

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

УДК 004.021:622.412.13

ГОЛІНЬКО ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ

**МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОНІТОРИНГУ
СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

Спеціальність 122 – комп'ютерні науки
Галузь знань 12 – інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ О.В. Голінько

Науковий керівник – Алексєєв Михайло Олександрович,
доктор технічних наук, професор

Дніпро – 2025

АНОТАЦІЯ

Голінько О.В. - Методи та алгоритми комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 комп'ютерні науки (12 – інформаційні технології) – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Дніпро, 2025.

У дисертаційній роботі, що є завершеною науковою роботою, подано вирішення актуального науково-прикладного завдання, що полягає в розробці теоретичних засад, методів, алгоритмів, інформаційного та програмного забезпечення для здійснення комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт.

Виконано аналіз робіт вчених, які присвячені питанням, пов'язаним здійснення комп'ютерного моніторингу в різних галузях. Встановлено, що ці роботи в основному зводяться до створення комп'ютерних моніторингових систем для безперервного спостереження за медико-біологічними параметрами пацієнтів, за переміщенням рухомих об'єктів, за параметрами вітрового потоку, за екологічним станом міст та територій, систем комп'ютерного моніторингу серверів та мереж та ін.

Виконано аналіз впливу гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов експлуатації засобів контролю вмісту метану в атмосфері гірничих виробок вугільних шахт на ризик виникнення вибухів метаноповітряної суміші, які призводять до значних економічних втрат та супроводжуються травмуванням і загибеллю працюючих. Показано, що однією з причин вибухів є відмова чи неспрацьовування засобів автоматичного газового контролю за наявності вибухонебезпечних концентрації метану в атмосфері гірничих виробок шахт. Показано, що зниження ймовірності вибуху метаноповітряних сумішей досягається при збільшенні ймовірності безвідмовного функціонування системи

контролю метану і захисного вимкнення напруги, яке досягається при здійсненні комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності.

Показано, що основними причинами відмови системи контролю вибухонебезпечності є зміщення «нуля» аналізаторів метану, зниження чутливості первинних перетворювачів та забруднення газодифузійних фільтрів датчиків метану та їх суттєва інерційність у разі виникнення раптових викидів метану.

Проведено теоретичний аналіз і дослідження методу визначення зміщення «нуля» аналізаторів метану шляхом зниження напруги живлення термогрупи до рівня, за якого реакція окислення метану на каталітично активному термоелементі не відбувається. Запропоновано алгоритм моніторингу зміщення «нуля» та відновлення працездатності аналізаторів через його корекцію. Розроблено програмне забезпечення для контролю нульових показань аналізаторів метану, що інтегрується в системи комп'ютерного моніторингу вибухонебезпечності вугільних шахт. Програмне забезпечення створено для мікропроцесорних стаціонарних аналізаторів метану на базі мікроконтролера PIC24FJ64GA104.

Проведено теоретичний аналіз і дослідження методу контролю чутливості первинних перетворювачів та корекції показань аналізаторів метану. Метод полягає в оцінці змін вихідних характеристик перетворювачів на ділянці переходу вихідної напруги вимірювального моста до горизонтальної частини (плато) характеристики за зміни струму через чутливі елементи. Запропоновано алгоритм моніторингу чутливості первинних перетворювачів та корекції показань аналізаторів метану. Розроблено програмне забезпечення для здійснення моніторингу чутливості у мікропроцесорних стаціонарних аналізаторах метану.

Проведено теоретичний аналіз і дослідження методу виявлення забруднення газодифузійних фільтрів термокаталітичних датчиків метану та корекції показань аналізаторів метану. Метод базується на аналізі перехідних процесів, що виникають у датчиках під час зміни режиму живлення термоелементів. Запропоновано алгоритм для виявлення випадків забруднення фільтрів та корекції

показань аналізаторів метану в таких ситуаціях. Розроблено відповідне програмне забезпечення для реалізації цього алгоритму.

Проведено аналіз способів підвищення швидкодії та надійності систем вибухозахисту шляхом одночасного використання двох типів датчиків у газоаналізаторах. Один із них — термokatалітичний, характеризується високою стабільністю, але має суттєву інерційність, тоді як другий — оптичний, відзначається низькою інерційністю. Обґрунтовано метод виявлення вибухонебезпечних умов, який передбачає, що за відсутності суттєвих газодинамічних збурень визначення концентрації метану та формування сигналу для відключення електрообладнання здійснюється на основі даних термokatалітичного датчика. Водночас оптичний датчик використовується для оцінки швидкості приросту концентрації метану в умовах різких змін стану середовища. Розроблено алгоритм реалізації цього методу та створено відповідне програмне забезпечення.

Запропоновані технічні засоби, алгоритм їх роботи та програмне забезпечення для проведення комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт на базі мікроконтролера PIC24FJ32GA104. Дано опис запропонованого інтерфейсу оператора системи з відображенням на табло аналізаторів інформації, передбаченої алгоритмом і програмою їх функціонування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

удосконалено:

- методи та алгоритми процесу діагностики зміщення нульових показань аналізаторів метану при здійсненні комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт шляхом зниження напруги живлення термогрупи до рівня, при якому реакція окислення метану на робочому термоелементі не відбувається, а також відновлення працездатності аналізаторів через корекцію «нуля» їх показань.

- методи та алгоритми контролю чутливості первинних перетворювачів і корекції показань аналізаторів метану при здійсненні комп'ютерного

моніторингу систем вибухобезпеки вугільних шахт, що базуються на аналізі змін вихідних характеристик первинних перетворювачів у зоні переходу вихідної напруги вимірювального моста до горизонтальної частини (плато) характеристики при зміні струму через чутливі елементи.

– методи та алгоритми виявлення випадків забруднення газодифузійних фільтрів термокаталітичних датчиків метану та корекції показань аналізаторів метану шляхом аналізу перехідних процесів, що виникають у датчиках під час зміни режиму живлення термоелементів.

– методи та алгоритми підвищення швидкодії та надійності систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт через одночасне використання двох типів датчиків в аналізаторах метану: високо стабільного, але відносно інерційного термокаталітичного датчика, та малоінерційного оптичного датчика.

Набуло подальшого розвитку:

– поняття комп'ютерного моніторингу стосовно його проведення в системах контролю стану безпечності середовища, як постійний моніторинг працездатності засобів контролю в реальному часі, прогнозування її зміни в часі та автоматичного відновлення працездатності шляхом регулювання параметрів засобів.

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що її теоретичні й методичні положення дозволили розробити методи, алгоритми та програмне забезпечення для проведення моніторингу мікропроцесорних стаціонарних аналізаторів метану систем контролю вибухонебезпечності атмосфери в гірничих виробках вугільних шахт, впровадження яких дозволяє збільшити надійність систем контролю та зменшити витрати на їх обслуговування. Запропоновані в кваліфікаційній роботі методи, алгоритми та програмне забезпечення прийнято для впровадження Науково-виробничим об'єднанням «Червоний металіст», що здійснює випуск систем та засобів контролю вибухонебезпечності для вугільних шахт.

Ключові слова: комп'ютерний моніторинг, інформаційне забезпечення, системи контролю, вибухонебезпека, мікроконтролер, методи, алгоритми, програмне забезпечення, вміст метану, вугільні вахти.

SUMMARY

Holinko O.V. - Methods and algorithms of computer monitoring of explosive control systems of coal mines. Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 122 Computer Science (12 - Information Technology) - National Technical University "Dnipro Polytechnic", Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2025.

The dissertation, which is a completed scientific work, presents a solution to a current scientific and applied problem, which consists in developing theoretical principles, methods, algorithms, information and software for computer monitoring of explosion hazard control systems of coal mines.

An analysis of the works of scientists devoted to issues related to the implementation of computer monitoring in various industries has been carried out. It was established that these works mainly consist of creating computer monitoring systems for continuous monitoring of medical and biological parameters of patients, movement of moving objects, wind flow parameters, ecological state of cities and territories, computer monitoring systems of servers and networks, etc.

An analysis of the influence of mining, geological and mining technical conditions of operation of means of monitoring methane content in the atmosphere of coal mine workings on the risk of explosions of methane-air mixture, which lead to significant economic losses and are accompanied by injury and death of workers, was performed. It was shown that one of the causes of explosions is the failure or malfunction of automatic gas control means in the presence of explosive concentrations of methane in the atmosphere of coal mine workings. It is shown that the probability of methane-air mixtures exploding is reduced by increasing the probability of trouble-free operation of the methane control system and protective voltage shutdown, which is achieved by computer monitoring of explosion control systems. It is shown that the main causes of

explosion control system failure are the shift of the “zero” of methane analyzers, the decrease in the sensitivity of primary converters and the contamination of gas diffusion filters of methane sensors and their significant inertia in the event of sudden methane emissions.

