Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
(інститут)

Факультет інформаційних технологій
(факультет)

Кафедра Програмного забезпечення комп'ютерних систем
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня

магістра
(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

студента *Голінько Олександра Васильовича*
(ПІБ)

академічної групи *122М-19-2*
(шифр)

спеціальності *122 Комп'ютерні науки*
(код і назва спеціальності)

на тему: *Методи, алгоритми та інформаційна технологія діагностики працездатності стаціонарних термокаталітичних газоаналізаторів*

_____ *О.В. Голінько*

Керівники	**Прізвище, ініціали**	**Оцінка за шкалою**		**Підпис**
		рейтинговою	**інституційною**	
розділів кваліфікаційної роботи				
спеціальний	Проф. Алексєєв М.О.			
економічний	Доц. Касьяненко Л.В.			

Рецензент				

Нормоконтролер	Доц. Сироткіна О.І.			

Дніпро
2020

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

ЗАТВЕРДЖЕНО:
Завідувач кафедри
Програмного забезпечення комп'ютерних систем
(повна назва)

_____ І.М. Удовик
(підпис) (прізвище, ініціали)

« » _____ 20 20 Року

ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної роботи магістра

спеціальності *122 Комп'ютерні науки*
(код і назва спеціальності)

студенту *122М-19-2* *Голінько Олександру Васильовичу*
(група) (прізвище та ініціали)

Тема кваліфікаційної роботи *Методи, алгоритми та інформаційна технологія діагностики працездатності стаціонарних термокаталітичних газоаналізаторів*

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 22.10.2020 р. № 888 -с

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень – процес контролю вибухонебезпечності рудникової атмосфери.

Предмет досліджень – методи, алгоритми та інформаційна технологія діагностики працездатності стаціонарних термокаталітичних газоаналізаторів.

Мета роботи – підвищення надійності контролю вибухонебезпечності рудникової атмосфери та зменшення витрат на обслуговування стаціонарних аналізаторів метану за рахунок застосування автоматичної діагностики та корегування чутливості первинних перетворювачів стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану.

3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна Полягає в удосконаленні методу автоматичного контролю та регулювання чутливості первинних перетворювачів стаціонарних аналізаторів метану, який полягає в аналізі зміни вихідних характеристик перетворювачів на дільниці

виходу вихідної напруги вимірювального моста на горизонтальну частину (плато) характеристики при зміні величини струму через чутливі елементи.

Практична цінність Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили вдосконалити алгоритм і програму роботи стаціонарного аналізатора метану, реалізованого на базі мікропроцесора ATMEGA8, що дозволяє здійснювати автоматичний контроль і корегування чутливості первинних перетворювачів аналізаторів, шляхом управління електроживленням чутливих елементів перетворювачів та аналізу зміни їх вихідних характеристик.

4 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	**Строки виконання робіт (початок – кінець**
Аналіз теми та постановка задачі	01.09.2020-30.09.2020
Побудова нечіткої моделі представлення даних для вирішення задачі діагностики працездатності стаціонарних термокаталітичних газоаналізаторів	01.10.2020-31.10.2020
Створення автоматизованої системи для вирішення задачі діагностики працездатності стаціонарних термокаталітичних газоаналізаторів	01.11.2020-07.12.2020

Завдання видав _____ *Алексєєв М.О.*
(підпис) (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ *Голінько О.В.*
(підпис) (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: *01.09.2020 р.*

Термін подання кваліфікаційної роботи до ЕК *10.12.2020*

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 138 стор., 32 рис., 3 додатка, 39 джерел.

Об'єкт дослідження: процес контролю вибухонебезпечності рудникової атмосфери.

Предмет дослідження: методи, алгоритми та інформаційна технологія діагностики працездатності стаціонарних термокаталітичних газоаналізаторів;

Мета магістерської роботи: Підвищення надійності контролю вибухонебезпечності рудникової атмосфери та зменшення витрат на обслуговування стаціонарних аналізаторів метану за рахунок застосування автоматичної діагностики та корегування чутливості первинних перетворювачів стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач використовувались наступні методи: аналітичний та експериментальний для встановлення закономірностей зміни вихідних характеристик термокаталітичного датчика при зміні умов експлуатації, моделювання.

Наукова новизна. Полягає в удосконаленні методу автоматичного контролю та регулювання чутливості первинних перетворювачів стаціонарних аналізаторів метану, який полягає в аналізі зміни вихідних характеристики перетворювачів на дільниці виходу вихідної напруги вимірювального моста на горизонтальну частину (плато) характеристики при зміні величини струму через чутливі елементи.

Практична цінність. Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили вдосконалити алгоритм і програму роботи стаціонарного аналізатора метану, реалізованого на базі мікропроцесора ATMEGA8, що дозволяє здійснювати автоматичний контроль і корегування чутливості первинних перетворювачів аналізаторів, шляхом управління електроживленням чутливих елементів перетворювачів та аналізу зміни їх вихідних характеристик.

У розділі «Економіка» проведені розрахунки трудомісткості розробки програмного забезпечення, витрат на створення ПЗ і тривалості його розробки, а також проведені маркетингові дослідження ринку збуту створеного програмного продукту та соціально-економічні наслідки його впровадження.

Список ключових слів: алгоритми, програми, вугільні шахти, вміст метану, контроль, аналізатор, автоматична діагностика, первинні перетворювачі, С, С++, чутливість.

ABSTRACT

Explanatory note: 138 pages, 32 figures, 3 appendices, 39 sources.

Object of research: the process of controlling the explosiveness of the mine atmosphere.

Subject of research: methods, algorithms and information technology for diagnostics of stationary thermocatalytic gas analyzers;

The purpose of the master's thesis: To increase the reliability of control of explosiveness of the mine atmosphere and reduce the cost of maintenance of stationary methane analyzers through the use of automatic diagnostics and sensitivity adjustment of primary converters of stationary thermocatalytic methane analyzers.

Research methods. To solve the problems, the following methods were used: analytical and experimental to establish the patterns of change of the initial characteristics of the thermocatalytic sensor when changing operating conditions, modeling.

Scientific novelty. Is to improve the method of automatic control and sensitivity control of primary transducers of stationary methane analyzers, which is to analyze the change in the output characteristics of the transducers at the output voltage of the measuring bridge to the horizontal part (plateau) characteristics when changing the current through sensitive elements.

Practical value Theoretical and experimental studies have improved the algorithm and program of a stationary methane analyzer based on the ATMEGA8 microprocessor, which allows automatic control and adjustment of the sensitivity of the primary converters of the analyzers, by controlling the power supply of sensitive elements of converters and analysis.

In the section "Economics" calculations of the complexity of software development, the cost of creating software and the duration of its development, as well as marketing research of the market for the created software product.

List of keywords: coal mines, methane content, control, analyzer, automatic diagnostics, primary converters, C, C ++, sensitivity.

ЗМІСТ

Вступ……..……. 9

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ……...……... 13

1.1 Загальні відомості з предметної галузі……... 13

1.2 Призначення розробки та галузь застосування……. 18

1.3 Розробка мікропроцесорних систем……... 19

1.3.1 Основні етапи розробки……... 19

1.3.2 Розробка та налагодження апаратних засобів…… 21

1.3.3 Розробка та налагодження програмного забезпечення……. 22

1.3.4 Методи і засоби спільної налагодження апаратних і програмних засобів…….…… 23

1.4 Постановка завдання…… 24

1.5 Вимоги до програми або програмного виробу…….. 26

1.6 Вибір мікроконтролера…… 27

1.7 Висновки до першого розділу……..... 31

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ РОЗРОБОК В ОБЛАСТІ ДІАГНОСТИКИ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ……..... 32

2.1 Аналіз засобів контролю вибухонебезпечності…… 32

2.2 Існуючі рішення в області контролю чутливості……. 39

2.3 Особливості програмування мікроконтролерів AVR……... 46

2.4 Висновки до другого розділу…….. 54

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ГАЗОАНАЛІЗАТОРІВ……..... 55

3.1. Функціональне призначення системи…… 55

3.2. Функціональне призначення системи…… 57

3.2.1 Методи діагностики нульових показань газоаналізаторів…….... 57

3.2.2 Методи діагностики чутливості газоаналізаторів……..... 68

3.3 Опис використаних технологій та мов програмування……... 75
3.4 Опис структури системи та алгоритмів її функціонування..…... 86
3.5 Опис розробленої системи…….. 93
3.5.1 Використані технічні засоби……... 93
3.5.2 Використані програмні засоби……..... 97
3.5.3 Виклик та завантаження програми……..... 97
3.5.4 Опис структури системи та алгоритмів її функціонування..... 98
3.6 Висновки до третього розділу……..……..... 105
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА……..…….. 106
4.1 Визначення трудомісткості розробки програмного забезпечення……. 106
4.2 Розрахунок витрат на створення програмного забезпечення….. 110
4.3 Маркетингові дослідження……. 112
4.4 Економічна ефективність……..... 115
ВИСНОВКИ……... 120
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….. 121
Додаток А ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ……... 125
Додаток Б ВІДГУК КЕРІВНИКА ЕКОНОМІЧНОГО РОЗДІЛУ…….. 137
Додаток В ПЕРЕЛІК ФАЙЛІВ НА ДИСКУ…… 138

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (укр. універсальний асинхронний приймач/передавач);

USART – Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter (укр. універсальний синхронно/асинхронний приймач/передавач);

PWM – pulse-width modulation (укр. широтно-імпульсна модуляція);

CISC – Complex Instruction Set Computers;

RISC – Reduced Instruction Set Computer;

RAM – Random Access Memory;

ROM – Read-Only Memory;

EPROM – Erasable Programmable Read-Only Memory;

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory;

LCD – Liquid Crystal Display;

VFD – Vacuum Fluorescent Display;

I/O – Input / Output;

A/D – Analog to Digital Converter;

D/A – Digital to Analog Converter.

ВСТУП

Актуальність теми. Об'єктом розробки даної кваліфікаційної роботи є процес контролю вибухонебезпечності рудникової атмосфери. Метою даної роботи є розробка методів, алгоритму і програмного забезпечення для автоматичної діагностики стану цих засобів, макетування та налагодження елементів системи керування. В процесі розробки використовувався пакет програм Atmel Studio 7.0 для розробки програмного продукту та Proteus 8 Professional для моделювання електричних ланцюгів. В ході роботи була розроблена структурна схема майбутнього устрою був зроблений вибір елементної бази та розроблена принципова схема. Також було проведено макетування і налагодження пристрою за допомогою тестових програм мікроконтролера.

Засоби контролю вибухонебезпечності рудникової атмосфери використовуються при видобутку корисних копалин який пов'язаний з наявністю великої кількості небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що призводить до високого рівня аварійності та травматизму в галузі. Серед усіх видів аварій особливу небезпеку становлять вибухи метано-повітряних сумішей і вугільного пилу. Вони призводять до групових нещасних випадків зі смертельними наслідками, великих руйнувань гірничих виробок, обладнання та оснащення. Внаслідок вибуху в більшості випадків робота шахти порушується або зупиняється зовсім.

Більшість шахт в Україні є небезпечними по газу і пилу. У міру вичерпання запасів корисних копалин на діючих шахтах в відпрацювання залучаються пласти вугілля розташовані на великій глибині, що супроводжується збільшенням газовиділення. До зростання газовиділення, збільшення концентрацій метану і пилу в гірничих виробках веде також впровадження високопродуктивної техніки і збільшення вуглевидобутку з одного вибою. Крім того, в зв'язку з дефіцитом енергоресурсів, все більше уваги приділяється

використанню шахтного метану, як енергетичної сировини, що пов'язано з видобутком, транспортуванням та утилізацією метано-повітряної суміші, здатної переходити у вибухонебезпечний стан при наявності підсосів повітря, що виникають внаслідок руйнування гірського масиву і порушення герметичності дегазаційного обладнання. Все це пов'язане зі збільшенням потенційної небезпеки загазування і ймовірності виникнення вибуху.

Проблема запобігання вибухів, є досить складною і для її вирішення необхідно проведення досліджень щодо встановлення природи і особливостей аварій, формуванню й вдосконаленню заходів щодо їх попередження. Роботи, спрямовані на попередження та локалізація вибухів проводяться в багатьох вугледобувних країнах, в тому числі і в Україні. Одним з найважливіших заходів, спрямованих на попередження вибухів, є контроль вибухонебезпечності середовища в гірничих виробках і обладнанні шахт і їх оснащення засобами вибухозахисту, що спрацьовують при виникненні небезпеки вибуху.

Розробці методів і засобів контролю вибухонебезпечності середовища в гірничих виробках і обладнанні присвячені роботи багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених. Однак спостерігаються випадки порушення працездатності аналізаторів при високих концентраціях метану. Існуючі термокаталітичні аналізатори метану не забезпечують контроль у всьому діапазоні можливих концентрацій метану, а термокондуктометричні аналізатори мають суттєві похибки вимірювання в області до вибухових і вибухових концентрацій метану, що обумовлює підвищені вимоги до діапазону неприпустимих концентрацій метану при експлуатації дегазаційних систем та утилізації збіднених метаноповітряних сумішей. Це й обумовлює актуальність проблеми підвищення надійності контролю вибухонебезпечності середовищ в гірничих виробках.

Нині контроль вибухонебезпечності газових сумішей в гірничих виробках шахт і дегазаційних трубопроводах зводиться до контролю вмісту метану.

Згідно правил безпеки у вугільних шахтах прилади, які використовуються для контролю вмісту метану поділяються на:

- переносні прилади епізодичної дії;

- переносні автоматичні прилади;

- стаціонарні автоматичні прилади.

Вид приладів, які використовуються для контролю вмісту метану на конкретній шахті, і їх кількість залежить від категорії шахти за газом метаном. На негазових шахтах передбачається застосування переносних приладів епізодичної дії. На шахтах I і II категорії, крім зазначених приладів епізодичного, обов'язкове застосування переносних автоматичних приладів, а на шахтах III категорії і вище застосування всіх зазначених коштів, причому стаціонарні автоматичні прилади повинні забезпечувати автоматичне відключення електроенергії при неприпустимій концентрації метану.

Мета дослідження полягає в підвищення надійності контролю вибухонебезпечності рудникової атмосфери та зменшення витрат на обслуговування стаціонарних аналізаторів метану за рахунок застосування автоматичної діагностики та корегування чутливості первинних перетворювачів стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану.

Завдання дослідження. Для виконання поставленої задачі у ході роботи були сформульовані й вирішені наступні завдання:

1 Виконати аналіз існуючих методів та засобів контролю вибухонебезпечності рудникової атмосфери.

2. Виконати аналіз наявних розробок в області діагностики засобів контролю вибухонебезпечності рудникової атмосфери.

3. Розробити та обґрунтувати методи автоматичної діагностики нульових показань та чутливості термокаталітичних датчиків газоаналізаторів.

4. Розробити алгоритм та програму автоматичної діагностики працездатності стаціонарних термокаталітичних газоаналізаторів.

Об'єкт дослідження: процес контролю вибухонебезпечності рудникової атмосфери.

Предмет дослідження: методи, алгоритми та інформаційна технологія діагностики працездатності стаціонарних термокаталітичних газоаналізаторів;

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач використовувались наступні методи: аналітичний та експериментальний для встановлення закономірностей зміни вихідних характеристик термокаталітичного датчика при зміні умов експлуатації, моделювання.

Наукова новизна. Полягає в удосконаленні методу автоматичного контролю та регулювання чутливості первинних перетворювачів стаціонарних аналізаторів метану, який полягає в аналізі зміни вихідних характеристики перетворювачів на дільниці виходу вихідної напруги вимірювального моста на горизонтальну частину (плато) характеристики при зміні величини струму через чутливі елементи.

Практична значення. Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили вдосконалити алгоритм і програму роботи стаціонарного аналізатора метану, реалізованого на базі мікропроцесора ATMEGA8, що дозволяє здійснювати автоматичний контроль і корегування чутливості первинних перетворювачів аналізаторів, шляхом управління електроживленням чутливих елементів перетворювачів та аналізу зміни їх вихідних характеристик.

Особистий внесок автора: методи діагностики, алгоритми та програмне забезпечення розроблені особисто автором.

Структура і обсяг роботи. Робота складається з вступу, чотирьох розділів і висновків. Містить 138 сторінки, в тому числі 96 сторінок тексту основної частини з 32 рисунками, список використаних джерел із 39 найменувань на 4 сторінках, 3 додатка на 14 сторінках.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1. Загальні відомості з предметної галузі

В даний час в системах управління і обробки даних все частіше застосовуються мікроконтролери, які вирішують широкий спектр завдань. Одно кристальний мікроконтролери (ОМК) є найбільш масовим видом пристроїв сучасної мікропроцесорної техніки, річний обсяг випуску яких становить понад 2,5 млрд. штук. Інтегруючи на одному кристалі високопродуктивний процесор, пам'ять і набір периферійних схем, ОМК дозволяють з мінімальними витратами реалізувати високоефективні системи і пристрої управління різними об'єктами (процесами). На відміну від звичайних мікропроцесорів, для роботи яких необхідні зовнішні інтерфейсі схеми, в корпусі ОМК поряд з основними функціональними вузлами розміщені такі допоміжні вузли, як тактовий генератор, таймер, контролер переривань, цифро-аналоговий і аналого-цифровий перетворювачі, порти вводу-виводу.

Мікроконтролер - комп'ютер на одній мікросхемі. Призначений для управління різними електронними пристроями і здійснення взаємодії між ними відповідно до закладеної в мікроконтролер програмою. На відміну від мікропроцесорів, які використовуються в персональних комп'ютерах, мікроконтролери містять вбудовані додаткові пристрої. Ці пристрої виконують свої завдання під керуванням мікропроцесорного ядра мікроконтролера.

До найбільш поширених вбудованим пристроїв відносяться пристрої пам'яті і порти введення / виводу (I / O), інтерфейси зв'язку, таймери, системний годинник. Пристрої пам'яті включають оперативну пам'ять (RAM), постійні запам'ятовуючі пристрої (ROM), пере програмовану ROM (EPROM), електрично перепрограмовану ROM (EEPROM). Таймери включають і годинник реального часу, і таймери переривань. Засоби I / O включають послідовні порти зв'язку, паралельні порти (I / O лінії), аналого-цифрові перетворювачі (A / D), цифро

аналогові перетворювачі (D / A), драйвери рідкокристалічного дисплея (LCD) або драйвери вакуумного флуоресцентного дисплея (VFD) . Вбудовані пристрої володіють підвищеною надійністю, оскільки вони не вимагають ніяких зовнішніх електричних ланцюгів.

Мікроконтролери можна зустріти у величезній кількості сучасних промислових і побутових приладів: верстатах, автомобілях, телефонах, телевізорах, холодильниках, пральних машинах. і навіть кавоварках. Серед виробників мікроконтролерів можна назвати Intel, Motorola, Hitachi, Microchip, Atmel, Philips, Texas Instruments, Infineon Technologies і багатьох інших. Для виробництва сучасних мікросхем потрібні надчисті приміщення.

Основним класифікаційним ознакою мікроконтролерів є розрядність даних, які обробляються арифметико-логічним пристроєм. За цією ознакою вони діляться на 4-, 8-, 16-, 32 - і 64-розрядні. Усередині кожної групи мікроконтролери діляться на CISC - і RISC-пристрої. Найбільш численною групою є CISC-мікроконтролери, але в останні роки серед нових чіпів намітилася явна тенденція зростання частки RISC-архітектури [7].

Вугільні шахти являють собою досить складну виробничу систему з особливо небезпечними умовами праці. Складні гірничо-геологічні умови більшості вугільних родовищ України обумовлюють наявність великої кількості небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які суттєво впливають на життя і здоров'я працюючих і призводять до високого рівня травматизму і профзахворювань в галузі. За даними досліджень на вугільних шахтах України щорічно в середньому відбувається близько 2 тисяч різних аварій з простоєм шахт або окремих ділянок більше доби.

Особливу небезпеку становлять аварії з груповими нещасними випадками, пов'язані з вибухами газу і пилу, підземними пожежами та газодинамічними явищами.

Залежно від характеру протікання і спричинених наслідків аварії, пов'язані з запаленням метану, прийнято розділяти на три групи: вибухи, спалахи та горіння. Під час вибуху відбувається швидке згоряння метан повітряної суміші,

результатом якого є швидке значне збільшення температури і тиску. Швидкого стиснення газів призводить до утворення ударної повітряної хвилі, в результаті поширення якої виникають механічні травми людей, руйнування або пошкодження гірничих виробок, споруд та обладнання. Спалах виникає при швидкому згоранні порівняно невеликого обсягу метан повітряної суміші. Кількість енергії, що виділяється при цьому, недостатньо для утворення ударної хвилі, здатної надавати руйнівний вплив на об'єкти і обладнання і викликати механічні травми у людей. Прийнято вважати, що надлишковий тиск повітря, що є безпечним для людини, не перевищує 0,01 МПа. Ця величина надлишкового тиску зазвичай приймається як межа між вибухом і спалахом метану. При звичайному горінні відбувається спокійне дефлаграційне згоряння метану без освіти ударної хвилі. Зазвичай при аналізі аварій на вугільних шахтах спалаху і випадки горіння метану важко розмежувати і їх часто об'єднують в одну групу подій [9].

Основними причинами загазування виробок на виїмкових дільницях є порушення провітрювання, місцеві скупчення метану і накопичення метану у вироблених просторах. Так, після зменшення витрати повітря в 3 і більше разів протягом 5-15 хв в вентиляційних виробках утворюються місцеві скупчення метану з вибухонебезпечними концентраціями.

Існуючі методи контролю вибухонебезпечності газових сумішей засновані на відмінності фізико-хімічних властивостей вибухових газів та інших неконтрольованих компонент рудникової атмосфери. Загальною властивістю всіх горючих газів, що відрізняють їх від повітря і інших газів присутніх в рудничної атмосфері, є їх здатність окислюватися киснем повітря.

Питома теплота згоряння і температура самозаймання різних горючих газів істотно відрізняються. Так, метан має найбільш високу температуру самозаймання, а найнижча температура самозаймання характерна для вищих гомологів метану. Метан і його гомологи істотно відрізняється від інших горючих газів (оксиду вуглецю і водню) своєї теплотворною здатністю [31].

В якості діагностичного ознаки небезпеки вибуху газової суміші практично всі існуючі засоби і системи контролю вибухонебезпечності середовища в гірничих виробках і обладнанні вугільних шахт використовують інформацію газоаналізаторів про концентрацію метану в суміші. Однак, істотна відмінність властивостей деяких горючих компонентів від властивостей метану може призводити до появи додаткових похибок вимірювання концентрації метану при використанні конкретних способів контролю. Так, наприклад, при використанні способів контролю заснованих на вимірі теплопровідності суміші наявність етану буде приводити до заниження показань аналізаторів метану, в той час як нижня концентраційна межа вибуховості суміші знижується, а вибухонебезпечність її зростає. Навпаки, при використанні способів контролю заснованих на вимірі коефіцієнта заломлення суміші, наявність етану буде приводити до завищення показань аналізаторів метану. Очевидно, що в даному випадку це більш вірогідно характеризує вибухові властивості суміші, ніж при використанні попереднього способу. У той же час наявність ж водню в суміші, призводить до суттєвого зменшення її коефіцієнта заломлення і до заниження показань газоаналізаторів при зростанні рівня вибухонебезпечності.

Серед властивостей метану, які суттєво відрізняють його від повітря, слід виділити його густину, в'язкість, теплопровідність, теплоємність, коефіцієнт заломлення світла, швидкість поширення звуку, а також його дифузійні властивості. Різноманіття відмінних властивостей метану визначило і значна кількість існуючих методів контролю його концентрації.

Серед методів контролю вмісту метану в рудниковій атмосфері, одним з перших що набули широкого поширення, з'явився рефрактометричний метод. Даний метод заснований на відміні коефіцієнтів переломлення світла метану і повітря. До недоліків рефрактометричних методу відноситься те, що такі змінні компоненти рудничної атмосфери як діоксид вуглецю і пари води мають коефіцієнти переломлення світла, що значно відрізняються від повітря, а також наявність оптичних елементів, які необхідно охороняти від забруднення. Для усунення впливу зазначених компонент на результати вимірювання необхідно

попереднього здійснювати осушення аналізованого повітря і поглинати вуглекислий газ, а також здійснювати попередню очистку аналізованого середовища від пилу або здійснювати захист оптичних елементів від забруднення. Іншим різновидом оптичних методів є абсорбційний метод, який заснований на виборчому поглинанні променистої енергії газами в інфрачервоній частині спектра [27].

До переваг розглянутих оптичних методів вимірювання змісту метану відноситься їх мала інерційність, що дозволяє створювати на його основі асоби для швидкодіючої газового захисту. Однак, через необхідність захисту оптичних елементів від забруднення, реалізувати цю перевагу оптичних методів вельми складно.

Термокаталітичні датчики сучасних газоаналізаторів, як правило, мають два чутливих елемента каталітично активний (робочий) і компенсаційний (порівняльний). Зазвичай елементи виконують у вигляді мініатюрних кульок з оксиду алюмінію всередині яких поміщають спіраль з платинового дроту, яка одночасно виконує функції нагрівального елементу і термометра опору. На поверхню каталітично активного елементу наносять платино-паладієвий каталізатор, а компенсаційний елемент залишається чистим. Найчастіше елементи поміщають в загальну реакційну камеру, яка утворюється усередині пористого керамічного або металокерамічного газообмінного фільтро-елементу і поділяють між собою теплоізоляційним екраном. Контрольоване середовище надходить в реакційну камеру за рахунок молекулярної дифузії. На робочому елементі метан окислюється киснем повітря з виділенням тепла, що збільшує температуру і опір термоелемента, приріст величини якого є мірилом концентрації метану. Порівняльний елемент служить для зменшення впливу на результати вимірювання змін температури, тиску і складу атмосфери. Підведення газів до поверхні робочого елемента і відведення від нього продуктів реакції обумовлюється через наявність градієнта їх концентрацій між поверхнею елемента і обсягом реакційної камери.

1.2. Призначення розробки та галузь застосування

Розробляється система в першу чергу спрямована на попередження аварій на вугільних шахтах, так як видобуток корисних копалин на вугільних шахтах пов'язаний з наявністю великої кількості небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що призводить до високого рівня аварійності та травматизму в галузі. Серед усіх видів аварій особливу небезпеку становлять вибухи метано-повітряних сумішей і вугільного пилу. Вони призводять до групових нещасних випадків зі смертельними наслідками, великих руйнувань гірничих виробок, обладнання та оснащення. Внаслідок вибуху в більшості випадків робота шахти порушується або зупиняється зовсім. Більшість шахт в Україні є небезпечними а газом і пилом. У міру вичерпання запасів корисних копалин на діючих шахтах в відпрацювання залучаються пласти вугілля розташовані на великій глибині, що супроводжується збільшенням газовиділення. До зростання газовиділення, збільшення концентрацій метану і пилу в гірничих виробках веде також впровадження високопродуктивної техніки і збільшення вуглевидобутку з одного вибою. Крім того, в зв'язку з дефіцитом енергоресурсів, все більше уваги приділяється використанню шахтного метану, як енергетичної сировини, що пов'язане з видобутком, транспортуванням та утилізацією метано-повітряних сумішей, здатних переходити у вибухонебезпечний стан при наявності підсосів повітря, що виникають внаслідок руйнування гірського масиву і порушення герметичності дегазаційного обладнання. Все це пов'язане зі збільшенням потенційної небезпеки загазування і ймовірності виникнення вибуху.

Проблема запобігання вибухів, є досить складною і для її вирішення необхідно проведення досліджень щодо встановлення природи і особливостей аварій, формуванню й вдосконаленню заходів щодо їх попередження. Роботи, спрямовані на попередження та локалізація вибухів проводяться в багатьох вугледобувних країнах, в тому числі і в Украйні. Одним з найважливіших заходів, спрямованих на попередження вибухів, є контроль вибухонебезпечності

середовища в гірничих виробках і обладнанні шахт і їх оснащення засобами вибухозахисту, що спрацьовують при виникненні небезпеки вибуху.

Вищенаведене обумовлює актуальність проблеми підвищення надійності контролю вибухонебезпечності середовища в гірничих виробках і обладнанні вугільних шахт.

1.3. Розробка мікропроцесорних систем

1.3.1. Основні етапи розробки

МПС на основі МК використовуються найчастіше в якості вбудованих систем для вирішення завдань управління деяким об'єктом. Важливою особливістю даного застосування є робота в реальному часі, тобто забезпечення реакції на зовнішні події протягом певного часового інтервалу. Такі пристрої отримали назву контролерів.

Перед розробником МПС стоїть завдання реалізації повного циклу проектування, починаючи від розробки алгоритму функціонування і закінчуючи комплексними випробуваннями в складі вироби, а, можливо, і супроводом при виробництві.

В технічному завданні формулюються вимоги до контролера з точки зору реалізації певної функції управління. Технічне завдання включає в себе набір вимог, який визначає, що користувач хоче від контролера і що розроблювальний прилад повинен робити. Технічне завдання може мати вид текстового опису, що не вільного в загальному випадку від внутрішніх суперечностей.

На підставі вимог користувача складається функціональна специфікація, яка визначає функції, виконувані контролером для користувача після завершення проектування, уточнюючи тим самим, наскільки пристрій відповідає висунутим вимогам. Вона включає в себе опису форматів даних, як на вході, так і на виході, а також зовнішні умови, що керують діями контролера.

Етап розробки алгоритму управління є найбільш відповідальним, оскільки помилки даного етапу зазвичай виявляються тільки при випробуваннях

закінченого вироби і призводять до необхідності дорогої переробки всього пристрою. Розробка алгоритму зазвичай зводиться до вибору одного з декількох можливих варіантів алгоритмів, що відрізняються співвідношенням обсягу програмного забезпечення та апаратних засобів.

При цьому необхідно виходити з того, що максимальне використання апаратних засобів спрощує розробку і забезпечує високу швидкодію контролера в цілому, але супроводжується, як правило, збільшенням вартості і споживаної потужності. При виборі типу МК враховуються наступні основні характеристики:

- розрядність;
- швидкодія;
- набір команд і способів адресації;
- вимоги до джерела живлення і споживана потужність в різних режимах;
- обсяг ПЗУ програм і ОЗУ даних;
- можливості розширення пам'яті програм і даних;
- наявність і можливості периферійних пристроїв, включаючи засоби підтримки роботи в реальному часі (таймери, процесори подій і т.п.);
- можливість перепрограмування в складі пристрою;
- наявність і надійність засобів захисту внутрішньої інформації;
- можливість поставки в різних варіантах конструктивного виконання;
- вартість в різних варіантах виконання;
- наявність повної документації;
- наявність і доступність ефективних засобів програмування і налагодження МК;
- кількість і доступність каналів поставки, можливість заміни виробами інших фірм.

Список цей далеко не вичерпаний, оскільки специфіка проектованого пристрою може перенести акцент вимог на інші параметри МК.

Номенклатура в даний час МК обчислюється тисячами типів виробів різних фірм. Сучасна стратегія модульного проектування забезпечує споживача

різноманітністю моделей МК з одним і тим же процесорним ядром. Така структурна розмаїтість відкриває перед розробником можливість вибору оптимального МК, що не має функціональної надмірності, що мінімізує вартість комплектуючих елементів.

Однак для реалізації на практиці можливості вибору оптимального МК необхідна досить глибоке опрацювання алгоритму управління, оцінка обсягу виконуваної програми і числа ліній сполучення з об'єктом на етапі вибору МК. Допущені на даному етапі прорахунки можуть згодом призвести до необхідності зміни моделі МК і повторної розведення друкованої плати макета контролера. В таких умовах доцільно виконувати попереднє моделювання основних елементів прикладної програми з використанням програмно-логічної моделі обраного МК.

На етапі розробки структури контролера остаточно визначається склад наявних і підлягають розробці апаратних модулів, протоколи обміну між модулями, типи роз'ємів. Виконується попереднє опрацювання конструкції контролера. У частині програмного забезпечення визначаються склад і зв'язку програмних модулів, мова програмування. На цьому ж етапі здійснюється вибір засобів проектування і налагодження [12].

1.3.2. Розробка та налагодження апаратних засобів

Після розробки структури апаратних і програмних засобів подальша робота над контролером може бути розділена. Розробка апаратних засобів включає в себе розробку загальної принципової схеми, розводку топології плат, монтаж макета і його автономну налагодження. На етапі введення принципової схеми і розробки топології використовуються, як правило, поширені системи проектування типу "ACCEL EDA" чи "OrCAD".

1.3.3. Розробка та налагодження програмного забезпечення

Зміст етапів розробки програмного забезпечення, його трансляції та налагодження на моделях істотно залежить від використовуваних системних засобів. В даний час ресурси 8-розрядних МК достатні для підтримки програмування на мовах високого рівня. Це дозволяє використовувати всі переваги структурного програмування, розробляти програмне забезпечення з використанням окремо трансльованих модулів. Одночасно продовжують широко використовуватися мови низького рівня типу асемблера, особливо при необхідності забезпечення контрольованих інтервалів часу. Завдання попередньої обробки даних часто вимагають використання обчислень з плаваючою точкою, трансцендентних функцій.

