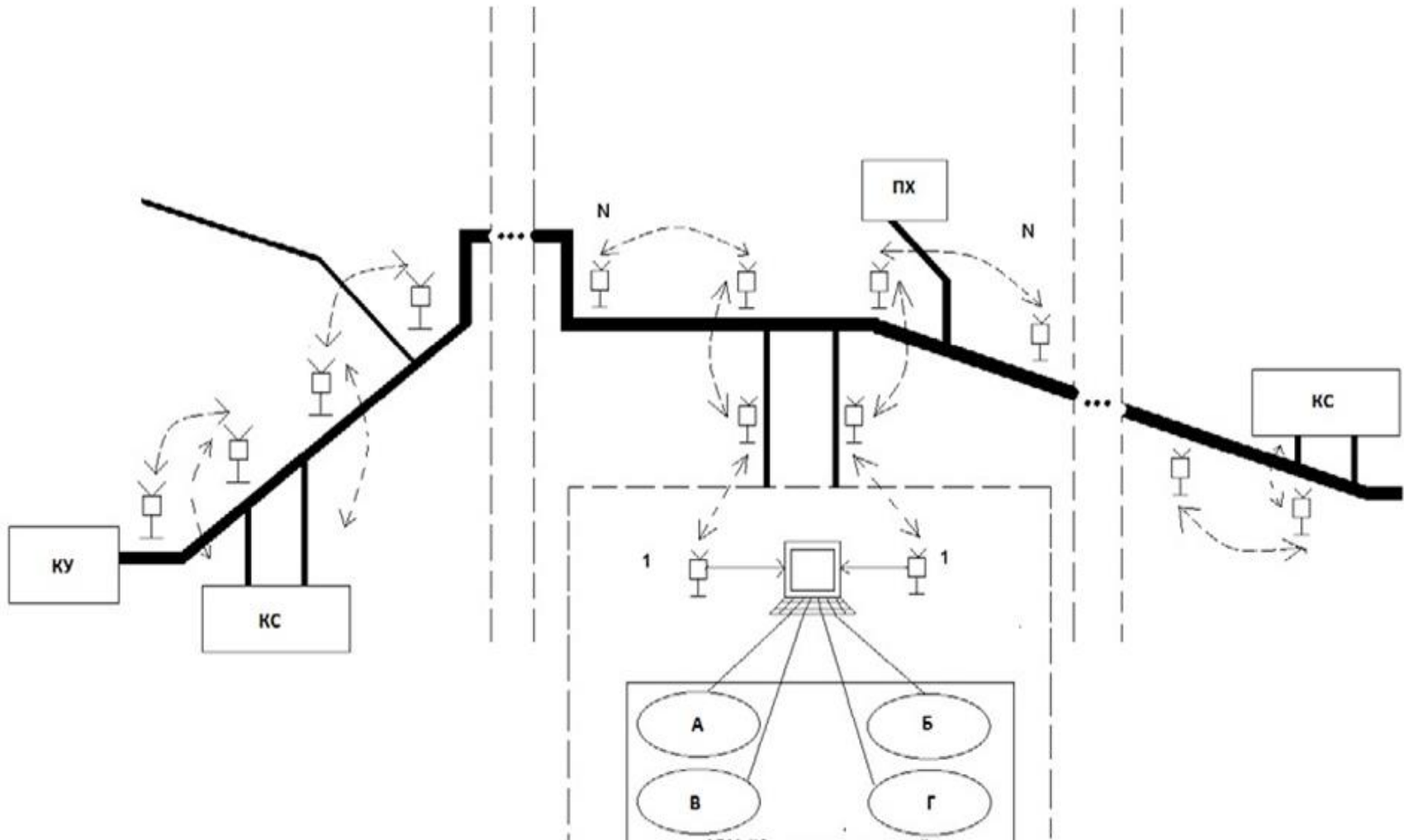
Магнітні та
ультразвукові

Елетрометрія та
магнітометрія

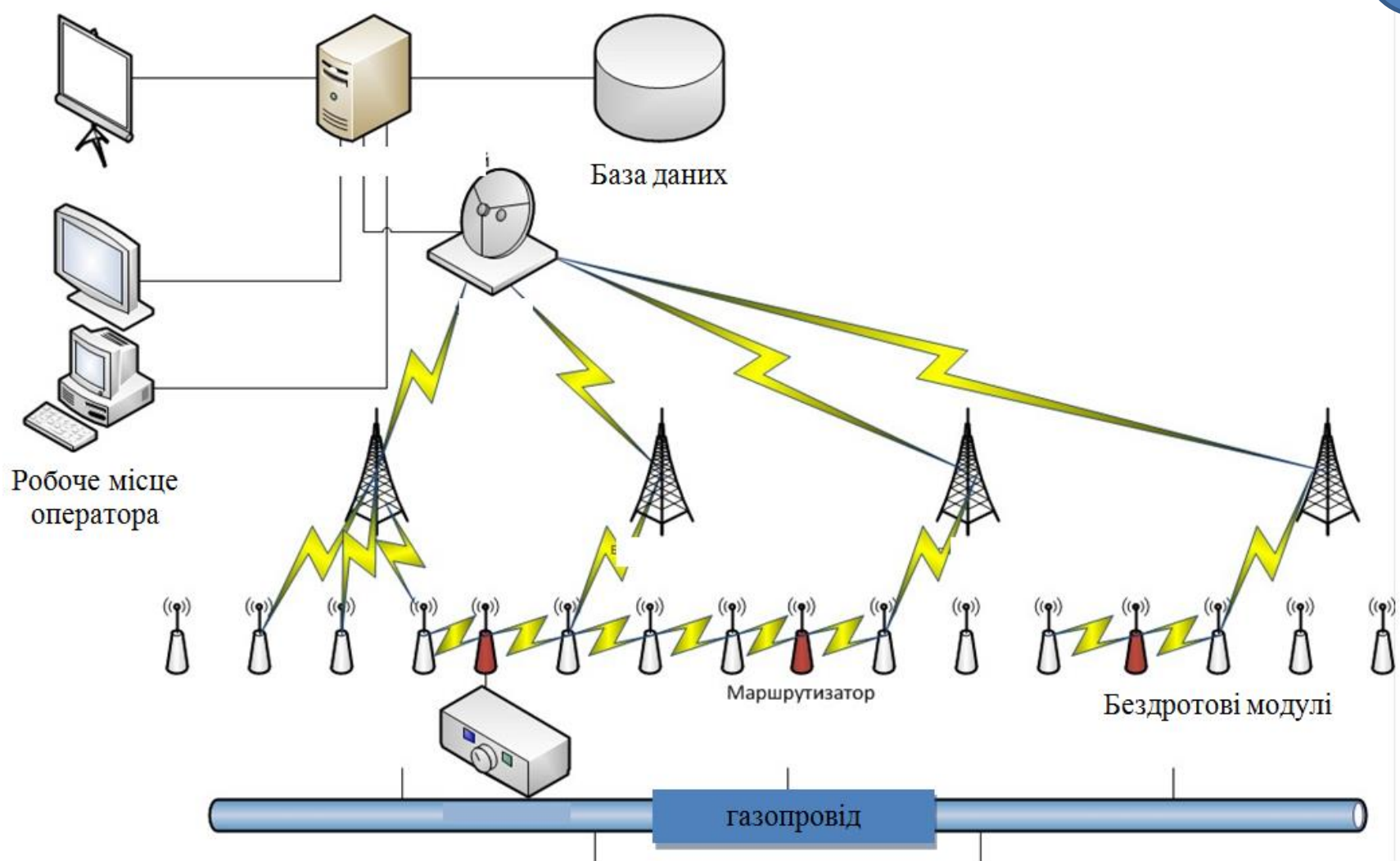
Акустичний
метод

Лазерний та
тепловий методи