A theoretical analysis and study of the method for determining the zero offset of methane analyzers by reducing the supply voltage of the thermoelectric group to a level at which the methane oxidation reaction does not occur on the catalytically active thermoelectric element is carried out. An algorithm for monitoring the zero offset and restoring the analyzers' performance by correcting it is proposed. Software for monitoring the zero readings of methane analyzers has been developed, which is integrated into computer monitoring systems for the explosive hazard of coal mines. The software was created for microprocessor-based stationary methane analyzers based on the PIC24FJ64GA104 microcontroller.

A theoretical analysis and study of a method for controlling the sensitivity of primary converters and correcting the readings of methane analyzers are carried out. The method consists in evaluating changes in the output characteristics of the converters in the area of transition of the output voltage of the measuring bridge to the horizontal part (plateau) of the characteristic due to changes in the current through the sensitive elements. An algorithm for monitoring the sensitivity of primary converters and correcting the readings of methane analyzers is proposed. The software for monitoring the sensitivity of microprocessor-based stationary methane analyzers was developed.

A theoretical analysis and study of the method for detecting contamination of gas diffusion filters of thermocatalytic methane sensors and correction of methane analyzers' readings was carried out. The method is based on the analysis of transient processes that occur in the sensors when the power supply mode of the thermocouples changes. An algorithm is proposed to detect cases of filter contamination and to correct methane analyzer readings in such situations. The corresponding software for implementing this algorithm has been developed.

The paper analyzes ways to improve the performance and reliability of explosion protection systems by simultaneously using two types of sensors in gas analyzers. One

of them is thermocatalytic, characterized by high stability, but has a significant inertia, while the other is optical, characterized by low inertia. The method of detecting explosive conditions is substantiated, which assumes that in the absence of significant gas-dynamic disturbances, the determination of the methane concentration and the formation of a signal for shutting down electrical equipment is based on the data of the thermocatalytic sensor. At the same time, an optical sensor is used to estimate the rate of increase in methane concentration under conditions of abrupt changes in the state of the environment. An algorithm for implementing this method has been developed and the corresponding software has been created.

The technical means, the algorithm of their operation and the software for conducting computer monitoring of the explosion hazard control systems of coal mines based on the PIC24FJ32GA104 microcontroller are proposed. A description of the proposed system operator interface with the display of the information provided by the algorithm and the program of their operation on the analyzers is given.

The scientific novelty of the obtained results is as follows:

improved:

- methods and algorithms for diagnosing the displacement of zero readings of methane analyzers during computer monitoring of coal mine explosion hazard control systems by reducing the supply voltage of the thermo group to a level at which the methane oxidation reaction does not occur on the working thermocouple, as well as restoring the operability of the analyzers by correcting the “zero” of their readings..

- methods and algorithms for controlling the sensitivity of primary converters and correcting the readings of methane analyzers during computer monitoring of coal mine explosion safety systems based on the analysis of changes in the output characteristics of primary converters in the zone of transition of the output voltage of the measuring bridge to the horizontal part (plateau) of the characteristic when the current through the sensitive elements changes.

- methods and algorithms for detecting contamination of gas diffusion filters of thermocatalytic methane sensors and correcting the readings of methane analyzers by

analyzing transient processes that occur in the sensors when the power supply mode of thermocouples changes.

- the concept of computer monitoring in relation to its implementation in environmental safety control systems, as continuous monitoring of the performance of control equipment in real time, forecasting its changes over time and automatic restoration of performance by adjusting the parameters of the equipment.

Further development has been made:

- the concept of computer monitoring in relation to its implementation in environmental safety control systems, as continuous monitoring of the performance of control equipment in real time, forecasting its change over time and automatic restoration of performance by adjusting the parameters of the equipment.

The practical significance of the obtained results of the dissertation work lies in the fact that its theoretical and methodological provisions allowed the development of methods, algorithms and software for monitoring microprocessor stationary methane analyzers of explosive atmosphere control systems in coal mine workings, the implementation of which allows increasing the reliability of control systems and reducing the costs of their maintenance. The methods, algorithms and software proposed in the qualification work were adopted for implementation by the Scientific and Production Association "Chervony Metallist", which produces explosion control systems and means for coal mines.

Keywords: computer monitoring, information support, control systems, explosion hazard, microcontroller, methods, algorithms, software, methane content, coal watches.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Алексеев М.О., Голінько О.В. Автоматична діагностика стану стаціонарних термокаталітичних газоаналізаторів. Збірник наукових праць НГУ, Д.: ДВНЗ «НГУ», 2018 – № 53 – С. 223-229.
<https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/152372>

2. Алексеев М.О., Голінько О.В. Автоматичний контроль чутливості датчиків стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану, Гірничий вісник, Криворізький національний університет, 2020 – випуск 107. – С. 16-22. <http://iomining.in.ua/ua/homeua/journal/107ua/#107>

3. Голінько В.І., Голінько О.В. Методи та алгоритми підвищення швидкодії систем автоматичного газового захисту. Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Проблеми моделювання та автоматизації проектування», 2021. №1(17). С. 79-87. <https://pmap.donntu.edu.ua/uk/issues/no1-17-2021>

4. Голінько В.І., Голінько О.В. Методи та алгоритми контролю стану газодифузійного фільтра аналізаторів метану. Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка», 2022, №2-35, 2023-№1-36. С. 22-29. <https://iktv.donntu.edu.ua/№2-35-2022-№136-2023/>

5. Голінько В.І., Голінько О.В. Теоретико-методологічні засади комп'ютерного моніторингу систем вибухозахисту. Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка», 2023, №2-37, С. 34-41. <https://iktv.donntu.edu.ua/№2-372023/>

Статті, що входять до міжнародної науково-метричної бази Scopus

6. Holinko O., Yuldasheva N., Zhartay Z., Mirzoieva T., Petrychenko O., Hulevets V. Methodology of creation and development of information systems for technological safety of mining facilities. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2023, № 6, 127-133. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-6/127>

7. Vasyl Holinko, Oleksandr Holinko, Stanislav Chemykos, Oleg Kuznetsov, Marek Drożdż. Monitoring the safety of areas contaminated with radiation hazardous waste. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2025, Sci. 1457 012015. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1457/1/012015/pdf>

8. Vasyl Holinko; Valentyna Zabelina; Oleksandr Holinko; Oleg Kuznetsov. Investigation of the operation of thermocatalytic sensors in explosion hazard monitoring systems for technogenic objects. Mining of Mineral Deposits 2025, 19(1), 142-150. <https://doi.org/10.33271/mining19.01.142>

Статті, що входять до міжнародної науково-метричної бази Web Of Science

9. Holinko O.V., Alekseev M.O., Holinko V.I., Zabelina V.A. Application of singular spectral analysis in control systems of technological processes and explosion safety control of facilities. Radio Electronics, Computer Science, Control, 2025, № 1, 209-219. <https://ric.zp.edu.ua/issue/view/19105/12230>

Публікації в іноземних виданнях

10. Oleksandr Holinko. Monitoring of explosion hazard control devices and the ways of their further improvement. Chapter in the monograph: Methane from Underground Coal Mines in Ukraine: Elements of Acquisition and Management Processes / Vasyl Holinko, Roman Dychkovskyi, Artur Dyczko, Marcin Popczyk. KOMAG Institute of Mining Technology. 2024. 108 s.

Матеріали наукових конференцій:

11. Алексеев М.О., Голінько О.В. Підвищення надійності засобів контролю вибухонебезпечності метаноповітряних сумішей. – Суспільство, релігія, культура, наука, техніка, освіта, економіка в умовах новітніх глобальних викликів для України і Польщі: матеріали Міжнар. науково-практичної конф. – Запоріжжя. – 2017. – С. 205-208.

12. Голінько О.В. Аналіз інформаційного забезпечення систем моніторингу вибухозахисту вугільних шахт. - Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Наукова весна», Дніпро, 1–3 березня 2023 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. – С.167 – 169.

13. Holinko O.V. Information Support of the Process of Monitoring The State of Explosion Protection Systems. Збірка матеріалів XI Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молодь: наука та інновації» Дніпро, 22–24 листопада 2023 р. – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. Том 2, с. 8 – 9.