В даний час найпотужнішим засобом розробки програмного забезпечення для МК є інтегровані середовища розробки, що мають в своєму складі менеджер проектів, текстовий редактор і симулятор, а також допускають підключення компіляторів мов високого рівня типу Паскаль або Сі. При цьому необхідно мати на увазі, що архітектура багатьох 8-розрядних МК внаслідок малої кількості ресурсів, сторінкового розподілу пам'яті, незручною індексної адресації і деяких інших архітектурних обмежень не забезпечує компілятору можливості генерувати ефективний код.

Для перевірки і налагодження програмного забезпечення використовуються так звані програмні симулятори, надають користувачеві можливість виконувати розроблену програму на програмно-логічної моделі МК. Програмні симулятори поширюються, як правило, безкоштовно і сконфігуровані відразу на кілька МК одного сімейства. Вибір конкретного типу МК серед моделей сімейства забезпечує відповідна опція меню конфігурації симулятора. При цьому моделюється робота ЦП, всіх портів введення / виводу, переривань і іншої периферії. Карта пам'яті модельованого МК завантажується в симулятор автоматично, налагодження ведеться в символьних позначеннях регістрів.

Завантаживши програму в симулятор, користувач має можливість

запускати її в покроковому або безперервному режимах, задавати умовні або безумовні точки зупинки, контролювати і вільно модифікувати вміст комірок пам'яті і регістрів симулює МК [13].

1.3.4. Методи і засоби спільної налагодження апаратних і програмних засобів

Етап спільної налагодження апаратних і програмних засобів в реальному масштабі часу є найбільш трудомістким і вимагає використання інструментальних засобів налагодження. До числа основних інструментальних засобів налагодження відносяться:

- внутрісхемні емулятори;
- плати розвитку (оціночні плати);
- монітори налагодження;
- емулятори ПЗУ.

Внутрисхемний емулятор - програмно-апаратний засіб, здатне замінити емульований МК в реальній схемі.

Внутрісхемний емулятор - це найбільш потужний і універсальне налагоджувальне засіб, яке робить процес функціонування відлагоджуваний контролера прозорим, тобто легко контрольованим, довільно керованим і модифікується.

Плати розвитку, або, як прийнято їх називати в зарубіжній літературі, оціночні плати (Evaluation Boards), є свого роду конструкторами для макетування електронних пристроїв. Зазвичай це друкована плата з встановленим на ній МК і всієї необхідної йому стандартної периферією. На цій платі також встановлюють схеми зв'язку з зовнішнім комп'ютером. Як правило, там же є вільне поле для монтажу прикладних схем користувача. Іноді передбачена вже готова розводка для установки додаткових пристроїв, рекомендованих фірмою. Наприклад, ПЗУ, ОЗУ, ЖКІ- дисплей, клавіатура, АЦП і ін.

Емулятор ПЗУ - програмно-апаратний засіб, що дозволяє заміщати ПЗУ на відлагоджуваний платі, і підставляє замість нього ОЗУ, в яке може бути завантажена програма з комп'ютера через один зі стандартних каналів зв'язку. Цей пристрій дозволяє користувачеві уникнути багаторазових циклів перепрограмування ПЗУ. Емулована пам'ять доступна для перегляду і модифікації, але контроль над внутрішніми керуючими регістрами МК був до недавнього часу неможливий.

Етап спільної налагодження апаратних і програмних засобів в реальному масштабі часу завершується, коли апаратура і програмне забезпечення спільно забезпечують виконання всіх кроків алгоритму роботи системи. В кінці етапу налагоджена програма заноситься за допомогою програматора в незалежну пам'ять МК, і перевіряється робота контролера без емулятора [10].

1.4. Постановка завдання

Програма що розроблюється повинна забезпечувати постійне вимірювати концентрацію метану в рудниковій атмосфері для контролю рівня вибухонебезпечності, а також періодично проводити автодіагностику для надання достовірних даних незалежно від інших факторів, тому що обладнання в середовищі гірничих виробок експлуатуються в дуже складних умовах, які характеризуються можливістю утворення вибухонебезпечного середовища, широким діапазоном зміни температури та атмосферного тиску, високою відносною вологістю і запиленістю рудничної атмосфери, мінливістю газового складу і швидкості повітряного потоку. Склад рудникової атмосфери в місцях експлуатації приладів істотно відрізняється від складу атмосферного повітря на поверхні. При нормальних умовах експлуатації в рудничної атмосфері можуть бути присутніми метан (до 2 об.%) і вуглекислий газ (до 1 об.%), а вміст кисню знижуватися до 20 об.%. У рудниковому газі крім метану зазвичай завжди присутні його вищі гомологи: етан, пропан, бутан і в невеликій кількості водень. Вміст цих компонентів в рудниковому газі зазвичай не перевищує 5 об.%. Крім

того, переносні засоби контролю вибухонебезпечності, а також ті, які встановлюються на рухомих машинах і обладнанні піддаються значним динамічним і вібраційних навантаженням. Все це зумовлює особливі вимоги до виконання засобів контролю вибухонебезпечності, а також вимоги до їх працездатності, надійності, механічної міцності, корозійної стійкості та ін.

Умови експлуатації та режими роботи переносних і стаціонарних засобів контролю в значній мірі відрізняються. Істотно відрізнятися і умови експлуатації стаціонарних засобів, які використовуються в системах автоматичного газового захисту гірничих виробок шахт і тих, що використовуються для контролю вибухобезпеки в системах дегазації. З огляду на це, виконаємо аналіз умов для трьох груп засобів контролю:

- переносних приладів;

- стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності.

При експлуатації переносних приладів зазвичай завжди передбачається їх щозмінне або щоденне обслуговування на поверхні перед кожною видачею в шахту. З огляду на те, що обслуговування приладів здійснюється на поверхні, умови їх експлуатації охоплюють весь можливий діапазон зміни параметрів середовища в гірничих виробках і приміщеннях поверхневого комплексу:

- температура навколишнього середовища від 5 ° С до 35 ° С (278-308) ° К;

- атмосферний тиск 87,8-119,7 кПа;

- відносна вологість навколишнього повітря до 100% при температурі 35 ° С (без конденсації вологи);

- запиленість атмосфери до 1000 мг/м^3;

- швидкість повітряного потоку не більше 8 м/с.

Стаціонарні засоби контролю вибухонебезпечності гірничих виробок шахт вимірюють концентрацію метану в місці установки датчиків газоаналізаторів. Згідно правил безпеки (ПБ) датчики стаціонарних газоаналізаторів повинні встановлюватися у вихідних струменях очисних виробок, в привибійних просторах тупикових виробок, в тупиках вентиляційних виробок, що погашаються услід за очисними забоями та ін. місцях.

Обслуговування стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності гірничих виробок здійснюється щоденно працівниками служби АГЗ безпосередньо в місцях їх установки. Умови їх експлуатації охоплюють весь можливий діапазон зміни параметрів середовища в гірничих виробках шахт. Зазвичай, з метою уніфікації вимог до засобів контролю вибухонебезпечності, діапазон зміни таких параметрів середовища як температура навколишнього середовища, атмосферний тиск, відносна вологість навколишнього повітря і запиленість атмосфери для стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності гірничих виробок приймається таким же, як і для переносних приладів.

1.5. Вимоги до програми або програмного виробу

Вимоги до функціональних характеристик.

Так як розробляється система призначена для постійного моніторингу вибухонебезпечності навколишнього рудної атмосфери, що залежить від концентрації в ній метану. То вхідні дані формуються самою системою в залежності від показань на датчиках. Оброблюючи вхідні данні система формує вихідні дані якими є поточні показання концентрації метану, в середовищі в якій застосовується система, які відображаються на цифровому дисплеї а також відсилаються до центру моніторингу виробництва. При привішені норми концентрації метану в оточуючому систему середовищі вмикається звукова сирена що сповіщає про загрозу вибуху.

Вимоги до інформаційної безпеки.

Так як система що розробляється призначена для використання в рудниковому оточенні де виключено наявність сторонніх а так само неможливо підключиться до дротів по яким передаються показання системи. То єдиною вимогою до інформаційної безпеки є запобігання можливості вплинути на показання системи персоналу що її використовує.

Вимоги до складу та параметрів технічних засобів.

Пристрій який розробляється призначений для роботи в середовищах

гірничих виробок і обладнанні вугільних шахт. Такі пристрої експлуатуються в дуже складних умовах, які характеризуються можливістю утворення вибухонебезпечного середовища, широким діапазоном зміни температури від 5° С до 35° С та атмосферного тиску 87,8-119,7 кПа, високою відносною вологістю до 100% при температурі 35°С (без конденсації вологи) і запиленістю рудничної атмосфери до 1000 мг/м^3, мінливістю газового складу і швидкості повітряного потоку. Крім того, переносні засоби контролю вибухонебезпечності, а також ті, які встановлюються на рухомих машинах і обладнанні піддаються значним динамічним і вібраційних навантажень. Все це зумовлює особливі вимоги до виконання засобів контролю вибухонебезпечності, а також вимоги до їх працездатності, надійності, механічної міцності, корозійної стійкості, іскор безпеки та ін.

Вимоги до інформаційної та програмної сумісності.

Цей пристрій призначений для самостійної роботи. Результати своєї роботи у вигляді поточної концентрації метану в оточуючому середовищі пристрій виводить на цифровий дисплей а також за допомогою прийомо-передавача передає в центр моніторингу стану виробничого середовища. У зв’язку з цим програма мікроконтролера повинна бути сумісною з пристроями які будуть використані в пристрої що розробляється.

1.6. Вибір мікроконтролера

Для реалізації даного приладу був вибраний мікроконтролер ATmega8, який задовольняє вимогам до швидкості обробки даних, обсягом постійної пам'яті, наявності вбудованих АЦП і таймерів а також здатний витримати експлуатаційні умови. Всього контролер AVR має 32 8-бітових регістра загального призначення. Протягом циклу процесор бере дані з двох регістрів і поміщає їх в арифметико-логічний пристрій, яке виробляє операцію над даними і поміщає їх в довільний регістр. арифметико-логічний пристрій може виконувати як арифметичні, так і логічні дії над операндами. Також арифметико-

логічний пристрій може виконувати і дії з одним операндом (регістром). При цьому контролер не має регістра-акумулятора, на відміну від контролерів сімейства 8051 - для операцій можуть використовуватися будь-які регістри, і результат операції також може бути поміщений в будь-який регістр.

Контролер відповідає вимогам Гарвардської обчислювальної архітектурі, згідно з якою комп'ютер має окрему пам'ять для програм і даних. Тому в той час, поки виконується одна інструкція, відбувається попереднє вилучення з пам'яті наступної інструкції. Контролер здатний виконувати одну інструкцію за цикл. Звідси випливає, що якщо тактова частота контролера становить 1 МГц, то його продуктивність складе 1 млн. оп./с. Чим вище тактова частота контролера, тим вищою буде його швидкість. Однак при виборі тактової частоти контролера слід дотримуватися розумного компромісу між його швидкістю і енергоспоживанням. Крім флеш-пам'яті і процесора контролер має такі пристрої, як порти введення-виведення, аналого-цифровий перетворювач, таймери, комунікаційні інтерфейси - I2C, SPI і послідовний порт UART. Всі ці пристрої можуть контролюватися програмно.

Даний мікропроцесор має наступні характеристики: 8-розрядний високопродуктивний AVR мікроконтролер з малим споживанням. Прогресивна RISC архітектура. 130 високопродуктивних команд, більшість команд виконується за один тактовий цикл. 32 8-розрядних робочих регістра загального призначення Повністю статична робота. Продуктивність наближається до 16 MIPS (при тактовій частоті 16 МГц). Вбудований 2-цикловий перемножувач. Незалежна пам'ять програм і даних. 8 Кбайт внутрісистемного програмованої Flash пам'яті (In-System Self-Programmable Flash). Забезпечує 1000 циклів стирання / запису. Додатковий сектор завантажувальних кодів з незалежними битами блокування. Забезпечено режим одночасного читання / запису (Read-While-Write). 512 байт EEPROM. Забезпечує 100000 циклів стирання / запису. 1 Кбайт вбудованої SRAM. Програмована блокування, що забезпечує захист програмних засобів користувача. Вбудована периферія: Два 8-розрядних таймера / лічильника з окремим попередніми дільником, один з режимом

порівняння. Один 16-розрядний таймер / лічильник з окремим попередніми дільником і режимами захоплення і порівняння. Лічильник реального часу з окремим генератором.

Три канали PWM. 8-канальний аналого-цифровий перетворювач (в корпусах TQFP і MLF). 6 каналів з 10-розрядної точністю. канали з 8-розрядної точністю. 6-канальний аналого-цифровий перетворювач (в корпусі PDIP). 4 канали з 10-розрядної точністю. 2 канали з 8-розрядної точністю. Байт-орієнтований 2-дротовий послідовний інтерфейс. Програмований послідовний USART. Послідовний інтерфейс SPI (провідний / ведений). Програмований сторожовий таймер з окремим вбудованим генератором. Вбудований аналоговий компаратор. Спеціальні мікроконтролерні функції: Скидання по подачі живлення і програмований детектор короткочасного зниження напруги живлення. Вбудований калібрований RC-генератор. Внутрішні і зовнішні джерела переривань. П'ять режимів зниженого споживання: Idle, Power-save, Power-down, Standby і зниження шумів ADC. Висновки I / O і корпусу. 23 програмовані лінії введення / виводу. 28-вивідний корпус PDIP, 32-вивідний корпус TQFP і 32-вивідний корпус MLF. Робочі напруги 4,5 - 5,5 В (ATmega8). Робоча частота 0 - 16 МГц (ATmega8) [3].

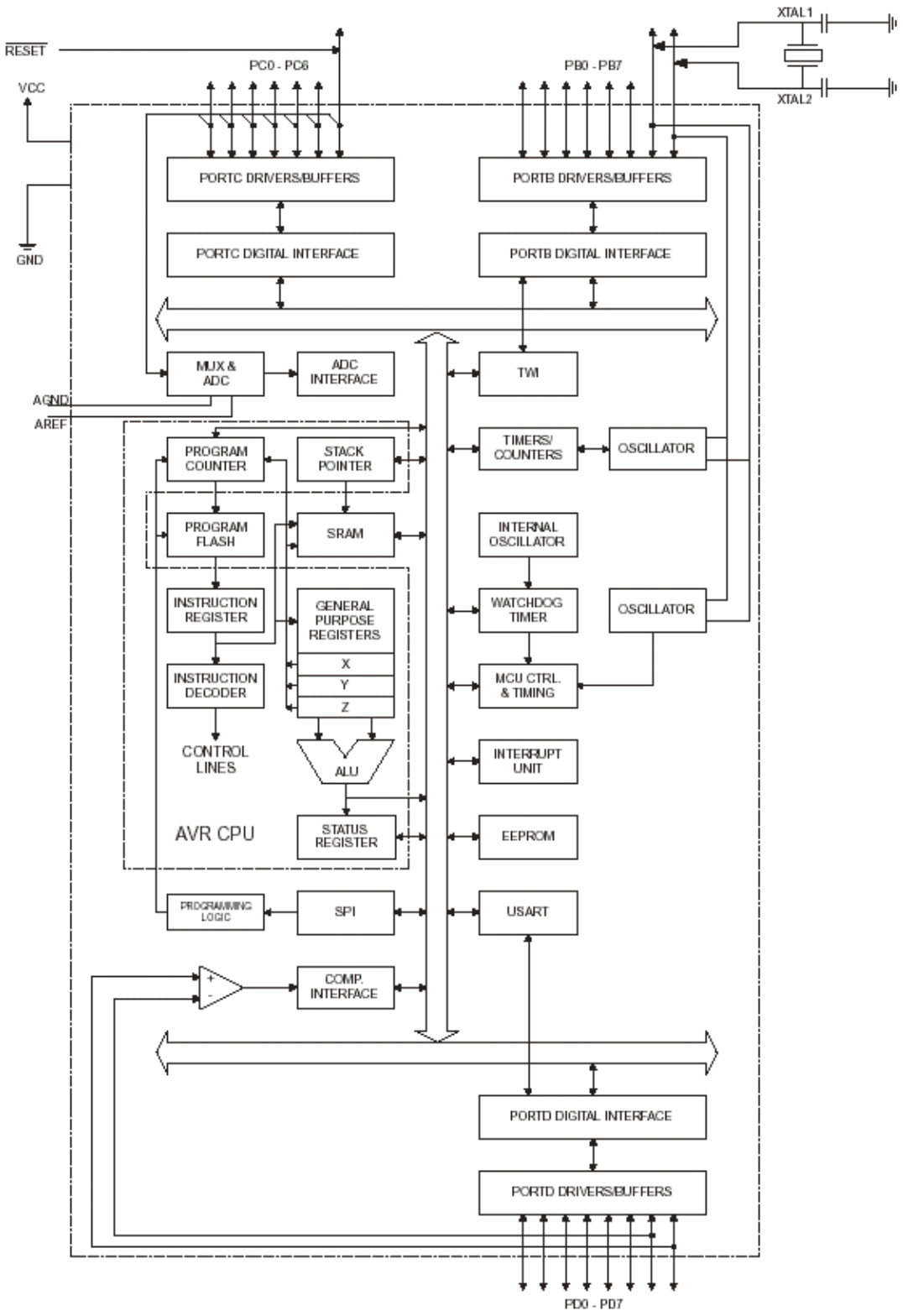

Рис. 1.1 Блок-схема мікроконтролера ATmega8

1.7. Висновки до першого розділу

У першому розділі наведено загальні відомості з предметної галузі. Розглянуто сучасний стан засобів контролю вибухонебезпечності атмосфери вугільних шахт. Наведена інформація про мікропроцесори які можуть використовуватися в системах контролю.

Показано що перспективним напрямком вдосконалення контролю є використання сучасних мікропроцесорних засобів. Описано основні етапи розробки мікропроцесорних систем контролю та особливості їхньої побудови та програмування.

Було визначено основні вимоги до мікропроцесорної системи контролю вибухонебезпечності та виходячи з них було встановлено основні вимоги до необхідного мікроконтролеру та його програмного забезпечення. Виходячи з цих вимог було вибрано мікропроцесор ATmega8 та мову програмування C++.

РОЗДІЛ 2
АНАЛІЗ РОЗРОБОК В ОБЛАСТІ ДІАГНОСТИКИ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ

2.1. Аналіз засобів контролю вибухонебезпечності

Засоби контролю вибухонебезпечності середовища в гірничих виробках і обладнанні вугільних шахт експлуатуються в дуже складних умовах, які характеризуються можливістю утворення вибухонебезпечного середовища, широким діапазоном зміни температури та атмосферного тиску, високою відносною вологістю і запиленістю рудничної атмосфери, мінливістю газового складу і швидкості повітряного потоку. Крім того, переносні засоби контролю вибухонебезпечності, а також ті, які встановлюються на рухомих машинах і обладнанні піддаються значним динамічним і вібраційних навантажень. Все це зумовлює особливі вимоги до виконання засобів контролю вибухонебезпечності, а також вимоги до їх працездатності, надійності, механічної міцності, корозійної стійкості та ін.

Існуючі засоби і системи контролю вибухонебезпечності середовища в гірничих виробках і обладнанні вугільних шахт прийнято ділити на наступні групи [35, 36]:

- переносні прилади епізодичної дії;
- переносні автоматичні прилади;
- стаціонарні автоматичні прилади;
- системи автоматичного дистанційного контролю.

Умови експлуатації та режими роботи переносних і стаціонарних засобів контролю в значній мірі відрізняються [37]. Істотно відрізнятися і умови експлуатації стаціонарних засобів, використовуваних в системах автоматичного газового захисту гірничих виробок шахт і використовуваних для контролю вибух безпеки в системах дегазації. З огляду на це, виконаємо аналіз умов для трьох груп засобів контролю:

- переносних приладів;

- стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності гірничих виробок шахт;

- стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності дегазаційних систем.

При експлуатації переносних приладів зазвичай завжди передбачається їх щозмінне або щоденне обслуговування на поверхні перед кожною вдачею в шахту [38-40]. З огляду на те, що обслуговування приладів здійснюється на поверхні, умови їх експлуатації охоплюють весь можливий діапазон зміни параметрів середовища в гірничих виробках і приміщеннях поверхневого комплексу шахти:

- температура навколишнього середовища від 5 ° С до 35 ° С (278-308) ° К;
- атмосферний тиск 87,8-119,7 кПа;
- відносна вологість навколишнього повітря до 100% при температурі 35 ° С (без конденсації вологи);
- запиленість атмосфери до 1000 мг / м3;
- швидкість повітряного потоку не більше 8 м / с.

З огляду на те, що прилади можуть експлуатуватися у вибухонебезпечному середовищі вони повинні мати рівень і вид вибухозахисту РВ Ia С.

Склад рудникової атмосфери в місцях експлуатації приладів істотно відрізняється від складу атмосферного повітря на поверхні. При нормальних умовах експлуатації в рудничної атмосфері можуть бути присутніми метан (до 2 об.%) І вуглекислий газ (до 1 об.%), а вміст кисню знижуватися до 20 об.%. При аварійних загазування гірничих виробок концентрація метану може досягати десятків відсотків, а концентрація кисню в результаті розведення повітря рудниковим газом істотно знижуватися.

У рудниковому газі крім метану зазвичай завжди присутні його вищі гомологи: етан, пропан, бутан і в невеликій кількості водень [41,42]. Вміст цих

компонентів в рудниковому газі зазвичай не перевищує 5 об.%, При аналізі вибухових властивостей сумішей ними зазвичай нехтують [43].

При наявності осередків горіння в заваленій гірничій масі концентрація водню зростає і в гірничу атмосферу надходить оксид вуглецю [44,45]. У разі розвинених пожеж вміст оксиду вуглецю і водню в рудниковому повітрі досягає 2,0 об.%, а іноді і більше [46,47]. Досліджуваної суміш в цьому випадку містить кілька горючих компонентів, і її вибухові властивості зростають.

Крім зазначених газів в рудничної атмосфері можуть бути присутні й інші шкідливі гази, зокрема діоксид сірки, сірководень, оксиди азоту та ін.

Діоксид сірки утворюється в основному при згорянні сірки, що міститься в значній кількості в багатьох марках вугілля. Він надходить в гірничу атмосферу при пожежах та вибухових роботах. Так, згідно з [29] при пожежах в шахтах що розробляють високо сірчисті вугілля концентрація діоксиду сірки може досягати десятої частини об'ємного відсотка і вище.

Сірководень утворюється внаслідок гниття органічних речовин, взаємодії сульфатних вод з метаном, розкладання водою сірчаного колчедану, надходить в гірничу атмосферу з тріщин і мінеральних джерел. Значна його кількість може також виділятися під час проведення підривних робіт і при ендогенних пожежах [28]. У деяких випадках концентрація сірководню може досягати десятих часток об'ємного відсотка.

Значна кількість оксидів азоту утворюються при веденні вибухових робіт. Основною формою оксидів, що надходять в початковий момент в гірничу атмосферу після вибуху є оксид азоту NO. У рудниковому повітрі в присутності парів води і діоксиду сірки, які виступають в ролі каталізаторів, оксид азоту з'єднується з киснем повітря і переходить в форму діоксиду азоту NO_2. Висока концентрація оксидів азоту (до десятих часток відсотка) спостерігається тільки після вибухових робіт. Надалі, в результаті інтенсивної взаємодії оксидів азоту з водою, їх концентрація в рудниковому повітрі швидко знижується.

Експлуатація переносних приладів в умовах, що значно відрізняються від нормальних, зазвичай можлива протягом часу, необхідного для виходу

персоналу з загазованих виробок на свіжу вентиляційний струмінь і може тривати до декількох годин. У разі утворення завалів, що ускладнюють вихід працівників з аварійної дільниці, експлуатація цих приладів в умовах, що значно відрізняються від нормальних, може тривати до повної розрядки акумуляторів в блоці живлення, тобто фактично становить 8-10 годин.

При наявності завалів витрата повітря у виробках істотно знижується, що призводить до їх загазування. Час загазування залежить від інтенсивності газовиділення і кратності зміни витрати повітря. Зазвичай між кратністю зміни витрат повітря і концентрацією метану у вихідному струмені лави існує лінійна залежність [25], характерний вигляд якої наведено на рис 2.1. В даному випадку авторами за кратність приймалася величина зворотна коефіцієнту зменшення витрат повітря k.

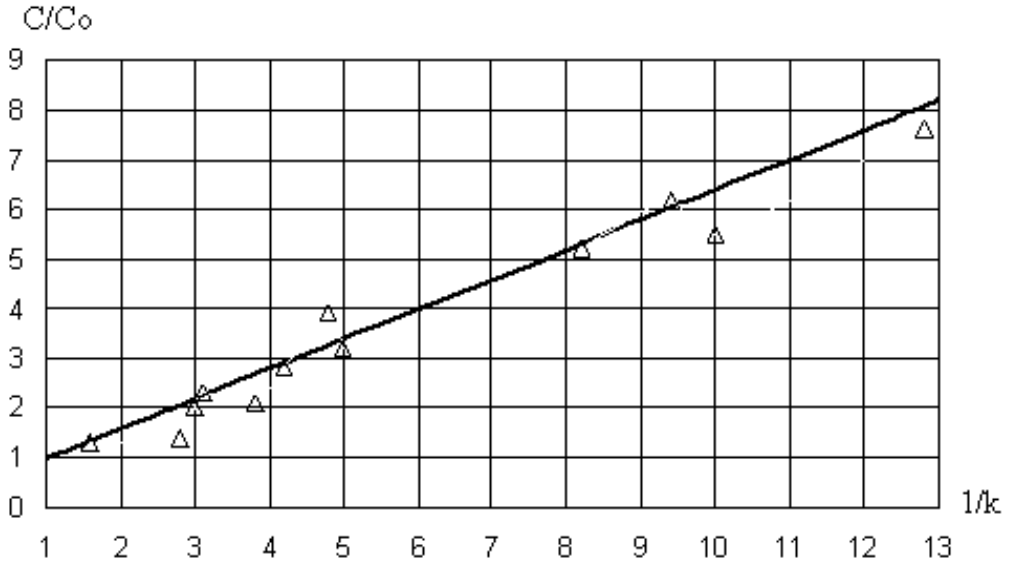

Рис. 2.1. Залежність очікуваної концентрації метану у вихідному струмені лави від кратності зміни витрати повітря.

Виходячи з рис. 2.1 при початковій концентрації метану у виробці 1 об.%, в результаті зміни витрат повітря вміст метану в місцях можливого знаходження працюючих може тривалий час знаходиться в діапазоні вибухонебезпечних концентрацій, що може привести до перегріву чутливих елементів існуючих

термокаталітичних датчиків і відмов в роботі засобів контролю вибухонебезпечності.

Переносні прилади в процесі експлуатації можуть піддаватися впливу транспортної та технологічної вібрації. Можливі також випадкові удари по корпусу приладів, падіння з висоти, короткочасна заливання водою, засипання вугільної дрібницею і ін.

Стаціонарні засоби контролю вибухонебезпечності гірничих виробок шахт вимірюють концентрацію метану в місці установки датчиків газоаналізаторів. Згідно [29] датчики стаціонарних газоаналізаторів повинні встановлюватися у вихідних струменях очисних виробок, в привибійних просторах тупикових виробок, в тупиках вентиляційних виробок, що погашаються услід за очисними забоями та ін. Місцях.

Обслуговування стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності гірничих виробок здійснюється безпосередньо в місцях їх установки. Умови їх експлуатації охоплюють весь можливий діапазон зміни параметрів середовища в гірничих виробках шахт. Зазвичай, з метою уніфікації вимог до засобів контролю вибухонебезпечності, діапазон зміни таких параметрів середовища як температура навколишнього середовища, атмосферний тиск, відносна вологість навколишнього повітря і запиленість атмосфери для стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності гірничих виробок приймається таким же, як і для переносних приладів.

Істотні зміни газового складу спостерігаються в ізольованих ділянках гірничих виробок при гасінні складних розвинулися пожеж методами ізоляції [5]. В ізольованих виробках знижується вміст кисню, збільшується концентрація метану, вуглекислого газу, оксиду вуглецю, діоксиду сірки, водню, а крім того в суміші газів можуть бути присутніми ненасичені вуглеводні, продукти термічного розкладання горючих речовин і матеріалів. В даний час при управлінні процесом гасіння ізольованих пожеж контроль газового складу, що характеризує вибухові властивості суміші, здійснюють шляхом відбору проб і подальшого їх лабораторного аналізу або за допомогою шахтних хроматографів.

Існуючі стаціонарні газоаналізатори в такій ситуації виявляються непрацездатними.

Вельми важкі умови експлуатації характерні для засобів контролю встановлюються в привибійних просторах виробок, а також на видобувні і транспортні обладнанні, де на засоби контролю можливий вплив елементів машин і механізмів, води, падаючих шматків вугілля і породи, підвищених рівнів вібрації. Крім того, засоби контролю вибухонебезпечності, що встановлюються на транспортному обладнанні, можуть експлуатуватися при більш високій швидкості повітряного потоку. При зустрічному напрямку руху повітря і транспортного засобу, ця швидкість може доходити до 20 м/с [32,33].

Умови експлуатації стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності дегазаційних систем можуть істотно відрізнятися від умов експлуатації засобів контролю вибухонебезпечності, що встановлюються в гірничих виробках шахт. Зазвичай дегазація вугільних шахт здійснюється розташованими на поверхні стаціонарними вакуум-насосними установками, з'єднаними магістральними та дільничними трубопроводами з дегазаційними свердловинами.

У період стабільної вуглевидобутку на шахтах України експлуатувалося понад 100 дегазаційних станцій, з'єднаних мережею трубопроводів з дегазаційними свердловинами і споживачами [32,33]. Середня довжина трубопроводів системи дегазації становила 10 км, при середньому діаметрі труб близько 200 мм. Загальна кількість вилученого метану досягала 1800 тис. $м^3$ на добу. Вміст метану в дренованій суміші становив від 5 до 60 об.%, При середньому його значенні 35 об.%. У подальшому через закриття шахт, внаслідок несвоєчасної реконструкції дегазаційних систем їх кількість значно зменшилася, вміст метану в дренованій суміші знизився. Так вже в 90-х роках тільки на 38% шахт вилучалась суміш з вмістом метану більше 25 об.%, А на решті шахт відсмоктували вибухонебезпечні або близькі до них суміші [28].

Важливим параметром, що визначає умови експлуатації стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності дегазаційних систем є тиск. Слід зазначити, що засоби контролю, встановлені до вакуум-насоса, працюють при

тиску нижче атмосферного, а за вакуум-насосом - під підвищеним тиском. Величина розрідження або надлишкового тиску може змінюватися в досить широких межах залежно від довжини і стану дегазаційних трубопроводів, наявності підсосів повітря в дегазаційні свердловини через зруйнований гірський масив і негерметичні гирла і ін. причини.

Датчики стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності, як правило, встановлюються безпосередньо в аналізованій суміші. Датчики, встановлені до вакуум-насоса, можуть працювати при розрідженні 16 - 86 кПа. Тиск за вакуум-насосом при викиді метано-повітряної суміші в атмосферу практично дорівнює атмосферному, а при подальшому використанні суміші досягає 150 кПа.

У дренованих газових сумішах, крім метану, присутні різні газоподібні домішки, які впливають на вибухові властивості метану [30,27] і змінюють умови роботи датчиків газоаналізаторів. Нижня межа вибуховості суміші газів зазвичай визначається за формулою Ле-Шательє [27]

$$C_c = \frac{100}{\frac{C_1}{N_1}+\frac{C_2}{N_2}+\ldots\ldots+\frac{C_n}{N_n}}, \qquad (2.1)$$

де C_1, C_2, ..., Cn - концентрація горючих компонентів, присутніх в суміші,% ($C_1 + C_2 + ... + Cn = 100\%$);

N_1, N_2, ..., Nn - нижня межа вибуховості відповідних горючих компонентів,%.

Аналіз складу рудничних газів, відібраних зі свердловин на шахтах Донбасу показав, що найбільший вміст домішок характерний для шахт, що ведуть розробку вугільних пластів ранньої та середньої стадій метаморфізму, причому встановлено, що вміст домішок збільшується зі зростанням глибини розробки. Основною горючою домішкою в метано-повітряної суміші є етан. На деяких глибоких шахтах його концентрація в рудниковому газі доходить до 5 об.%. Найбільш істотно на зміну вибухових властивостей суміші впливає пропан, вміст якого в деяких сумішах доходить до 1 об.%. При контролі

вибухонебезпечності гірничих виробок в області близькій до неприпустимих концентрацій метану [33], наприклад 1 або 2,0 об.%, наявність вищих гомологів метану в газоповітряній суміші при розглянутих складах горючих газів не перевищує 0,1 об.% і практично не впливає на роботу засобів контролю вибухонебезпечності. При контролі вибухонебезпечності газових сумішей в дегазаційних трубопроводах і контролі концентрацій в області верхньої межі неприпустимих концентрацій метану [33] вміст вищих гомологів може перевищувати 1 об.%.