Основні методи та засоби моніторингу газопроводів



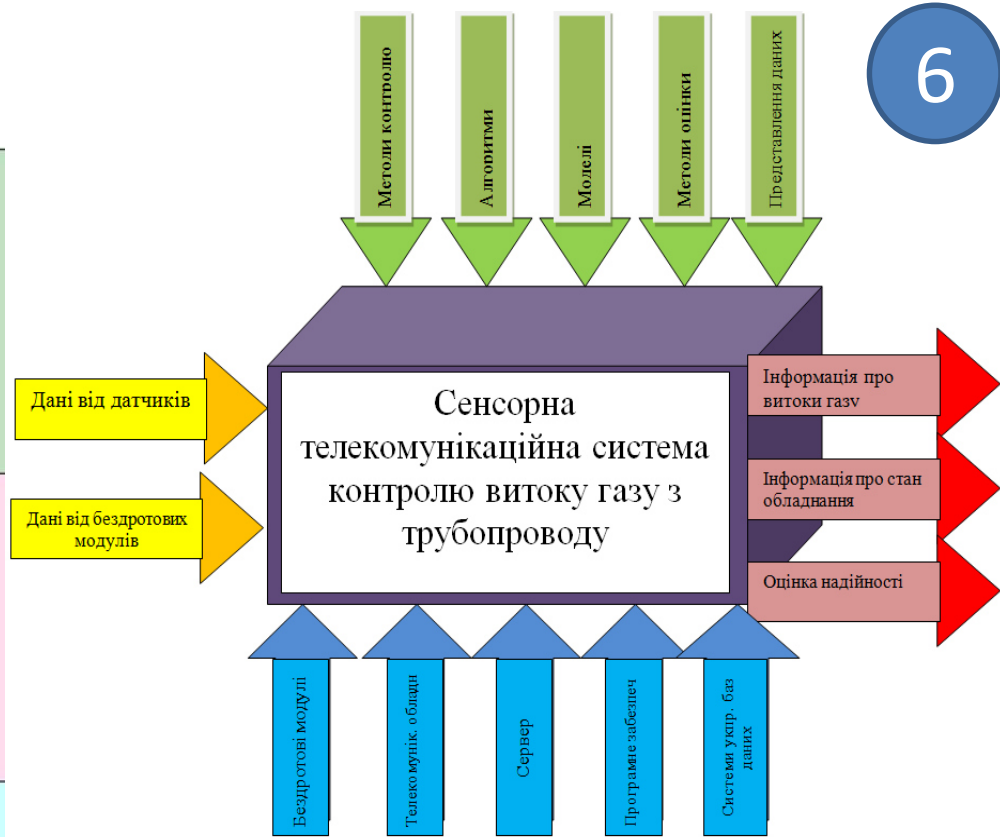
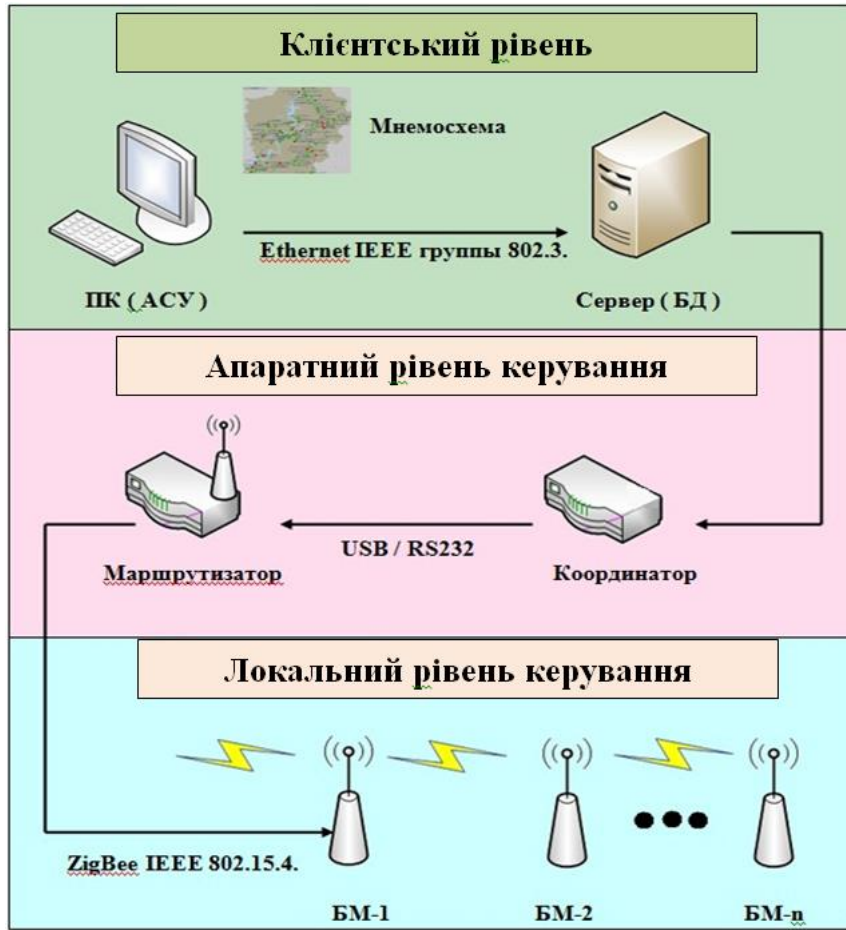
Архітектура системи моніторингу газопроводів