14. Holinko O.V. Information Support for the Process of Diagnosing the Condition of Methane Analyzers. XVIII Міжнародна конференція з проблем використання

інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості. Дніпро, 24 листопада 2023 р. – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро: НТУ «ДП», 2023. С.29 – 32.

15. Holinko O.V. The use of computer monitoring in technological safety control and management systems. - Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Наукова весна», Дніпро, 27–29 березня 2024 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – С.152 – 153.

16. Holinko O.V. Application of information systems to prevent emergencies at mining facilities. Збірка матеріалів XII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молодь: наука та інновації» Дніпро, 13–15 листопада 2024 р. – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. Том 2, с. 97 – 98.

17. Holinko O.V. Improvement of technological safety systems at mining facilities. - Матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Наукова весна», Дніпро, 26–28 березня 2024 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – С.182 – 183.

Статті у інших виданнях

18. Голінько В.І., Голінько О.В., Муха О.А. Підвищення надійності вибухозахисту гірничих виробок шахт. Електротехнічні та інформаційні системи, 2024, № 105, с. 45-51. <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-105-7>

ЗМІСТ

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ.....	15
ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ	
КОМП'ЮТЕРНОГО МОНІТОРИНГУ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ БЕЗПЕЧНОСТІ	
СЕРЕДОВИЩА ТА ОБ'ЄКТІВ	25
1.1. Поняття комп'ютерного моніторингу та його види	25
1.2. Оцінка впливу надійності систем контролю на ризик виникнення	
вибухів метану	29
1.3. Аналіз впливу умов експлуатації на працездатність систем контролю	
вибухонебезпечності вугільних шахт	36
1.4. Теоретико-методологічні засади підвищення надійності системи	
моніторингу вибухозахисту та постановка задачі досліджень.....	41
Висновки до розділу 1.....	44
Література до розділу 1.....	46
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТА	
АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТИКИ ЗАСОБІВ	
КОНТРОЛЮ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ	53
2.1. Дослідження існуючих методів діагностики нульових показань	
аналізаторів метану	53
2.2. Дослідження рішень в області контролю чутливості датчиків	
стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану	61
2.3. Дослідження існуючих методів виявлення випадків забруднення	
газодифузійних фільтрів та обмеження дифузії метаноповітряної суміші	
до чутливих елементів датчиків	67
2.4. Дослідження рішень спрямованих на забезпечення надійності	
систем контролю при газодинамічних явищах	75
Висновки до розділу 2	79
Література до розділу 2	82

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ	
КОМП'ЮТЕРНОГО МОНІТОРИНГУ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ	
ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ	85
3.1. Розробка методу та алгоритму комп'ютерного моніторингу нульових показань аналізаторів метану	85
3.2. Розробка методу та алгоритму комп'ютерного моніторингу чутливості датчиків стаціонарних аналізаторів метану	95
3.3. Розробка методу та алгоритму виявлення випадків забруднення газодифузійних фільтрів та обмеження дифузії метаноповітряної суміші до чутливих елементів датчиків	106
3.4. Обґрунтування методу та алгоритму спрямованих на забезпечення надійності систем контролю вибухонебезпеки при газодинамічних явищах	114
Висновки до розділу 3	121
Література до розділу 3	122
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНО АПАРАТНИХ КОМПОНЕНТІВ	
СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ	
ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ.....	123
4.1. Розробка алгоритмічного забезпечення процесу моніторингу.....	124
4.2. Апаратне забезпечення розробленої системи та використаних для її створення технічних засобів	129
4.3. Реалізація розроблених методів та алгоритмів і характеристика запропонованого інтерфейсу оператора системи	133
4.4. Реалізація засобів спрямованих на підвищення надійності систем контролю вибухонебезпеки при газодинамічних явищах	136
Висновки до розділу 4	139
Література до розділу 4	140
ВИСНОВКИ	142
ДОДАТКИ	145

Терміни, визначення та скорочення

A/D	Аналого-цифровий перетворювач
CISC	Комп'ютери з набором складних інструкцій
D/A	Цифро-аналоговий перетворювач
EEPROM	Електрично програмована постійна пам'ять , що стирається
EPROM	Програмована пам'ять лише для читання, що стирається
I/O	Вхід / вихід
LCD	Рідкокристалічний дисплей
PWM	Широтно-імпульсна модуляція)
RAM	Оперативна пам'ять
RISC	Комп'ютер зі скороченим набором інструкцій
ROM	Пам'ять лише для читання
UART	Універсальний асинхронний приймач/передавач)
USART	Універсальний синхронно/асинхронний приймач/передавач)
VFD	Вакуумний флуоресцентний дисплей
КАПІ	Комплекс аерогазовий інформаційний
УТАС	Уніфікована телекомунікаційна система диспетчерського контролю та автоматизованого керування гірничими машинами й технологічними комплексами
аналізатори метану	Прилади якими вимірюють вміст метану в газовому середовищі
атестована газова суміш	Газова суміш з відомою концентрацією газів, що використовується для метрологічного забезпечення газоаналітичної апаратури
вибухонебезпечні суміші	Суміші газів та аерозолів, які за певних умов можуть вибухнути.
газовість шахт	Кількість газу, що виділяється в підземні гірничі виробки за одиницю часу (абсолютна) або кількість газу, що виділилася за певний час і віднесена до кількості видобутої корисної копалини (відносна).
газодинамічні явища	Руйнування масиву гірських порід під дією гірничого тиску, що супроводжується короткочасним потужним виділенням газу
газодифузійний фільтр	Пристрій, для відокремлення певного об'єму газу, що забезпечує взаємний обмін газами за рахунок їх дифузії
гірничо-геологічні умови	Сукупність природних чинників, що впливають на процес видобутку корисних копалин: глибина залягання пласта, потужність пласта, газовість,

	обводненість тощо
гірничотехнічні умови	Сукупність техногенних чинників, що впливають на процес видобутку корисних копалин: спосіб розкриття родовища, способи розробки, видобутку, транспортування, провітрювання тощо
діагностика	Визначення технічного стану об'єкта з означеною (заданою) точністю
дифузія	Процес переносу речовини, зумовлений вирівнюванням його концентрації у первинній неоднорідній системі, обумовлений рухом молекул
каталітично активний термоелемент	Пристрій на поверхні якого при певній температурі протікає процес окислення горючих газів
концентрація метану	Відношення кількості молекул метану до загальної кількості молекул в суміші газів, виражене у відсотках
метаноповітряна суміш	Суміш метану і повітря
комп'ютерний моніторинг засобів контролю	Безперервне стеження за працездатністю засобів контролю в режимі реального часу, прогнозування її зміни в часі, відновлення працездатності шляхом автоматичного регулювання параметрів засобів чи прийняття рішень про необхідність проведення профілактичних заходів
моніторинг	Постійне або регулярне спостереження за яким-небудь об'єктом або процесом з метою оцінки, порівняння та прогнозування
моніторинг умов праці	Система спостережень, збору, обробки, передачі, збереження й аналізу інформації про стан умов праці, прогнозування їхніх змін та розробка науково-обґрунтованих рекомендацій для управлінських рішень
нульові показання	Показання вимірювального приладу при відсутності об'єкту контролю
оптичний датчик	Датчик фізичної величини в якому використовуються джерела і приймачі оптичного випромінювання
оптичний абсорбційний метод контролю	Метод контролю, заснований на аналізі параметрів поглинання оптичного випромінювання об'єктом контролю
термогрупа	Пристрій який складається з кількох термоелементів
термокаталітичний датчик	Пристрій, що включає поміщені в реакційну камеру компенсаційний і каталітично активний чутливі термоелементи
термокаталітичний метод	Метод контролю, заснований на аналізі

контролю

чутливість датчика

тепловиділення при окисленні горючих газів на каталітично активних чутливих термоелементах
Технічна характеристика, яка показує на скільки одиниць змінюється вихідна величина при зміні вхідної величини на одиницю.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

Нині видобування кам'яного вугілля в Україні здійснюється виключно підземним способом. Більшість вугільних шахт є небезпечними за газом і пилом. У міру вичерпання запасів вугілля на діючих шахтах до відпрацювання залучаються поклади вугілля на великій глибині, що в свою чергу супроводжується збільшенням виділення метану. До зростання газовиділення веде також впровадження високопродуктивної техніки. Крім того дефіцит енергоресурсів обумовлює збільшення обсягів використання шахтного метану, як енергетичної сировини, що в свою чергу збільшує потенційну небезпеку виникнення вибухів метаноповітряних сумішей.