Як правило, в дегазаційні трубопроводи надходить газ насичений парами води до 20 г/м^3. У місці установки датчиків можуть бути також тверді і рідкі частинки негорючих речовин (пил, крапельна волога, іржа та ін.) [27,28]. Швидкість потоку газової суміші в трубопроводах до вакуум-насосів в деяких випадках досягає 30 м/с. У трубопроводах, що з'єднують вихід вакуум-насосів з споживачами швидкість метано-повітряної суміші не перевищує 20 м/с. Найбільша швидкість потоків, аж до 50 м/с, спостерігається на викиді суміші в атмосферу (в «свічках»).

2.2. Існуючі рішення в області контролю чутливості

Розглянемо існуючі рішення в області контролю чутливості важливих параметрів термогрупи, таких як активності робочого елемента, цілісності газо дифузійного фільтра, а також працездатності аналізатора, правильності настройки порогів спрацьовування захисту, однозначності роботи засобів захисту при високих концентраціях метану.

У стаціонарному режимі за умови, що лімітуючим агентом в метано-повітряній суміші є метан, і протікання реакції окислення на робочому елементі протікає в дифузійної області потік метану $Q_{\text{м}}$ до його поверхні лінійно залежить від концентрації метану в реакційній камері і ефективної дифузійної провідності елемента [32]

$$Q_{\text{м}} = \gamma_{\text{э}} \text{C}_{\text{мк}} \quad (2.2)$$

де $\gamma_{\text{э}} = 10^{-2} K_{\text{эф}} \beta_{\text{м}} F_{\text{э}}$- ефективна дифузійна провідність елемента, м^3/с;

$\text{C}_{\text{мк}}$ - концентрація метану в реакційній камері, кг/м^3;

$\text{К}_{\text{эф}}$ - коефіцієнт ефективності окислення метану;

$\beta_{\text{м}}$ - коефіцієнт масопередачі, м/с;

$F_{\text{э}}$ - площа поверхні елемента, м^2.

У свою чергу концентрація метану в реакційній камері пов'язана з концентрацією метану в навколишній атмосфері $\text{C}_{\text{ма}}$співвідношенням [33]

$$C_{\text{мк}} = \text{к}_{\text{м}} \text{C}_{\text{ма}} = \text{C}_{\text{ма}} \frac{\gamma_{\text{ф}}}{\gamma_{\text{э}} + \gamma_{\text{ф}}}, \quad (2.3)$$

де $\text{к}_{\text{м}} = \gamma_{\text{ф}} / (\gamma_{\text{э}} + \gamma_{\text{ф}})$ - коефіцієнт передачі датчика по концентрації;

$\gamma_{\text{ф}}$ - дифузійна провідність фільтр елемента, м^3/с.

При постійних параметрах живлення термокаталітичного датчика ефективна дифузійна провідність однозначно визначає активність робочого елемента. Зміна параметрів живлення термокаталітичного датчика призводить до зміни ефективної дифузійної провідності елемента і відповідно до зміни концентрації метану в реакційній камері. Розглянемо можливість здійснення діагностики активності робочого елемента шляхом керування живленням термогрупи, зокрема при здійсненні діагностики нуля вимірювального моста, розглянутого нами в роботі [32].

За час паузи, протягом якого здійснювалася перевірка нуля вимірювального моста, вигоряння метану в реакційній камері не відбувається, тому після паузи його концентрація в камері будуть вище, ніж до паузи. Після розігріву робочого елемента і відновлення процесу горіння метану до встановлення стаціонарного режиму вихідна напруга моста буде більше, ніж до паузи.

Концентрацію метану в камері при стаціонарному режимі горіння на початку паузи $C_{мко}$ визначимо як

$$C_{мко} = C_{ма}\frac{\gamma_ф}{\gamma_ф+\gamma_э}. \quad (2.4)$$

Протягом паузи тривалістю t відбувається зміна концентрації метану в камері, швидкість якого буде

$$\frac{dC_{мк}}{dt} = \frac{\gamma_ф}{V_p}(C_{ма} - C_{мк}), \quad (2.5)$$

де Vp- обсяг реакційної камери.

Рішення рівняння з урахуванням початкових умов має вигляд

$$C_{мк} = C_{мко} + (C_{ма} - C_{мко})\left[1 - \exp\left(-\frac{\gamma_ф}{V_p}t\right)\right]. \quad (2.6)$$

Теоретично питання перенесення метану через пористі керамічні і металокерамічні фільтри розглянуті в [37], однак отримані вирази для розрахунку провідності фільтрів включають параметри, які практично неможливо (середній розмір пір, довжина пір, їх звивистість і ін.) визначити на практиці. Тому оцінку величини провідності фільтрів здійснимо виходячи з експериментальних даних про швидкість вигоряння метану в герметичній камері [37].

При номінальній напрузі живлення експериментальні значення ефективної дифузійної провідності робочого термоелемента термогрупи серійно використовуваних в аналізаторах метану АТ1-1 і АТ3-1 становлять близько $\gamma_э = 10^{-7}м^3/с$. Чутливість газоаналізатора при знятті з такою термогрупи металокерамічного фільтра (режим роботи без обмеження дифузії контрольованого середовища) зростає в середньому на 50%. З урахуванням цих

даних величина дифузійної провідності металокерамічного фільтра термогрупи аналізаторів становить $\gamma_ф = 10^{-7}$м^3/с. Обсяг реакційної камери цих термогрупи становить близько $V_р = 4 \cdot 10^{-7}$м^3.

З урахуванням наведених даних можна вважати, що за час паузи близько 20сз концентрація метану в реакційній камері практично буде відповідати концентрації метану в навколишній атмосфері

$$С_{мк} = С_{ма}. \quad (2.7)$$

Наявність вищої концентрації в камері після паузи призводить до первісного сплеску вихідної напруги моста, нормоване значення якого в такому разі буде

$$\frac{\Delta U_{вых}}{U_{вых.о.}} = \frac{C_{мк} - C_{мко}}{C_{мко}}. \quad (2.8)$$

З урахуванням виразів (2.6) і (2.7) отримаємо

$$\frac{\Delta U_{вых}}{U_{вых.о.}} = \frac{\gamma_ф + \gamma_э}{\gamma_ф}. \quad (2.9)$$

Таким чином, при значній тривалості паузи, постійному обсязі реакційної камери і часі паузи нормоване значення сплеску вихідної напруги моста однозначно не характеризує каталітичну активність елемента, а залежить від відношення сумарної дифузійної провідності до дифузійної провідності фільтра.

При тривалості паузи до 2 з вираз (2.6) можна представити у вигляді

$$С_{мк} = С_{мко} + (С_{ма} - C_{мко}) \frac{\gamma_ф}{V_p} t. \quad (2.10)$$

Підставляючи у вираз (2.10) значення концентрації метану в камері після і до початку паузи отримаємо

$$\frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых.о.}}} = \frac{\gamma_э t}{V_p}. \qquad (2.11)$$

Таким чином, при невеликій тривалості паузи, постійному обсязі реакційної камери і часу паузи нормоване значення сплеску вихідної напруги моста характеризує каталітичну активність елемента і не залежить від дифузійної провідності фільтра.

Експериментальна перевірка запропонованого методу діагностики каталітичної активності елемента показала, що з одного боку таку діагностику важко поєднати з діагностикою нуля вимірювального моста, оскільки за такий малий проміжок пір не закінчуються перехідні теплові процеси, а з іншого боку початковий сплеск вихідної напруги моста має невелику величину (до 1,1 $U_{\text{вих.о.}}$) і в багатьох випадках істотно спотворений перехідними тепловими процесами, які виникають в результаті розігріву елементів термогрупи.

З огляду на викладене, для діагностики активності термогрупи по перехідним процесам необхідна розробка спеціальних типів датчиків. У цьому плані становить інтерес, запропонований датчик з подвійним дифузійним фільтром [38, 39].

Цей датчик дозволив розширити діапазон вимірювання, зменшити вплив нестабільності живлення температури, швидкості метано-повітряної суміші та запилення фільтрелемента на похибку вимірювання, забезпечити збереження працездатності датчика при підвищеному вмісті горючого газу в контрольованій атмосфері.

Параметри фільтрелемента, каліброваного отвори і термоелементів в датчику підібрані так, що забезпечується нерівність

$$\gamma_{\text{отв}} << \gamma_э << \gamma_ф, \qquad (2.12)$$

де $\gamma_{отв}$ - дифузійна провідність каліброваного отвори, м^3/с.

В цьому випадку при малій тривалості паузи вираз (2.6) набуває вигляду

$$C_{мк} = C_{мко} + (C_{ма} - C_{мко})\frac{\gamma_{отв}}{V_p}t, \quad (2.13)$$

а вирз (2.11) і (2.9) можна представити у вигляді

$$\frac{\Delta U_{вых}}{U_{вых.о.}} = \frac{\gamma_э t}{V_p}. \quad (2.14)$$

$$\frac{\Delta U_{вых}}{U_{вых.о.}} = \frac{\gamma_{отв}+\gamma_э}{\gamma_{отв}}; \quad (2.15)$$

Величина дифузійної провідності каліброваного отвору в такому датчику становить близько $\gamma_{отв} = 0{,}25 \cdot 10^{-7}$м^3/с, а $\gamma_э = 10^{-7}$м^3/с. Обсяг реакційної камери $V_р = 3 \cdot 10^{-7}$м^3. При таких параметрах отвору і камери вираз (2.14) справедливий при часі пауи менше 2 с. При тривалій паузі справедливим є вираз (2.15). Характерним для цього випадку є те, що при стабільній незмінній величині $\gamma_{отв}$ і зазначеному співвідношенні величин дифузійної провідності нормоване значення викиду і в другому випадку однозначно пов'язане з ефективною дифузійної провідністю термоелемента. При цьому прогнозована амплітуда викиду до п'яти разів може перевищувати вихідну напругу моста до паузи [39].

На рис. 2.2 наведені експериментально зняті криві перехідних процесів в газоаналізаторах із запропонованим термокаталітічним датчиком. У першому датчику чутливий елемент виготовлений за стандартною технологією, а в другому встановлений спеціально виготовлений елемент зі зниженою каталітичної активністю (на поверхню чутливого елемента термогрупи нанесено недостатньо платино-паладієвого каталізатора). Розміри каліброваного отвори для датчиків обрані l = 0,5 мм, d = 1,0 мм. Вихідна напруга вимірювального моста

з першим датчиком становило 7,3 мВ / об.%, А з другим - 4,8 мВ / об.%. Концентрація метану при дослідженнях становила $C_м$ = 1,03 об.%. До моменту початку паузи показання аналізаторів встановлюються однаковими, незважаючи на різну каталітичну активність чутливих елементів. Відносні величини амплітуд сплеску вихідної напруги після 20 секундної паузи (початок розігріву t=26 с) істотно відрізняються, що дозволяє досить ефективно виявити втрату каталітичної активності термогрупи, що настала внаслідок отруєння або інших причин.

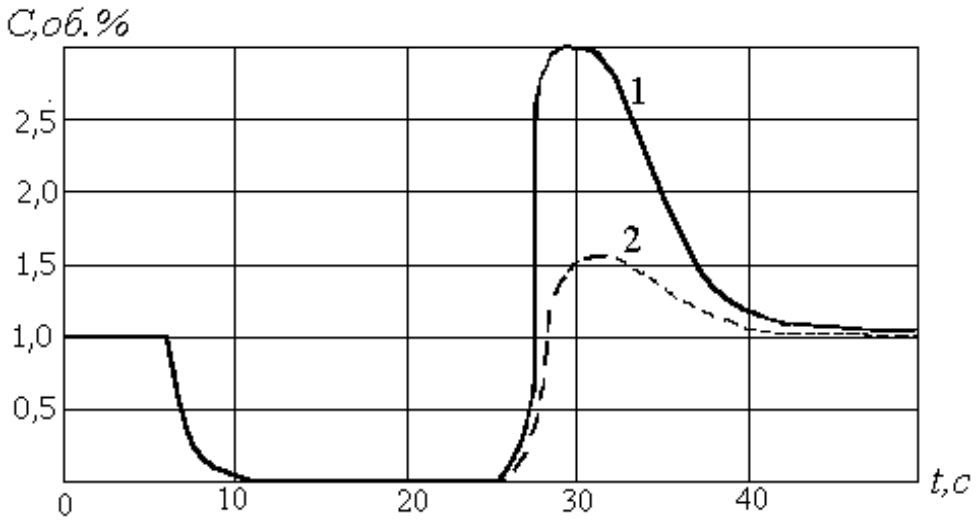

Рис. 2.2. Перехідні процеси при діагностиці серійної термогрупи з додатковим дифузійним фільтром (1) і термогрупи зі зниженою каталітичної активністю чутливого елемента (2)

При однакових параметрах каліброваного отвори, використовуючи вираз (2.15) ми можемо оцінити відмінності в величинах ефективної дифузійної провідністю термоелементів.

Для першого датчика

$$\frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых.о.}}} = \frac{\gamma_{\text{отв}}+\gamma_{\text{э1}}}{\gamma_{\text{отв}}} = 3{,}0 \qquad (2.16)$$

для другого

$$\frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых.о.}}} = \frac{\gamma_{\text{отв}}+\gamma_{э2}}{\gamma_{\text{отв}}} = 1{,}6. \quad (2.17)$$

Звідки отримаємо $\gamma_{э1} = 2{,}0\gamma_{\text{отв}}$ і $\gamma_{э2} = 0{,}6\gamma_{\text{отв}}$, А каталітична активність другого елементу в 3,5 рази нижче, ніж першого $\gamma_{э1} = 3{,}5\gamma_{э2}$.

Проте аналогічна ситуація виникає і при порушенні цілісності реакційної камери, так як збільшення γ_o призводить до підвищення усталеної концентрації в камері і, отже, знижує відносну швидкість надходження метану в камеру під час паузи і відносну величину амплітуди сплеску вихідної напруги [39], що ускладнює процес діагностування чутливості таким методом.

2.3. Особливості програмування мікроконтролерів AVR

Мікроконтролери складають найбільш широкий клас мікропроцесорів, які використовуються в приладах, пристроях і системах різного призначення. Мікроконтролер - це спеціалізований мікропроцесор, призначений для побудови пристроїв управління технічними об'єктами і технологічними процесами [15]. Конструктивно мікроконтролер є великою інтегральну схему (БІС), на кристалі якої розміщені всі складові частини типовий обчислювальної системи: мікропроцесор, пам'ять, а також периферійні пристрої для реалізації додаткових функцій. Так як всі елементи мікроконтролера розміщені на одному кристалі, їх також називають одно кристальними мікро-ЕОМ або одно кристальними мікроконтролерами. Мета застосування мікроконтролерів - скорочення числа компонентів,

Як правило, мікроконтролери мають RISC-архітектуру (RISC - Reduced Instruction Set Computer - обчислювач зі скороченим набором команд), незначну ємність пам'яті, фізичне і логічне поділ пам'яті програм і пам'яті даних, орієнтовану на завдання управління систему команд. Таким чином, мікроконтролери призначені для вирішення завдань управління, контролю,

регулювання та первинної обробки інформації і менш ефективні при реалізації складних алгоритмів обробки даних. До складу типовий мікроконтролерної системи управління входить мікроконтролер і апаратура його сполучення з об'єктом управління [13].

Мікроконтролер виробляє періодичний опитування сигналів стану об'єкта і відповідно до закладеного алгоритму генерує послідовності сигналів управління. Сигнали стану характеризують поточні параметри об'єкта управління. Вони формуються шляхом перетворення вихідних сигналів датчиків за допомогою аналого-цифрових перетворювачів або формувачів сигналів стану; останні найчастіше виконують функції гальванічної розв'язки і формування рівнів. Сигнали управління, вироблені мікро контролером, піддаються перетворенню за допомогою цифро аналогових перетворювачів або формувачів сигналів управління, в якості яких застосовуються підсилювачі потужності, оптрони, транзисторні та тиристорні ключі та ін. Вихідні сигнали аналого-цифрових перетворювачів і формувача сигналів управління є відповідно аналогові й дискретні керуючі впливу, які надходять на виконавчі пристрої. В системі можуть бути також передбачені панель управління, пристрій індикації та інтерфейс для обміну інформацією з зовнішніми пристроями. Залежно від призначення і характеристик конкретної системи деякі із зазначених елементів можуть бути відсутніми.

Розрядність випускаються мікроконтролерів варіюється від 4 до 64 біт. Найбільшого поширення набули 8-розрядні мікроконтролери як придатні для використання в різних додатках і мають низьку вартість [11]. Характер-ними представниками таких пристроїв є мікроконтролери сімейства AVR фірми Atmel. AVR мікроконтролери - це 8-розрядні RISC-мікроконтролери, відмітними особливостями яких є наявність FLASH-пам'яті програм, широкий спектр периферійних пристроїв, висока обчислювальна продуктивність, а та-кож доступність засобів розробки програмного забезпечення [20, 21].

До складу сімейства AVR в даний час входять більше 50 різних пристроїв, які поділяються на кілька груп [18, 19].

Універсальні AVR-мікроконтролери входять в групи Tiny AVR і Mega AVR. Tiny AVR - дешеві пристрої з невеликою кількістю виводів. Mega AVR - потужні AVR-мікро-контролери, які мають найбільші обсяги пам'яті і кількість висновків, а також максимально повний набір периферійних пристроїв. Спеціалізовані AVR-мікроконтролери представлені групами LCD AVR - мікроконтролери для роботи з рідкокристалічними індикаторами; USB AVR мікроконтролери з інтерфейсом USB; DVD AVR - контролери CD / DVD-приводів; RF AVR - мікроконтролери для побудови систем бездротового зв'язку; Secure AVR - мікроконтролери для смарт-карт; FPGA AVR - AVR-мікро-контролери, виконані на одному кристалі. Крім того, раніше випускалася група Classic AVR - пристрої, що займають проміжне положення між мікроконтролерами груп Mega і Tiny [9]. Архітектура AVR-мікроконтролерів. AVR-мікроконтролери містять на кристалі наступні апаратні засоби: 8-розрядний процесорний ядро, пам'ять програм, оперативну пам'ять даних, незалежну пам'ять даних, регістри введення-виведення, схему переривань, схему програмування, а також периферійні пристрої [17] .

В арифметико-логічному пристрої виконуються всі обчислювальні операції. Операції проводяться тільки над вмістом регістрів загального призначення. На вибірку вмісту регістрів, виконання операції і запис результату назад в регістри загального призначення витрачається один машинний такт. Регістри загального призначення являють собою 8-розрядні комірки па-м'яті з швидким доступом, безпосередньо доступні АЛУ. У AVR-мікро-контролерів є 32 регістрами загального призначення. Програмний лічильник (Program Counter - PC) містить адресу наступної виконуваної команди. Покажчик стека (Stack Pointer - SP) служить для зберігання адреси вершини стека. Регістр стану (Status Register - SREG) містить слово стану процесора.

Регістр команд, дешифратор команд і схема управління виконанням команд забезпечують вибірку з пам'яті програм команди, адреса якої міститься в програмному лічильнику, її декодування, визначення способу доступу до зазначених в команді аргументів і власне виконання команди. Для прискорення

виконання команд використовується механізм контейнеризації, який полягає в тому, що під час виконання поточної команди програмний код на-ступній вибирається з пам'яті і декодується.

Пам'ять AVR-мікроконтролерів організована за схемою гарвардського типу - адресні простори пам'яті програм і пам'яті даних розділені. Пам'ять програм являє собою пам'ять яку можна перепрограмувати типу FLASH і виконана у вигляді послідовності 16-розрядних осередків, так як більшість команд AVR-мікроконтролера є 16-розрядними словами. Гарантується не менше 10 000 циклів перезапису. Пам'ять програм має розмір від 2 до 256 Кбайт. Оперативна пам'ять являє собою статичне ОЗУ і організована як послідовність 8-розрядних осередків. Оперативна пам'ять даних може бути внутрішньою (до 16 Кбайт) і зовнішньої (до 64 Кбайт). Незалежна пам'ять даних організована як послідовність 8-розрядних осередків і являє собою пам'ять яку можна перепрограмувати з електричним стиранням (EEPROM - Electrically Erasable Programmable Read-only Memory). Незалежна пам'ять даних має розмір до 64 Кбайт.

Регістри вводу-виводу призначені для керування процесорним ядром і периферійними пристроями AVR-мікроконтролера. Схема переривань забезпечує можливість асинхронного переривання процесу виконання програми за певних умов.

До периферійних пристроїв AVR-мікроконтролера відносяться порти введення-виведення, таймери, лічильники, сторожовий таймер, аналоговий компаратор, аналого-цифровий перетворювач, універсальний асинхронний (синхронно-асинхронний) приймач - УАПП, послідовний периферійний інтерфейс SPI, інтерфейс JTAG і ін . Набором периферійних пристроїв визначаються функціональні можливості мікроконтролера. Обмін інформацією між пристроями AVR-мікроконтролера здійснюється за допомогою внутрішньої 8-розрядної шини даних. Програмна модель AVR-мікроконтролерів .Програмна модель мікро-процесора являє собою сукупність програмно доступних ресурсів. У програмну модель мікроконтролерів сімейства AVR входять РОН, регістри

введення-виведення, пам'ять програм, оперативна пам'ять даних і незалежна пам'ять даних. регістри загального призначення (R0 ... R31) можуть використовуватися в програмі для зберігання даних, адрес, констант і іншої інформації. Шість старших регістрів об'єднані попарно і складають три 16-розрядних регістра X [R27: R26], Y [R29: R28] і Z [R31: R30]. Регістри загального призначення, регістри вводу-виводу і оперативна пам'ять даних утворюють єдиний адресний простір. Адресний простір - це безліч доступних осередків пам'яті, помітних за адресами; адресом називається число, однозначно ідентифікує елемент пам'яті (регістр). Адреси осередків пам'яті традиційно записуються в шістнадцятковій системі числення, на що вказує знак $ в позначенні адреси.

Існує дві конфігурації єдиного адресного простору пам'яті AVR-мікроконтролерів. У конфігурації A молодші 32 адреси ($ 0000 ... $ 001F) відповідають РОН, такі 64 адреси ($ 0020 ... $ 005F) займають регістри вводу-виводу, внутрішня оперативна пам'ять даних починається з адреси $ 0060. У конфігурації B починаючи з адреси $ 0060 розміщуються 160 додаткових регістрів введення-виведення; внутрішня оперативна пам'ять даних починається з адреси $ 0100. Конфігурація A використовується в молодших моделях мікроконтролерів і в деяких старших моделях в режимі сумісності з моделями, знятими з виробництва; конфігурація B - в старших моделях.

На згадку програм, крім власне програми, можуть бути записані постій-ні дані, які не змінюються в процесі роботи мікропроцесорної системи (константи, таблиці лінеаризації датчиків і т. П.). Виконання програми при включенні харчування або після скидання мікроконтролера починається з команди, що знаходиться за адресою $ 0000 (т. Е. В першій клітинці) пам'яті про-грам.

Незалежна пам'ять даних призначена для зберігання інформації, яка може змінюватися безпосередньо в процесі роботи мікропроцесорної системи. Незалежна пам'ять даних має окремий адресний простір і може бути зчитана і записана програмним шляхом. Система команд AVR-мікроконтролерів. Система команд мікропроцесора являє собою сукупність виконуваних мікропроцесором

операцій і правил їх кодування в програмі. Система команд AVR-мікроконтролерів включає команди (інструкції) арифметичних і логічних операцій, команди розгалуження, керуючі послідовністю виконання програми, команди передачі даних і команди операцій з бітами. Всього в систему команд входить понад 130 інструкцій [22]. Молодші моделі мікроконтролерів не підтримують деяких з них.

Особливість налагодження ПО пристроїв на базі вбудованих мікроконтролерів полягає у відсутності в їх складі розвинених засобів для реалізації призначеного для користувача інтерфейсу і обмежених можливостях системного ПО. У той же час саме для вбудованих мікропроцесорних систем етап налагодження є надзвичайно відповідальним, так як для них характерний тісний взаємозв'язок роботи ПО і апаратних засобів.

Взаємодія мікропроцесора з датчиками і виконавчими пристроями відбувається шляхом передачі даних через регістри периферійних пристроїв. Окремі розряди таких регістрів задають режими роботи периферійних пристроїв, мають сенс готовність до обміну, завершення передачі даних і т. П. Стан цих розрядів може встановлюватися як програмно, так і апаратно. При налагодженні ПО часто доводиться переходити на рівень між регістрових передач і перевіряти правильність установки окремих розрядів. Крім того, на етапі налагодження може проводитися оптимізація алгоритму, знаходження критичних ділянок коду і перевірка надійності розробленого програмного забезпечення. Для вирішення зазначених завдань застосовуються апаратні і програмні засоби налагодження ПЗ.

До апаратних засобів налагодження відносяться апаратні емулятори та перевірочні модулі. Апаратні емулятори призначені для налагодження програмного і апаратного забезпечення мікропроцесорних систем в режимі реального часу. Вони працюють під управлінням «ведучого» комп'ютера, оснащеного спеціальним ПО - програмами-окладниками (див. Нижче). Основними видами апаратних емуляторів є внутрисхемні емулятори, які заміщають мікропроцесор в відлагоджуваний системі, внутрикристальні

емулятори, що представляють собою одне з внутрішніх пристроїв мікропроцесора.

Внутрисхемний емулятор (In-Circuit Emulator, ICE) - це пристрій, що містить апаратний імітатор процесора і схему управління імітатором. При налагодженні за допомогою емулятора мікропроцесор витягується з відлагоджуваний системи, на його місце підключається контактна колодка, кількість і призначення контактів якій ідентично висновків заміщає мікропроцесора. За допомогою гнучкого кабелю контактна колодка з'єднаються з емулятором. Управління процесом налагодження здійснюється з персонального комп'ютера. Емуляторам-приставок притаманні такі недоліки: висока вартість, недостатня надійність, високе енергоспоживання, вплив на електричні характеристики ланцюгів, до яких підключається емулятор.

Внутрикристальні емулятори (On-Chip Emulator) дозволяють проводити налагодження програм без вилучення мікропроцесора з системи. При цьому здійснюється безпосередній контроль за виконанням програми, так як внутрикристальні налагодження забезпечують прямий доступ до регістрів, пам'яті і периферії мікропроцесора. Найбільш поширеним засобом внутрикристального налагодження є послідовний інтерфейс IEEE 1149.1, відомий як JTAG (Joint Test Action Group - Об'єднана робоча група по автоматизації тестування). Послідовний оцінний порт JTAG мікропроцесора з допомогою спеціального пристрою сполучення підключається до комп'ютера, чим забезпечується доступ до налагоджувальний засобів процесора. Такий спосіб налагодження також називають сковуючої емуляцією. Перевагами цього способу є можливість виконання різних дій на процесорі без його вилучення з системи, використання малого числа висновків процесора і підтримка його максимальної продуктивності без зміни електричних характеристик системи [12]. Перевірочні модулі призначені для швидкої налагодження програмного забезпечення в реальному масштабі часу. Перевірочні модулі бувають двох видів: стартові набори і налагоджувальні плати.

Стартові набори (Starter Kit) призначені для навчання роботі з конкретним мікропроцесором. Стартовий набір дозволяє вивчити характеристики мікропроцесора, налагодити не надто складні програми, виконати нескладне макетування, перевірити можливість застосування мікропроцесора для вирішення конкретного завдання. До складу стартового набору входять плата, ПО і комплект документації. На платі встановлюються мікропроцесор, при-стрій завантаження програм, послідовні або паралельні порти, роз'єми для зв'язку із зовнішніми пристроями і інші елементи. Плата підключається до комп'ютера через паралельний або послідовний порт. Стартові набори зручні на початковому етапі роботи з мікропроцесором.

Налагодження плати (Evaluation Board) призначені для перевірки роз-робленого алгоритму в реальних умовах. Вони дозволяють проводити налагодження та оптимізацію алгоритму з використанням встановленої на платі периферії, а також виготовити на базі плати закінчений пристрій. Зазвичай на платі розміщуються мікропроцесор, схеми синхронізації, інтерфейси розширення пам'яті і периферії, схема електроживлення та ін. Плата підключається до комп'ютера через паралельний або послідовний порт або безпосередньо встановлюється в слот PCI.

Основними програмними засобами налагодження є симулятори і відладчики. Симулятор (Simulator) або симулятори системи команд представляють собою програми, що імітують роботу того чи іншого процесора на рівні йо-го команд. Симулятор зазвичай використовуються для перевірки програми або її окремих частин перед випробуванням на апаратних засобах. Відладчики (Debugger) представляють собою програми, призначені для аналізу роботи створеного програмного забезпечення. Можна вказати наступні можливості відладчиків.

1. Послідовне виконання. Програма виконується послідовно, команда за командою, з поверненням управління відладчику після кожного кроку;

2. Прогін. Виконання програми починається з вказаною команди і здійснюється без зупинки до кінця програми;

3. Прогін з контрольними точками. При виконанні програми відбувається зупинка і передача управління відладчику після виконання команд з адресами, зазначеними в списку контрольних точок;

4. Перегляд і зміна вмісту регістрів і комірок пам'яті. Користувач має можливість виводити на екран і змінювати (модифікувати) вміст регістрів і комірок пам'яті.

Відладчики ПО вбудованих мікропроцесорів зазвичай використовуються спільно з внутрисхемними або внутрикристальними емуляторами, а також можуть працювати в режимі симулятора. Деякі відладчики дозволяють також виконувати профілювання, т. Е. Визначати дійсне час виконання деякої ділянки програми.

2.4. Висновки до другого розділу

Виконано аналіз засобів в області діагностики засобів контролю вибухонебезпечності атмосфери вугільних шахт. Серед засобів контролю найбільш широкого розповсюдження отримали:

- переносні прилади епізодичної дії;
- переносні автоматичні прилади;
- стаціонарні автоматичні прилади;
- системи автоматичного дистанційного контролю.

З яких найбільше розповсюдження мають стаціонарні автоматичні прилади. Ці прилади працюють в складних умовах, що і обумовлює необхідність періодичного контролю їх працездатності та налаштування.

Показано що щоб зменшити витрати на обслуговані та підвищити надійність контролю можливо на впровадженні мікропроцесорних систем автоматичного контролю стану газоаналізаторів. Виконано аналіз існуючих рішень в області автоматичної діагностики, показано їх недоліки та запропоновано використати сучасні мікропроцесорні засоби в системах діагностики.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ГАЗОАНАЛІЗАТОРІВ

3.1. Функціональне призначення системи

Згідно [30] все шахти III категорії за метаном і вище повинні бути оснащені апаратурою автоматичного контролю метану, яка разом з технічними засобами контролю витрати повітря та поверхневими комплексами для централізованого збору, реєстрації, зберігання та подання інформації входить до складу систем аерогазового контролю. При досягненні неприпустимих концентрацій метану ці системи видають керуючі впливу на включення попереджає сигналізації і відключення технологічного обладнання, яке є найбільш вірогідним джерелом здатним запалити газову суміш.

Вимоги, які пред'являються до засобів контролю вибухонебезпечності газових сумішей в гірничих виробках шахт, прийнято ділити на метрологічні, функціональні і експлуатаційні, а також вимоги щодо електро, взриво і пожежобезпеки засобів контролю.

До основних метрологічним вимогам відносяться діапазон вимірювання об'ємного вмісту метану, похибка вимірювання, пороги і витримки часу спрацьовування виконавчих пристроїв захисного відключення, а також коефіцієнт повернення і вимоги щодо діапазону показань і їх однозначності.

Верхня межа діапазону вимірювання існуючих стаціонарних газоаналізаторів АТ1-1 і АТ3-1 становить 2,5% об., що задовольняє вимогам нормативно-правових актів до газоаналітичної техніки, призначеної для попередження вибухів в гірничих виробках. Проте при такому діапазоні вимірювання не забезпечується контроль неприпустимої об'ємної частки метану в трубопроводах для ізольованого відводу метану за допомогою вентиляторів або ежекторів які складають 3,5%. У той же час відомі рішення дозволяють без істотних змін в конструкції газоаналізаторів збільшити верхню межу діапазону

вимірювання концентрацій метану. Тому, з метою розширення сфери застосування газоаналізаторів слід прийняти верхня межа діапазону вимірювання рівним 5%.

Для запобігання випадків включення технологічного обладнання при високих концентраціях метану газоаналізатори повинні забезпечувати однозначність показань аж до об'ємної частки метану 80%. З огляду на те, що при газодинамічних явищах концентрація метану в гірничих виробках може досягати 100%, діапазон концентрацій, в межах якого повинна забезпечуватися однозначність показань аналізаторів, доцільно розширити до зазначеного розміру.