Узагальнена схема телекомунікаційної системи контролю витoku газу

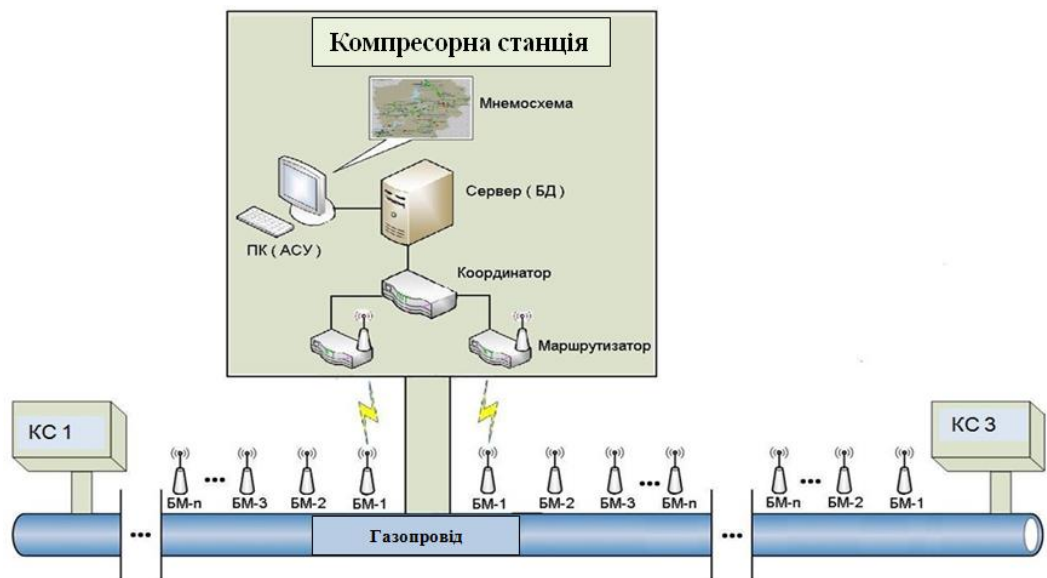


Основні рівні керування сенсорної телекомунікаційною системою контролю витоку газу



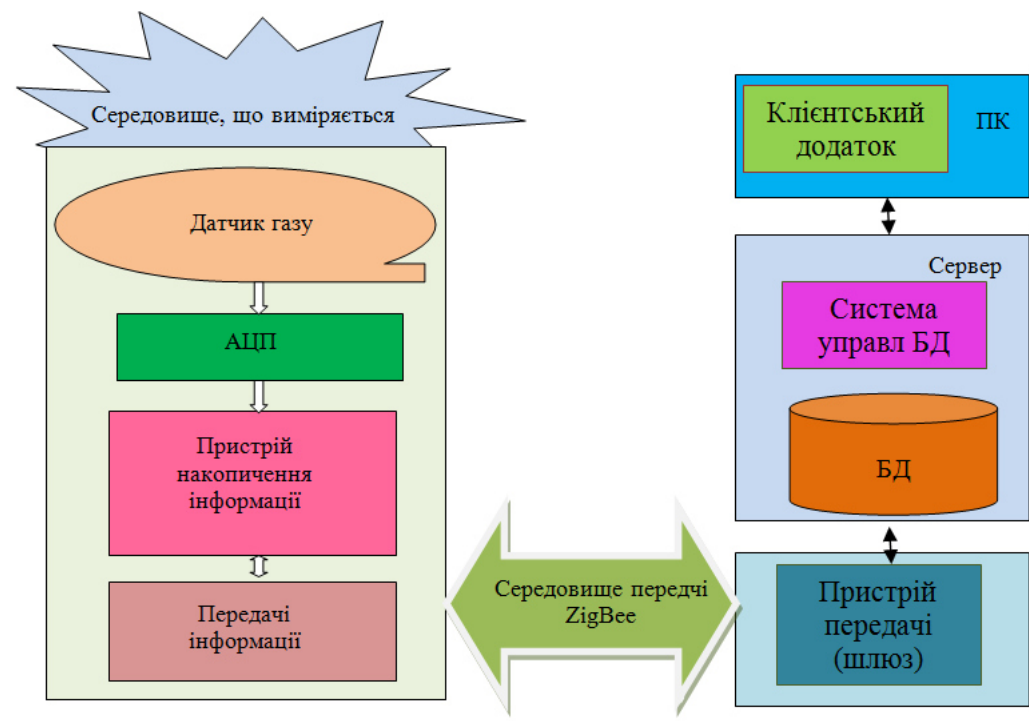
Функціональна структура сенсорної телекомунікаційної системи контролю витоку газу з газопроводів