Дієвим противибуховим заходом, є запобіжне відключення системами вибухозахисту електроенергії на небезпечній дільниці, як основного джерела запалювання метаноповітряної суміші. При цьому найбільш важливою складовою систем вибухозахисту являються засоби контролю вибухонебезпечності атмосфери в гірничих виробках і обладнанні вугільних шахт, від надійності роботи яких залежить життя і здоров'я сотень працівників. Експлуатація засобів контролю вибухонебезпечності здійснюється в складних умовах, які характеризуються високою вологістю та запиленістю повітря, наявністю хімічно агресивних газів, впливом ударних навантажень, можливим засипанням інертним пилом та обливанням водою при проведенні заходів з пило вибухозахисту гірничих виробок тощо.

Зниження ймовірності вибуху метаноповітряних сумішей досягається шляхом підвищення ймовірності безвідмовної роботи системи контролю метану та захисного вимкнення напруги. Таким чином, важливим заходом контролю справності роботи апаратури контролю метану є проведення пробних перевірок її спрацювання. Для перевірки справності системи контролю метану на сьогодні використовують випробувальну суміш метану з повітрям, і такі перевірки виконують спеціально навчені працівники. Встановлено, що щоденна перевірка

справності апаратури контролю метану, порівняно з щомісячною, дозволяє знизити ймовірність вибуху на два порядки. Однак щоденна перевірка в шахтних умовах із використанням атестованих газових сумішей супроводжується значними експлуатаційними витратами. Зважаючи на це, актуальною задачею є проведення перевірки справності апаратури контролю метану без залучення працівників. Крім того, при проведенні перевірок справності апаратури контролю метану часто спостерігаються випадки перевищення похибки вимірювань у порівнянні з паспортними даними. Це обумовлює підвищені вимоги до діапазону неприпустимих концентрацій метану, а крім того в таких випадках необхідно здійснювати заміну аналізаторів метану і здійснювати їх обслуговування та регулювання в лабораторії на поверхні шахти. Тому важливо забезпечити не лише автоматичну перевірку справності апаратури контролю метану, а і забезпечити прогнозування зміни її параметрів в наступний період часу, а при необхідності – автоматично здійснити коригування її характеристик та показань.

Розробці методів і засобів контролю вибухонебезпечності середовища в гірничих виробках і обладнанні, у тому числі методів автоматичної діагностики аналізаторів метану, діагностики присвячені роботи багатьох вчених. Вагомий внесок у вирішення цієї проблеми внесли І. Е. Біренберг, Е. Ш. Ланда, Г. С. Тросман, Є. Ф. Карпов, Ф. С. Клебанов, В. В. Білоножко, А. В. Білоножко, А. К. Котляров, Chou J., Zheng C., Wolfbeis O.S. та ін.

Відзначаючи значні науково-практичні досягнення в досліджуваний галузі, слід зазначити, що до цього часу недостатньо дослідженні і опрацьовані питання, пов'язані з розробкою методів діагностики стану систем контролю вибухонебезпечності атмосфери вугільних шахт, які б дозволили розробити алгоритми та програмне забезпечення для перевірки справності апаратури контролю метану, прогнозування зміни її параметрів в наступний період часу, та коригування її характеристик.

Актуальність зазначених питань, їх теоретична важливість та практична значущість обумовили вибір теми дисертаційного дослідження, його головну мету та окреслили коло завдань.

Отже науково-практична задача якій присвячено цю дисертаційну роботу полягає в підвищенні ефективності систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт шляхом удосконалення методів і засобів комп'ютерного моніторингу їх параметрів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційного дослідження відповідає пріоритетним напрямам розвитку науки і техніки визначених Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки та інноваційної діяльності» від 1 лютого 2022 р., а саме пріоритетним тематичним напрямам наукових досліджень з розвитку інформаційних та комунікаційних технологій. Наукові результати дисертаційного дослідження увійшли до науково-дослідної роботи: Е-333 (№ держреєстрації 0121U113718) «Методи, моделі та технології обробки даних в комп'ютерних системах загального та спеціального призначення»; Е-346 (№ держреєстрації 0124U004583) «Методи, моделі та технології обробки і аналізу даних в комп'ютеризованих системах»; ГП 501 (№ держреєстрації 0119U000249) «Виявлення закономірностей фазових перетворень газогідратів і напружено-деформованого стану гірського масиву та розробка інноваційних геотехнологій»: етап 2020 р. «Обґрунтування рішень з підвищення надійності роботи та забезпечення стабільності характеристик засобів контролю вибухонебезпечності атмосфери» та етап 2021 р. «Обґрунтування способів та дослідження і розробка технічних рішень для проведення автоматичного дистанційного моніторингу стану засобів контролю вибухонебезпечності атмосфери» де автором проаналізовано наукові розробки методи та моделі й практичні рішення спрямовані на підвищення надійності засобів контролю вибухонебезпечності вугільних шахт та запропоновані методи та алгоритми комп'ютерного моніторингу системи контролю вибухонебезпечності.

Мета та завдання дослідження.

Мета – підвищення ефективності систем вибухозахисту вугільних шахт та зниження витрат на їх обслуговування шляхом розробки та реалізації методів та алгоритмів комп'ютерного моніторингу засобів контролю вибухонебезпечності.

Для досягнення поставленої мети сформульовані такі завдання:

- провести аналіз ризику виникнення надзвичайних ситуацій, обумовлений вибухами метаноповітряних сумішей, та впливу умов експлуатації на надійність систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт;
- виконати дослідження практичних рішень в області проведення діагностики працездатності засобів контролю вибухонебезпечності вугільних шахт;
- розробити методи та алгоритми процесу діагностики працездатності засобів контролю вибухонебезпечності вугільних шахт;
- розробити комп'ютеризовану систему моніторингу стану засобів контролю вибухонебезпечності вугільних шахт.

Об'єкт дослідження – системи вибухозахисту вугільних шахт небезпечних за вибухами газу та пилу.

Предмет дослідження – методичні засади, методи та алгоритми комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності атмосфери вугільних шахт.

Для вирішення завдань дисертаційного дослідження застосовано наступні **методи дослідження**: наукового узагальнення - при аналізі теоретичних засад комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності атмосфери вугільних шахт та оцінці впливу умов експлуатації на працездатність систем контролю вибухонебезпечності; статистичного аналізу та моделювання – при оцінці впливу надійності систем контролю на ризик виникнення надзвичайних ситуацій; теоретичного обґрунтування з використанням елементів класичної теорії газодинаміки, електротехніки та тепломасопереносу – при розробці методів комп'ютерної діагностики стану засобів контролю вибухонебезпечності;

фізичного моделювання – при розробці алгоритмів проведення комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності.

Інформаційною базою дослідження є нормативні акти України, що регламентують вимоги до систем вибухозахисту, періодичні видання, наукова література, результати аналітичних досліджень з питань вибухозахисту та використання інформаційних технологій, наукові публікації з проблематики дослідження, ресурси мережі Інтернет.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

удосконалено:

- методи та алгоритми процесу діагностики зміщення нульових показань аналізаторів метану при здійсненні комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт шляхом зниження напруги живлення термогрупи до рівня, при якому реакція окислення метану на робочому термоелементі не відбувається, а також відновлення працездатності аналізаторів через корекцію «нуля» їх показань..

- методи та алгоритми контролю чутливості первинних перетворювачів і корекції показань аналізаторів метану при здійсненні комп'ютерного моніторингу систем вибухобезпеки вугільних шахт, що базуються на аналізі змін вихідних характеристик первинних перетворювачів у зоні переходу вихідної напруги вимірювального моста до горизонтальної частини (плато) характеристики при зміні струму через чутливі елементи.

- методи та алгоритми виявлення випадків забруднення газодифузійних фільтрів термокаталітичних датчиків метану та корекції показань аналізаторів метану шляхом аналізу перехідних процесів, що виникають у датчиках під час зміни режиму живлення термоелементів.

- методи та алгоритми підвищення швидкодії та надійності систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт через одночасне використання двох типів датчиків в аналізаторах метану: високо стабільного, але відносно інерційного термокаталітичного датчика, та малоінерційного оптичного датчика.

Набуло подальшого розвитку:

– поняття комп'ютерного моніторингу стосовно його проведення в системах контролю стану безпечності середовища, як постійний моніторинг працездатності засобів контролю в реальному часі, прогнозування її зміни в часі та автоматичного відновлення працездатності шляхом регулювання парламентів засобів.