Оснащення дільниць шахт апаратурою аерогазового контролю і її розміщення здійснюється відповідно до типових схемами, регламентованими. Згідно з цими схемами, на видобувних і підготовчих дільницях встановлюється, як правило, кілька термокаталітичних датчиків метану. Від одного датчика здійснюється безперервна передача інформації про вміст метану на поверхню, а інші датчики забезпечують захисне відключення технологічного обладнання при неприпустимих концентраціях метану і візуальний контроль вмісту метану в місці установки датчиків [31]. Відповідно до цього здійснюється і компоновка стаціонарних аналізаторів метану АТ1-1 і АТ3-1.

В цілому ряді випадків (при аварійних загазування гірничих виробок шахт до високих концентрацій метану, веденні аварійно-рятувальної робіт, гасінні пожеж методами ізоляції аварійної ділянки, рециркуляції або багаторазового реверсування вентиляційного струменя та ін.), потрібно інформація про вміст метану на аварійних ділянках. Отримання такої інформації утруднено і часто пов'язане з небезпекою для життя персоналу, який здійснює аварійно-рятувальні роботи. При верхній межі діапазону вимірювання об'ємної частки метану 2,5% або 5% стаціонарні аналізатори метану, що знаходяться на аварійних дільницях, не дозволяють контролювати газову ситуацію і оперативно управляти процесом ліквідації аварій. У такій ситуації доцільно розширити діапазон вимірювання

аналізаторів метану аж до 100%. В першу чергу це стосується тих датчиків, від яких здійснюється передача інформації про вміст метану на поверхню.

Економічна оцінка витрат, пов'язаних з ліквідацією аварій при яких потрібен контроль газової ситуації на аварійних ділянках, показує, що для виділених другої і третьої груп шахт [39] розширення діапазону вимірювання об'ємної частки метану до 99,9% доцільно навіть при дворазовому збільшенні витрат на придбання газоаналізаторів, а для першої групи шахт - при зростанні відповідних витрат до 50%.

Розробляється система призначена для постійного моніторингу стану рудникової атмосфери щодо вмісту в ній метану [39]. Згідно ПБ системи даного типу повинні регулярно перевірятися і підлаштовуватися під зміни параметрів рудникової атмосфери. Системи що розробляється повинні забезпечувати автокалібрування при незначних змінах стану навколишанього середовища та параметрів чутливих елементів аналізаторів метану, що дозволяє зменшити періодичність обслуговування її персоналом. Відповідно завдяки цього також зменшується кількість персоналу необхідного на обслуговування системи обладнаної такими датчиками. При значних змінах стану рудникової атмосфери та параметрів чутливих елементів аналізаторів метану система сигналізує про необхідність обслуговування для отримання достовірних даних.

3.2. Опис застосованих методів діагностики

3.2.1. Методи діагностики нульових показань газоаналізаторів

Експлуатація існуючих стаціонарних засобів контролю вмісту метану пов'язана зі значними витратами, зумовленими необхідністю періодичної перевірки їх працездатності. Питання автоматичної діагностики таких засобів до сих пір не знайшли задовільного вирішення особливо в частині діагностики основного елемента засобів контролю - термогрупи, надійність якої істотно нижче надійності інших елементів.

У загальному випадку діагностика може здійснюватися або автоматично, по команді внутрішнього таймера, або за зовнішнім запитом, наприклад, запит з поверхні в ремонтну зміну. Для існуючих стаціонарних засобів контролю, що мають індивідуальні канали телевимірювання, найбільш просто реалізувати діагностику за запитом з поверхні. Однак широке впровадження сучасних мікропроцесорних засобів обробки інформації від первинних перетворювачів обумовлює те, що найбільш перспективним є здійснення діагностики працездатності газоаналізаторів в автоматичному режимі.

Виконані дослідження термокаталітичних засобів контролю метану дозволили істотно підвищити часову стабільність нуля газоаналізаторів і практично виключити його зміщення під впливом різних факторів (температури середовища, газового складу, параметрів напруги живлення). Однак, як було показано в попередньому розділі, при деяких видах втручання в роботу аналізаторів або випадковому ударній дії спостерігаються суттєве зміщення нуля газоаналізатора. Тому контроль нуля газоаналізаторів в процесі їх експлуатації є одним з найважливіших завдань при діагностиці їх стану в процесі експлуатації.

Реально контроль нульових показань термокаталітичних газоаналізаторів здійснюється шляхом подачі до датчиків чистого атмосферного повітря. Здійснення такої перевірки в автоматичному режимі вельми складно і недоцільно. Інший шлях діагностики нуля полягає в короткочасному переведенні термогрупи газоаналізатора в такий режим роботи, коли на робочому елементі не відбувається окислення метану. Для термогруп, які використовуються в аналізаторах АТ1-1 і АТ3-1, це можливо при зменшенні величини струму, що протікає через термоелементи, на 40 - 50 мА (від номінального його значення мА до 150 - 160 мА. Однак, з огляду на реальний розкид параметрів термоелементів в термогрупи, таке зниження струму через елементи завжди призводить до суттєвого зміщення нуля вимірювального моста.

Реалізувати даний спосіб діагностики нуля газоаналізатора можна тільки в тому випадку, коли нуль вимірювального моста буде забезпечуватися хоча б при двох режимах його роботи, один з яких є номінальним, а інший - повірочним, що

відрізняється від першого тим, що окислення метану на чутливому елементі не відбувається . Фактично це означає, що балансування вимірювального моста повинна бути таким, щоб вольтамперні характеристики робочого і порівняльного елемента збігалися або перетиналися як мінімум в двох точках (див. рис. 3.1).

Очевидно, що при використанні традиційних схем включення термокаталітичного датчика в вимірювальний міст як забезпечити ідентичність вольт амперних характеристик робочого і порівняльного елемента, так і перетин їх в двох точках неможливо.

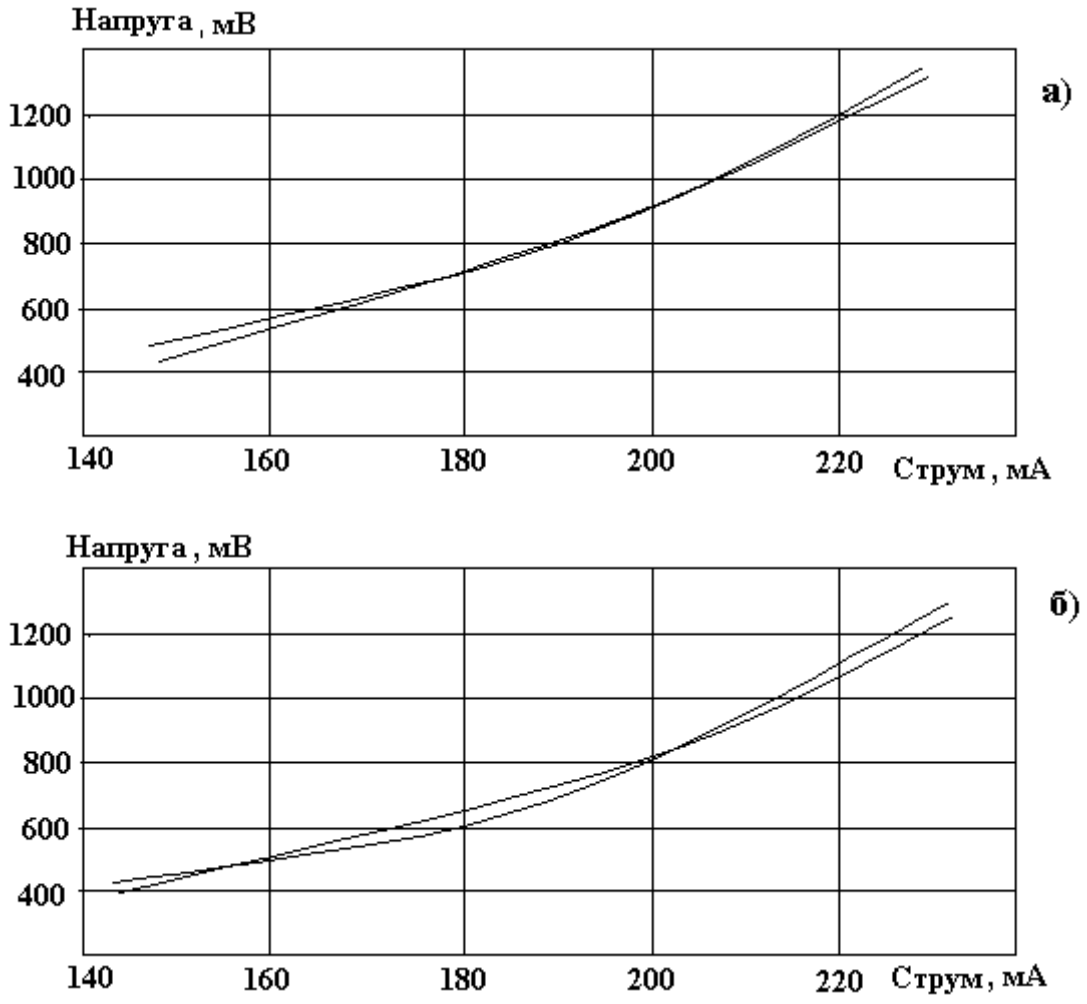

Рис. 3.1. Вольт амперні характеристики термоелементів: а - в реальному вимірювальному мосту; б - пересічні в двох точках

Застосування схеми включення термокаталітичного датчика з термічної балансуванням елементів, запропонованої в [38], дозволяє істотно зблизити вольт амперні характеристики елементів. Оскільки запропонована схема має два елементи управління і дозволяє змінювати крутість вольт амперних характеристик елементів, виникає питання - чи можна при застосуванні такої схеми домогтися перетину вольт амперних характеристик термоелементів в двох цікавлять нас точках і тим самим реалізувати автоматичну діагностику нуля вимірювального моста.

Для спрощення аналітичних викладок аналіз роботи схема включення термокаталітичного датчика з термічної балансуванням елементів виконаємо для спрощеного варіанту схеми, коли шунтуючий ланцюжок включається паралельно елементу з більшою крутизною вольт амперної характеристики (рис. 3.3). Ця схема забезпечує балансування вимірювального моста аналогічно схемі наведеный на рис 3.2, однак її використання передбачає необхідність попереднього виявлення термоелемента, що має більш велику крутизну вольтамперної характеристики.

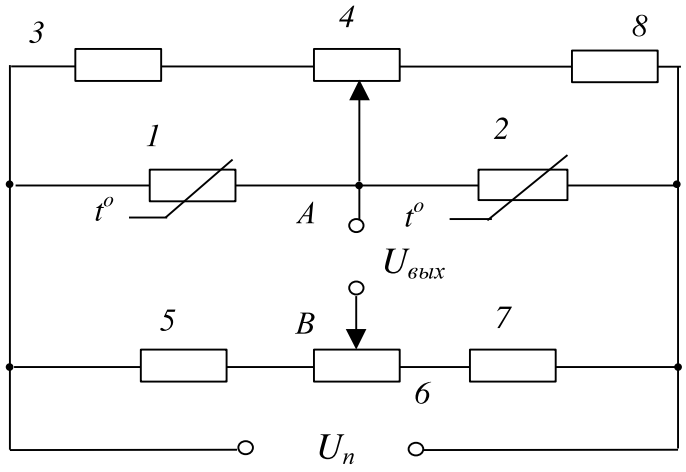

Рис. 3.2. Схема включення термокаталітичного датчика з термічної балансуванням елементів: 1,2 - термоелементи; 3, 4, 8 - шунтуючі резистори; 5, 6, 7 - баластні резистори

Теоретична залежність величини напруги на термоелементі термокаталітичного датчика від величини струму, отримана в, має вигляд:

$$U_э = I_э R_{эг} + \beta b_э R_{0э} I_э^3. \quad (3.1)$$

де - терморезистивинй коефіцієнт термоелемента, 0С / А2.

Терморезистивний коефіцієнт визначає взаємозв'язок електричних, теплових і геометричних характеристик термоелемента і є постійною величиною. Опір термоелемента при температурі газу для платинового резистора визначається відомим виразом:

$$R_{эг} = R_{0э}(1 + \beta t_г) \quad (3.2)$$

де $t_г$ - температура газу.

З урахуванням виразу (3.2) отримаємо:

$$U_э = I_э R_{0э}(1 + \beta t_г) + \beta b_э R_{0э} I_э^3. \quad (3.3)$$

Припустимо, що крутизна вольт амперної характеристики у термоелемента 2 більше, ніж у термоелемента 1 (рис. 3.4). В такому випадку в звичайному вимірювальному мості (без шунтів 3,4 на рис 3.3), установка нуля здійснюється шляхом зміщення потенціалу точки В (рис. 3.3) в плечі моста, утвореним баластними резисторами, на величину $U_м$, що еквівалентно зсуву вольт амперної характеристики термоелемента 1, на таку ж величину напруги.

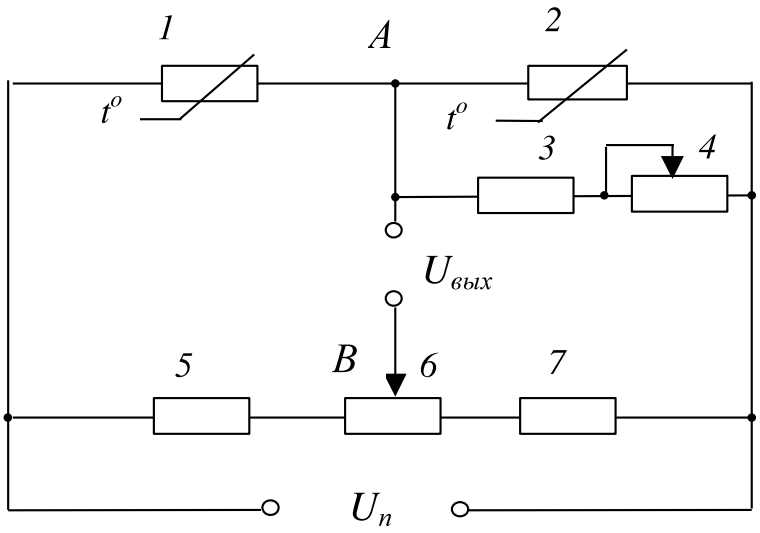

Рис. 3.3. Схема моста з включенням шунтуючого ланцюжка паралельно елементу з більшою крутизною вольт амперною характеристикою: 1,2 - термоелементи; 3,4 - шунтуючі резистори; 5-7 - баластні резистори

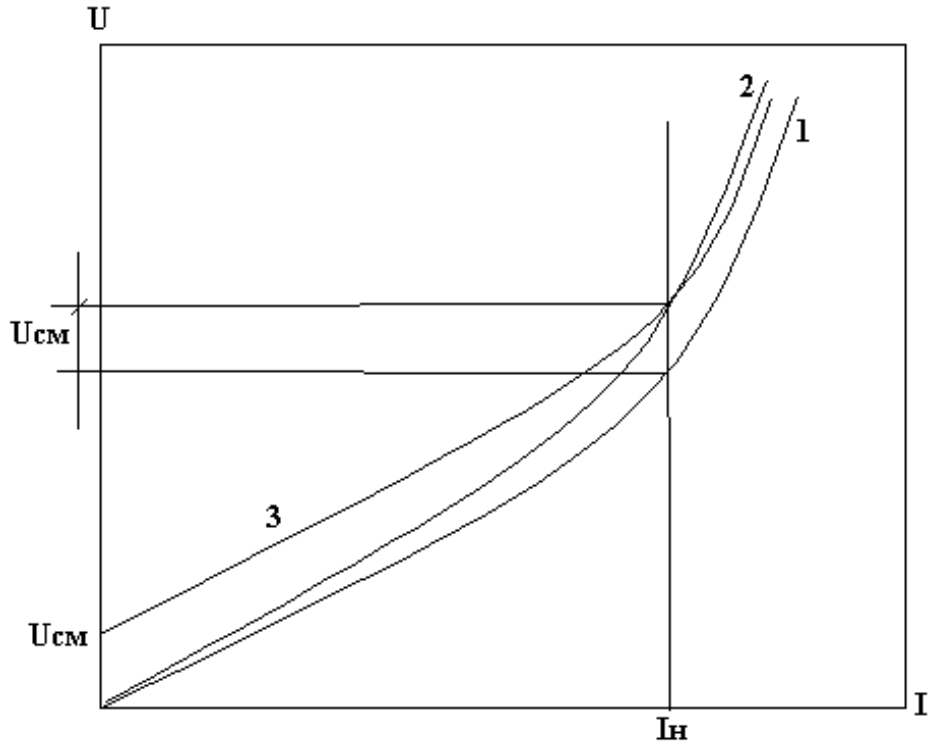

Рис. 3.4. Вольт амперні характеристики термоелементів при відсутності шунтуючих резисторів: 1 - 1-го елемента; 2 - 2-го елемента; 3 - 1-го елемента при зміщенні на величину $U_{см}$,.

У цьому випадку, за відсутності шунтуючих резисторів, вольт амперна характеристики термоелемента 2 і зміщена характеристика термоелемента 1 будуть описуватися рівняннями:

$$U_1 = U_{см} + I_з R_{01}(1 + \beta t_г) + \beta b_1 R_{01} I_з^3; \quad (3.4)$$

$$U_2 = I_з R_{02}(1 + \beta t_г) + \beta b_2 R_{02} I_з^3, \quad (3.5)$$

де I - струм що протікає через термоелементи при відсутності шунтуючих резисторів, А.

При підключенні шунтуючих резисторів до термоелемента 2 для визначення вольт амперної характеристики гілки моста з паралельно включеними опорами можна записати наступну систему рівнянь:

$$U_2 = I_2 R_{02}(1 + \beta t_г) + \beta b_2 R_{02} I_2^3; \quad (3.6)$$

$$U_2 = I_ш R_ш, \quad (3.7)$$

де I_2 та $I_ш$ - струм через термоелемент 2 і шунтуючі ланцюжок відповідно.

З врахуванням того, що:

$$I_2 = I - I_ш = I - \frac{U_2}{R_ш} \quad (3.8)$$

рівняння, що в неявному вигляді описує вольтамперну характеристику гілки моста з паралельно включеними термоелементом і шунтуючими резисторами, отримаємо у вигляді:

$$U_2 = \left(I - \frac{U_2}{R_ш}\right) R_{02}(1 + \beta t_г) + \beta b_2 R_{02} \left(I - \frac{U_2}{R_ш}\right)^3. \quad (3.9)$$

Розкриємо останню складову в вираженні (3.9):

$$\left(I-\frac{U_2}{R_ш}\right)^3 = I^3 - 3I^2\frac{U_2}{R_ш} + 3I\left(\frac{U_2}{R_ш}\right)^2 - \left(\frac{U_2}{R_ш}\right)^3. \qquad (3.10)$$

Реально при балансуванні термогрупи опір шунта в 20 і більше разів перевищує початковий опір термоелемента, тому двома останніми складовими в виразі (3.10) можна знехтувати через їхню малість. У такому випадку рівняння (3.9) набуває вигляду:

$$U_2 = \left(I-\frac{U_2}{R_ш}\right)R_{02}(1+\beta t_г) + \beta b_2 R_{02}\left(I^3 - 3I^2\frac{U_2}{R_ш}\right). \qquad (3.11)$$

Виконавши необхідні перетворення, остаточно отримаємо рівняння, що в явному вигляді описує вольт амперних характеристику гілки моста з паралельно включеними термоелементом і шунтуючими резисторами:

$$U_2 = \frac{R_ш(IR_{02}(1+\beta t_г)+I^3\beta b_2 R_{02})}{R_ш+R_{02}(1+\beta t_г)+3I^2\beta b_2 R_{02}}. \qquad (3.12)$$

Аналіз виразів 3.4 та 3.12, що описують вольт амперні характеристики термоелементів, показує, що при реальних параметрах термоелементів шляхом відповідного підбору $U_{см.}$ та $R_ш$ можна завжди домогтися перетину вольт амперних характеристик в двох точках, що відповідають номінальному струму через елементи термогрупи і струмі, при якому припиняється процес каталізу. Наочно це показано на рис. 3.5, де представлені вольт амперні характеристики реальної термогрупи. Для наочності обрана бракована термогрупи з параметрами термоелементів, що значно відрізняються.

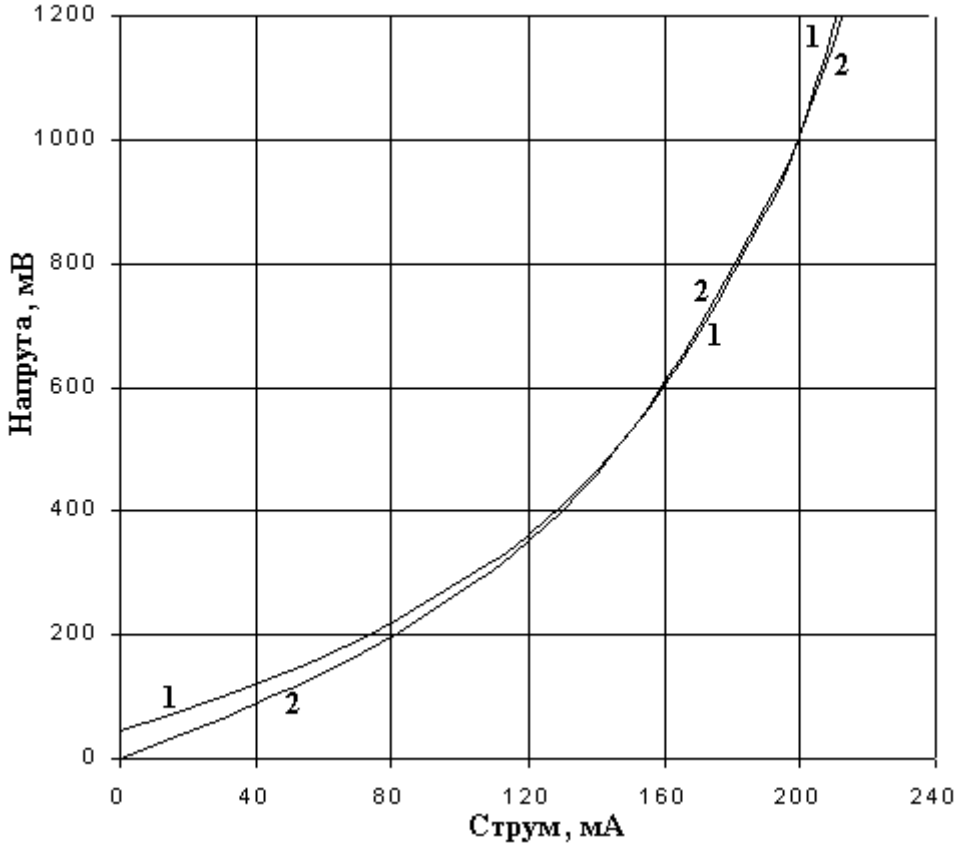

Рис. 3.5. Вольт амперні характеристики елементів: 1 - зміщена на 45 мВ характеристика 1-го елемента; 2 - характеристика гілки моста з паралельно включеними 2-м термоелементом і шунтувальним резистором

На рис. 3.5 вольт амперні характеристики елементів перетинаються при значення струму 150 мА і 200 мА. На початковій ділянці характеристик і при струмі понад 200 мА, зміщена характеристика 1-го елемента розташована вище характеристики гілки моста з паралельно включеними 2-м термоелементом і шунтувальним резистором. При струмі 150 - 200 мА взаємне положення характеристик змінюється. Фізично це можна пояснити тим, що при малому струмі через 2-й термоелемент опір його низький і наявність шунтуючого ланцюжка суттєво не впливає на крутизну характеристики, з ростом струму опір термоелемента істотно зростає і вплив шунта на крутизну характеристики помітно посилюється. Підбір величини напруги зсуву і параметрів шунтуючих резисторів дозволяє управляти положенням вольт амперних характеристик і забезпечити їх перетин в необхідних точках.

На практиці підгонку характеристик термоелементів для автоматичної діагностики нуля вимірювального моста можна здійснити аналогічно запропонованому в [39] порядку термічної балансування моста. Налаштування моста вручну здійснюється при відсутності метану в наступній послідовності:

1. На вимірювальний міст подають напруга живлення, при якому розігрів робочого елемента ще недостатній для протікання каталітичної реакції окислення метану $U_{пов}$.

2. Змінним баластовим резистором 6 (рис. 3.2) встановлюється нуль вимірювального моста.

3. На вимірювальний міст подають номінальна напруга живлення $U_н$.

4. Після закінчення перехідного процесу (≈ 5 с) змінним резистором шунтуючого ланцюжка 4 (рис. 3.3) підлаштовується нуль вимірювального моста.

У зазначеній послідовності операції тривають до тих пір (5-6 циклів підстроювання) поки нуль вимірювального моста не буде зміщуватися при переході від номінальної напруги живлення до $U_{пов}$.

В автоматичному режимі при переході аналізатора до режиму установки нуля і подачі до датчика чистого атмосферного повітря на первинний перетворювач подається напруга, модульоване низькою частотою (близько 0,2Гц), амплітуда якого змінюється від $U_н$ до $U_{пов}$ (Рис. 3.6) і у зазначеній раніше послідовності здійснюється балансування вимірювального моста.

Таким чином, застосування схеми включення термокаталітичного датчика дозволяє не тільки істотно зблизити вольт амперні характеристики елементів, а й здійснити автоматичну діагностику нуля вимірювального моста шляхом зниження напруги живлення термогрупи до величини, при якій не протікає реакція окислення метану на каталітично активному елементі.

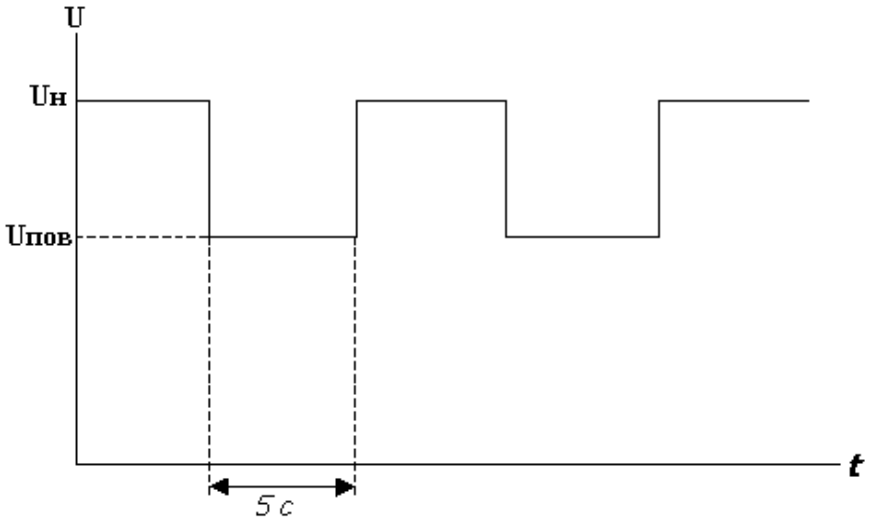

Рис. 3.6. Напруга живлення вимірювального моста при його автоматичної балансуванню

Проте така процедура балансування виявилась досить тривалою та складною, потребувала введення додаткових елементів для управління крутизною вольт амперною характеристикою (перемінних резисторів) та спеціальної підготовки персоналу. Це не дало можливості реалізувати запропоновані рішення на практиці. Крім того наявність доступу персоналу до елементів встановлення нуля вимірювального моста та управління крутизною характеристик термоелементів при експлуатації аналізаторів метану в шахтних умовах є небажаним, оскільки на шахтах траплялися випадки навмисного зсуву нуля в область від'ємних значень концентрацій для загублення захисту. Тому для впровадження розглянутого методу автоматичної діагностики нульових показань газоаналізаторів потрібно виключити процес балансування та унеможливити доступ до елементів регулювання їх нуля та чутливості. Тому в роботі [32] нами було науково обґрунтувати метод автоматичної діагностики та коректування нульових показань термокаталітичних аналізаторів метану який може бути реалізований при використанні сучасних мікропроцесорних засобів. Для реалізації результатів цих досліджень було розроблено алгоритм і програму роботи аналізатора з автоматичною діагностикою нульових показань.

3.2.2. Методи діагностики чутливості газоаналізаторів

При невеликій концентрації метану і протіканні реакції окислення на робочому елементі термокаталітичного сенсора в дифузійної області потік метану до його поверхні лінійно залежить від концентрації метану в реакційній камері і ефективної дифузійної провідності елемента.

$$Q_{\text{м}} = \gamma_{\text{е}} \text{C}_{\text{мк}}, \tag{3.13}$$

де $\gamma_e = 10^{-2} K_{еф} \beta_м F_e$ – ефективна дифузійна провідність елемента, м^3/с;

$C_{мк}$ – концентрація метану в реакційній камері;

$K_{еф}$ – коефіцієнт ефективності окислення метану;

$\beta_м$ – коефіцієнт масопередачі, м/с;

F_e – площа поверхні елемента, м^2.

Вихідна напруга вимірювального моста за низьких концентрацій метану при цьому може бути визначена за виразом 3.14.

$$U_{\text{вих}} = \frac{R_{\text{е}0} I_{\text{е}} \beta_{\text{е}} Q_{\text{мн}} \gamma_{\text{е}} \text{C}_{\text{мк}}}{2\text{К}}, \tag{3.14}$$

де $R_{e0,}$ – опір елемента при нульовій температурі, Ом;

I_e – величина струму, що протікає через елементи, А;

β_e - температурний коефіцієнт опору елемента, 1/ ^{o}С.

K – теплова провідність елемента, Вт/^{o}С;

$Q_{мн}$ – нижча теплота спалювання метану, Дж/м^3.

В термокаталітичних датчиках метану, в тому числі тих, що використовуються в стаціонарній апаратурі контролю метану, термоелементи розміщують в реакційній камері, яка утворена всередині пористого керамічного або металокерамічного газообмінного фільтр елемента [39]. В такому випадку

потік метану до поверхні робочого елементу термокаталітичного сенсора визначається як 3.15.

$$Q_{\text{м}} = \text{C}_{\text{ма}}\gamma_e\gamma_{\text{ф}}/(\gamma_e + \gamma_{\text{ф}}) \tag{3.15}$$

де $C_{ма}$ – концентрація метану в атмосфері;

$\gamma_ф$ – провідність фільтра, м^3/с.

З виразів (3.14,3.15) видно, що потік метану до каталітично активного елементу і, відповідно, вихідна напруга вимірювального моста при постійній концентрації метану залежить від провідності фільтрелемента і каталітичної активності робочого елемента. Зміна цих величин можлива при зміні режиму живлення вимірювального моста, під впливом шкідливих газів, в процесі старіння та накопичення продуктів термічної деструкції вуглеводнів на поверхні чутливих елементів, засмічення фільтрелемента тощо.

Для підвищення стабільності роботи аналізаторів метану було запропонована вдосконалена конструкція датчика з подвійним дифузійним фільтром [38], що наведений на рис 3.7.

Чутливі елементи у цьому датчику розміщуються в додатковій камері, виконаній у вигляді газонепроникного стакану з каліброваним отвором в стінці з дифузійною провідністю $\gamma_{отв}$, який розташований всередині обсягу обмеженого від атмосфери фільтрелементом. В такому випадку потік метану до поверхні робочого елементу датчика визначається як 3.16.

$$Q_{\text{м}} = \text{C}_{\text{ма}}\gamma_e\gamma_{\text{ф}}\gamma_{\text{отв}}/(\gamma_{\text{ф}}\gamma_e + \gamma_e\gamma_{\text{отв}} + \gamma_{\text{ф}}\gamma_{\text{отв}}). \tag{3.16}$$

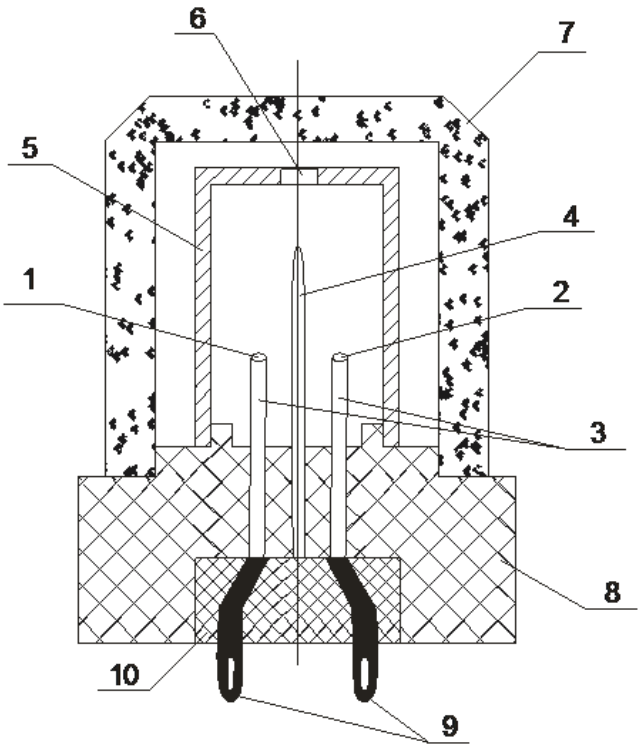

Рис. 3.7 Термогрупа з подвійним дифузійним фільтром: 1, 2 - робочий і компенсаційний елементи; 3 - стійки; 4 - перегородка; 5 - стакан; 6 - калібрований отвір; 7 - металокерамічний фільтр; 8 - діелектрична основа; 9 - виводи; 10 - компаунд.