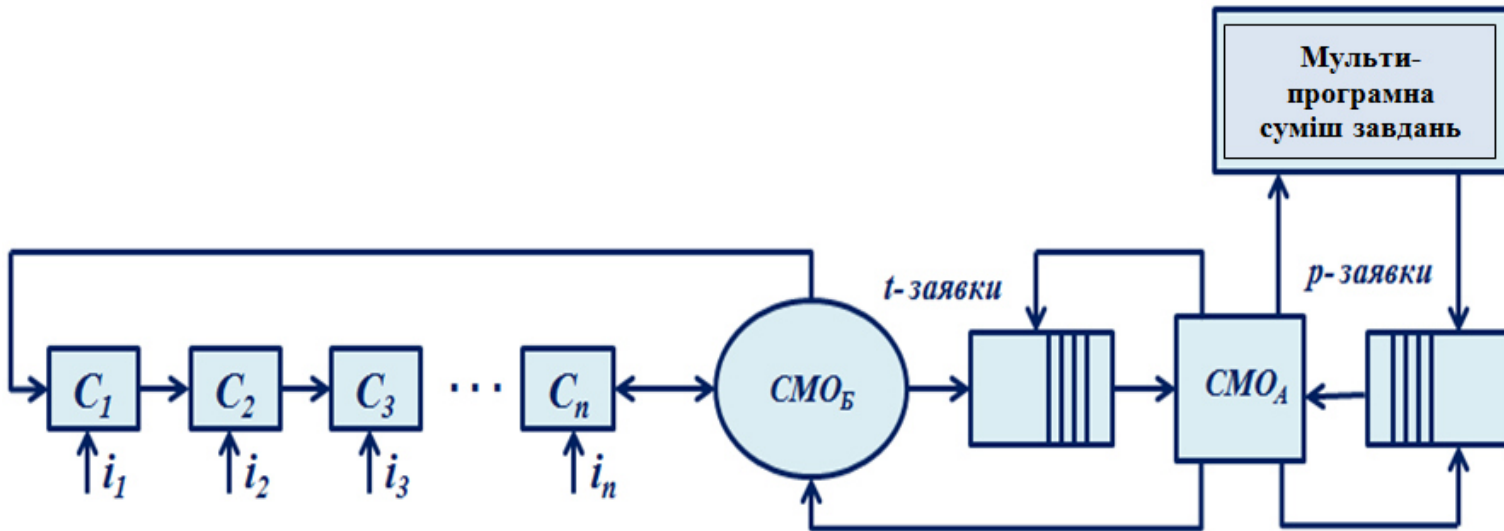
Архітектура сенсорної телекомунікаційної системи з урахуванням рівнів керування



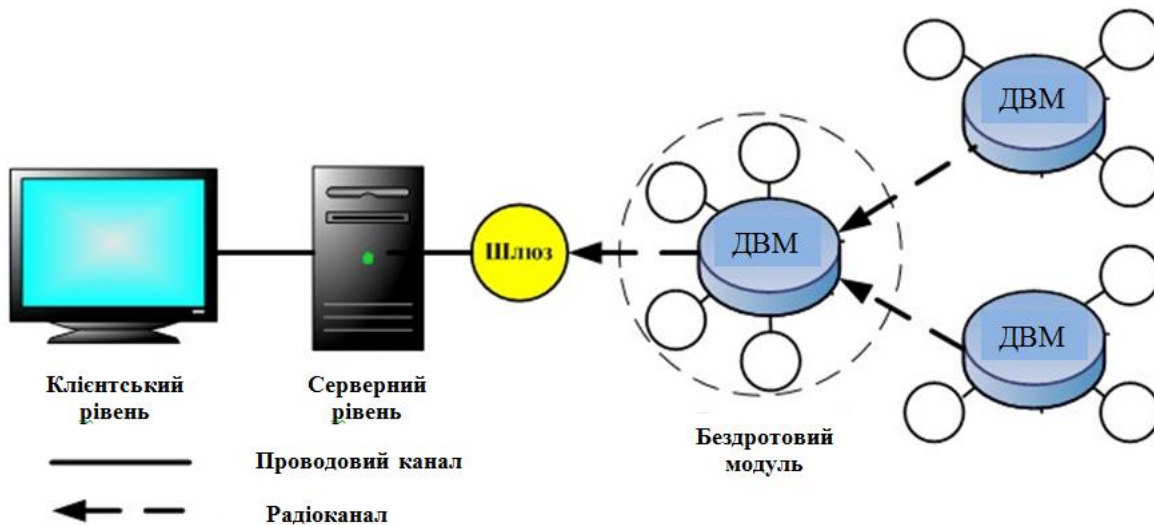
Узагальнена структура сенсорної телекомунікаційної системи контролю витoku газу

Схема архітектури телекомунікаційної системи





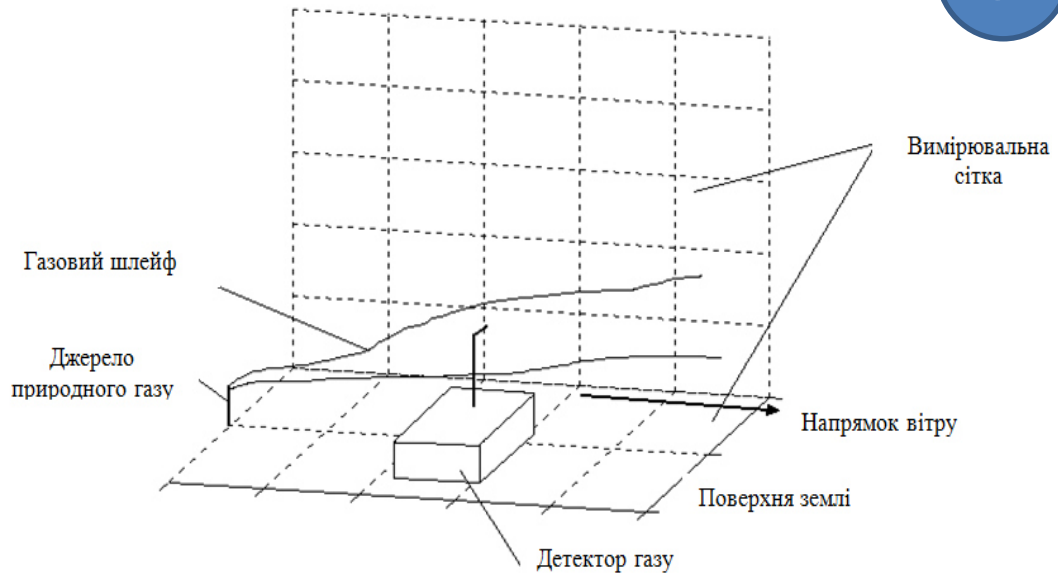
Модель системи масового обслуговування на базі сенсорної телекомунікаційної системи