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що її теоретичні й методичні положення дозволили розробити методи, алгоритми та програмне забезпечення для проведення моніторингу мікропроцесорних стаціонарних аналізаторів метану систем контролю вибухонебезпечності атмосфери в гірничих виробках вугільних шахт, впровадження яких дозволяє збільшити надійність систем контролю та зменшити витрати на їх обслуговування. Запропоновані в кваліфікаційній роботі методи, алгоритми та програмне забезпечення прийнято для впровадження Науково-виробничим об'єднанням «Червоний металіст», що здійснює випуск систем та засобів контролю вибухонебезпечності для вугільних шахт.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійно виконаною науковою працею. Наукові положення та науково-методичні підходи до проведення комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт, що виносяться на захист, одержані здобувачем самостійно. Із наукових праць, опублікованих у співавторстві, у дисертації використані лише ті ідеї, положення й матеріали, які є результатом власних досліджень автора.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи були представлені, обговорені й одержали схвальну оцінку на міжнародних науково-практичних конференціях: «Суспільство, релігія, культура, наука, техніка, освіта, економіка в умовах новітніх глобальних викликів для України і Польщі» (м. Запоріжжя, 2017 р.), XIII Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (Дніпро, 2023 р.), XI Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих

вчених «Молодь: наука та інновації» (Дніпро, 2023 р.), XVIII Міжнародна конференція з проблем використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості (Дніпро, 2023 р.), XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Наукова весна» (Дніпро, 2024 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковано у 18 друкованих працях, у тому числі 5 статтях у наукових фахових виданнях, 3 стаття у журналі, що входять до міжнародної науково-метричної бази Scopus, 1 статті у журналі, що входять до міжнародної науково-метричної бази Web Of Science, 7 – тези конференцій. Загальний обсяг публікацій за темою дисертації становить 4,26 друк. арк., із них особисто дисертанту належать 2,44 друк. арк.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 158 сторінок, у т. ч. основного тексту 143 сторінка.

Дисертація містить 38 рисунків, списки використаних джерел із 110 найменувань на 14 сторінках, 3 додатки на 14 сторінках.

Розділ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОНІТОРИНГУ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ БЕЗПЕЧНОСТІ СЕРЕДОВИЩА ТА ОБ'ЄКТІВ

1.1. Поняття комп'ютерного моніторингу та його види

Моніторинг використовується повсюдно, в різних областях, як в області науки, так і в області управління, як постійне, регулярне спостереження за станом об'єкту або протіканням процесу з метою оцінки, порівняння і прогнозування. Інформаційний процес управління включає процедури реєстрації, збору, передачі, зберігання, обробки, видачі інформації та прийняття рішень на основі зібраної інформації [1]. Наприклад, існує екологічний моніторинг для захисту навколишнього середовища та контролю впливу господарської діяльності на природу. Спочатку моніторинг з'явився в ґрунтознавстві та екології, а потім поширився і на інші сфери реальної діяльності. Моніторинг динаміки навколишнього середовища проводиться для вжиття заходів щодо мінімізації або усунення негативних змін при їх виявленні.

Соціологічний моніторинг відстежує зміни в суспільстві, вивчає соціально-політичні явища і робить прогнози. У психології використовується психолого-педагогічний моніторинг, метою якого є оцінка педагогічного впливу на розвиток дитини та профілактика шкідливого впливу на дитину різноманітних чинників. У медицині здійснюється моніторинг впливу умов життєдіяльності та стану довкілля на здоров'я людини. Широко застосовується моніторинг також у сфері виробництва та різних галузях економіки. У будівництві наявні системи моніторингу дозволяють відстежувати процес зведення будівлі та зміну її стану, а також відстежувати вплив будівельних робіт на навколишні будівлі та об'єкти, виявляти зсуви ґрунту, що дозволяє прийняти запобіжні заходи на початковому етапі.

Моніторинг досить широко використовується в сфері бізнесу, особливо для оцінювання ринкової кон'юнктури та конкуренції. Для цього відстежуються дії конкурентів, визначається попит на різноманітну продукцію та її пропозиція, оцінюється ефективність реклами, аналізуються відгуки покупців про продукцію та якість послуг та ін. [1]

Інформаційні технології виступають при цьому як засоби та методи, за допомогою яких здійснюється контроль, передача, збір, реєстрація, зберігання та обробка зібраної інформації. На основі інформації, зібраної в різних інформаційних системах здійснюються прийняття рішень. З розвитком та широким впровадженням інформаційних технологій практично всі сучасні системи моніторингу функціонують з використанням комп'ютерних та інформаційних систем. У цьому випадку система моніторингу перетворюється на комп'ютеризовану систему моніторингу.

Існують також системи моніторингу, які контролюють роботу самої комп'ютеризованої мережі [2]. Моніторинг комп'ютерної мережі виступає при цьому як безперервний процес спостереження за її станом. При цьому спеціальні програми відправляють запити на пристрої в мережі з певною частотою. У разі некоректної реакції на такий запит система моніторингу відправляє повідомлення про несправність або автоматично виконує дії, що регулюються протоколом на випадок надзвичайних ситуацій.

Моніторинг можна розділити на різні типи, але найпоширеніші типи моніторингу включають:

- моніторинг об'єкту, що призначений для постійного контролю стану об'єкта, виявлення та усунення відмов, надання інформації, необхідної для прийняття управлінських рішень;
- моніторинг процесу, який полягає в наданні інформації, необхідної для постійного аналізу протікання процесу, оцінки досягнутих результатів, виявлення проблем, планування роботи, прийняття рішень, виконання проектів та програм, а також оцінки можливостей;

- моніторинг результатів або наслідків, що в першу чергу зводиться до оцінки змін, викликаних проектом або програмою;

Основою комп'ютерної системи моніторингу є програма моніторингу, що має безліч призначень, в залежності від типу і спрямованості моніторингу. Однак основна мета полягає в регулярному зборі інформації про процес і, в залежності від стану системи, використанні цієї інформації для внесення певних коректив з метою підтримки її працездатності та ефективної роботи.

Серед об'єктів, перспективних для впровадження сучасних систем комп'ютерного моніторингу особливе місце займають вибухонебезпечні та потенційно небезпечні об'єкти, на яких задачею систем моніторингу є не лише забезпечення високоефективного протікання виробничого процесу а і підтримання на встановленому рівні стану безпеки робіт та навколишнього середовища [3]. До таких об'єктів відносяться вугледобувні шахти.

Підземний видобуток вугілля в Україні здійснюється складних гірничо-геологічних умовах, що обумовлюють низку шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Складні гірничо-геологічні умови, використання для видобутку вугілля високопродуктивних машин і механізмів, підвищення інтенсивності очисних і підготовчих робіт призводить до значної аварійності, високих показників частоти травматизму та професійної захворюваності працівників [4]. Все це вимагає застосування сучасних прогресивних підходів до розробки та вдосконалення систем технологічної безпеки вугледобувних шахт.

Однією з причин аварій на вугледобувних шахтах, що супроводжуються надзвичайно тяжкими наслідками, є вибухи метану [5]. Як на імовірність виникнення вибухів метану, так і на тяжкість їх наслідків впливає багато зовнішніх і внутрішніх факторів. Зовнішні чинники пов'язані з умовами видобутку вугілля (характеристиками вугілля і порід, глибиною розробки родовищ, тиском гірських порід, інтенсивністю виділення метану, наявністю суфлярів, небезпекою виникнення раптових викидів метану тощо). До внутрішніх факторів на вугледобувних підприємствах в першу чергу відносяться технології видобутку вугілля, стан виробничого обладнання, організація робіт, готовність

підприємства до надзвичайних ситуацій, наявність і стан систем технологічної безпеки підприємств, оснащеність шахти та працівників засобами захисту, їх стан та ін.

Важливим заходом, спрямованим на запобігання вибухів метану є моніторинг вибухонебезпечності, одним з основних елементів якої є система контролю концентрації метану в рудниковій атмосфері та обладнанні вугільних шахт. Нині на вугільних шахтах в Україні на вугільних шахтах в основному використовується система моніторингу вибухонебезпечності на базі інформаційного аерогазового комплексу КАГІ. На деяких шахтах впроваджена також уніфікована телекомунікаційна системи (УТАС).

Наявні моніторингові системи здійснюють контроль вмісту газу метану в рудниковій атмосфері, видачу сигналу на відключення електроенергії на дільниці шахти де виявлена загроза вибуху, передачу інформації про небезпеку вибуху диспетчеру, а також її зберігання та видачу при зверненнях.