При виборі $\gamma_{отв} << \gamma_{ф}$ і $\gamma_{отв} << \gamma_{е}$ потік метану, що окислюється на робочому елементі, практично визначається дифузійним опором отвору і на вихідну напругу вимірювального моста практично не впливає засмічення фільтрелемента та зміна чутливості робочого елементу термокаталітичного сенсора. Проте виконання такої умови супроводжується зниженням вихідної напруги моста та збільшенням постійної часу датчика. Тому на практиці ефективну дифузійну провідність елемента вибирають в діапазоні від $2\gamma_{отв}$ до $6\gamma_{отв}$. Вихідна напруга вимірювального моста в цьому випадку знаходиться в межах 10-4 мВ/% об. і зберігається постійна часу датчика не більше 15 с.

Особливістю датчика з подвійним дифузійним фільтром є те, що вихідна напруга вимірювального моста в значному діапазоні значень струму через термоелементи практично не залежить від зміни його величини. Для прикладу на

рис. 3.8 наведені характеристики датчика з додатковим дифузійним фільтром отримані експериментально при концентрації метану в атмосфері $C_{ма}$=1,02 об.% [38].

Такий характер залежності вихідної напруги вимірювального моста від величини струму через термоелементи пояснюється тим, що потік метану, що окислюється на робочому елементі, практично визначається дифузійним опором отвору. При цьому, зростання величини струму через елементи і, відповідно, ефективної дифузійної провідності робочого елемента обумовлюють зростання вихідної напруги вимірювального моста, але одночасно і до зниження концентрації метану у вимірювальній камері. Крім того, при високих температурах розігріву чутливого елементу процеси окислення метану відбуваються не лише на поверхні каталізатора, а це викликає додаткове розсіювання енергії реакції і зниження реального значення вихідної напруги вимірювального моста [39].

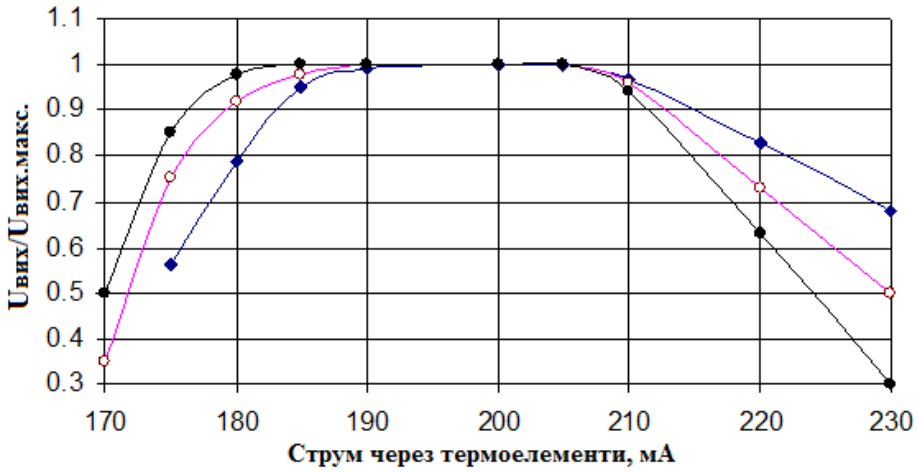

Рис. 3.8. Вихідні характеристики датчика з подвійним дифузійним фільтром (С=1,02об.%): ♦ - $\gamma_{e=} 2\gamma_{отв}$; ∘ -; $\gamma_{e=} 4\gamma_{отв}$ • - $\gamma_{e=} 6\gamma_{отв}$

Режим живлення вимірювального моста при цьому вибирають такий, щоб за умови мінімального енергоспоживання робоча точка знаходилась на плато (горизонтальній частині) характеристики. В даному випадку при температурі газової суміші 20 ^{0}С, для датчика, наведеного на рис. 1, це відповідає струму

через термоелементи 190 мА і величині напруги на порівняльному термоелементі біля 750 мВ [38].

Виходячи з (3.16) за незмінної величини $\gamma_{отв}$ і постійної концентрації метану зменшення ефективної дифузійної провідності робочого елемента з $6\gamma_{отв}$ до $2\gamma_{отв}$ призводить до зменшення потоку метану до поверхні робочого елементу і відповідно чутливості аналізатора до 20%.

Розглянемо можливість здійснення автоматичного контролю чутливості аналізатора шляхом зміни режиму живлення чутливих елементів. Допустимо, що при налагодженні аналізатора з використанням атестованої метаноповітряної суміші з концентрацією метану С=1,02 об.% режим живлення чутливих елементів вибраний так, щоб робоча точка знаходилась на початку плато характеристики (рис. 1), що відповідає величині струму через термоелементи 190 мА. Припустимо, що початкова ефективна дифузійна провідність робочого елемента становила $\gamma_{е=}$ $6\gamma_{отв}$. Якщо зменшити величину струму через термоелементи до 180 мА то, виходячи з характеристики датчика (рис. 1) вихідна напруга вимірювального моста знизиться на 2%. При зменшенні ефективної дифузійної провідності робочого елемента в три рази (до $\gamma_{е=}$ $2\gamma_{отв}$), наприклад внаслідок отруєння каталізатора, аналогічна зміна режиму живлення чутливих елементів призведе до зниження вихідної напруги вимірювального моста на 22%. Таким чином при збереженні $\gamma_{е=}$ $6\gamma_{отв}$ зміна режиму живлення в указаних межах практично не впливає на величину вихідної напруги вимірювального моста. З іншого боку зменшення ефективної дифузійної провідності робочого елемента призводить до суттєвого зниження вихідної напруги моста при зміні режиму живлення.

Такий характер зміни вихідної напруги вимірювального моста при зміні режиму живлення чутливих елементів дозволяє не тільки автоматично виявити зниження ефективної дифузійної провідності робочого елемента і, відповідно, зміни чутливості аналізатора, а і автоматично здійснювати корегування чутливості. При виборі режиму живлення чутливих елементів слід враховувати те, що на їх температурний режим випливає як величина струму так і

температура газу. Температура елемента t_e в повітрі в загальному випадку можна оцінити за виразом [36].

$$t_e = bI_e^2 + t_г, \tag{3.17}$$

де b – терморезистивний коефіцієнт, Ом·°С/Вт;

$t_г$ – температура газу, °С.

Терморезистивний коефіцієнт для робочого елементу є сталою величиною і для досліджуваних термоелементів пелістерного типу становить біля $9 \cdot 10^3$ Ом·°С/Вт. Виходячи з цього, для забезпечення сталого температурного режиму термоелементів при зміні температури газу, величина струму через елементи повинна коригуватися як

$$I_e = \sqrt{I_{eн}^2 - \frac{1}{b}(t_г - t_{гн})}, \tag{3.18}$$

де $I_{eн}, t_{гн}$ – відповідно значення величини струму і температура газу при налаштуванні аналізатора.

Спираючись на проведені дослідження нами було вдосконалено алгоритм і програму роботи аналізатора з функцією автоматичної діагностики нульових показань, реалізованого на базі мікропроцесора ATMEGA8 [12], що полягає в доповненні програми його роботи модулем, який забезпечує автоматичну діагностику чутливості термокаталітичного датчика та корегування показань аналізатора при її зміні.

Сутність процесу діагностики чутливості термокаталітичного датчика та корегування показань аналізатора при її зміні полягає в наступному. В режимі налагодження, коли до виносного датчика аналізатора подається атестована газова суміш з вмістом метану 1,0%, шляхом зміни струму через чутливі елементи (для дослідженого типу датчиків в діапазоні від 180 до 200 мА) визначається величина струму яка відповідає моменту виходу вихідної напруги

моста на плато характеристики (рис. 1), визначається та запам’ятовується відносна величина зменшення вихідної напруги вимірювального моста аналізатора $\Delta U_{вн}$ при зменшенні струму через елементи на 5% відносно величини струму, що відповідає моменту виходу вихідної напруги моста на плато характеристики

$$\Delta U_{\text{вн}} = \frac{U_{1\text{н}} - U_{2\text{н}}}{U_{1\text{н}}}, \tag{3.19}$$

де $U_{1н}$ та $U_{2н}$ – відповідно значення вихідної напруги вимірювального моста в режимі налаштування при роботі на плато характеристики та зменшенні струму через елементи на 5%.

Фіксація моменту виходу вихідної напруги моста на плато характеристики здійснюється тоді, коли збільшення струму на 1 мА не призводить до зростання вихідної напруги моста більше ніж на 1%. Значення встановленої величини струму $I_{е\text{н}}$ і $t_{гн}$температура газу при налаштуванні аналізатора заноситься в пам'ять аналізатора і використовується в подальшому для налаштування робочого режиму аналізатора.

В робочому режимі безперервно виконуються підтримка сталого температурного режиму термоелементів при зміні температури газу відповідно (3.18), здійснюються операції вимірювання напруг на елементах, визначення різниці напруг на елементах, розрахунок та передача інформації про вміст метану. За зовнішнім запитом оператора чи періодично, згідно визначеного програмою роботи аналізатора часу, здійснюється перевірка чутливості датчика та корегування показань аналізатора при її зміні. Для цього величина струму через чутливі елементи зменшується на 5% відносно встановленого робочого режиму та визначається відносна величина зменшення вихідної напруги вимірювального моста аналізатора при цьому.

$$\Delta U_{\text{вр}} = \frac{U_{1\text{р}} - U_{2\text{р}}}{U_{1\text{р}}}, \tag{3.20}$$

де $U_{1\text{р}}$ та $U_{2р}$ – відповідно значення вихідної напруги вимірювального моста в робочому режимі при роботі на плато характеристики та зменшенні струму через елементи на 5%.

Визначається відносна величина зменшення вихідної напруги $\Delta U_{\text{вр}}$ і порівнюється з $\Delta U_{\text{вн}}$. Якщо $\Delta U_{\text{вр}} = \Delta U_{\text{вн}}$, то у датчика зберігається початкова величина чутливості і корегування її не потрібне. При зниженні $\Delta U_{\text{вр}}$ відносно $\Delta U_{\text{вн}}$ до 10% здійснюється коригування чутливості аналізатора, шляхом її збільшення на величину $\Delta U_{вн} - \Delta U_{вр}$. В іншому випадку надсилається повідомлення оператору про необхідність здійснення перевірки та налагодження аналізатора.

Слід відмітити те, що при зміні режиму живлення чутливих елементів датчика виникають перехідні теплові і газодинамічні процеси, тому зняття показань повинне здійснюватися після закінчення перехідного процесу, що становить для досліджуваних первинних перетворювачів біля 5с з моменту зниження струму через термоелементи. В шахтних умовах можлива ситуація, що за цей час змінилась концентрація метану, тому визначення відносної величини зменшення вихідної напруги $\Delta U_{вр}$ необхідно проводити декілька раз, а потім шляхом обробки даних вибирати ті, що неодноразово повторюються і вибраковувати випадкові результати.

3.3. Опис використаних технологій та мов програмування

Мікроконтролер - комп'ютер на одній мікросхемі. Призначений для управління різними електронними пристроями і здійснення взаємодії між ними відповідно до закладеної в мікроконтролер програмою. На відміну від мікропроцесорів, які використовуються в персональних комп'ютерах, мікроконтролери містять вбудовані додаткові пристрої. Ці пристрої виконують свої завдання під керуванням мікропроцесорного ядра мікроконтролера.

До найбільш поширених вбудованим пристроїв відносяться пристрої пам'яті і порти введення/виводу (I/O), інтерфейси зв'язку, таймери, системний годинник. Пристрої пам'яті включають оперативну пам'ять RAM, постійні запам'ятовуючі пристрої ROM, перепрограмовану ROM (EPROM), електрично перепрограмовану ROM (EEPROM). Таймери включають і годинник реального часу, і таймери переривань. Засоби I/O включають послідовні порти зв'язку, паралельні порти (I/O лінії), аналого-цифрові перетворювачі (A/D), цифро аналогові перетворювачі (D/A), драйвери рідкокристалічного дисплея (LCD) або драйвери вакуумного флуоресцентного дисплея (VFD) . Вбудовані пристрої володіють підвищеною надійністю, оскільки вони не вимагають ніяких зовнішніх електричних ланцюгів.

Мікроконтролери можна зустріти у величезній кількості сучасних промислових і побутових приладів: верстатах, автомобілях, телефонах, телевізорах, холодильниках, пральних машинах. і навіть кавоварках. Серед виробників мікроконтролерів можна назвати Intel, Motorola, Hitachi, Microchip, Atmel, Philips, Texas Instruments, Infineon Technologies і багатьох інших. Для виробництва сучасних мікросхем потрібні надчисті приміщення [10].

Основним класифікаційним ознакою мікроконтролерів є розрядність даних, які обробляються арифметико-логічним пристроєм. За цією ознакою вони діляться на 4-, 8-, 16-, 32 - і 64-розрядні. Усередині кожної групи мікроконтролери діляться на CISC - і RISC-пристрої. Найбільш численною групою є CISC-мікроконтролери, але в останні роки серед нових чіпів намітилася явна тенденція зростання частки RISC-архітектури.

Мікроконтролери сімейства AVR. По перше, мікроконтролери цієї серії є швидкими. Більшість інструкцій процесор мікроконтролера виконує за один цикл. Мікроконтролери AVR приблизно в 4 рази швидше, ніж PIC. Крім того, вони споживають небагато енергії і можуть працювати в 4 режимах економії енергії.

Більшість контролерів AVR є 8-розрядними, хоча зараз існує і 32-розрядна різновид контролерів AVR32. Крім того, як уже згадувалося вище, AVR

належать до типу RISC-мікроконтролерів. Архітектура RISC означає, що набір інструкцій, які може виконувати процесор пристрою, є обмеженим, але, в той же час, подібна архітектура дає перевагу в швидкості. Протилежністю архітектури RISC є архітектура CISC [8].

Всього контролер AVR має 32 8-бітових регістра загального призначення. Протягом циклу процесор бере дані з двох регістрів і поміщає їх в арифметико-логічний пристрій , яке виробляє операцію над даними і поміщає їх в довільний регістр. Арифметико-логічний пристрій може виконувати як арифметичні, так і логічні дії над операндами. Також арифметико-логічний пристрій може виконувати і дії з одним операндом (регістром). При цьому контролер не має регістра-акумулятора, на відміну від контролерів сімейства 8051 - для операцій можуть використовуватися будь-які регістри, і результат операції також може бути поміщений в будь-який регістр.

Контролер відповідає Гарвардської обчислювальної архітектурі, згідно з якою комп'ютер має окрему пам'ять для програм і даних. Тому в той час, поки виконується одна інструкція, відбувається попереднє вилучення з пам'яті наступної інструкції.

Контролер здатний виконувати одну інструкцію за цикл. Звідси випливає, що якщо тактова частота контролера становить 1 МГц, то його продуктивність складе 1 млн. Оп. / С. Чим вище тактова частота контролера, тим вищою буде його швидкість. Однак при виборі тактової частоти контролера слід дотримуватися розумний компроміс між його швидкістю і енергоспоживанням.

Крім флеш-пам'яті і процесора контролер має такі пристрої, як порти введення-виведення, аналого-цифровий перетворювач, таймери, комунікаційні інтерфейси - I2C, SPI і послідовний порт UART. Всі ці пристрої можуть контролюватися програмно.

Згідно цього був вибраний мікроконтролер ATmega8, який задовольняє вимогам до швидкості обробки даних, обсягом постійної пам'яті, наявності вбудованих АЦП і таймерів а також здатний витримати експлуатаційні умови. Даний мікропроцесор має наступні характеристики: [3]

8-розрядний високопродуктивний AVR мікроконтролер з малим споживанням

Прогресивна RISC архітектура

-130 високопродуктивних команд, більшість команд виконується за один тактовий цикл

-32 8-розрядних робочих регістра загального призначення Повністю статична робота

-Наближається до 16 MIPS (при тактовій частоті 16 МГц) продуктивність

-Вбудований 2-циклової перемножувач

Незалежна пам'ять програм і даних

-8 Кбайт внутрісистемного програмованої Flash пам'яті (In-System Self-Programmable Flash)

-Забезпечує 1000 циклів стирання / запису

-Додатковий сектор завантажувальних кодів з незалежними битами блокування

-Забезпечено режим одночасного читання / запису (Read-While-Write)

-512 байт EEPROM

-Забезпечує 100000 циклів стирання / запису

-1 Кбайт вбудованої SRAM

-Програмована блокування, що забезпечує захист програмних засобів користувача

Вбудована периферія

-Два 8-розрядних таймера / лічильника з окремим попередніми дільником, один з режимом порівняння

-Один 16-розрядний таймер / лічильник з окремим попередніми дільником і режимами захоплення і порівняння

-Лічильник реального часу з окремим генератором

-Три канали PWM

-8-канальний аналого-цифровий перетворювач (в корпусах TQFP і MLF)

-6 каналів з 10-розрядної точністю

-канали з 8-розрядної точністю

-6-канальний аналого-цифровий перетворювач (в корпусі PDIP)

-4 канали з 10-розрядної точністю

-2 канали з 8-розрядної точністю

-Байт-орієнтований 2-дротовий послідовний інтерфейс

-Програмований послідовний USART

-Послідовний інтерфейс SPI (провідний / ведений)

-Програмований сторожовий таймер з окремим вбудованим генератором

-Вбудований аналоговий компаратор

Спеціальні мікроконтролерні функції

-Скидання по подачі живлення і програмований детектор короткочасного зниження напруги живлення

-Вбудований калібрований RC-генератор

-Внутрішні і зовнішні джерела переривань

-П'ять режимів зниженого споживання: Idle, Power-save, Power-down, Standby і зниження шумів ADC

Висновки I / O і корпусу

-23 програмовані лінії введення / виводу

-28-вивідний корпус PDIP, 32-вивідний корпус TQFP і 32-вивідний корпус MLF

робочі напруги

-4,5 - 5,5 В (ATmega8)

робоча частота

-0 - 16 МГц (ATmega8)

В якості середовища програмування була вибрана «Atmel Studio», тому що це середовище розроблено фірмою Atmel (розробник мікроконтролерів AVR), яка дуже добре подбала про супроводі своєї продукції. Для написання програм, їх налагодження, трансляції і прошивки в пам'ять мікроконтролера фірма розробила і безкоштовно розповсюджує спеціалізовану середу розробника під

назвою «Atmel Studio». Інсталяційний пакет цієї інструментальної програми можна вільно скачати з сайту фірми.

Програмне середовище «Atmel Studio» - це потужний сучасний програмний продукт, що дозволяє виробляти всі етапи розробки програм для будь-яких мікроконтролерів серії AVR. Пакет включає в себе спеціалізований текстовий редактор для написання програм, потужний програмний відладчик.

Крім того, «Atmel Studio» дозволяє управляти цілим рядом підключаються до комп'ютера зовнішніх пристроїв, що дозволяють виконувати апаратну налагодження, а також програмування («прошивку») мікросхем AVR.

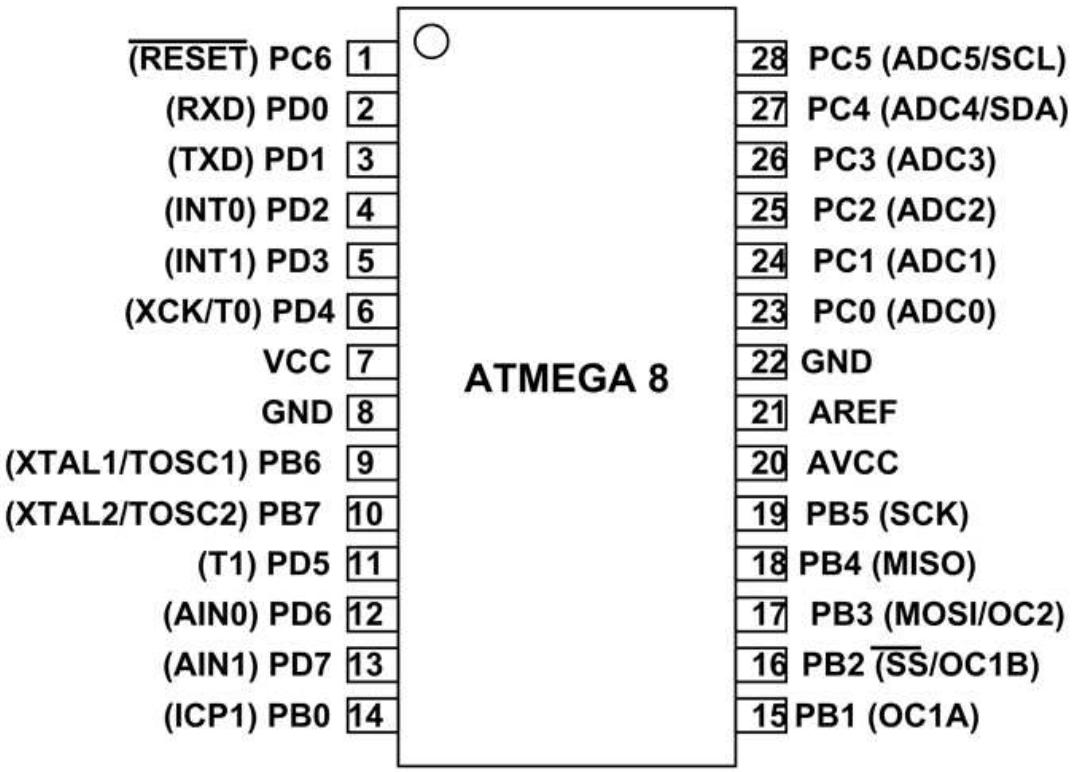

Рис. 3.9. Схема контактів мікроконтролера ATmega8

В якості середовища для тестування було вибрано Proteus Professional тому що він дозволяє моделювати роботу мікроконтролерів AVR. Proteus Professional - пакет програм для автоматизованого проектування електронних схем. Пакет являє собою систему схемо технічного моделювання, що базується на основі

моделей електронних компонентів прийнятих в PSpice. Відмінною рисою пакета Proteus Professional є можливість моделювання роботи програмованих пристроїв: мікроконтролерів, мікропроцесорів, DSP та інше. Додатково в пакет Proteus Professional входить система проектування друкованих плат. Proteus Professional може симулювати роботу наступних мікроконтролерів: 8051, ARM7, ARM Cortex-M3, AVR, Texas Instruments, Motorola, PIC, Basic Stamp.

PWM - широтно-імпульсна модуляція полягає в зміні ширини імпульсу при сталості частоти проходження імпульсу. Амплітуда імпульсів при цьому незмінна.

Широтно-імпульсне регулювання знаходить застосування там, де потрібно регулювати що подається до навантаження потужність. Наприклад, в схемах управління електродвигунами постійного струму, в імпульсних перетворювачах, для регулювання яскравості світлодіодних світильників, екранів РК-моніторів, дисплеїв в смартфонах і планшетах і т.п.

Більшість вторинних джерел живлення електронних пристроїв в даний час будуються на основі імпульсних перетворювачів, застосовується широтно-імпульсна модуляція і в підсилювачах низької (звукової) частоти класу D, зварювальних апаратах, пристроях зарядки автомобільних акумуляторів, инверторах тощо. ШІМ дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії (ККД) вторинних джерел живлення в порівнянні з низьким ККД аналогових пристроїв.

Широтно-імпульсна модуляція буває аналогової і цифрової. Аналогова широтно-імпульсна модуляція. Частота сигналу і його амплітуда при ШІМ завжди постійні. Один з найважливіших параметрів сигналу ШІМ - це коефіцієнт заповнення, рівний відношенню тривалості імпульсу t до періоду імпульсу T. D = t / T. Так, якщо маємо сигнал ШІМ з тривалістю імпульсу 300 мкс і періодом імпульсу 1000 мкс, коефіцієнт заповнення складе 300/1000 = 0,3. Коефіцієнт заповнення також виражається у відсотках, для чого коефіцієнт заповнення множиться на 100%. За прикладом вище процентний коефіцієнт заповнення становить 0,3 х 100% = 30%.

Шпаруватість імпульсу - це відношення періоду імпульсів до їх тривалості, тобто величина, зворотна коефіцієнту заповнення. S = T / t.

Частота сигналу визначається як величина, зворотна періоду імпульсу, і являє собою кількість повних імпульсів за 1 секунду. Для прикладу вище при періоді 1000 мкс = 0,001 с, частота становить F = 1 / 0,001 - 1000 (Гц).

Сенс ШІМ полягає в регулюванні середнього значення напруги шляхом зміни коефіцієнта заповнення. Середнє значення напруги дорівнює добутку коефіцієнта заповнення і амплітуди напруги. Так, при коефіцієнті заповнення 0,3 і амплітуді напруги 12 В середнє значення напруги складе 0,3 х 12 = 3,6 (В). При зміні коефіцієнта заповнення в теоретично можливих межах від 0% до 100% напруга буде змінюватися від 0 до 12 В, тобто Широтно-імпульсна модуляція дозволяє регулювати напругу в межах від 0 до амплітуди сигналу. Що і використовується для регулювання швидкості обертання електродвигуна постійного струму або яскравості світіння світильника.

Цифрова широтно-імпульсна модуляція. Існує різновид ШІМ, звана цифровий ШІМ. У цьому випадку період сигналу заповнюється прямокутними під імпульсами, і регулюється вже кількість імпульсів в періоді, що і визначає середню величину сигналу за період.

У цифровій ШІМ заповнюють період імпульсами (або «одиничками») можуть стояти в будь-якому місці періоду. Середнє значення напруги за період визначається тільки їх кількістю, при цьому імпульсами можуть слідувати один за іншим і зливатися. Окремо стоять імпульсами призводять до посилення режиму роботи ключа.

Як джерело сигналу цифрового ШІМ можна використовувати COM-порт комп'ютера з 10-бітовим сигналом на виході. З урахуванням 8 інформаційних бітів і 2 бітів старт / стоп, в сигналі COM-порту присутній від 1 до 9 «одиничок», що дозволяє регулювати напругу в межах 10-90% напруги живлення з кроком в 10%.

USART - це універсальний синхронний послідовний інтерфейс, UART ж є його полегшеним варіантом - універсальним асинхронним послідовним

інтерфейсом. Різниця полягає в тому, що USART, на відміну від UART, використовує, крім ліній даних, так само лінію тактового сигналу, з якими синхронізуються дані. USART мікроконтролера AVR дозволяє використовувати одночасну двосторонню зв'язок, від 5 до 9-бітові інформаційні слова (у випадку з 8 бітами слово = байт), 1 або 2 стоп-біта, три режими парності і широкий вибір швидкостей передачі даних. У мікроконтролерах AVR зазвичай до двох USART інтерфейсів, але у деяких AVR USART відсутня. Передача даних відбувається по одному слову за раз, тобто AVR переводить передане користувачем слово в біти на рівні апаратного забезпечення і передає його самостійно і навпаки. Користувач керує роботою USART, записуючи і зчитуючи регістри даних, конфігурації і стану.

Кожен параметр конфігурації має відповідний регістр, який легко налаштувати за допомогою специфікації. Трохи складніше налаштувати швидкість передачі. Тактовий сигнал для передачі даних генерується з робочого такту, і користувач може вибрати коефіцієнт від 1 до 4096, на який буде поділений робочий такт. Отриманий сигнал додатково ділиться на 2, 8 або 16, залежно від режиму. Проблема полягає в тому, що всі тактові частоти можна поділити так, щоб вийшла стандартна швидкість передачі. Швидкість передачі деяких тактових частот мікроконтролера відрізняється від стандартної на 10%. У специфікаціях AVR наведені таблиці, в яких вказані тактові частоти, стандартні швидкості передачі даних і дільник, необхідний для їх отримання, а так само можливі помилки.

Так як передача даних відбувається в незалежності від процесора і значно повільніше, слід перед передачею переконатися, що інтерфейс готовий до передачі нового слова. Для цього слід стежити за бітом готовності буфера передач, який показує готовність буфера прийняти нове слово. При запуску мікроконтролера, біт готовності включений за замовчуванням. Як тільки слово відправлено, і в буфер не записав нове, біт готовності встановлюється високим.

Надходження слова позначається так само спеціальним бітом стану. Додатково до цього, існують біти стану, які позначають помилки кадрування і

парності, а так же переповнення приймального буфера. Переповнення буфера відбувається, наприклад тоді, коли попереднє слово не було лічено з буфера, а нове вже прийшло - тому дуже важливо швидко зчитувати входять слова в програму, використовуючи наприклад переривання. Всього існує три можливих причини переривання: готовність буфера передачі, успішна передача і успішний прийом.

Буфери передачі і прийому в фізичному сенсі різні регістри, але мають одну адресу блоку пам'яті і ім'я. При записи в спільно використовуваний регістр даних, дані зберігаються в буфері передачі, а при читанні з нього, дані зчитуються з буфера прийому.

Двопровідний інтерфейс TWI складається з двох сигнальних проводів SDA (serial data, послідовні дані) і SCL (serial clock, такти послідовних даних), і звичайно провід землі GND. Всі пристрої на шині з'єднані один з одним паралельно, використовуючи драйвери з відкритим стоком для формування на шині логічних рівнів сигналів 0 і 1. З цієї причини на шині обов'язково присутні два верхніх навантажувальних підтягують резистори (pull-up, на малюнку це резистори RPU, підключені до плюса харчування VDD).

Навантажувальні резистори повинні мати досить малий номінал для використовуваної тактової частоти, щоб швидко заряджати ємність сигналів SDA і SCL і давати короткі фронти наростання рівня лог. 1. Однак ці резистори повинні також бути досить великі, щоб не перевантажувати вихідні стоки драйверів підключених пристроїв. Рекомендації по вибору номіналів pull-up резисторів і відповідні формули можна знайти в дата шиті на використовувані пристрої I2C / TWI (типове значення pull-up близько 4.7 кОм).

Пристрої на шині можуть працювати або як майстер (master, т. Е. Головний пристрій, воно ініціює передачі даних по шині), або як підлеглий пристрій (slave, воно працює з шиною тільки за викликом від master). Шина може працювати з декількома головними пристроями (multi-master), коли в кожен будь-який момент часу на шині активно тільки одне master-пристрій. Однак найчастіше використовують просту конфігурацію шини тільки з одним master-пристроєм,

всі інші пристрої працюють як slave (підлеглих пристроїв може бути одне або декілька).

Для того, щоб відрізняти підлеглі пристрою на шині, використовується 7-бітову адресу (так спочатку визначила компанія Philips), який передається як перший байт після спеціального сигналу, який називається start condition. Біти адреси передаються в старших семи бітах байта, старшим бітом (MSB) вперед. Наймолодший біт (LSB) байта адреси обмежене спеціальним значенням R / ~ W, т. Е. Він визначає подальше направлення запиту передачі даних - читання (read) або запис (write). Бувають також пристрої з 10-бітовим або 16-бітовим адресою на шині, але цей випадок в нашому прикладі не розглядається.

C ++ - компільований, статично типізований мова програмування загального призначення.

Підтримує такі парадигми програмування, як процедурне програмування, об'єктно-орієнтоване програмування, узагальнене програмування. Мова має багату стандартну бібліотеку, яка включає в себе поширені контейнери і алгоритми, введення-виведення, регулярні вирази, підтримку багато поточності і інші можливості. C ++ поєднує властивості як високорівневих, так і низькорівневих мов. У порівнянні з його попередником - мовою C, - найбільшу увагу приділено підтримці об'єктно-орієнтованого і узагальненого програмування [17].

C ++ широко використовується для розробки програмного забезпечення, будучи одним з найпопулярніших мов програмування. Область його застосування включає створення операційних систем, різноманітних прикладних програм, драйверів пристроїв, додатків для вбудованих систем, високопродуктивних серверів, а також ігор. Існує безліч реалізацій мови C ++, як безкоштовних, так і комерційних і для різних платформ. Наприклад, на платформі x86 це GCC, Visual C ++, Intel C ++ Compiler, Embarcadero (Borland) C ++ Builder і інші. C ++ зробив величезний вплив на інші мови програмування, в першу чергу на Java і C #.

Синтаксис C ++ успадкований від мови C. Одним з принципів розробки було збереження сумісності з C. Проте, C ++ не є в строгому сенсі над безліччю C; безліч програм, які можуть однаково успішно транслюватися як компіляторами C, так і компіляторами C ++, досить велике, але не включає всі можливі програми на C.

3.4. Опис структури системи та алгоритмів її функціонування

Алгоритм роботи запропонованих технічних засобів повинен забезпечувати роботу газоаналізаторів в режимах настройки і вимірювання, а також забезпечувати діагностування стану блоків аналізатора і виявлення випадків несанкціонованого втручання в роботу засобів контролю вибухонебезпечності в процесі вимірювання і по зовнішньому запитом.