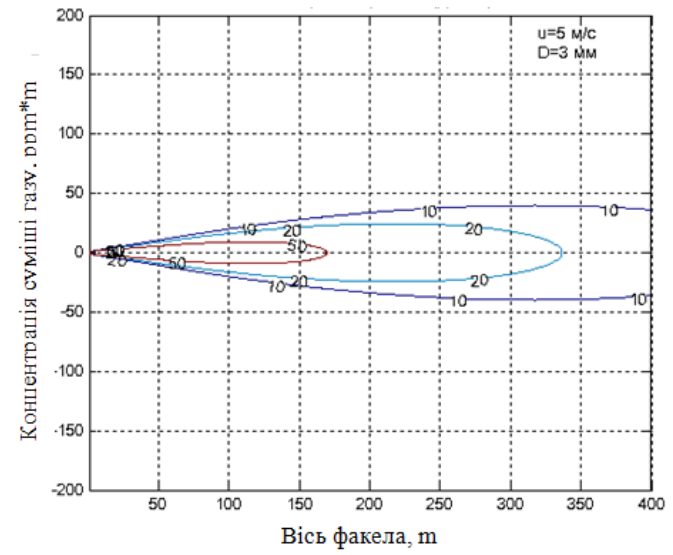
Функціональна схема сенсорної телекомунікаційної системи контролю витoku газу



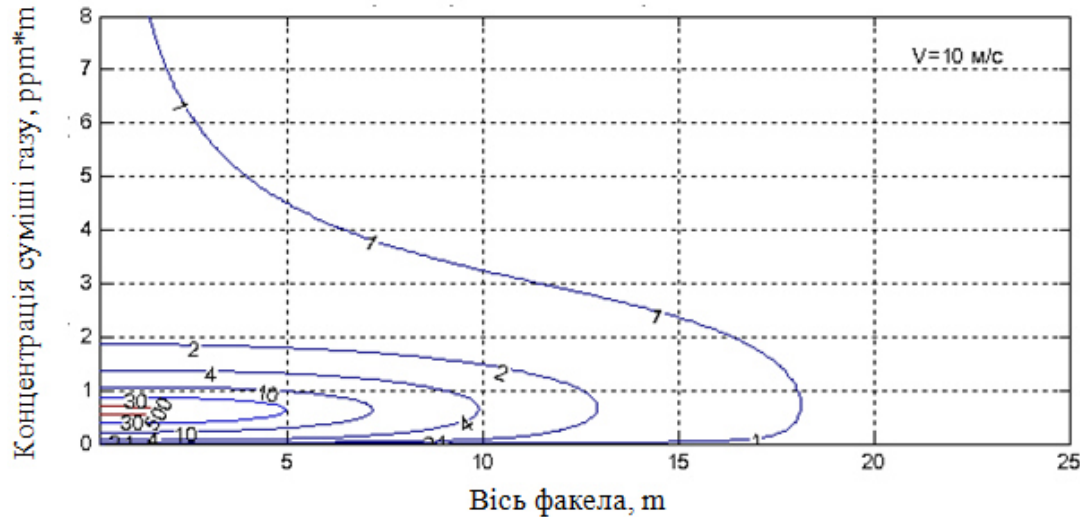
Блок-схема БМ з передачею даних



Розподіл концентрації метану вздовж осі хмари викиду при $U=5$ м/сек

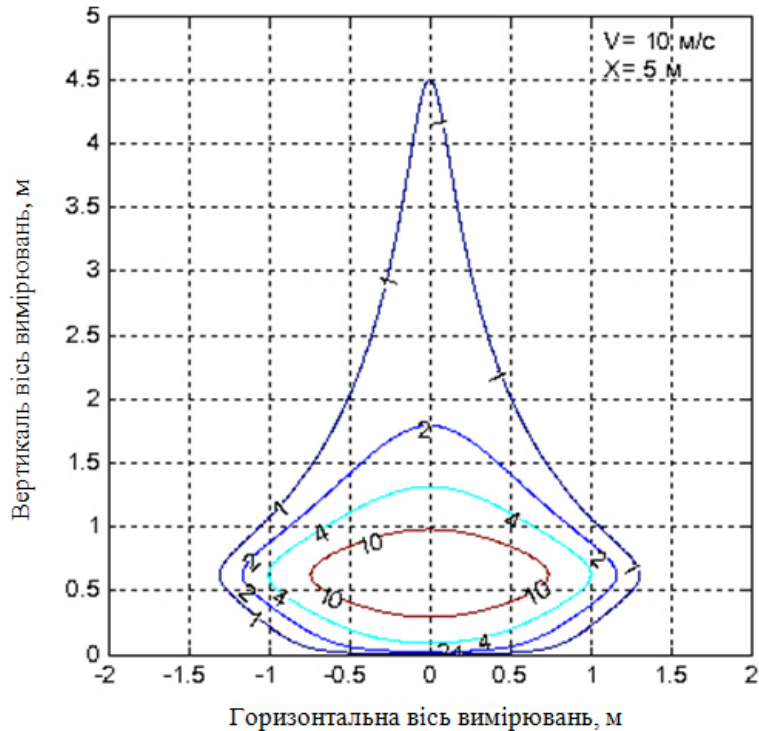


Концентрація суміші в перерізі факела



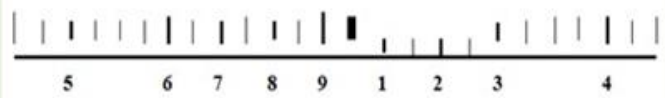
Розподіл концентрації метану по висоті хмари викиду, при U=10 м/сек

Концентрація суміші в перерізі факела відн.од.