Основними складовими моніторингової системи є газоаналізатори, що здійснюють контроль об'ємного вмісту метану. Вони є також найменш надійними елементами цієї системи. Це обумовлено, в першу чергу, важкими умови експлуатації газоаналізаторів, що характеризуються високою вологістю, наявністю хімічно агресивних газів, можливістю ударів при роботі технологічного обладнання, випадкового заливання водою при проведенні протипилових заходів, дією екстремальних концентрацій газів (CH_4 , CO , CO_2 , SO_2) при аваріях тощо. Спостерігаються також випадки несанкціонованого втручання в роботу системи вибухозахисту з метою її відключення. Все це, може призвести до її відмови при наявності небезпеки вибуху, у тому числі до невідключення електропостачання на дільниці та продовження ведення робіт, що виникнення вибухів на шахтах. Як приклад, вибух метану (тяжка аварія з груповими смертельними наслідками на шахті «Степова» ДП Львіввугілля, що трапилась 2 березня 2017 року), була спричинена запаленням вибухонебезпечної концентрації метану внаслідок іскріння в електроустаткуванні. Наявна система вибухозахисту (на основі УТАС) не забезпечила відключення електропостачання на дільниці при наявності

недопустимого вмісту метану в рудниковій атмосфері, як джерела запалення вибухонебезпечної суміші.

Зазначене обумовлює важливість проведення досліджень з питань вдосконалення моніторингових систем вибухозахисту, особливо в частині забезпечення надійності та точності засобів контролю концентрації метану в атмосфері.

Зважаючи на вищезазначене, поняття комп'ютерного моніторингу в контексті його застосування в системах контролю вибухонебезпечності об'єктів можна визначити як безперервне спостереження за станом та працездатністю засобів контролю в реальному часі, прогнозування її змін та відновлення працездатності через автоматичне регулювання параметрів засобів контролю або прийняття рішень щодо необхідності втручання персоналу та проведення профілактичного обслуговування засобів контролю.

1.2. Оцінка впливу надійності систем контролю на ризик виникнення вибухів метану

Загалом, на ризик вибуху метаноповітряної суміші в гірничих виробках вугільних шахтах впливає багато зовнішніх та внутрішніх факторів. Перші з них в значній мірі залежать від умов видобутку корисних копалин: глибини розробки, гірничо-геологічних особливостей родовища вугілля, схильністю вугілля до само загоряння, міцністю вміщуючих порід, гірського тиску, відносною метановістю, наявністю суфлярів, схильністю до газодинамічних явищ тощо. [6]. Зовнішні фактори здатні суттєво впливати на процес формування безпечного робочого середовища.

Вугільні шахти являють собою складні виробничі системи з особливо небезпечними умовами праці (вибухонебезпечними, пожежонебезпечними, зсувами, викидами вугілля, породи і газу тощо) [7]. Складні гірничо-геологічні умови призводять до значного рівня травматизму і професійних захворювань, який є характерним для вугледобувної галузі України. Робота більшості

працівників, задіяних до видобутку вугілля, відноситься до категорії важких, а умови праці - до шкідливих і небезпечних [8].

У 2013 р. в Україні працювала 431 вугільна шахта, а з 2014 року на територіях, підконтрольних Україні ця кількість зменшилась до 69 вугільних шахт (51 шахта працює, а решта не працює, чи занходиться в стані ліквідації, гідрозахисту та будівництва) [6]. Практично всі шахти є газові, значна частина з них є схильною до газодинамічних явищ.

За показниками частоти та тяжкості травматизму, у тому числі зі смертельними наслідками вугільні шахти є лідерами серед усіх галузей виробництва. Максимальна кількість смертельних випадків характерна для таких аварій як екзогенні пожежі та вибухи газу і вугільного пилу.

До внутрішніх чинників на гірничих підприємствах відносяться стан виробничого обладнання, технологія видобутку, організація робіт, стан протиаварійної готовності підприємств, наявність та стан систем та засобів колективного і індивідуального захисту працюючих тощо.

Більшість українських вугільних шахт характеризуються застарілим виробничим обладнанням, яке відпрацювало передбачений нормативними документами термін експлуатації. Значна частина нині діючих вугільних шахт була побудована майже 70 років тому. Багато шахт експлуатувалися без реконструкції 30 років і більше. Практично усі шахти потребують оновлення вентиляторів головного провітрювання та водовідливного устаткування [9].

В інших галузях промисловості старіння основних фондів, як правило, призводить до зниження продуктивності праці, а на вугільних шахтах така ситуація загрожує життю і здоров'ю тисяч шахтарів [10].

З усіх аварій вибухи газу і вугільного пилу призводить до найбільш серйозних наслідків. За даними Державної гірничорятувальної служби, в результаті кожного вибуху гине в середньому 12 осіб.

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 згорання метану без утворення 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 [11, 12].

Основними причинами загазування виробок на виїмкових ділянках 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 рудничній атмосфері, є їх здатність окислюватися киснем повітря.

Серед характеристик, які істотно відрізняють метан 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.

Інфрачервона спектроскопія поглинання є найпоширенішим методом, який використовується для оптичних датчиків метану, де вимірюється інтенсивність поглинання світла середнього ІЧ-діапазону [13]. За цим принципом газ метан може бути виявлений діодними лазерними оптичними датчиками на довжинах хвиль 2,3 і 3,26 мкм, які є сильними лініями його поглинання [14]. Метан також має слабкі лінії поглинання на 1,33 і 1,66 мкм, які знаходяться в ближньому ІЧ діапазоні довжин хвиль [15]. Перевагою оптичних датчиків метану є їх стійкість до електромагнітних перешкод, які іноді можуть спричинити проблеми для інших типів датчиків [16, 17]. Вони також мають можливість працювати за відсутності кисню, попередньої обробки або накопичення зразка газу [18].

Однак оптичні датчики мають низку недоліків, які перешкоджають їхньому використанню в умовах вугільних шахт, крім того експлуатаційні витрати є вищими, ніж при використанні датчиків заснованих на інших методах [19].

Термокаталітичні датчики використовуються для виявлення метану та інших горючих газів у різних сферах застосування у вугільних шахтах, на нафтових бурових і переробних полях, а також на звалищах [20, 21, 22]. Вони

мають такі переваги, як низька вартість, спрощений дизайн і легкість у виготовленні. Фактори навколишнього середовища, такі як температура, тиск і вплив водяної пари, не суттєво впливають на їх працездатність, що дозволяє датчикам працювати в суворих умовах навколишнього середовища.

Напівпровідникові датчики оксиду металу – це датчики електропровідності, які виявляють речовини на основі реакцій окислення та відновлення, які відбуваються між оксиду металу та газами. Метан поглинається активним чутливим шаром, що призводить до зміну його електричного опору, за яким можна визначити концентрацію газу [23, 24, 25]. Під впливом метану поверхня датчика поглинає молекули газу. Це знижує потенційний бар'єр, збільшує концентрацію електронів на поверхні, одночасно зменшує електричний опір [26]. На реакцію сильно впливає присутність каталізатора, який збільшить реакційну здатність поверхні [27]. Датчики знаходять широке застосування, оскільки вони недорогі порівняно з іншими, легкі та надійні [28]. Крім того, такі датчики мають тривалий термін служби та стійкі до отруєння [26]. Однак у напівпровідникових датчиків є низка недоліків, включаючи низьку селективність, малий діапазон робочих температур, повільну швидкість відновлення та значну залежність від газових домішок. Крім того, на чутливість датчика впливає температура та зміни вологості [25].

Електрохімічні сенсори — це хімічні датчики, де рецептор і перетворювач поєднані [29]. Електрохімічні датчики в основному чутливі, вибіркові, недорогі і широко використовуватися для моніторингу навколишнього середовища, наприклад для виявлення витоків, моніторингу викидів і пожежної безпеки [30]. Конструкція датчика складається з робочого електрода, де метан вступає в реакцію окислення, протиелектрода, який врівноважує струм на робочому електроді, і електрода порівняння, за допомогою якого можна виміряти потенціал робочого електрода. Робочий і протиелектрод з'єднані електролітичною рідиною для підтримки нейтральності заряду в системі. Вибір матеріалів для електроліту, електродів і каталізатора визначає властивості електрохімічних сенсорів і їх застосування.

Конструктивно виділяють потенціометричні, вольтамперометричні, амперометричні та кондуктометричні датчики [31]. Потенціометричні датчики вимірюють електричний потенціал електрода за відсутності струму. Амперометричні датчики визначають концентрацію газу як функцію струму при фіксованому потенціалі, у вольтамперометричних датчиках струм визначається як функція потенціалу, який змінюється. Кондуктометричні датчики працюють на основі змін електропровідності матеріалу або плівки за присутності метану. Електрохімічні датчики чутливі до деградації та втрати електроліту і в умовах шахт не використовуються.