Зазвичай для об'єднання декількох алгоритмів в одному мікроконтролері застосовують методи по дієвої керованості. При застосуванні мікропроцесора ATmega8 для цього використовують підсистему переривань. В такому випадку все програмне забезпечення аналізатора метану буде складатися з наступних елементів:

1. Налаштування (повірка) аналізатора - установка нуля, чутливості, підготовка до роботи, початкові установки використовуються програмою регістрів, виконання підготовчих послідовностей.

2. Основний алгоритм - являє собою нескінченний цикл вимірювання вихідної напруги вимірювального моста, висновок результатів вимірювання на індикатор, передачу інформації про концентрацію метану на АС, накопичення інформації про поточний середньому значенні концентрації метану і величиною її середньоквадратичного відхилення, періодичне запам'ятовування поточних середніх величин, порівняння поточних середніх величин зі значеннями цих величин в попередні періоди часу, формування запитів на діагностику стану блоків і виявлення несанкціонованого втручання.

3. Алгоритм вектору переривань – від внутрішнього устрою мікроконтролера, від якого прийшов запит на переривання основного алгоритму, виклик алгоритму обробки події і установка пріоритету в черговості обробки (в разі одночасних запитів).

В аналізаторі метану, побудованого з використанням сучасних мікропроцесорних засобів обробки інформації, в якому реалізована функція автоматичної діагностики нульових показань, відсутні елементи для регулювання «нуля» і чутливості аналізатора. Аналізатор має два режими роботи: режим налагодження і робочий режим. Всі операції налагодження і перевірки здійснюються без втручання оператора згідно розробленої програми роботи аналізатора. В режимі налагодження виносний датчик аналізатора встановлюється в малогабаритну камеру яка за командою з дисплею аналізатора, почергово заповнюється атмосферним повітрям чи атестованою газовою сумішшю з вмістом метану 1,0%. При подачі чистого повітря аналізатором встановлюються задані величини струму через чутливі елементи, визначаються та заноситься в пам'ять аналізатора величини напруги на елементах та їх різниця, визначаються значення коефіцієнтів a і b в рівняннях. При подачі атестованої газової суміші до виносного датчика аналізатора визначається та встановлюється попередньо визначена для чистого повітря величина напруги на порівняльному елементі, визначається напруга на робочому елементі та розраховується чутливість датчика аналізатора, мВ/%CH4.

В робочому режимі безперервно виконуються операції вимірювання напруги на елементах, підтримка визначеної при регулювання величини напруги на порівняльному елементі, визначення різниці напруги на елементах, розрахунок та передача інформації про вміст метану. За зовнішнім запитом оператора чи періодично, згідно визначеного програмою роботи аналізатора часу та за умови стабільної й безпечної газової ситуації в місці контролю, здійснюється перевірка та коректування нульових показань аналізатора. При цьому встановлюється величини струму через термоелементи при якому реакція окислення метану на робочому елементі не протікає, після закінчення

перехідного процесу визначаються напруги на елементах та їх різниця, уточняться значення коефіцієнтів a і b і оцінюється ступінь зміщення «нуля» датчика при відсутності реакції окислення метану на робочому елементі та приймається рішення щодо необхідності в повідомленні оператора про необхідність здійснення перевірки та налагодження аналізатора чи корегування нульових показань аналізатора. Потім встановлюється робоча величина струму через термоелементи, а після закінчення перехідного процесу виконуються операції вимірювання напруги на елементах та регулювання величини напруги на порівняльному елементі, визначається різниця напруги на елементах, здійснюється корегування нульових показань аналізатора за результатами перевірки та розрахунок і передача інформації про вміст метану.

В аналізаторі метану, побудованого з використанням сучасних мікропроцесорних засобів обробки інформації, в якому реалізована функція автоматичної діагностики нульових показань, відсутні елементи для регулювання «нуля» і чутливості аналізатора. Аналізатор має два режими роботи: режим налагодження і робочий режим. Всі операції налагодження і перевірки здійснюються без втручання оператора згідно розробленої програми роботи аналізатора. В режимі налагодження виносний датчик аналізатора встановлюється в малогабаритну камеру яка за командою з дисплею аналізатора, почергово заповнюється атмосферним повітрям чи атестованою газовою сумішшю з вмістом метану 1,0%. При подачі чистого повітря аналізатором встановлюються задані величини струму через чутливі елементи, визначаються та заноситься в пам'ять аналізатора величини напруг на елементах та їх різниця, визначаються значення коефіцієнтів a і b в рівняннях. При подачі атестованої газової суміші до виносного датчика аналізатора визначається та встановлюється попередньо визначена для чистого повітря величина напруги на порівняльному елементі, визначається напруга на робочому елементі та розраховується чутливість датчика аналізатора, мВ/%CH4.

Рис. 3.10 Блок-схема алгоритму роботи програми, частина 1

В робочому режимі безперервно виконуються операції вимірювання напруг на елементах, підтримка визначеної при регулювання величини напруги на порівняльному елементі, визначення різниці напруг на елементах, розрахунок та передача інформації про вміст метану. За зовнішнім запитом оператора чи періодично, згідно визначеного програмою роботи аналізатора часу та за умови стабільної й безпечної газової ситуації в місці контролю, здійснюється перевірка та коректування нульових показань аналізатора. При цьому встановлюється величини струму через термоелементи при якому реакція окислення метану на робочому елементі не протікає, після закінчення перехідного процесу визначаються напруги на елементах та їх різниця, уточнюються значення коефіцієнтів a і b і оцінюється ступінь зміщення «нуля» датчика при відсутності реакції окислення метану на робочому елементі та приймається рішення щодо необхідності в повідомленні оператора про необхідність здійснення перевірки та налагодження аналізатора чи корегування нульових показань аналізатора. Потім встановлюється робоча величина струму через термоелементи, а після закінчення перехідного процесу виконуються операції вимірювання напруг на елементах та регулювання величини напруги на порівняльному елементі, визначається різниця напруг на елементах, здійснюється корегування нульових показань аналізатора за результатами перевірки та розрахунок і передача інформації про вміст метану.

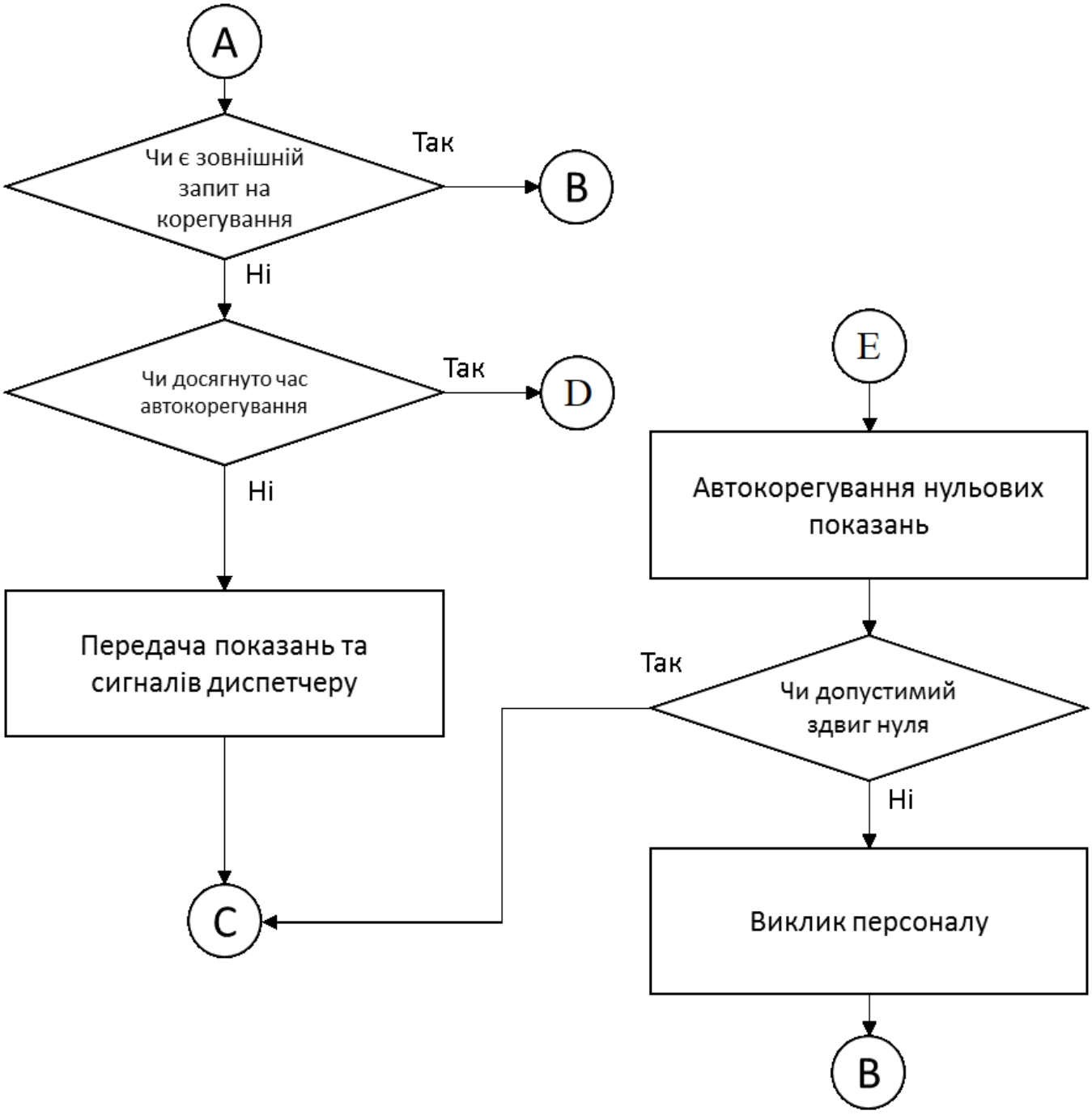

Рис. 3.11 Блок-схема алгоритму роботи програми, частина 2

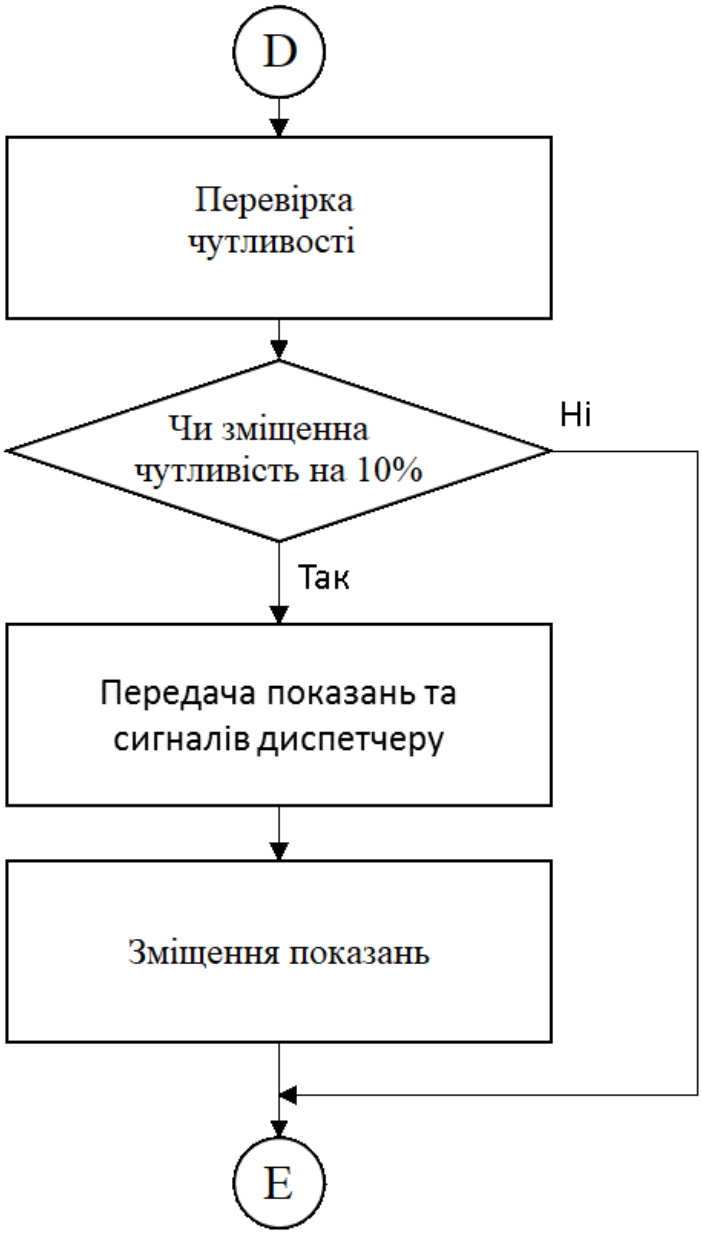

Рис. 3.12 Блок-схема алгоритму роботи програми, частина 3

Чутливість газоаналізатора визначається у процесі налагодження при подачі атестованої суміші метану шляхом підлатування напруги що подається на газоаналізатор. При визначенні чутливості запам’ятовується під лаштована величина напруги та температура оточуючого середовища для подальшої перевірки у робочому режимі. Поточний контроль чутливості відбувається періодично разом з контролем нуля. Під час контролю чутливості визначається напруга для перевірки чутливості відносно зміни температури оточуючого середовища від температури при налагодженні. Потім змінюється напруга на

газоаналізаторі і після стабілізації показань розраховується зміна поточної чутливості від чутливості при налагоджені, якщо ця зміна незначна то газоаналізатор продовжує прямцювати в робочому режимі. При значній зміні чутливості проводиться корегування показань газоаналізатора. Також відбувається оповіщення персоналу про наявність похибки у вимірюванні вмісту метану в оточуючому середовищі та необхідність пере налаштування газоаналізатора.

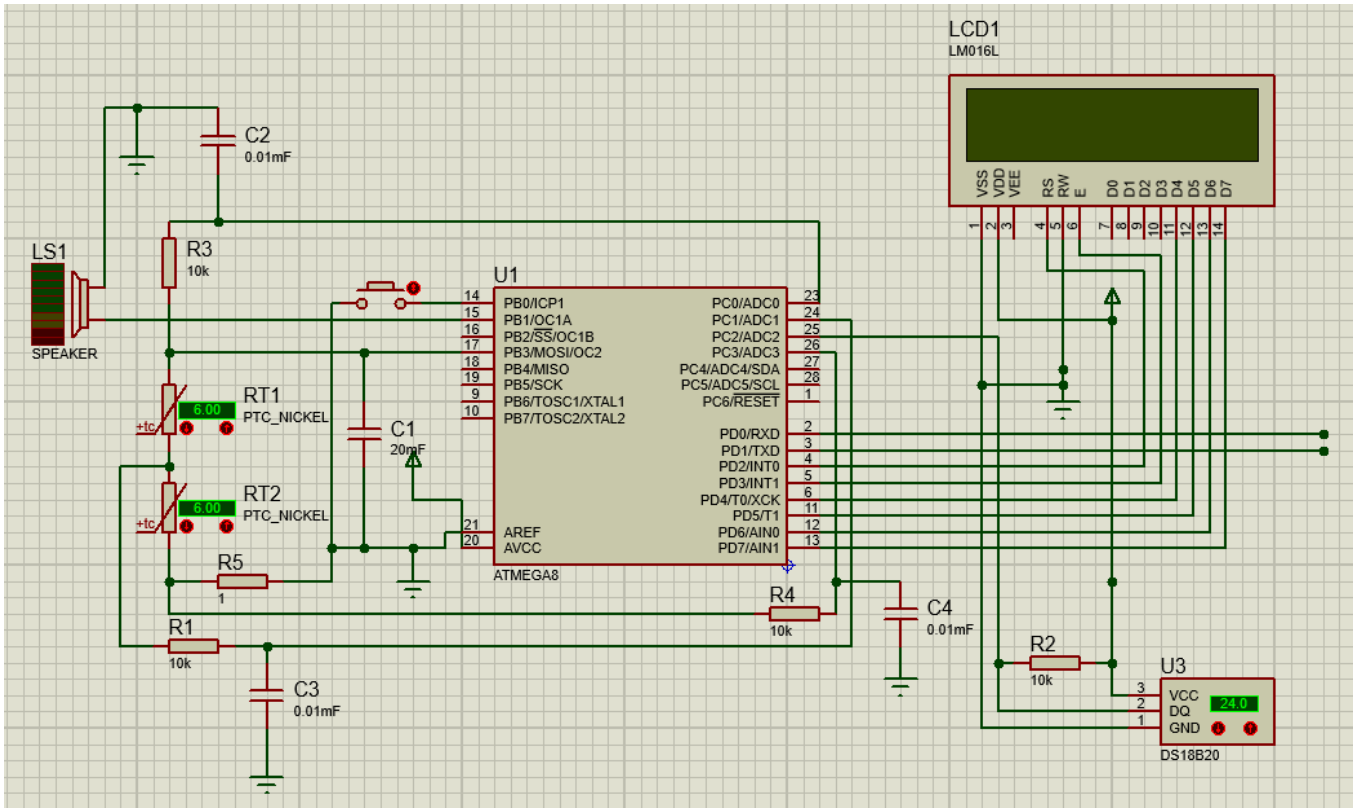

Рис. 3.13 Принципова схема вимірювального блоку метанометра

3.5. Опис розробленої системи

3.5.1. Використані технічні засоби

Для реалізації даного приладу був вибраний мікроконтролер ATmega8, який задовольняє вимогам до швидкості обробки даних, обсягом постійної пам'яті, наявності вбудованих АЦП і таймерів а також здатний витримати експлуатаційні умови. Всього контролер AVR має 32 8-бітових регістра

загального призначення. Протягом циклу процесор бере дані з двох регістрів і поміщає їх в арифметико-логічний пристрій, яке виробляє операцію над даними і поміщає їх в довільний регістр. арифметико-логічний пристрій може виконувати як арифметичні, так і логічні дії над операндами. Також арифметико-логічний пристрій може виконувати і дії з одним операндом (регістром). При цьому контролер не має регістра-акумулятора, на відміну від контролерів сімейства 8051 - для операцій можуть використовуватися будь-які регістри, і результат операції також може бути поміщений в будь-який регістр.

Контролер відповідає Гарвардської обчислювальної архітектурі, згідно з якою комп'ютер має окрему пам'ять для програм і даних. Тому в той час, поки виконується одна інструкція, відбувається попереднє вилучення з пам'яті наступної інструкції. Контролер здатний виконувати одну інструкцію за цикл. Звідси випливає, що якщо тактова частота контролера становить 1 МГц, то його продуктивність складе 1 млн. Оп. / С. Чим вище тактова частота контролера, тим вищою буде його швидкість. Однак при виборі тактової частоти контролера слід дотримуватися розумний компроміс між його швидкістю і енергоспоживанням. Крім флеш-пам'яті і процесора контролер має такі пристрої, як порти введення-виведення, аналого-цифровий перетворювач, таймери, комунікаційні інтерфейси - I2C, SPI і послідовний порт UART. Всі ці пристрої можуть контролюватися програмно. Даний мікропроцесор має наступні характеристики: [3]

8-розрядний високопродуктивний AVR мікроконтролер з малим споживанням

Прогресивна RISC архітектура

-130 високопродуктивних команд, більшість команд виконується за один тактовий цикл

-32 8-розрядних робочих регістра загального призначення Повністю статична робота

-Наближається до 16 MIPS (при тактовій частоті 16 МГц) продуктивність

-Вбудований 2-циклової перемножувач

Незалежна пам'ять програм і даних

-8 Кбайт внутрісистемного програмованої Flash пам'яті (In-System Self-Programmable Flash)

-Забезпечує 1000 циклів стирання / запису

-Додатковий сектор завантажувальних кодів з незалежними битами блокування

-Забезпечено режим одночасного читання / запису (Read-While-Write)

-512 байт EEPROM

-Забезпечує 100000 циклів стирання / запису

-1 Кбайт вбудованої SRAM

-Програмована блокування, що забезпечує захист програмних засобів користувача

Вбудована периферія

-Два 8-розрядних таймера / лічильника з окремим попередніми дільником, один з режимом порівняння

-Один 16-розрядний таймер / лічильник з окремим попередніми дільником і режимами захоплення і порівняння

-Лічильник реального часу з окремим генератором

-Три канали PWM

-8-канальний аналого-цифровий перетворювач (в корпусах TQFP і MLF)

-6 каналів з 10-розрядної точністю

-канали з 8-розрядної точністю

-6-канальний аналого-цифровий перетворювач (в корпусі PDIP)

-4 канали з 10-розрядної точністю

-2 канали з 8-розрядної точністю

-Байт-орієнтований 2-дротовий послідовний інтерфейс

-Програмований послідовний USART

-Послідовний інтерфейс SPI (провідний / ведений)

-Програмований сторожовий таймер з окремим вбудованим генератором

-Вбудований аналоговий компаратор

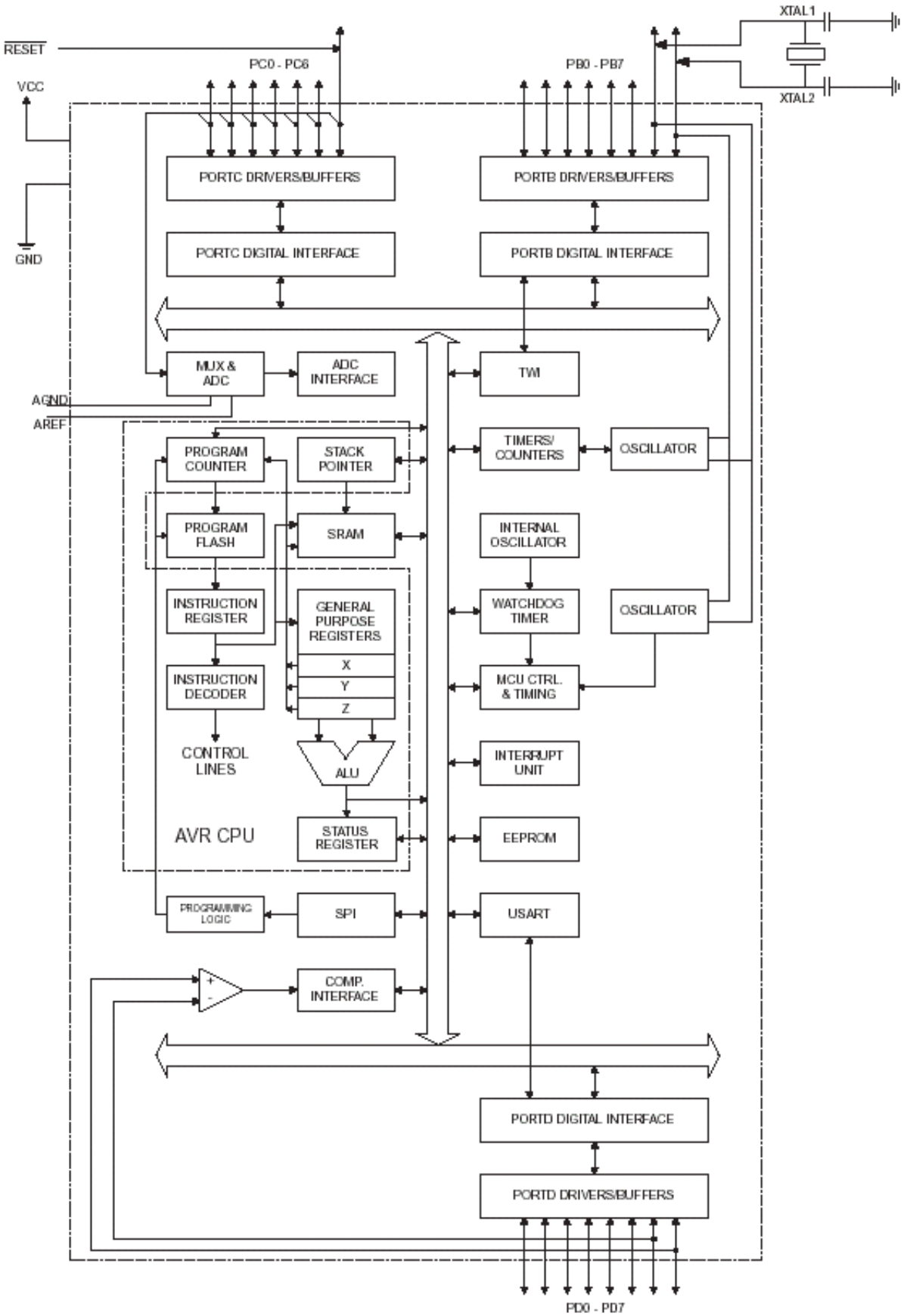

Рис. 3.14 Блок-схема мікроконтролера ATmega8

Спеціальні мікроконтролерні функції

-Скидання по подачі живлення і програмований детектор короткочасного зниження напруги живлення

-Вбудований калібрований RC-генератор

-Внутрішні і зовнішні джерела переривань

-П'ять режимів зниженого споживання: Idle, Power-save, Power-down, Standby і зниження шумів ADC

Висновки I / O і корпусу

-23 програмовані лінії введення / виводу

-28-вивідний корпус PDIP, 32-вивідний корпус TQFP і 32-вивідний корпус MLF

робочі напруги

-4,5 - 5,5 В (ATmega8)

робоча частота

-0 - 16 МГц (ATmega8)

3.5.2. Використані програмні засоби

Розроблена система самостійна тому для її функціонування стороні програмні засоби не потрібні.

3.5.3. Виклик та завантаження програми

Для включення даного приладу потрібно увімкнути живлення приладу, після чого спеціаліст з налаштування повинен провести початкове налаштування за допомогою спеціальних сумішей.

3.5.4. Опис інтерфейсу користувача

Так як система ніяк не взаємодіє з користувачем, а тільки представляє йому дані про стан середовища то при роботі даного пристрою постійно відображається вміст метану у навколишній рудниковій атмосфері (рис. 3.15).

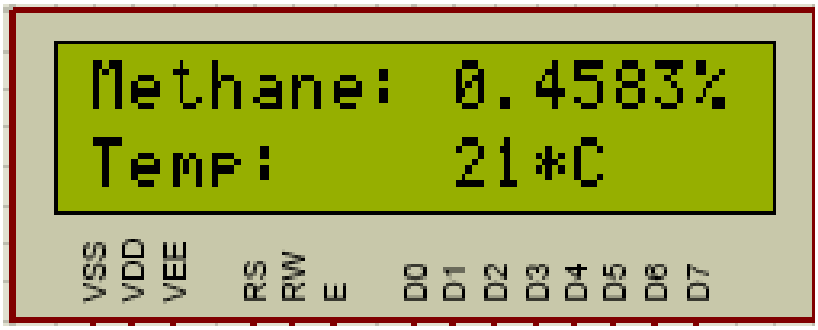

Рис. 3.15 Інтерфейс в робочому стані

Калібрування системи виконується спеціалістом за допомогою сертифікованих сумішей. При чому інтерфейс системи змінюється для взаємодії з спеціалістом. Спочатку до приладу потрібно подати чисте повітря, про що сповідується на екрані (рис. 3.16).

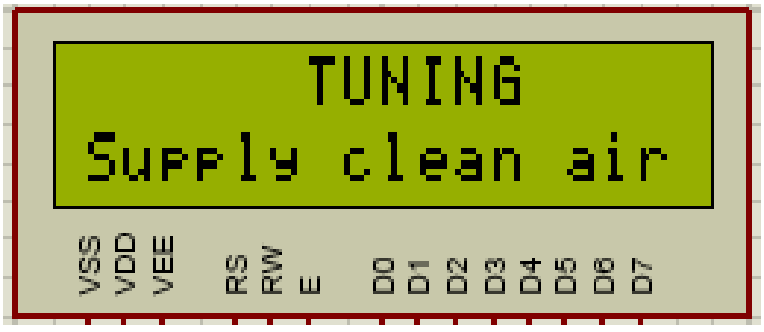

Рис. 3.16 Інтерфейс в стані калібрування сповіщає про необхідність чистого повітря

Після того як система обробить данні при наявності чистого повітря, на інтерфейсі буде повідомлення про те що тепер спеціалісту потрібно подати до приладу повітря з 1% вмістом метану(рис. 3.17).

Рис. 3.17 Інтерфейс в стані калібрування сповіщає про необхідність повітря з 1% метану

Після завершення калібрування на екран буде виведено повідомлення про його завершення та прилад перейде в робочій стан(рис. 3.18).

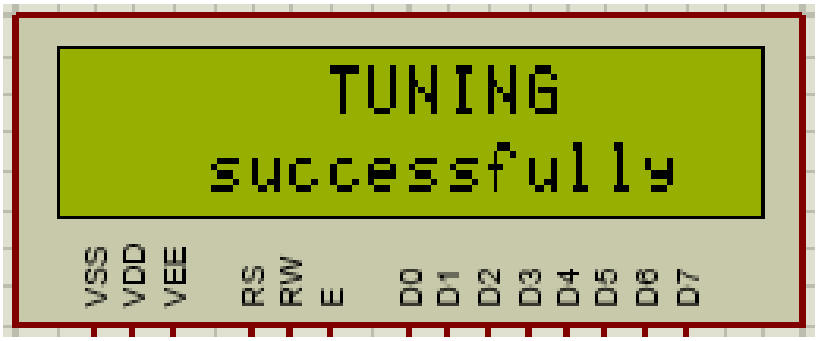

Рис. 3.18 Інтерфейс в стані калібрування сповіщає про завершення калібрування

Якщо при роботі метанометра концентрація метану в навколишній рудниковій атмосфері перевищить величину встановлену правилами безпеки у вугільних шахтах то буде виведено повідомлення наведене на рис. 3.19.

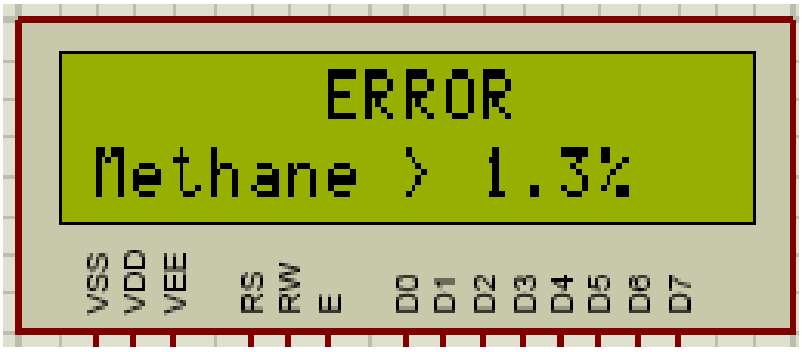

Рис. 3.19 Інтерфейс в робочому стані сповіщає про перевищення допустимої норми концентрації метану

Якщо при роботі метанометра концентрація метану в рудниковій атмосфері середовищі складе 1.0967% а температурі 24 °С то це буде відображено на інтерфейсі (рис. 3.20).

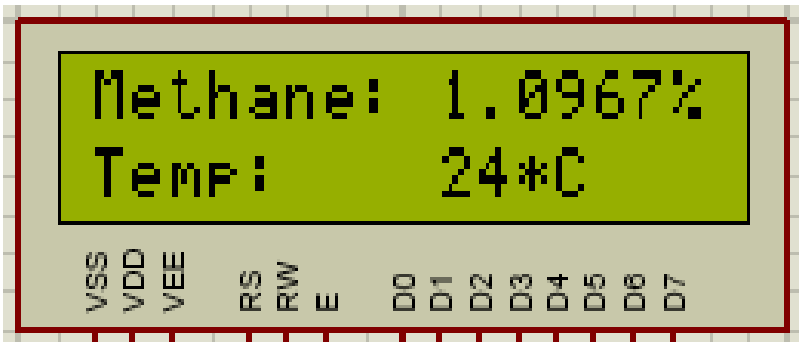

Рис. 3.20 Інтерфейс в робочому стані при концентрації метану 1.0967% та температурі 24 °С

Якщо при роботі метанометра концентрація метану в оточуючому рудниковій атмосфері буде наближена до гранично допустимої і складе 1.2783% а температурі 24 °С то це буде відображено на інтерфейсі (рис. 3.21).

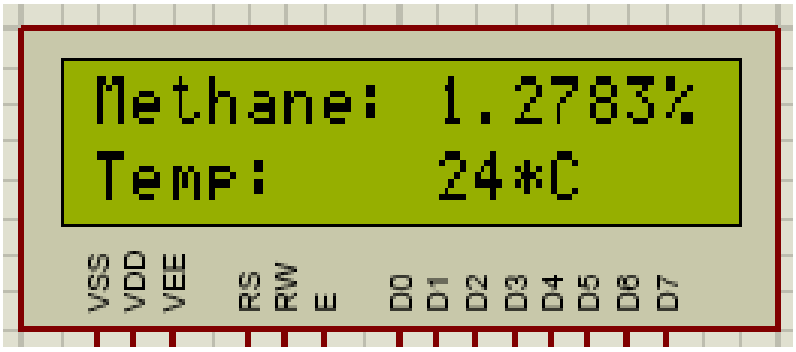

Рис. 3.21 Інтерфейс в робочому стані при концентрації метану 1.2783% та температурі 24 °C

Якщо при роботі метанометра концентрація метану в оточуючому рудниковій атмосфері складе 1.1872% а температурі 26 °C то це буде відображено на інтерфейсі (рис. 3.22).