Розподіл концентрації метану в перерізі хмари, що збігається з віссю хмари на відстані від витoku метану 50 м і при U=10 м/с

0 200 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2200 2400
Передача інформації



Алгоритм роботи ППП

Приймально-
передавальний пристрій



MLM-DB2

Мікроконтролер



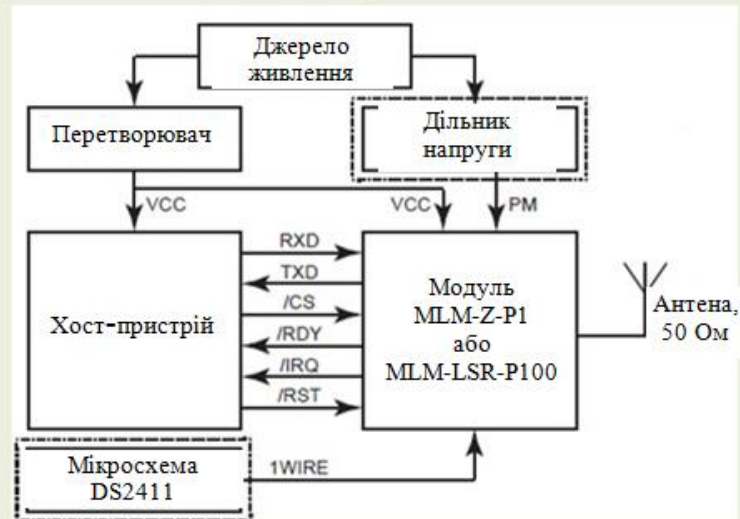
MSP430F1611

Приймач-
передавач

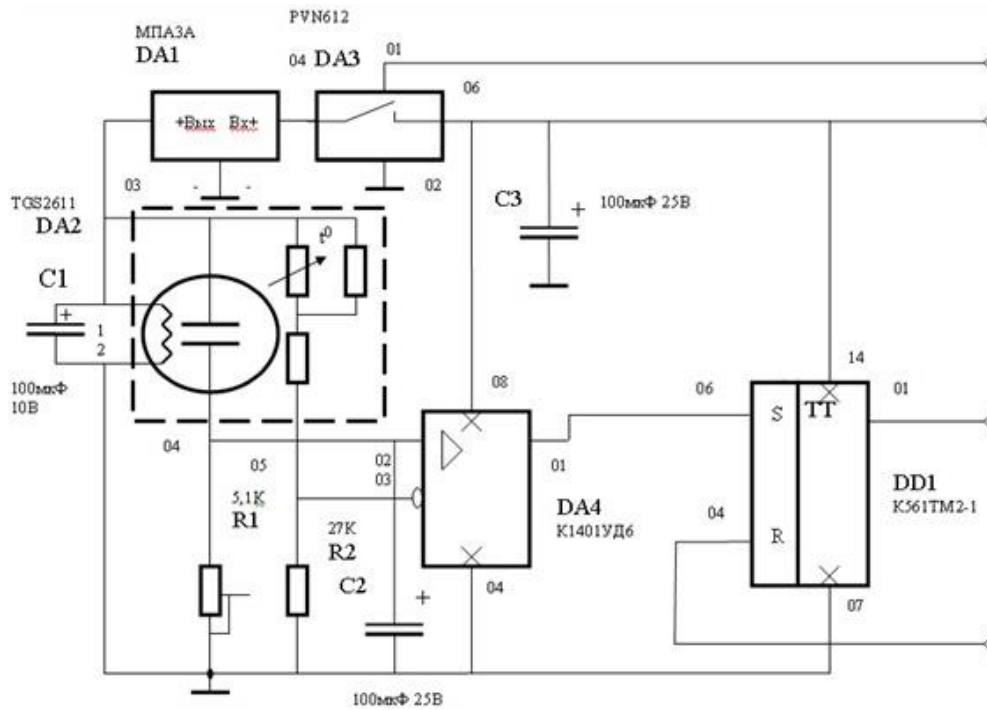


XBee PRO
IEEE 802.15.4

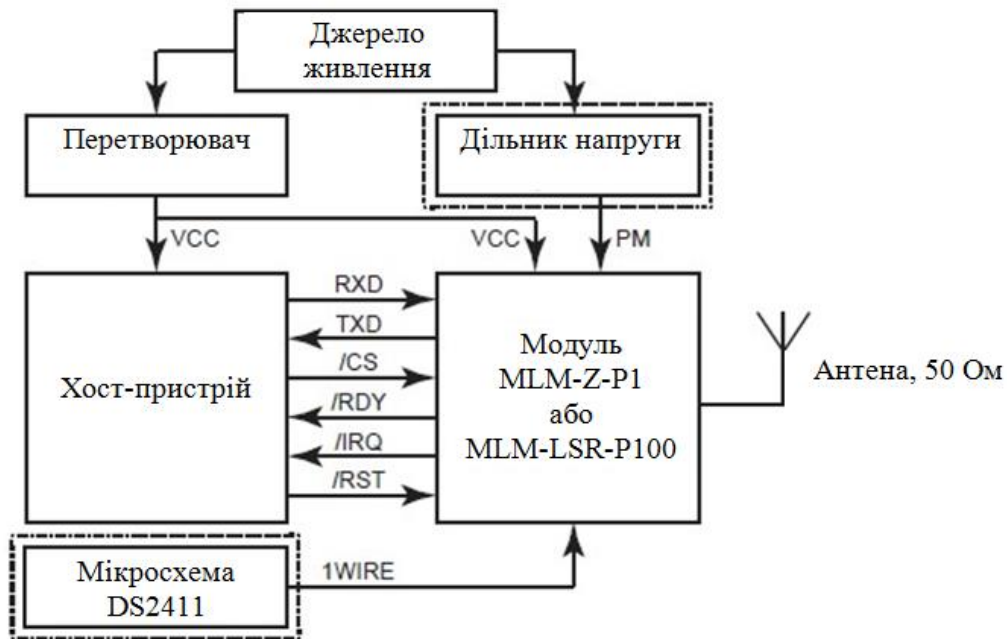
ППП



Приймально - передавальний
пристрій СТС контролю витoku газу

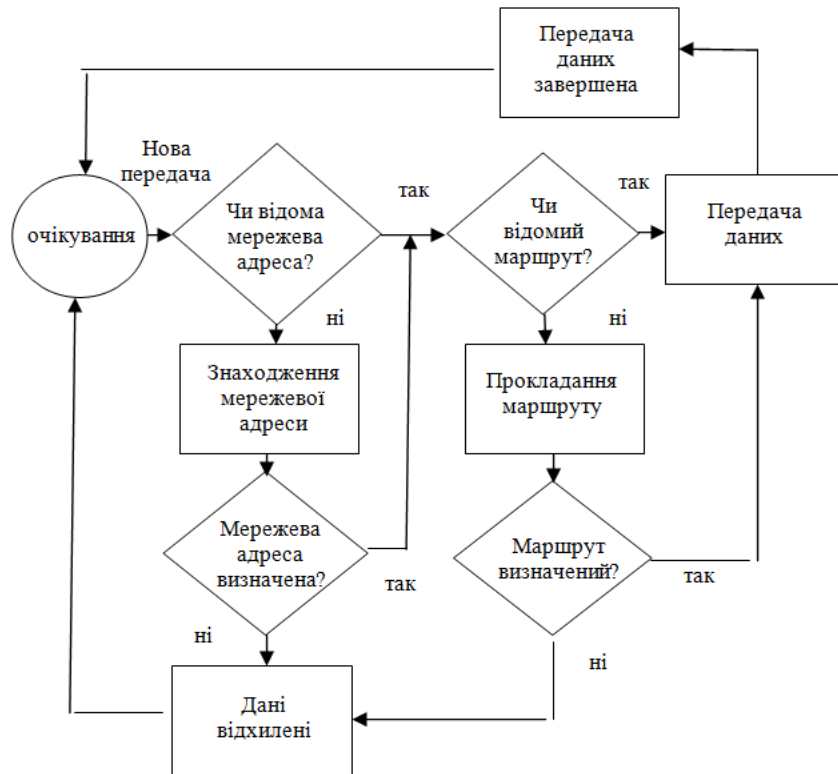
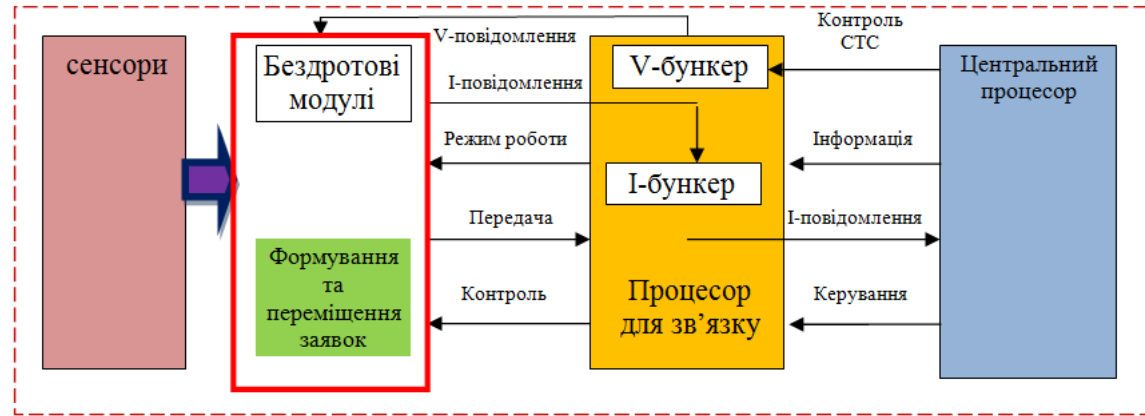