Порівняльний аналіз датчиків різного типу, виконаний в [32], та практика використання різних методів та засобів контролю показує, що в системах контролю вибухонебезпеки вугільних шахт найбільші переваги мають

Термокatalітичні датчики сучасних газоаналізаторів, як правило, мають два чутливих елемента кatalітично 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 елемента і термометра опору. На поверхню кatalітично активного елемента наносять платино-паладієвий кatalізатор, а компенсаційний елемент залишається чистим. Найчастіше елементи поміщають в загальну реакційну камеру, яка утворюється усередині пористого керамічного або металокерамічного газообмінного фільтро-елемента 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. Надходження метану до поверхні робочого елемента і видалення продуктів реакції обумовлені наявністю градієнта концентрації між поверхнею елемента і його вмістом в реакційній камері.

Однією з причин вибухів метану є вихід з ладу стаціонарного аналізатора метану чи його неспрацювання при наявності неприпустимої концентрації метану в рудниковій атмосфері [10] внаслідок недостатньої надійності.

Зниження ймовірності вибуху вибухонебезпечної суміші досягається шляхом підвищення ймовірності безвідмовної роботи засобів контролю метану та миттєвого захисного вимкнення електроенергії на дільниці при виникненні загрози вибуху. Це пояснюється тим, що ймовірність безвідмовної роботи є зворотною функцією ймовірності відмови, і коли ймовірність безвідмовної роботи засобів контролю вмісту метану збільшується, ймовірність відмови зменшується. Це, в свою чергу, знижує ймовірність вибуху метану на дільниці [33]. Нині на вугільних шахтах, збільшення ймовірності безвідмовної роботи обладнання, у тому числі і газоаналізаторів, досягається за рахунок збільшення частоти профілактичних заходів, спрямованих на забезпечення працездатності, оскільки збільшення частоти профілактичних заходів призводить до скорочення проміжку часу, протягом якого вона розраховується.

Важливим заходом контролю працездатності та порогу спрацювання засобів захисного вимкнення електрообладнання є пробні перевірки роботи газоаналізаторів. В даний це здійснюється шляхом використовується для перевірки випробувальної суміші метану та повітря. Цей контроль здійснюється спеціально навченими співробітниками. Розрахунки показують, що щоденна перевірка справності газоаналізаторів знижує ймовірність вибуху в 300 разів у порівнянні з перевіркою яка проводиться один раз на місяць, а якщо скоротити проміжок часу між перевірками газоаналізаторів до 4 годин, то ймовірність вибуху знижується до 10^{-4} на рік [33]. У той же час щоденна перевірка справності обладнання для моніторингу метану в шахтних умовах, яка здійснюється з використанням сертифікованих газових сумішей, тягне за собою значні експлуатаційні витрати. Тому актуальним завданням є обґрунтування методів автоматичної діагностики стану газоаналізаторів.

1.3. Аналіз впливу умов експлуатації на працездатність систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт

Умови експлуатації засобів контролю вибухонебезпечності вугільних шахт характеризуються можливістю утворення вибухонебезпечного середовища, значним діапазоном зміни температури та атмосферного тиску, високою відносною вологістю, значною концентрацією пилу в повітрі і його інтенсивним відкладенням на поверхню виробок та елементи обладнання, мінливістю газового складу атмосфери та швидкості повітряного потоку. Крім того, засоби контролю вибухонебезпечності часто піддаються значним динамічним та вібраційним навантаженням [11, 12]. Не виключена також можливість їх zalивання водою та засипання інертним пилом при проведенні протипилових заходів. Все це визначає особливі вимоги до виконання засобів контролю вибухонебезпечності, а також вимоги до їхньої працездатності, механічної міцності, корозійної стійкості, надійності тощо [33].

Наявні засоби та системи контролю вибухонебезпечності прийнято ділити на такі групи [7, 35]:

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

При експлуатації переносних приладів зазвичай завжди передбачається їх щозмінне чи щоденне обслуговування. Таке обслуговування здійснюється на поверхні перед кожною видачею приладу шахту [36-38].

Стаціонарні прилади та вимірювальні пристрої, апарати сигналізації та захисного відключення системи автоматичного дистанційного контролю експлуатуються і обслуговуються в підземних гірничих виробках. Умови їх експлуатації охоплюють весь можливий діапазон зміни параметрів середовища у гірничих виробках [39]:

температура навколишнього середовища від 5°C до 35°C ($278\text{-}308$) $^{\circ}\text{K}$;

атмосферний тиск 87,8-119,7 кПа (660-900 мм. рт. ст.);

відносна вологість навколишнього повітря до 100 % за температури 35 °С (без конденсації вологи);

запиленість повітря до 1000 мг/м³;

швидкість повітряного потоку до 8 м/с.

Враховуючи те, що прилади експлуатуються у вибухонебезпечному середовищі, вони повинні мати рівень і вид вибухозахисту РВ Іа С.

Склад рудничної атмосфери у місцях експлуатації приладів істотно відрізняється від складу атмосферного повітря на поверхні. За нормальних умов експлуатації в рудничній атмосфері можуть бути метан (до 2 об.%) і вуглекислий газ (до 1 об.%), а вміст кисню знижуватися до 20 об.%. При аварійних загазуваннях гірничих виробок концентрація метану може сягати десятків відсотків, а концентрація кисню внаслідок розведення повітря рудничним газом істотно знижуватися [40, 41]. У рудничному газі, крім метану, зазвичай завжди присутні його вищі гомологи: етан, пропан, бутан і в невеликій кількості водень [42]. Зважаючи на те, що вміст цих компонентів у рудничному газі зазвичай не перевищує 5 об.%, при аналізі вибухових властивостей сумішей ними зазвичай нехтують [34].

За наявності осередків горіння в обрушеній гірській масі концентрація водню зростає і в атмосферу рудника надходить оксид вуглецю. У разі пожеж, що розвинулися, вміст оксиду вуглецю і водню в рудничному повітрі досягає 2,0 об.%, а іноді і більше [43]. Вибухові властивості суміш, яка містить кілька горючих компонентів, зростають.

Крім зазначених газів у рудничній атмосфері можуть бути й інші шкідливі гази, зокрема діоксид сірки, сірководень, оксиди азоту та ін. Діоксид сірки утворюється в основному при згорянні сірки, що міститься у значній кількості у багатьох марках вугілля. Він надходить у рудничну атмосферу при пожежах та вибухових роботах [43].

Сірководень утворюється внаслідок гниття органічних речовин, взаємодії сульфатних вод з метаном, розкладання водою сірчаного колчедану, надходить у

рудничну атмосферу з тріщин та мінеральних джерел. Значна його кількість може також виділятися під час вибухових робіт і при ендегенних пожежах [34]. У деяких випадках концентрація сірководню може досягати десятих часток об'ємного відсотка.

Значна кількість оксидів азоту утворюються під час вибухових робіт. Основною формою оксидів, що надходять у початковий момент у рудничну атмосферу після вибуху є оксид азоту NO. У рудничному повітрі у присутності парів води та діоксиду сірки, які виступають у ролі каталізаторів, оксид азоту з'єднується з киснем повітря та переходить у форму діоксиду азоту NO₂. Висока концентрація оксидів азоту (до десятих часток відсотка) спостерігається лише після вибухових робіт. Надалі, внаслідок інтенсивної взаємодії оксидів азоту з водою, їх концентрація у рудничному повітрі швидко знижується [34].

За наявності завалів витрата повітря у виробках суттєво знижується, що призводить до їх загазування. Час загазування залежить від інтенсивності газовиділення та кратності зміни витрати повітря. Зазвичай між кратністю зміни витрати повітря та концентрацією метану у вихідному струмені лави існує лінійна залежність [34].

Стаціонарні засоби контролю вибухонебезпечності гірничих виробок шахт; вимірюють концентрацію метану у місці встановлення датчиків газоаналізаторів. Відповідно до [44] датчики стаціонарних газоаналізаторів повинні встановлюватися у вихідних струменях очисних виробок, у привибійних просторах тупикових виробок, у глухих кутах вентиляційних виробок, що погашаються слідом за очисними вибоями та ін. місцях. Обслуговування стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечності гірничих виробок здійснюється у місцях їх установки. Умови їх експлуатації охоплюють весь можливий діапазон зміни параметрів середовища у гірничих виробках шахт. Істотні зміни газового складу спостерігаються в ізольованих ділянках гірничих виробок при гасінні складних пожеж, що розвинулися, методами ізоляції [43].