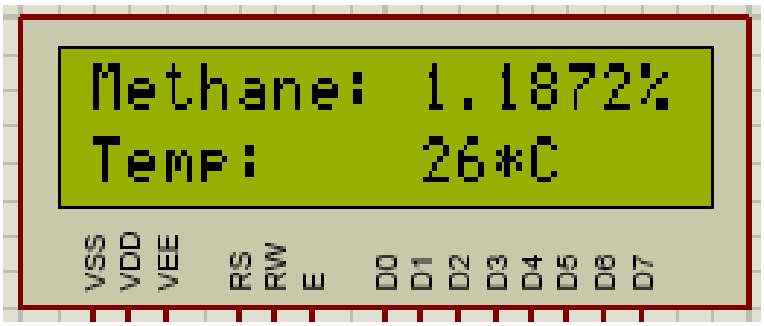

Рис. 3.22 Інтерфейс в робочому стані при концентрації метану 1.1872% та температурі 26 °C

Якщо при роботі метанометра концентрація метану в оточуючому рудниковій атмосфері складе 0.9010% а температурі 23 °C то це буде відображено на інтерфейсі (рис. 3.23).

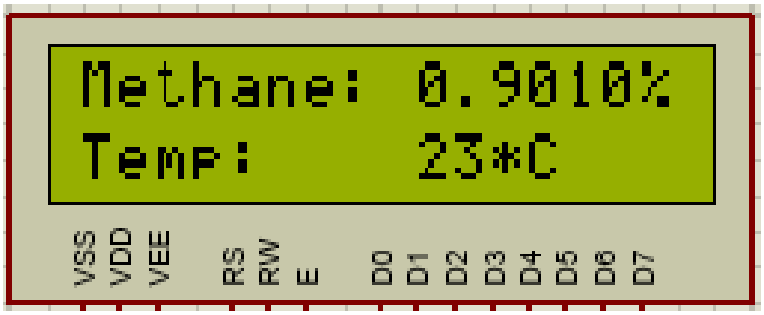

Рис. 3.23 Інтерфейс в робочому стані при концентрації метану 0.9010% та температурі 23 °C

Якщо при роботі метанометра концентрація метану в оточуючому рудниковій атмосфері складе 0.6349% а температурі 20 °C то це буде відображено на інтерфейсі (рис. 3.24).

Рис. 3.24 Інтерфейс в робочому стані при концентрації метану 0.6349% та температурі 20 °C

Якщо при роботі метанометра концентрація метану в оточуючому рудниковій атмосфері складе 0.5438% а температурі 19 °C то це буде відображено на інтерфейсі (рис. 3.25).

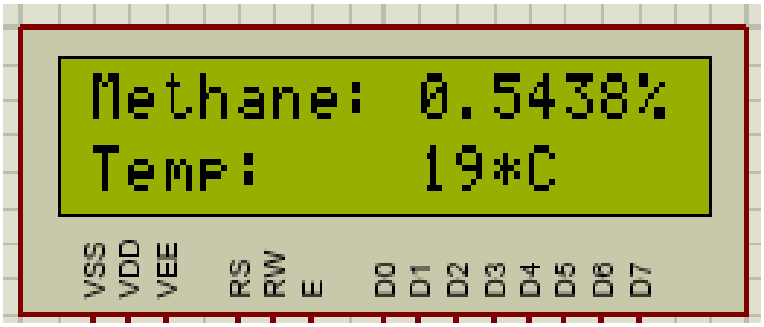

Рис. 3.25 Інтерфейс в робочому стані при концентрації метану 0.5438% та температурі 19 °C

Якщо при роботі метанометра концентрація метану в оточуючому рудниковій атмосфері складе 0.2767% а температурі 17 °C то це буде відображено на інтерфейсі (рис. 3.26).

Рис. 3.26 Інтерфейс в робочому стані при концентрації метану 0.2767% та температурі 17 °C

Якщо при роботі метанометра концентрація метану в оточуючому рудниковій атмосфері складе 0.0901% а температурі 24 °C то це буде відображено на інтерфейсі (рис. 3.27).

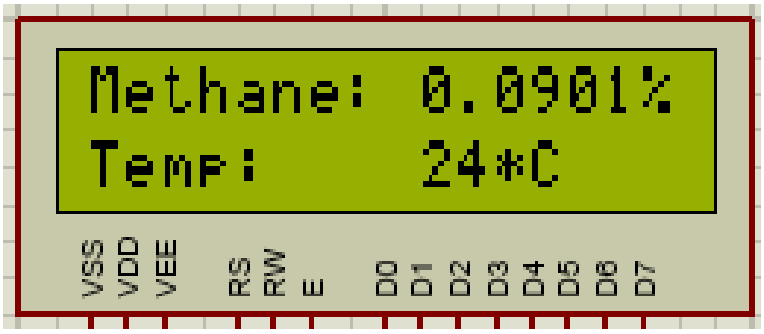

Рис. 3.27 Інтерфейс в робочому стані при концентрації метану 0.0901% та температурі 24 °C

Якщо при роботі метанометра концентрація метану в оточуючому рудниковій атмосфері не буде метану а температурі 21 °C то це буде відображено на інтерфейсі (рис. 3.28).

Рис. 3.28 Інтерфейс в робочому стані при концентрації метану 0% та температурі 21 °C

Якщо при роботі метанометра концентрація метану в оточуючому рудниковій атмосфері складе 0.0846% та виникне необхідність проведення калібрування в наслідок зменшення чутливості то це буде відображено на інтерфейсі (рис. 3.29).

Рис. 3.29 Інтерфейс в робочому стані при концентрації метану 0.0846% та при необхідності проведення каліврування.

3.6. Висновки до третього розділу

Описано призначення системи автоматичної діагностики стану газоаналізаторів. Основними діагностичними параметрами вибрано контроль нульових показань газоаналізаторів та чутливості термокаталітичного датчика метану.

Запропоновано методи діагностики нульових показань та чутливості який полягає в аналізі зміни вихідних характеристики перетворювачів на дільниці виходу вихідної напруги вимірювального моста на горизонтальну частину характеристики при зміні величини струму через чутливі елементи.

Розроблено принципову схему, алгоритм та програмне забезпечення для контролю нуля та чутливості. Розроблена програма наведена в додатку(додаток А)

.

РОЗДІЛ 4
ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1. Розрахунок трудомісткості та вартості розробки програмного продукту

Початкові дані:

1. передбачуване число операторів програми – 1000;
2. коефіцієнт складності програми – 1,6;
3. коефіцієнт корекції програми в ході її розробки – 0,05;
4. годинна заробітна плата програміста– 60грн/год;
5. коефіцієнт збільшення витрат праці в наслідок недостатнього опису задачі – 1,2;
6. коефіцієнт кваліфікації програміста, обумовлений від стажу роботи з даної спеціальності – 1,2;
7. вартість машино-години ЕОМ –13грн/год.

Нормування праці в процесі створення ПЗ істотно ускладнено в силу творчого характеру праці програміста. Тому трудомісткість розробки ПЗ може бути розрахована на основі системи моделей з різною точністю оцінки.

Трудомісткість розробки ПЗ можна розрахувати за формулою:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{отл} + t_д, \text{ людино-годин,} \qquad (4.1)$$

де t_o- витрати праці на підготовку й опис поставленої задачі (приймається 50 людино-годин);

t_u - витрати праці на дослідження алгоритму рішення задачі;

t_a- витрати праці на розробку блок-схеми алгоритму;

t_n-витрати праці на програмування по готовій блок-схемі;

$t_{отл}$-витрати праці на налагодження програми на ЕОМ;

$t_д$ - витрати праці на підготовку документації.

Складові витрати праці визначаються через умовне число операторів у програмному забезпеченні, яке розробляється.

Умовне число операторів (підпрограм):

$$Q = q \cdot C \cdot (1 + p), \tag{4.2}$$

де q - передбачуване число операторів (800);

C - коефіцієнт складності програми (1,6);

p - коефіцієнт корекції програми в ході її розробки (0,05).

Звідси умовне число операторів в програмі:

$$Q = 1{,}6 \cdot 1000 \cdot (1 + 0{,}05) = 1680$$

Витрати праці на вивчення опису задачі t_u визначається з урахуванням уточнення опису і кваліфікації програміста:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75..85) \cdot k}, \text{ людино-годин }, \tag{4.3}$$

де B - коефіцієнт збільшення витрат праці внаслідок недостатнього опису задачі;

k - коефіцієнт кваліфікації програміста, обумовлений від стажу роботи з даної спеціальності. При стажі роботи від 3 до 5 років він складає 1,2.

Приймемо збільшення витрат праці внаслідок недостатнього опису завдання не більше 50% (B = 1,2). З урахуванням коефіцієнта кваліфікації k = 1,2, отримуємо витрати праці на вивчення опису завдання:

$$t_u = (1680 \cdot 1{,}2) / (75 \cdot 1{,}2) = 22{,}4 \text{ людино-годин} \tag{4.4}$$

Витрати праці на розробку алгоритму рішення задачі визначаються за формулою:

$$t_a = \frac{Q}{(20...25)\cdot k}, \text{ людино-годин,} \quad (4.5)$$

де Q – умовне число операторів програми;

k – коефіцієнт кваліфікації програміста.

Підставивши відповідні значення в формулу (3.2), отримаємо:

$$t_a = 1680 / (20 \cdot 1{,}2) = 70 \text{ людино-годин.}$$

Витрати на складання програми по готовій блок-схемі:

$$t_n = \frac{Q}{(20...25)\cdot k}, \text{ людино-годин.} \quad (4.6)$$

$$t_n = 1680 / (20 \cdot 1{,}2) = 70 \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на налагодження програми на ЕОМ:

- за умови автономного налагодження одного завдання:

$$t_{отл} = \frac{Q}{(4..5)\cdot k}, \text{ людино-годин.} \quad (4.7)$$

$$t_{отл} = 1680 / (4 \cdot 1{,}2) = 350 \text{ людино-годин.}$$

- за умови комплексного налагодження завдання:

$$t_{отл}^{k} = 1{,}5 \cdot t_{отл}, \text{ людино-годин.} \quad (4.8)$$

$t^{k}_{отл}$= 1,5 · 350 = 525 людино-годин.

Витрати праці на підготовку документації визначаються за формулою:

$$t_{д} = t_{др} + t_{до}\text{ , людино-годин,} \quad (4.9)$$

де $t_{др}$-трудомісткість підготовки матеріалів і рукопису:

$$t_{др} = \frac{Q}{(15..20)\cdot k}\text{ , людино-годин,} \quad (4.10)$$

$t_{до}$ - трудомісткість редагування, печатки й оформлення документації:

$$t_{до} = 0{,}75 \cdot t_{др}\text{ , людино-годин.} \quad (4.11)$$

Підставляючи відповідні значення, отримаємо:

$t_{др}$ = 1680 / (18 · 1,2) = 77,78 людино-годин.

$t_{до}$ = 0,75 ·77,78 = 58,33 людино-годин.

$t_{д}$=77,78 + 58,33 = 163,11 людино-годин.

Повертаючись до формули (3.1), отримаємо повну оцінку трудомісткості розробки програмного забезпечення:

t = 50 + 22,4 + 70 +70 + 350 + 163,11 =725,51 людино-годин.

4.2. Рахунок витрат на створення програми

Витрати на створення ПЗ $К_{ПО}$ включають витрати на заробітну плату виконавця програми $З_{ЗП}$ і витрат машинного часу, необхідного на налагодження програми на ЕОМ:

$$К_{ПО} = З_{ЗП} + З_{МВ}, \text{ грн.} \quad (4.12)$$

Заробітна плата виконавців визначається за формулою:

$$З_{ЗП} = t \cdot С_{ПР}, \text{ грн,} \quad (4.13)$$

де: t - загальна трудомісткість, людино-годин;

$С_{ПР}$ - середня годинна заробітна плата програміста, грн/година

З урахуванням того, що середня годинна зарплата програміста становить 60 грн / год, отримуємо:

$$З_{ЗП} = 725{,}51 \cdot 60 = 43530{,}6 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налагодження програми на ЕОМ, визначається за формулою:

$$З_{мв} = t_{отл} \cdot С_{мч}, \text{ грн,} \quad (3.3) \quad (4.14)$$

де $t_{отл}$ - трудомісткість налагодження програми на ЕОМ, год;

$С_{мч}$ - вартість машино-години ЕОМ, грн/год (13 грн/год).

Підставивши в формулу (3.3) відповідні значення, визначимо вартість необхідного для налагодження машинного часу:

$$З_{мв} = 350 \cdot 13 = 4550 \text{грн.}$$

Звідси витрати на створення програмного продукту:

$$К_{ПО} = 43530,6 + 4550 = 48080,6 \text{ грн.}$$

Очікуваний період створення ПЗ:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \text{міс.} \qquad (4.15)$$

де B_k- число виконавців (дорівнює 1);

F_p - місячний фонд робочого часу (при 40 годинному робочому тижні F_p=176 годин).

Звідси витрати на створення програмного продукту:

$$T = 725,51 / 1 \cdot 176 \approx 4,1 \text{ міс.}$$

Вартість програмного забезпечення призначеного для моніторингу стану рудникової атмосфери склала 48 тис. грн. Очікуваний час розробки становить 4,1 місяці. Цей термін пов'язаний зі значним числом операторів, і включає час на дослідження і розробку алгоритму вирішення поставленого завдання, програмування по готовому алгоритму, налагодження програми і підготовку документації.

4.3. Маркетингові дослідження

Система що розробляється в першу чергу спрямована на попередження аварій на вугільних шахтах тому що видобуток корисних копалин на вугільних шахтах пов'язан з наявністю великої кількості небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що призводить до високого рівня аварійності і травматизму в галузі. Особливу небезпеку серед усіх видів аварій становлять вибухи метано-повітряних сумішей і вугільного пилу. Вони призводять до групових нещасних випадків зі смертельними наслідками, великих руйнувань гірничих виробок, обладнання та оснащення. Внаслідок вибуху в більшості випадків робота шахти порушується або зупиняється зовсім. В Україні більшість шахт є небезпечними по газу і пилу. В міру вичерпання запасів корисних копалин на діючих шахтах у відпрацювання залучаються пласти вугілля розташовані на великій глибині, що супроводжується збільшенням газовиділення. До зростання газовиділення, збільшення концентрацій метану та пилу в гірничих виробках веде також впровадження високопродуктивної техніки і збільшення вуглевидобутку з одного вибою. Все це пов'язане зі збільшенням потенційної небезпеки загазування та ймовірності виникнення вибуху.

Проблема запобігання вибухів, є досить складною і для її вирішення необхідно проведення досліджень щодо встановлення природи та особливостей аварій, формуванню й вдосконаленню заходів щодо їх попередження. Роботи, спрямовані на попередження та локалізація вибухів проводяться в багатьох вугледобувних країнах, в тому числі і в Украйні. Одним з найважливіших заходів, спрямованих на попередження вибухів, є контроль вибухонебезпечності середовища в гірничих виробках та обладнанні шахт і їх оснащення засобами вибухозахисту, що спрацьовують при виникненні небезпеки вибуху.

Актуальність проблеми підвищення надійності контролю вибухонебезпечності середовища в гірничих виробках та обладнанні вугільних шахт обумовлена вищенаведеним.

Вугільні шахти являють собою досить складну виробничу систему з особливо небезпечними умовами праці. Складні гірничо-геологічні умови більшості вугільних родовищ України обумовлюють наявність великої кількості небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які суттєво впливають на життя і здоров'я працюючих і призводять до високого рівня травматизму і профзахворювань в галузі. За даними досліджень на вугільних шахтах України щорічно в середньому відбувається близько 2 тисяч різних аварій з простоєм шахт або окремих ділянок більше доби.

За невеликим винятком всі автоматичні прилади, призначені для контролю концентрації метану в гірничих виробках шахт, засновані на термокаталітичному методі. Конструктивно термокаталітичні датчики автоматичних газоаналізаторів за останнім часом зазнали істотних змін. В сучасних газоаналізаторах їх, як правило, виконують у вигляді мініатюрних термоелементів пелісторного типу, які розміщуються в реакційній камері, відокремленої від контрольованого середовища за допомогою пористого керамічного або металокерамічного газообмінного фільтроелементу. В них істотно знижена споживана потужність і поліпшені масо габаритні характеристики датчиків, оптимізовані їх конструктивні і технологічні параметри, розширено діапазон виміру, підвищена надійність і температурна стабільність аналізаторів, значною мірою вирішені питання діагностування стану аналізаторів, виявлення несанкціонованого втручання і забезпечення однозначного роботи в діапазоні можливих концентрацій метану. Недоліком даних приладів контролю вибухонебезпечності являється те що при одночасній наявності метану, пилу і горючих газів з низькою температурою займання показання цих приладів не відповідають дійсності. Спостерігаються випадки порушення працездатності аналізаторів при високих концентраціях метану.

Прикладом таких приладів є АКРД з термокондуктометричним датчиком метану ДМД, призначений для контролю за роботою дегазаційних систем. Слід зазначити, що випускається апаратурі притаманний ряд недоліків, основний з яких полягає в наявності відносно великий похибки вимірювання концентрації

метану (приведена похибка вимірювання 4%) і істотний вплив на результати вимірювання зміни тиску, температури, вологості і газового складу контрольованого середовища. Або мікропроцесорний метанометр ММ-2А. Він містить виносний термокондуктометричниий датчик, з'єднаний з вимірювальним блоком кабелем довжиною до 5 м. Забезпечує контроль вмісту метану в діапазоні 0 - 100 об.% І має два керуючих виходу для відключення обладнання при неприпустимою концентрації метану в трубопроводі. Недоліками даних приладів є вплив зміни ряду параметрів на результати вимірювання таких як зміна тиску, вологості і газового складу контрольованого середовища. Практично всі датчики випускаються аналізаторів є двокамерними і містять ізольований порівняльний елемент, поміщений в камеру з еталонною газовим середовищем. При тривалій експлуатації таких датчиків часто спостерігається втрата герметизації такої камери, крім того, таке виконання датчиків ускладнює їх конструкцію і погіршує динамічні характеристики аналізаторів. Зазначене обумовлює нестабільність «нуля» аналізаторів, відносно велику похибка вимірювання, необхідність регулювання і настройки в місці установки, регулярного обслуговування і нагляду за роботою таких газоаналізаторів. Вимірювання концентрації метану у виробках шахти виробляють переносними приладами епізодичної дії - шахтними інтерферометрами ШИ-10, ШИ-11 і ШІ-12. Зазначені прилади мають автономні джерела живлення електроенергією і дозволяють вимірювати вміст в повітрі метану та діоксиду вуглецю в інтервалі концентрацій 0-6% з похибкою ± 0,2%. При веденні гірничих, дегазаційних і рятувальних робіт, коли виникає необхідність у вимірі високою (до 100%) концентрації метану, використовують інтерферометр ШИ-7. Допустима похибка приладу складає ± 4%.

Розроблене програмне забезпечення для автоматичної діагностики стану стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності в першу чергу слід розглядати як захід спрямований на зниження вірогідності виникнення аварій та аварійних ситуацій, обумовлених загазуванням гірничих виробок шахт, та як розроблюваний прилад на відміну від існуючих, приклади яких наведені вище,

проводить автоматичну діагностику свого стану та в залежності від нього корегує показання отримані з датчиків за рахунок чого і підвищує безпеку працівників. Автоматична діагностика стану стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності також дозволяє зменшити кількість персоналу дільниць автоматичного газового захисту шахт задіяного до перевірки стану та працездатності аналізаторів метану тому що розроблене програмне забезпечення автоматично діагностує стан газоаналізаторів та корегує показання, а при значних змінах оточуючого середовища само повідомляю персонал про необхідність обслуговування.

4.4. Економічна ефективність

Розроблене програмне забезпечення для автоматичної діагностики стану стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності в першу чергу слід розглядати як захід спрямований на зниження вірогідності виникнення аварій та аварійних ситуацій, обумовлених загазуванням гірничих виробок шахт, а також як захід, що дозволяє зменшити кількість персоналу дільниць Автоматичного газового захисту шахт, задіяного до перевірки стану та працездатності аналізаторів метану.

Оцінка соціального ефекту від запровадження заходів щодо поліпшення умов праці передбачає використання наступних показників [31]:

- скорочення кількості робочих місць ΔK, що не відповідають вимогам нормативних актів з охорони праці,

$$\Delta K = \frac{K_1 - K_2}{K_3} 100\%, \tag{4.16}$$

де K_3 - загальна кількість робочих місць;

K_1 і K_2 - кількість робочих місць, що не відповідають вимогам санітарних норм відповідно до і після проведення заходів;

- зменшення кількості працівників ΔP, що працюють в умовах, які не відповідають вимогам санітарних норм:

$$\Delta P = \frac{P_1 - P_2}{P_{\text{ср}}} 100\%, \tag{4.17}$$

де $P_{ср}$ - річна середньооблікова кількість працівників, осіб;

P_1 і P_2 – кількість працівників, що працюють у несприятливих умовах відповідно до і після запровадження заходів;

- зменшення коефіцієнта частоти травматизму:

$$\Delta К_{\text{ч}} = \frac{N_1 - N_2}{P_{\text{ср}}} 1000, \tag{4.18}$$

де N_1 і N_2 - кількість випадків травматизму відповідно до і після проведення заходів;

- зменшення коефіцієнта тяжкості травматизму:

-

$$\Delta К_{\text{Т}} = \frac{Д_1}{N_1} - \frac{Д_2}{N_2}, \tag{4.19}$$

де $Д_1$ і $Д_2$ – число днів непрацездатності через травматизм відповідно до і після запровадження заходів.

Окрім цього знаходять застосування і інші показники соціальної ефективності, такі як збільшення чисельності машин і механізмів та виробничих приміщень, приведених у відповідність до вимог нормативних актів, зменшення коефіцієнта частоти професійної захворюваності через незадовільні умови праці, зменшення коефіцієнта тяжкості захворювань, скорочення плинності кадрів через незадовільні умови праці тощо.

Серед зазначених показників соціального ефекту, як правило, не виникає ускладнень при визначенні таких показників як скорочення числа і частки

працівників що працюють в небезпечних чи шкідливих умовах. В нашому випадку це також можливо, оскільки умови праці на робочих місцях працівників персоналу дільниць АГЗ шахт, задіяного до перевірки стану та працездатності аналізаторів метану, віднесені до шкідливих та небезпечних за кількома виробничими чинниками [32], а впровадження заходу дозволяє скоротити кількість працівників дільниці АГЗ що працюють в небезпечних чи шкідливих умовах.

Для прикладу здійснимо оцінку соціального ефекту від запровадження розробки в умовах дільниці АГЗ Приватного акціонерного товариства «Шахтоуправління Покровське» [32]. Річна середньооблікова кількість працівників на дільниці АГЗ заходу $P_{ср}$ становить 32 особи, з них 22 особи працюють у несприятливих умовах. Впровадження розробленого програмного забезпечення для автоматичної діагностики стану стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності дозволяє зменшити кількість персоналу дільниці, що працює у несприятливих умовах на 50%, тобто до 11 осіб. В такому разі

$$\Delta P = \frac{P_1 - P_2}{P_{\text{ср}}} 100\% = \frac{22 - 11}{32} 100\% = 34{,}4\%$$

Таким чино впровадження розробленого програмного забезпечення для автоматичної діагностики стану стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності дозволяє отримати на дільниці АГЗ соціальний ефект, який полягає у зменшенні кількості працівників ΔP, що працюють в умовах, які не відповідають вимогам санітарних норм, що становить 34,4%.

Впровадження розробленого програмного забезпечення для автоматичної діагностики стану стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності дозволяє отримати не тільки соціальний ефект, а і за рахунок зменшення кількості працівників, що працюють в умовах, які не відповідають вимогам санітарних норм зменшити витрати на пільги та компенсації працюючим у важких і

шкідливих умовах. Крім того, впровадження заходу дозволяє зменшити вірогідність виникнення аварій та аварійних ситуації на шахтах, що в свою чергу дозволяє отримати економію коштів шляхом зменшення величини відвернутих збитків підприємства внаслідок таких подій [32]. Для прикладу оцінимо ефективність впровадження розробленого програмного забезпечення для автоматичної діагностики стану стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності за рахунок зменшення кількості працівників, що працюють в умовах, які не відповідають вимогам санітарних норм.

Показник ефективності витрат підприємства на заходи щодо охорони праці є відношенням розміру річної економії від поліпшення умов праці до суми вкладень підприємства в охорону праці [32]:

$$E_{\text{п}} = \frac{\text{Е}_{\text{р}}}{\sum_{\text{к}=1}^{n} B_{\text{к}}}, \tag{4.20}$$

де $\boldsymbol{E_p}$ – річна економія від поліпшення умов праці на підприємстві (прибуток чи зменшення збитків);

$\sum_{i=1}^{n} B_к$ - витрати підприємства на охорону праці.

Економія підприємства від поліпшення умов праці визначається як сума економії за усіма групами можливих витрат роботодавця на охорону праці.

$$E_{\text{р}} = \left(\sum_{i=1}^{7} T_{i\text{д}} - \sum_{i=1}^{7} \text{Т}_{\text{іп}}\right) + \left(\sum_{i=1}^{7} \text{П}_{\text{ід}} - \sum_{i=1}^{7} \text{П}_{\text{іп}}\right) + \left(\sum_{i=1}^{3} \text{В}_{\text{ід}} - \sum_{i=1}^{3} \text{В}_{\text{іп}}\right) + \\ + \left(\sum_{i=1}^{6} \text{Н}_{\text{ід}} - \sum_{i=1}^{6} \text{Н}_{\text{іп}}\right) + \left(\sum_{i=1}^{6} \text{Ш}_{\text{ід}} - \sum_{i=1}^{6} \text{Ш}_{\text{іп}}\right), \tag{4.21}$$

де $\left(\sum_{i=1}^{7} T_{i\text{д}} - \sum_{i=1}^{7} \text{Т}_{\text{іп}}\right)$- економія витрат на додаткові до страхових відшкодувань;

$\left(\sum_{i=1}^{7} \text{П}_{\text{ід}} - \sum_{i=1}^{7} \text{П}_{\text{іп}}\right)$ - економія витрат на пільги та компенсації працюючим у важких і шкідливих умовах;

$\left(\sum_{i=1}^{3} В_{iд} - \sum_{i=1}^{3} В_{iп}\right)$ - економія витрат на профілактику травматизму і професійних захворювань;

$\left(\sum_{i=1}^{6} Н_{iд} - \sum_{i=1}^{6} Н_{iп}\right)$ - економія витрат на ліквідацію наслідків аварій та нещасних випадків на виробництві;

$\left(\sum_{i=1}^{6} Ш_{iд} - \sum_{i=1}^{6} Ш_{iп}\right)$ - економія витрат на штрафи та інші відшкодування.

Індекси "*д*" та "*п*" означають значення наведених витрат відповідно до і після запровадження заходів щодо поліпшення умов праці.

В нашому випадку зменшення кількості працівників, що працюють в умовах, які не відповідають вимогам санітарних норм дозволяє отримати економія витрат на пільги та компенсації працюючим у важких і шкідливих умовах.

$$E_{р} = \left(\sum_{i=1}^{7} П_{iд} - \sum_{i=1}^{7} П_{iп}\right), \quad (4.22)$$

де, відповідно, витрати до і після запровадження заходу: $П_1$ – на даткові відпустки; $П_2$ - скорочений робочий день; $П_3$ - лікувально-профілактичне харчування; $П_4$ - одержання молока чи інших рівноцінних продуктів; $П_5$ - підвищені тарифні ставки; $П_6$ - доплати за умови та інтенсивність праці; $П_7$ - пенсії на пільгових умовах.

Зважаючи на те, що в середньому для умов вугільних шахт річні витрати на пільги та компенсації працюючим у важких і шкідливих умовах становлять 22,1 тис. грн. [32] річна економія від поліпшення умов праці 11 працівників в нашому випадку буде становити $E_р$ = 22.1 * 11 = 243 тис. грн.

ВИСНОВКИ

В даній роботі було здійснено вирішення актуальної проблеми підвищення надійності контролю вибухонебезпечності середовища в гірничих виробках. Запропоновані нові методи і засоби контролю вибухонебезпечності, що забезпечують однозначність вимірювання вмісту метану в усьому діапазоні можливих концентрацій, високу точність вимірювання вмісту метану та надійність систем вибухозахисту.

Розроблене програмне забезпечення система спрямована на попередження аварій на вугільних шахтах так як видобуток корисних копалин на вугільних шахтах пов'язаний з наявністю великої кількості небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що призводить до високого рівня аварійності та травматизму в галузі. Ця система визначає вміст метану в оточуючому середовищі та повідомляє про наявність небезпеки вибуху при перевищенні допустимої концентрації.

Об'єктом розробки даної кваліфікаційної роботи є контроль вибухонебезпечності рудникової атмосфери. Практичне значення полягає у розробці програмного забезпечення для відображення вибухонебезпечності рудникової атмосфери. Актуальність програмного продукту визначається збільшенням надійності використання даного обладнання шляхом автоматичного діагностування поточного стану приладів, а також значним зменшенням експлуатаційних витрат при використанні даного обладнання.

В процесі розробки використовувався пакет програм Atmel Studio 7.0 для розробки програмного продукту та Proteus 8 Professional для моделювання електричних ланцюгів. В ході роботи була розроблена структурна схема майбутнього пристрою був зроблений вибір елементної бази та розроблена принципова схема. Також було проведено макетування і налагодження пристрою за допомогою тестових програм мікроконтролера.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Документація на рідкокристалічний модуль MT-20S4M Maxim Integrated Products, 2008. – 22 с.

2. Документація на мікропроцесор ATmega8. Atmel Corporation, 2013. – 331 с.

3. Баранов В.М. Застосування мікроконтролерів AVR: схеми, алгоритми, програми / В.М. Баранов. - Видавничий дім «Додека-XXI», 2006. - 288 с.

4. Бєлов А.В. Самовчитель розробника пристроїв на мікроконтролерах AVR / А.В. Бєлов. - СПб .: Наука і Техніка, 2008. - 544 с.

5. Ан П. Сполучення ПК із зовнішніми пристроями / П. Ан. - М .: ДМК Пресс, 2011. - 320 с.

6. Евстифеев А.В. Мікроконтролери AVR сімейства Mega фірми. Інструкція користувача / А.В. Евстифеев. - Видавничий дім «Додека-XXI», 2007. - 592 с.

7. Мортон Д. Ж. Мікроконтролери AVR. Вступний курс / Д. Ж. Мортон. -Видавничий дім «Додека-XXI», 2010. - 272 с.

8. Бєлов А.В. «Створюємо пристрої на мікроконтролерах AVR» / А.В. Бєлов. - вид. «Енергія», 2007. - 304с.

9. Евстифеев А.В. Мікроконтролери AVR сімейства Mega. Інструкція користувача / А.В. Евстифеев. - Додека, 2007. - 432 с.

10. Баранов В.Н. Застосування мікроконтролерів AVR: схеми алгоритми програми / В.Н. Баранов. - Видавничий дім «Додека-XXI», 2006. - 147 с.

11. Бєлов А.В. Мікроконтролери AVR. Від азів програмування до створення практичних пристроїв / А.В. Бєлов. - Наука і Техніка, 2016. - 544 с.

12. Прокопенко В.С. Програмування мікроконтролерів ATMEL на мові С / В.С. Прокопенко. - МК-Пресс, 2012. – 320 с.

13. Barnett R. H. Embedded C Programming and the Atmel AVR / R. H. Barnett. - Cengage Learning, 2006. – 560с.

14. Mazidi M. A. Atmel ARM Programming for Embedded Systems / M. A. Mazidi. -MicroDigitalEd, 2017. – 390с.

15. Макс Шлее. Qt 4.5. Професійне програмування на C ++ / Шлее Макс. - БХВ, 2010. – 896 с.

16. Степаненко О. Є. - Visual C ++. NET. класика програмування / О. Є. Степаненко. - Наукова Книга, 2010. – 766 с.

17. Понамарьов В. В. Програмування на C ++ / C # / В. В. Понамарьов. - БХВ-Петербург, 2003. - 917 с.

18. Роберт С. С. Безпечне програмування на C і C ++ / С. С. Роберт. - РДГУ, 2014. - 496 с.

19. Bjarne Stroustrup. A Tour of C++ / Stroustrup Bjarne. - Addison-Wesley Professional, 2013. – 181 с.

20. Bjarne Stroustrup. Programming: Principles and Practice Using C++ / Stroustrup Bjarne. - Addison-Wesley Professional, 2013. – 1312 с.

21. David Vandevoorde. C++ Templates: The Complete Guide / Vandevoorde David. - Addison-Wesley Professional, 2002. – 560 с.

22. Anthony Williams. C++ Concurrency in Action: Practical Multithreading / Williams Anthony. - Manning Publications, 2012. – 528 с.

23. Баула В. Г. Архітектура ЕОМ і операційні середовища / В.Г. Баула, А.Н. Томілін, Д.Ю. Волканов. - М .: Academia, 2012. - 336 с.