Датчик контролю витoku метану

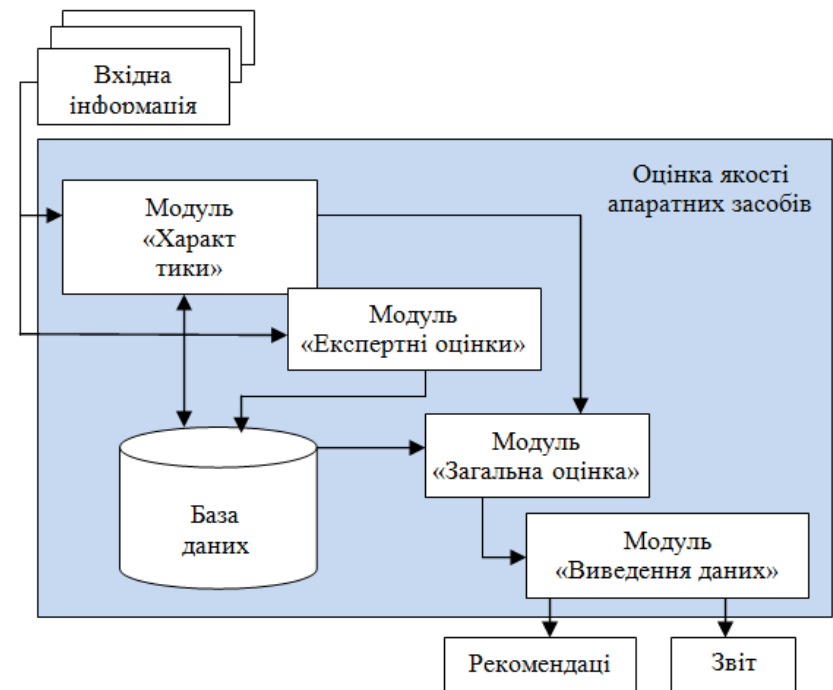


Типова схема включення бездротового приймально-передавального модуля

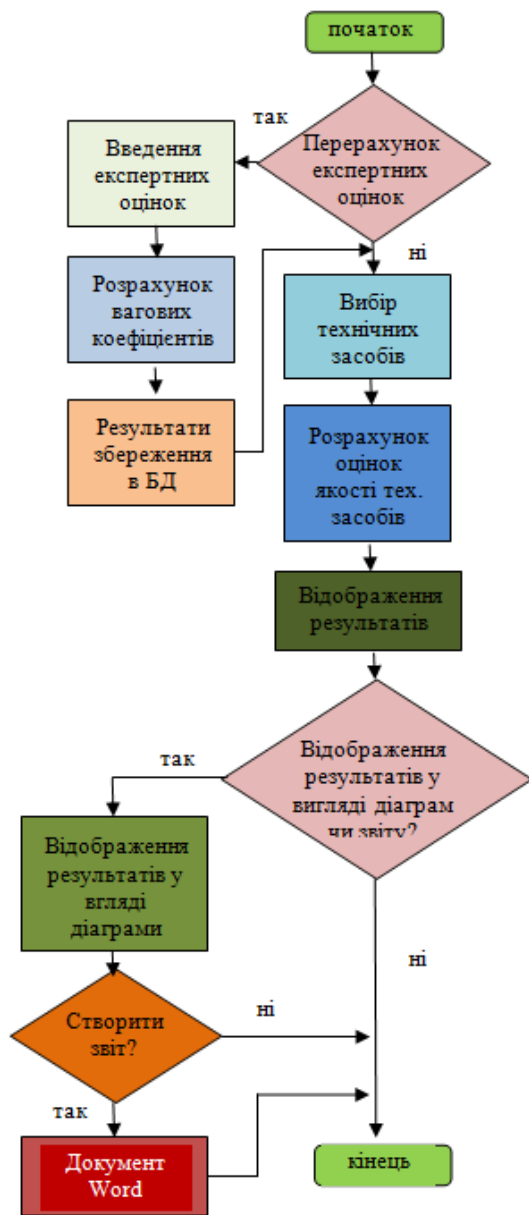
Структура інформаційних потоків в сенсорній телекомунікаційній системі



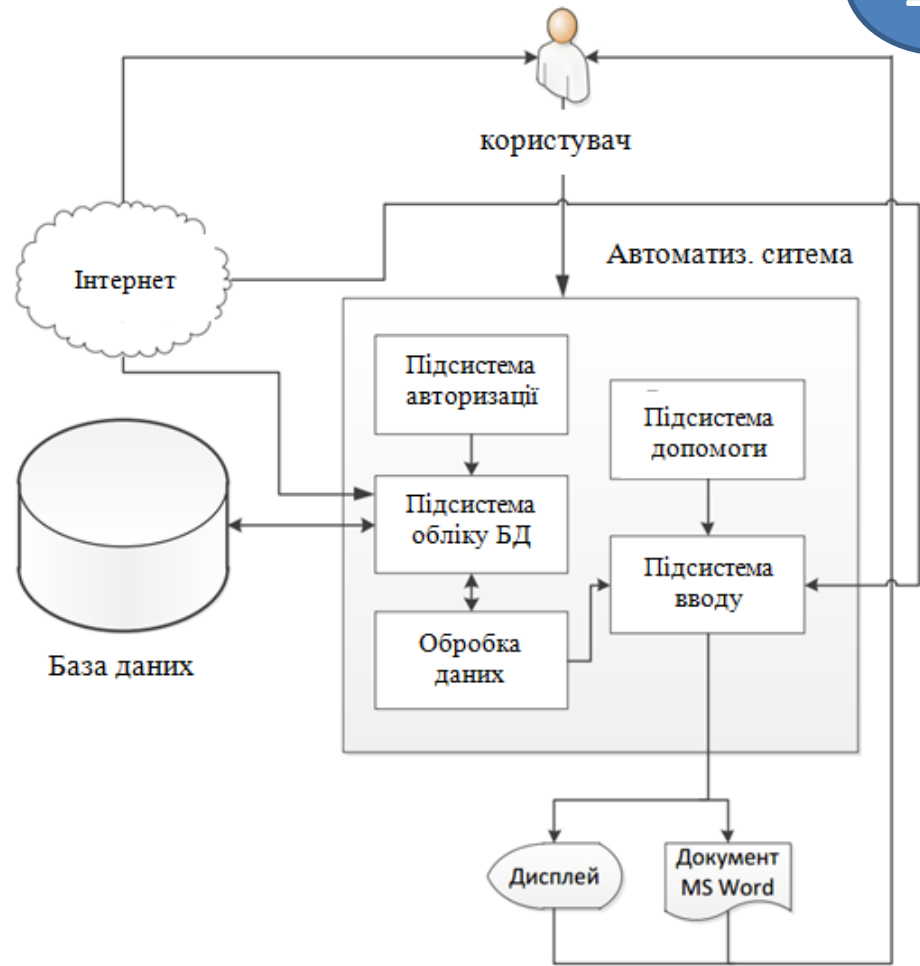
Алгоритм роботи стека ZigBee



Функціональна схема інформаційно-діагностичної системи



Алгоритм моделі процесу оцінки якості контролю витоку газу



Організаційно-функціональна структура телекомунікаційної системи контролю витоку газу з газопроводу

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!