24. Бройдо В. Л. Архітектура ЕОМ і систем / В.Л. Бройдо, О.П. Ільїна. - М .: Книга по Требованию, 2009. - 720 с.

25. Шараевский И.Г. Інтелектуальна система автоматичної діагностики головних циркуляційних насосів ядерних енергоблоків / И.Г. Шараевский, С.В. Широков, Е.И. Шараевская, Н.П. Дмитренко // Промышленная теплотехника. — 2007. — Т. 29, № 7. — С. 49-53.

26. Купін А.І. Інформаційні моделі автоматичної діагностики побутової техніки у системах типу "Інтелектуальний дім" / А.І. Купін, Д.І. Кузнєцов // Вісник Криворізького національного університету. - 2016. - Вип. 41. - С. 116-120.

27. Ефіменко Л.І. Принципи побудови автоматизованої системи діагностики технічного стану конвеєра / Л.І. Ефі-менко, М.П. Тиханський // Вісник КТУ. - 2010. - Вип. 25. - С. 163-167.

28. Тиханський М.П. Прогнозування працездатності конвеєрної установки / М.П. Тиханський, Л.І. Ефіменко, А.М. Тиханська // Гірничий вісник. - 2019. - Вип. 105. - С. 160-163.

29. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах. – К.: Друкарня ДП «Редакція журналу «Охорона праці» 2010. – 430 с.

30. Колосюк А.В. Вибухонебезпека систем електропостачання гірничих машин на шахтах, небезпечних за раптовими викидами вугілля і газу. Монографія // А.В. Колосюк, В.П. Колосюк. – Кременчук: КрНУ імені Михайла Остроградського, 2017. – 178 с.

31. Биренберг И.Э. Стаціонарна система автоматичного безперервного контролю метану з діагностикою термокаталітичного датчика. / И.Э. Биренберг, Е.Ш. Ланда, Г.С. Тросман // Системы автоматизации и связи в угольной промышленности. - М: 1986. – С. 38 – 46.

32. Алексеєв М.О. Автоматична діагностика стану стаціонарних термокаталітичних газоаналізаторів / М.О. Алексеєв, О.В. Голінько // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: ДВНЗ «НГУ», 2018 – № 53 – С. 223-229

33. Максимов Н. В. Архітектура ЕОМ і обчислювальних систем / Н.В. Максимов, І.І. Попов, Т.Л. Партика. - М .: Форум, Инфа-М, 2013. - 512с.

34. Новожилов О. П. Архітектура ЕОМ і систем. Навчальний посібник / О.П. Новожилов. - М .: Юрайт, 2015. - 528 с.

35. Архітектура ЕОМ і обчислювальних систем / Н. В. Максимов, Т. Л. Партика, І. І. Попов. - Форум, Инфра-М, 2013. - 512 с.

36. Карпов Е.Ф. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы / Карпов Е.Ф., Биренберг И.Э., Басовский Б.И. – М.: Недра, 1984. – 285 с.

37. Голинько В.И., Котляров А.К. Разработка метода контроля чувствительности термокаталитических датчиков метана // Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2004. Вип. 73. – С. 54-60.

38. Голинько В.И., Белоножко В.В. Совершенствование термокаталитических средств контроля содержания метана / Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук. техн. зб. – 2003. – Вип. 70. – С. 92 – 100.

39. Голинько В.И., Котляров А.К. Контроль взрывоопасности среды в горных выработках и оборудовании угольных шахт. Монография. – Днепропетровск: изд-во «Лира», 2010. – 368 с.

ДОДАТОК А

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

```
#INCLUDE "MAIN.H"

VOID PORT_INI(VOID)
{
         PORTD=0X00;
         DDRD=0XFF;
         PORTB=0X09;
         DDRB=0X08;
}

INT MAIN(VOID)
{
         FLOAT AIR_NOW, AIR_DIF, AIR_1, AIR_2, SEN_DIF=0;
         ADC_VALUE=0;
         AVTO_REG=0;
         SEN=0;
         UNSIGNED CHAR BUTCOUNT=0;
         UNSIGNED INT TT_P=0, TT_N=0, I_P=0, I_N=0;
         UINT32_T SAVE_DATA;

         TIMER_INI();
         PORT_INI();
         LCD_INI();
         ADC_INIT();
         SEI();

         INIT_PWM_TIMER();
         OCR2 = 63;

         I2C_INIT();
         USART_INIT (8);

         SAVE_DATA= EEPROM_READ_DWORD(0);
         AIR_CLIAN = *((FLOAT*)&SAVE_DATA);
         SAVE_DATA= EEPROM_READ_DWORD(4);
         AIR_GAS = *((FLOAT*)&SAVE_DATA);

         SAVE_DATA= EEPROM_READ_DWORD(8);
         I_N = *((FLOAT*)&SAVE_DATA);
         SAVE_DATA= EEPROM_READ_DWORD(12);
         TT_N = *((FLOAT*)&SAVE_DATA);
         SAVE_DATA= EEPROM_READ_DWORD(16);
         V_VN = *((FLOAT*)&SAVE_DATA);

         AIR_DIF = AIR_GAS - AIR_CLIAN;

         CLEARLCD();

    WHILE (1)
    {
              ADMUX = (1<<REFS1)|(1<<REFS0)|(0<<MUX0);
              _DELAY_MS(50);
              AIR_1 = (FLOAT) ADC_VALUE / 400;

              ADMUX = (1<<REFS1)|(1<<REFS0)|(1<<MUX0);
              _DELAY_MS(50);
              AIR_2 = (FLOAT) ADC_VALUE / 400;

              AIR_NOW = ((AIR_1-2*AIR_2) - AIR_CLIAN) / AIR_DIF;

              AIR_NOW+=SEN_DIF;

              IF(AIR_NOW > 1.3)
              {
                      PORTB=0X0B;
                      DDRB=0X0A;

                      CLEARLCD();
```

```
        SETPOS(6,0);
        STR_LCD("EROR");
        SETPOS(0,1);
        STR_LCD("METHANE");
        WHILE (1)
         {
                IF (!(PINB&0B00000001))
                {
                        IF(BUTCOUNT < 5)
                        {
                                BUTCOUNT++;
                        }
                        ELSE
                        {
                                CALIBRATION_SP();
                                AIR_DIF = AIR_GAS - AIR_CLIAN;
                                BREAK;
                        }
                }
                ELSE
                {
                        IF (BUTCOUNT > 0)
                        BUTCOUNT--;
                }
        }
        PORTB=0X09;
        DDRB=0X08;
}

SETPOS(0,0);
STR_LCD("METHANE: ");
SETPOS(9,0);
SENDCHARLCD((UNSIGNED CHAR) AIR_NOW +0X30);
SENDCHARLCD('.');
SENDCHARLCD(((UNSIGNED CHAR) (AIR_NOW*10))%10 +0X30);
SENDCHARLCD(((UNSIGNED CHAR) (AIR_NOW*100))%10 +0X30);
SENDCHARLCD(((UNSIGNED CHAR) (AIR_NOW*1000))%10 +0X30);
SENDCHARLCD(((UNSIGNED CHAR) (AIR_NOW*10000))%10 +0X30);
STR_LCD("%");

SETPOS(0,1);
TT = CONVERTTEMP(DT_CHECK());
STR_LCD("TEMP:    ");
SENDCHARLCD(TT/10+0X30);
SENDCHARLCD(TT%10+0X30);
SENDCHARLCD('*');
SENDCHARLCD('C');

USART_TRANSMIT(AIR_NOW);
USART_TRANSMIT(TT);

IF(AVTO_REG > 86400)
{
        TT_P = CONVERTTEMP(DT_CHECK());
        I_P=SQRT(I_N*I_N-((TT_P-TT_N)/9000));
        OCR2 = I_P;

        ADMUX = (1<<REFS1)|(1<<REFS0)|(0<<MUX0)|(0<<MUX1);
        _DELAY_MS(50);
        AIR_1 = (FLOAT) ADC_VALUE / 400;

        ADMUX = (1<<REFS1)|(1<<REFS0)|(1<<MUX0)|(0<<MUX1);
        _DELAY_MS(50);
        AIR_2 = (FLOAT) ADC_VALUE / 400;

        AIR_NOW = (AIR_1-2*AIR_2) / AIR_1;

        IF(AIR_NOW/V_VN>1.1)
        {
                SEN_DIF=V_VN-AIR_NOW;

                SEN=1;
                SETPOS(0,1);
                STR_LCD("CALIB SENSITIVES");

                USART_TRANSMIT("NEED CALIBRATION");
        }

        OCR2 = 63;
```

```
                        CALIBRATION_AV();
                        AIR_DIF = AIR_GAS - AIR_CLIAN;
                }

                IF (!(PINB&0B00000001))
                {
                        IF(BUTCOUNT < 5)
                        {
                                BUTCOUNT++;
                        }
                        ELSE
                        {
                                CALIBRATION_SP();
                                AIR_DIF = AIR_GAS - AIR_CLIAN;
                        }
                }
                ELSE
                {
                        IF (BUTCOUNT > 0)
                                BUTCOUNT--;
                }
        }
}

#IFNDEF MAIN_H_
#DEFINE MAIN_H_

#DEFINE F_CPU 8000000UL

#INCLUDE <AVR/IO.H>
#INCLUDE <AVR/INTERRUPT.H>
#INCLUDE <UTIL/DELAY.H>
#INCLUDE <STDIO.H>
#INCLUDE <STDLIB.H>

UNSIGNED INT ADC_VALUE, SEN;
UNSIGNED LONG INT AVTO_REG;
FLOAT AIR_CLIAN, AIR_GAS, V_VN;

#INCLUDE "LCD.H"
#INCLUDE "PWM.H"
#INCLUDE "USART.H"
#INCLUDE "EEPROM.H"
#INCLUDE "TWI.H"
#INCLUDE "EEPROMEXT.H"
#INCLUDE "RTC.H"
#INCLUDE "DS18B20.H"
#INCLUDE "ADC.H"
#INCLUDE "TIMER.H"
#INCLUDE "CALIBRATION.H"

#ENDIF

#INCLUDE "RTC.H"

UNSIGNED CHAR RTC_CONVERTFROMBINDEC(UNSIGNED CHAR C)
{
        UNSIGNED CHAR CH = ((C/10)<<4)|(C%10);
        RETURN CH;
}

UNSIGNED CHAR RTC_CONVERTFROMDEC(UNSIGNED CHAR C)
{
        UNSIGNED CHAR CH = ((C>>4)*10+(0B00001111&C));
        RETURN CH;
}

#IFNDEF PWM_H_
#DEFINE PWM_H_

#INCLUDE <AVR/INTERRUPT.H>
VOID INIT_PWM_TIMER(VOID);


#ENDIF

#INCLUDE "TIMER.H"
```

```
EXTERN UNSIGNED LONG INT AVTO_REG;

ISR (TIMER1_COMPA_VECT)
{
        AVTO_REG++;
}

VOID TIMER_INI(VOID)
{
        TCCR1B |= (1<<WGM12);
        TIMSK |= (1<<OCIE1A);
        OCR1AH = 0B01111010;
        OCR1AL = 0B00010010;
        TCCR1B |= (1<<CS12);
}

#IFNDEF RTC_H_
#DEFINE RTC_H_

#INCLUDE "MAIN.H"

UNSIGNED CHAR RTC_CONVERTFROMDEC(UNSIGNED CHAR C);
UNSIGNED CHAR RTC_CONVERTFROMBINDEC(UNSIGNED CHAR C);



#ENDIF

#INCLUDE "TWI.H"

VOID I2C_INIT(VOID)
{
        TWBR=0X20;
}

VOID I2C_STARTCONDITION(VOID)
{
        TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWSTA)|(1<<TWEN);
        WHILE(!(TWCR&(1<<TWINT)));
}

VOID I2C_STOPCONDITION(VOID)
{
        TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWSTO)|(1<<TWEN);
}

VOID I2C_SENDBYTE(UNSIGNED CHAR C)
{
        TWDR = C;
        TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWEN);
        WHILE (!(TWCR & (1<<TWINT)));
}

VOID I2C_SENDBYTEBYADDR(UNSIGNED CHAR C,UNSIGNED CHAR ADDR)
{
        I2C_STARTCONDITION();
        I2C_SENDBYTE(ADDR);
        I2C_SENDBYTE(C);
        I2C_STOPCONDITION();
}

UNSIGNED CHAR I2C_READBYTE(VOID)
{
        TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWEN)|(1<<TWEA);
        WHILE (!(TWCR & (1<<TWINT)));
        RETURN TWDR;
}

UNSIGNED CHAR I2C_READLASTBYTE(VOID)
{
        TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWEN);
        WHILE (!(TWCR & (1<<TWINT)));
        RETURN TWDR;
}

#IFNDEF TIMER_H_
#DEFINE TIMER_H_

#INCLUDE "MAIN.H"
```

```
VOID TIMER_INI(VOID);

#ENDIF

#IFNDEF TWI_H_
#DEFINE TWI_H_

#INCLUDE "MAIN.H"

VOID I2C_INIT (VOID);
VOID I2C_STARTCONDITION(VOID);
VOID I2C_STOPCONDITION(VOID);
VOID I2C_SENDBYTE(UNSIGNED CHAR C);
VOID I2C_SENDBYTEBYADDR(UNSIGNED CHAR C,UNSIGNED CHAR ADDR);
UNSIGNED CHAR I2C_READBYTE(VOID);
UNSIGNED CHAR I2C_READLASTBYTE(VOID);

#ENDIF

#INCLUDE "USART.H"

VOID USART_INIT( UNSIGNED INT SPEED)
{
UBRRH = (UNSIGNED CHAR)(SPEED>>8);
UBRRL = (UNSIGNED CHAR)SPEED;

UCSRB=(1<<RXEN)|( 1<<TXEN);
UCSRB |= (1<<RXCIE);
UCSRA |= (1<<U2X);
UCSRC = (1<<URSEL)|(1<<USBS)|(1<<UCSZ1)|(1<<UCSZ0);
}

VOID USART_TRANSMIT( UNSIGNED CHAR DATA )
{
WHILE ( !(UCSRA & (1<<UDRE)) );
UDR = DATA;
}

#IFNDEF USART_H_
#DEFINE USART_H_

#INCLUDE "MAIN.H"

VOID USART_INIT( UNSIGNED INT SPEED);
VOID USART_TRANSMIT( UNSIGNED CHAR DATA );

#ENDIF

#INCLUDE "ADC.H"

EXTERN UNSIGNED INT ADC_VALUE;

CHAR HIGH_ADC=0,LOW_ADC=0;

ISR(ADC_VECT)
{
         LOW_ADC = ADCL;
         HIGH_ADC = ADCH;
         ADC_VALUE=HIGH_ADC*256+LOW_ADC;
}

VOID ADC_INIT(VOID)
{
         ADCSRA |= (1<<ADEN)
         |(1<<ADSC)
         |(1<<ADFR)
         |(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0)
         |(1<<ADIE);
         ADMUX |= (1<<REFS1)|(1<<REFS0);
}

#IFNDEF ADC_H_
#DEFINE ADC_H_

#INCLUDE "MAIN.H"

VOID ADC_INIT(VOID);
```

```
#ENDIF

#INCLUDE "CALIBRATION.H"

EXTERN FLOAT AIR_CLIAN, AIR_GAS, V_VN;
FLOAT AIR_1, AIR_2, AIR_CLIAN_CHECK;
UINT32_T SAVE_DATA;
UNSIGNED CHAR BUTCOUNT=0;
UNSIGNED INT TT=0;

VOID CALIBRATION_SP (VOID)
{
        CLEARLCD();
        SETPOS(6,0);
        STR_LCD("TUNING");
        SETPOS(0,1);
        STR_LCD("SUPPLY CLEAN AIR");
        BUTCOUNT=0;
        _DELAY_MS(500);
        WHILE(1)
        {
              IF (!(PINB&0B00000001))
              {
                     IF(BUTCOUNT < 5)
                     {
                            BUTCOUNT++;
                     }
                     ELSE
                     {
                            _DELAY_MS(10000);
                            ADMUX = (1<<REFS1)|(1<<REFS0)|(0<<MUX0);
                            _DELAY_MS(50);
                            AIR_1 = (FLOAT) ADC_VALUE / 400;
                            ADMUX = (1<<REFS1)|(1<<REFS0)|(1<<MUX0);
                            _DELAY_MS(50);
                            AIR_2 = (FLOAT) ADC_VALUE / 400;
                            AIR_CLIAN = AIR_1-2*AIR_2;
                            SAVE_DATA = *((UINT32_T*)&AIR_CLIAN);
                            EEPROM_WRITE_DWORD(0, SAVE_DATA);

                            OCR2 = 10;
                            V_VN=(AIR_1-AIR_2)/AIR_1;
                            WHILE(1)
                            {
                                   OCR2 += 1;
                                   IF(V_VN/((AIR_1-AIR_2)/AIR_1)<0.99)
                                   V_VN=(AIR_1-AIR_2)/AIR_1;
                                   ELSE
                                   RETURN;
                            }
                            SAVE_DATA = *((UINT32_T*)&OCR2);
                            EEPROM_WRITE_DWORD(8, SAVE_DATA);
                            TT = CONVERTTEMP(DT_CHECK());
                            SAVE_DATA = *((UINT32_T*)&TT);
                            EEPROM_WRITE_DWORD(12, SAVE_DATA);
                            SAVE_DATA = *((UINT32_T*)&V_VN);
                            EEPROM_WRITE_DWORD(16, SAVE_DATA);
                            OCR2 = 63;

                            CLEARLCD();
                            SETPOS(6,0);
                            STR_LCD("TUNING");
                            SETPOS(0,1);
                            STR_LCD("SUPPLY METHANE");
                            BUTCOUNT=0;

                            WHILE(1)
                            {
                                   IF (!(PINB&0B00000001))
                                   {
                                          IF(BUTCOUNT < 5)
                                          {
                                                 BUTCOUNT++;
                                          }
                                          ELSE
                                          {
                                                 _DELAY_MS(10000);
                                                 ADMUX = (1<<REFS1)|(1<<REFS0)|(0<<MUX0);
                                                 _DELAY_MS(50);
```

```
                                                AIR_1 = (FLOAT) ADC_VALUE / 400;
                                                ADMUX = (1<<REFS1)|(1<<REFS0)|(1<<MUX0);
                                                _DELAY_MS(50);
                                                AIR_2 = (FLOAT) ADC_VALUE / 400;
                                                AIR_GAS = AIR_1-2*AIR_2;
                                                SAVE_DATA = *((UINT32_T*)&AIR_GAS);
                                                EEPROM_WRITE_DWORD(4, SAVE_DATA);

                                                CLEARLCD();
                                                SETPOS(6,0);
                                                STR_LCD("TUNING");
                                                SETPOS(3,1);
                                                STR_LCD("SUCCESSFULLY");
                                                BUTCOUNT=0;

                                                _DELAY_MS(1000);
                                                CLEARLCD();
                                                RETURN;
                                        }
                                }
                                ELSE
                                {
                                        IF (BUTCOUNT > 0)
                                        BUTCOUNT--;
                                }
                        }
                }
                ELSE
                {
                        IF (BUTCOUNT > 0)
                        BUTCOUNT--;
                }
        }
}

VOID CALIBRATION_AV(VOID)
{
        OCR2 = 41;
        _DELAY_MS(10000);
        ADMUX = (1<<REFS1)|(1<<REFS0)|(0<<MUX0);
        _DELAY_MS(50);
        AIR_1 = (FLOAT) ADC_VALUE / 400;
        ADMUX = (1<<REFS1)|(1<<REFS0)|(1<<MUX0);
        _DELAY_MS(50);
        AIR_2 = (FLOAT) ADC_VALUE / 400;
        AIR_CLIAN_CHECK = AIR_1-2*AIR_2;
        IF (AIR_CLIAN - AIR_CLIAN_CHECK > 0.01)
        {
              CLEARLCD();
              SETPOS(3,0);
              STR_LCD("AIR CHANGE");
              SETPOS(0,1);
              STR_LCD("NEED CALIBRATION");
              WHILE(1)
              {
                      IF (!(PINB&0B00000001))
                      {
                              IF(BUTCOUNT < 5)
                              {
                                      BUTCOUNT++;
                              }
                              ELSE
                              {
                                      OCR2 = 63;
                                      USART_TRANSMIT("NEED CALIBRATION");
                                      CALIBRATION_SP();
                                      BUTCOUNT=0;
                                      BREAK;
                              }
                      }
                      ELSE
                      {
                              IF (BUTCOUNT > 0)
                              BUTCOUNT--;
                      }
              }
        }
        ELSE
```

```
        {
              AIR_CLIAN = AIR_CLIAN_CHECK;
              SAVE_DATA = *((UINT32_T*)&AIR_CLIAN);
              EEPROM_WRITE_DWORD(0, SAVE_DATA);
        }

        OCR2 = 63;
        AVTO_REG=0;
}

#IFNDEF CALIBRATION_H_
#DEFINE CALIBRATION_H_

#INCLUDE "MAIN.H"

VOID CALIBRATION_SP(VOID);
VOID CALIBRATION_AV(VOID);

#ENDIF

#INCLUDE "DS18B20.H"

CHAR DT_TESTDEVICE(VOID)
{
        CHAR STEKTEMP=SREG;
        CLI();
        CHAR DT;
        DDRTEMP |= 1<<BITTEMP;
        _DELAY_US(485);
        DDRTEMP &= ~(1<<BITTEMP);
        _DELAY_US(65);
        IF ((PINTEMP & (1<<BITTEMP))==0)
        {
              DT=1;
        }
        ELSE DT=0;
        SREG = STEKTEMP;
        _DELAY_US(420);
        RETURN DT;
}


VOID DT_SENDBIT(CHAR BT)
{
        CHAR STEKTEMP=SREG;
        CLI();
        DDRTEMP |= 1<<BITTEMP;
        _DELAY_US(2);
        IF(BT)
        DDRTEMP &= ~(1<<BITTEMP);
        _DELAY_US(65);
        DDRTEMP &= ~(1<<BITTEMP);
        SREG = STEKTEMP;
}

VOID DT_SENDBYTE(UNSIGNED CHAR BT)
{
        CHAR I;
        FOR(I=0;I<8;I++)
        {
              IF((BT & (1<<I)) == 1<<I)
              DT_SENDBIT(1);
              ELSE
              DT_SENDBIT(0);
        }
}


CHAR DT_READBIT(VOID)
{
        CHAR STEKTEMP=SREG;
        CLI();
        CHAR BT;
        DDRTEMP |= 1<<BITTEMP;
        _DELAY_US(2);
        DDRTEMP &= ~(1<<BITTEMP);
        _DELAY_US(13);
        BT = (PINTEMP & (1<<BITTEMP))>>BITTEMP;
        _DELAY_US(45);
```

```
        SREG = STEKTEMP;
        RETURN BT;
}


UNSIGNED CHAR DT_READBYTE(VOID)
{
        CHAR C=0;
        CHAR I;
        FOR(I=0;I<8;I++)
        C|=DT_READBIT()<<I;
        RETURN C;
}


INT DT_CHECK(VOID)
{
        UNSIGNED CHAR BT;
        UNSIGNED INT TT=0;
        IF(DT_TESTDEVICE()==1)
        {
              DT_SENDBYTE(NOID);
              DT_SENDBYTE(T_CONVERT);
              _DELAY_MS(100);
              DT_TESTDEVICE();
              DT_SENDBYTE(NOID);
              DT_SENDBYTE(READ_DATA);
              BT = DT_READBYTE();
              TT = DT_READBYTE();
              TT = (TT<<8)|BT;
        }
        RETURN TT;
}


CHAR CONVERTTEMP (UNSIGNED INT TT)
{
        CHAR T = TT>>4;
        RETURN T;
}

#IFNDEF DS18B20_H_
#DEFINE DS18B20_H_

#INCLUDE "MAIN.H"
#DEFINE PORTTEMP PORTC
#DEFINE DDRTEMP DDRC
#DEFINE PINTEMP PINC
#DEFINE BITTEMP 2

#DEFINE NOID 0XCC
#DEFINE T_CONVERT 0X44
#DEFINE READ_DATA 0XBE

INT DT_CHECK(VOID);
CHAR CONVERTTEMP (UNSIGNED INT TT);

#ENDIF

#INCLUDE "EEPROM.H"

VOID EEPROM_WRITE(UNSIGNED INT UIADDRESS, UNSIGNED CHAR UCDATA)
{
        WHILE(EECR & (1<<EEWE))
        {}
        EEAR = UIADDRESS;
        EEDR = UCDATA;
        EECR |= (1<<EEMWE);
        EECR |= (1<<EEWE);
}

UNSIGNED CHAR EEPROM_READ(UNSIGNED INT UIADDRESS)
{
        WHILE(EECR & (1<<EEWE))
        {}
        EEAR = UIADDRESS;
        EECR |= (1<<EERE);
        RETURN EEDR;
}
```

```
VOID EEPROM_WRITE_WORD(UNSIGNED INT UIADDRESS, UINT16_T UCDATA)
{
         EEPROM_WRITE(UIADDRESS, (UNSIGNED CHAR) UCDATA);
         UNSIGNED CHAR DT = UCDATA>>8;
         EEPROM_WRITE(UIADDRESS+1, DT);
}

UINT16_T EEPROM_READ_WORD(UNSIGNED INT UIADDRESS)
{
         UINT16_T DT = EEPROM_READ(UIADDRESS+1)*256;
         ASM("NOP");
         DT += EEPROM_READ(UIADDRESS);
         RETURN DT;
}

VOID EEPROM_WRITE_DWORD(UNSIGNED INT UIADDRESS, UINT32_T UCDATA)
{
         EEPROM_WRITE_WORD(UIADDRESS, (UINT16_T) UCDATA);
         UINT16_T DT = UCDATA>>16;
         EEPROM_WRITE_WORD(UIADDRESS+2, DT);
}

UINT32_T EEPROM_READ_DWORD(UNSIGNED INT UIADDRESS)
{
         UINT32_T DT = EEPROM_READ_WORD(UIADDRESS+2)*65536;
         ASM("NOP");
         DT += EEPROM_READ_WORD(UIADDRESS);
         RETURN DT;
}

VOID EEPROM_WRITE_STRING(UNSIGNED INT UIADDRESS, CHAR STR1[])
{
         WCHAR_T N;
         FOR(N=0;STR1[N]!='\0';N++)
         EEPROM_WRITE(UIADDRESS+N,STR1[N]);
}

CONST CHAR* EEPROM_READ_STRING(UNSIGNED INT UIADDRESS, UNSIGNED INT SZ)
{
         UNSIGNED INT I;
         CHAR* STR1;
         STR1 = (CHAR *) REALLOC(NULL,SZ);
         FOR (I=0;I<SZ;I++)
         STR1[I] = EEPROM_READ(UIADDRESS+I);
         RETURN STR1;
}

#IFNDEF EEPROM_H_
#DEFINE EEPROM_H_

#INCLUDE "MAIN.H"

VOID EEPROM_WRITE(UNSIGNED INT UIADDRESS, UNSIGNED CHAR UCDATA);
UNSIGNED CHAR EEPROM_READ(UNSIGNED INT UIADDRESS);
VOID EEPROM_WRITE_WORD(UNSIGNED INT UIADDRESS, UINT16_T UCDATA);
UINT16_T EEPROM_READ_WORD(UNSIGNED INT UIADDRESS);
VOID EEPROM_WRITE_DWORD(UNSIGNED INT UIADDRESS, UINT32_T UCDATA);
UINT32_T EEPROM_READ_DWORD(UNSIGNED INT UIADDRESS);
VOID EEPROM_WRITE_STRING(UNSIGNED INT UIADDRESS, CHAR STR1[]);
CONST CHAR* EEPROM_READ_STRING(UNSIGNED INT UIADDRESS, UNSIGNED INT SZ);

#ENDIF

#INCLUDE "EEPROMEXT.H"
CHAR ERR1=0;

INT EE_WRITEBYTE(UNSIGNED CHAR C)
{
         TWDR=C;
         TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWEN);
         WHILE(!(TWCR&(1<<TWINT)));
         IF ((TWSR & 0XF8) != TW_MT_DATA_ASK)
         {
               RETURN 1;
         }
         RETURN 0;
}
```

```
UNSIGNED CHAR EE_READBYTE(VOID)
{
         ERR1=0;
         TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWEN)|(1<<TWEA);
         WHILE(!(TWCR & (1<<TWINT)));
         IF ((TWSR & 0XF8) != TW_MR_DATA_ASK) ERR1=1;
         ELSE ERR1=0;
         RETURN TWDR;
}

UNSIGNED CHAR EE_READLASTBYTE(VOID)
{
         TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWEN);
         WHILE(!(TWCR&(1<<TWINT)));
         IF ((TWSR & 0XF8) != TW_MR_DATA_NASK) ERR1=1;
         ELSE ERR1=0;
         RETURN TWDR;
}

#IFNDEF EEPROMEXT_H_
#DEFINE EEPROMEXT_H_

#INCLUDE "MAIN.H"
#DEFINE TW_MT_DATA_ASK 0X28
#DEFINE TW_MR_DATA_ASK 0X50
#DEFINE TW_MR_DATA_NASK 0X58

INT EE_WRITEBYTE(UNSIGNED CHAR C);
UNSIGNED CHAR EE_READBYTE(VOID);
UNSIGNED CHAR EE_READLASTBYTE(VOID);


#ENDIF

#INCLUDE "LCD.H"

VOID SENDHALFBYTE(UNSIGNED CHAR C)
{
         C<<=4;
         E1;
         _DELAY_US(50);
         PORTD&=0B00001111;
         PORTD|=C;
         E0;
         _DELAY_US(50);
}

VOID SENDBYTE(UNSIGNED CHAR C, UNSIGNED CHAR MODE)
{
         IF (MODE==0) RS0;
         ELSE RS1;
         UNSIGNED CHAR HC=0;
         HC=C>>4;
         SENDHALFBYTE(HC); SENDHALFBYTE(C);
}

VOID SENDCHARLCD(UNSIGNED CHAR C)
{
         SENDBYTE(C,1);
}

VOID SETPOS(UNSIGNED CHAR X, UNSIGNED Y)
{
         CHAR ADRESS;
         ADRESS=(0X40*Y+X)|0B10000000;
         SENDBYTE(ADRESS, 0);
}

VOID LCD_INI(VOID)
{
         _DELAY_MS(15);
         SENDHALFBYTE(0B00000011);
         _DELAY_MS(4);
         SENDHALFBYTE(0B00000011);
         _DELAY_US(100);
         SENDHALFBYTE(0B00000011);
         _DELAY_MS(1);
         SENDHALFBYTE(0B00000010);
         _DELAY_MS(1);
```

```
        SENDBYTE(0B00101100, 0);
        _DELAY_MS(1);
        SENDBYTE(0B00001100, 0);
        _DELAY_MS(1);
        SENDBYTE(0B00000110, 0);
        _DELAY_MS(1);
}

VOID CLEARLCD(VOID)
{
        SENDBYTE(0B00000001, 0);
        _DELAY_US(1500);
}

VOID STR_LCD (CHAR STR1[])
{
        WCHAR_T N;
        FOR(N=0;STR1[N]!='\0';N++)
        SENDCHARLCD(STR1[N]);
}

#IFNDEF LCD_H_
#DEFINE LCD_H_

#INCLUDE "MAIN.H"

#DEFINE E1 PORTD|=0B00001000
#DEFINE E0 PORTD&=0B11110111
#DEFINE RS1 PORTD|=0B00000100
#DEFINE RS0 PORTD&=0B11111011

VOID LCD_INI(VOID);
VOID SETPOS(UNSIGNED CHAR X, UNSIGNED Y);
VOID STR_LCD(CHAR STR1[]);
VOID CLEARLCD(VOID);
VOID SENDCHARLCD(UNSIGNED CHAR C);

#ENDIF

#INCLUDE "PWM.H"

VOID INIT_PWM_TIMER(VOID)
{
        ASSR=0X00;
        TCCR2=0B01101110;
        TCNT2=0X00;
        OCR2=0X00;
        TIMSK|=0X00;
}
```

ДОДАТОК Б

ВІДГУК
керівника економічного розділу
на кваліфікаційну роботу магістра
на тему:
«Методи, алгоритми та інформаційна технологія діагностики працездатності стаціонарних термокаталітичних газоаналізаторів.»
студента групи 122м-19-2 Голінько Олександра Васильовича

Керівник економічного розділу
доцент каф. ПЕП та ПУ, к.е.н. **Л. В. Касьяненко**

ДОДАТОК В

ПЕРЕЛІК ФАЙЛІВ НА ОПТИЧНОМУ НОСІЇ

Ім’я файлу	**Опис**
Пояснювальні документи	
Кваліфікаційна робота.doc	Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи. Документ Word.
Кваліфікаційна робота.pdf	Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи в форматі PDF
Програма	
Program.zip	Архів. Містить коди програми
Презентація	
Презентація.ppt	Презентація кваліфікаційної роботи