В ізольованих виробках знижується вміст кисню, збільшується концентрація метану, вуглекислого газу, оксиду вуглецю, діоксиду сірки, водню, а також у

суміші газів можуть бути ненасичені вуглеводні, продукти термічного розкладання горючих речовин і матеріалів. В даний час при керуванні процесом гасіння ізолюваних пожеж контроль газового складу, що характеризує вибухові властивості суміші, здійснюють шляхом відбору проб і подальшого лабораторного їх аналізу або за допомогою шахтних хроматографів. Існуючі стаціонарні газоаналізatori у такій ситуації виявляються непрацездатними.

Дуже важкі умови експлуатації характерні для засобів контролю, які встановлюються у привибійних просторах виробок, а також на видобувному та транспортному устаткуванні, де на засоби контролю можлива дія елементів машин та механізмів, води, шматків вугілля та породи, що падають, підвищених рівнів вібрації. Крім того, засоби контролю вибухобезпеки, що встановлюються на транспортному устаткуванні, можуть експлуатуватися за більш високої швидкості повітряного потоку. При зустрічному напрямку руху повітря та транспортного засобу, ця швидкість може сягати 20 м/с [45].

Нині в моніторингу вибухонебезпечності вугільних шахт використовуються стаціонарні газоаналізatori в основу роботи яких покладено термokatалітичний метод контролю. Дослідження цього методу контролю та розроблених на його основі засобів дозволили суттєво підвищити надійність систем моніторингу вибухонебезпечки [34, 46, 47]. Однак наявність складних умов експлуатації газоаналізаторів, та їх непередбачений вплив на працездатність і стабільність засобів контролю, може привести до виходу з ладу вимірювального пристрою і стати однією з причин тяжкої аварії на шахті.

Вплив, умов експлуатації, на працездатність стаціонарних засобів контролю вибухонебезпечки, заснованих на термokatалітичному методі, достатньо повно висвітлено в роботах [34, 48]. Виконані дослідження дозволили встановити три домінуючі причини, які призводять до порушення працездатності термokatалітичних газоаналізаторів:

- зміщення нуля вимірювального моста аналізаторів;
- зниження чутливості датчика;
- забруднення газодифузійного фільтру датчика.

Зміщення нуля вимірювального моста аналізаторів може виникнути внаслідок удару кусків вугілля чи породи по корпусу датчика, випадкового падіння датчика при перенесенні та встановленні тощо. Це пов'язано з певним просторовим зміщенням чутливих елементів всередині газодифузійного фільтру внаслідок мікродеформації платинового мікропроводу на якому знаходяться чутливі елементи пелістерного типу. Навіть незначне просторове зміщення чутливих елементів призводить до порушення їх теплового балансу і певного зміщення нуля. Таке зміщення нуля виникає, як правило миттєво. Подібні швидкі зміщення нуля можливі також внаслідок температурних перевантажень (перегріву) чутливого елементу при аварійних загазуваннях рудникової атмосфери [48].

Крім зазначеного, зміщення нуля вимірювального моста аналізаторів може виникнути і за тривалої експлуатації аналізаторів [49], а також обумовлюється зміною кольору чутливих елементів внаслідок накопичення на їх поверхні продуктів термічної деструкції вуглеводнів [50, 51]. Зміна кольору елементів призводить до зміни радіаційних складових теплообміну, що веде до порушення їх теплового балансу і певного зміщення нуля [52].

Зниження чутливості датчика можливе внаслідок «отруєння» платино-паладієвого каталізатору газами, які вміщують сірку (діоксид сірки та сірководень), які можуть потрапляти у рудникову атмосферу при пожежах, вибухових роботах та внаслідок гниття органічних речовин [53]. Крім того чутливість датчика може зменшуватись наслідок тривалої експлуатації аналізаторів. Це пояснюється накопичення на поверхні термоелементів продуктів термічної деструкції вуглеводнів, що частково знижує активність чутливого елементу і призводить до незначного горіння на порівняльному елементі гомологів метану, які можуть бути в рудниковому газі [50, 51]. Спостерігаються також швидкі зміни чутливості при ударах по корпусу датчика, що пояснюється можливим осипанням носія каталізатора з поверхні пелістора, обумовлених динамічними навантаженнями.

Забруднення газодифузійного фільтру датчика спостерігається як при тривалій його експлуатації внаслідок осадження пилу, так і швидкі зміни провідності, обумовлені засипанням інертним пилом чи заливанням водою при проведенні заходів з попередження вибухів пилу. Спостерігаються також випадки навмисного заливання датчиків, заклеювання отворів, загортання в газонепроникні матеріали з метою загублення систем газового захисту [34, 46].

1.4. Теоретико-методологічні засади підвищення надійності системи моніторингу вибухозахисту та постановка задачі досліджень

Важливим методом для підвищення надійності системи моніторингу є тестова перевірка її роботи. Відповідно до чинних нормативно-правових актів, що регулюють питання безпеки, та інструкцій з експлуатації стаціонарних аналізаторів метану необхідно щодня перевіряти працездатність системи захисного вимкнення електроенергії та періодично здійснювати повірку аналізаторів в умовах шахтних з використанням сертифікованих газових сумішей, що призводить до значних експлуатаційних витрат. В той же час розрахунки показують, що щоденна перевірка справності газоаналізаторів знижує ймовірність вибуху в 300 разів у порівнянні з перевіркою яка проводиться один раз на місяць, а якщо скоротити проміжок часу між перевірками газоаналізаторів до 4 годин, то ймовірність вибуху знижується до 10^{-4} на рік [33].

У зв'язку з цим актуальним завданням є підвищення надійності моніторингу вибухонебезпечності за рахунок впровадження сучасних інформаційних технологій та комп'ютеризованих систем [53-55].

Методологічною основою комп'ютерної системи моніторингу вибухонебезпечності є наступне положення:

- за мінімальних витрат ресурсів на створення та експлуатацію системи моніторингу зменшити ймовірність вибухів метану на вугільних шахтах до нормативно прийнятних значень.

Очевидно, що суттєво збільшити надійність існуючих систем вибухонебезпечності можна за умови їх доповнення комп'ютеризованими системами призначеними для безперервного стеження за станом та працездатністю найменш надійних складових елементів системи моніторингу - засобів контролю вмісту метану. Така система повинна безперервно, в режимі реального часу, стежити за станом газоаналізаторів, контролювати їх основні параметри, прогнозувати їх зміни в часі, за можливості відновлювати працездатність засобів шляхом корегування значень цих параметрів, оцінювати ризики, пов'язані зі зміною параметрів та приймати рішення стосовно необхідності та рівня втручання обслуговуючого персоналу в роботу засобів контролю та технологічних систем спираючись на основі визначених ризиків.

Практично, це може бути здійснено шляхом створення 2-рівневої комп'ютерної системи моніторингу, призначеної для прогнозування та запобігання вибухів, тобто доповнення існуючої системи моніторингу комп'ютеризованою системою моніторингу стану та параметрів стаціонарних аналізаторів метану, що дає можливість розширити функціональні можливості системи на всіх рівнях. Структура такої 2-рівневої моніторингової системи показана на рис. 1.1.

Комп'ютеризована система моніторингу стану та параметрів стаціонарних аналізаторів метану здійснює перевірку працездатності та діагностику засобів контролю, зокрема контроль «нуля» аналізатора, чутливості сенсорів, стану (забруднення) захисних газодифузійних фільтрів, обмеження дифузії газоповітряної суміші до сенсора, а також оцінку динамічних характеристик аналізаторів. Вона також забезпечує передачу інформації до базової системи та її зберігання, виявлення змін у стані засобів контролю та ризику, пов'язаного з цими змінами, а також прийняття рішень щодо необхідності втручання у роботу системи контролю. Це може включати програмну корекцію результатів вимірювань, попередження про недопустимість змін, повідомлення про необхідність проведення профілактичних заходів і визначення рівня втручання (термінове чи з дозволеною затримкою).

Базовий рівень системи моніторингу, на додаток до раніше наведених завдань і функцій (моніторинг, зберігання та передача інформації в системи вищого рівня, видача керуючих сигналів на засоби відключення електроенергії), оцінює ризик виникнення аварій та аварійних ситуацій, у тому числі викликаних газодинамічними явищами, видачу рекомендацій персоналу щодо необхідності втручання в роботу систем вентиляції, дегазації, рекомендацій стосовно введення обмежень інтенсивності вуглевидобутку, проведення превентивних заходів.

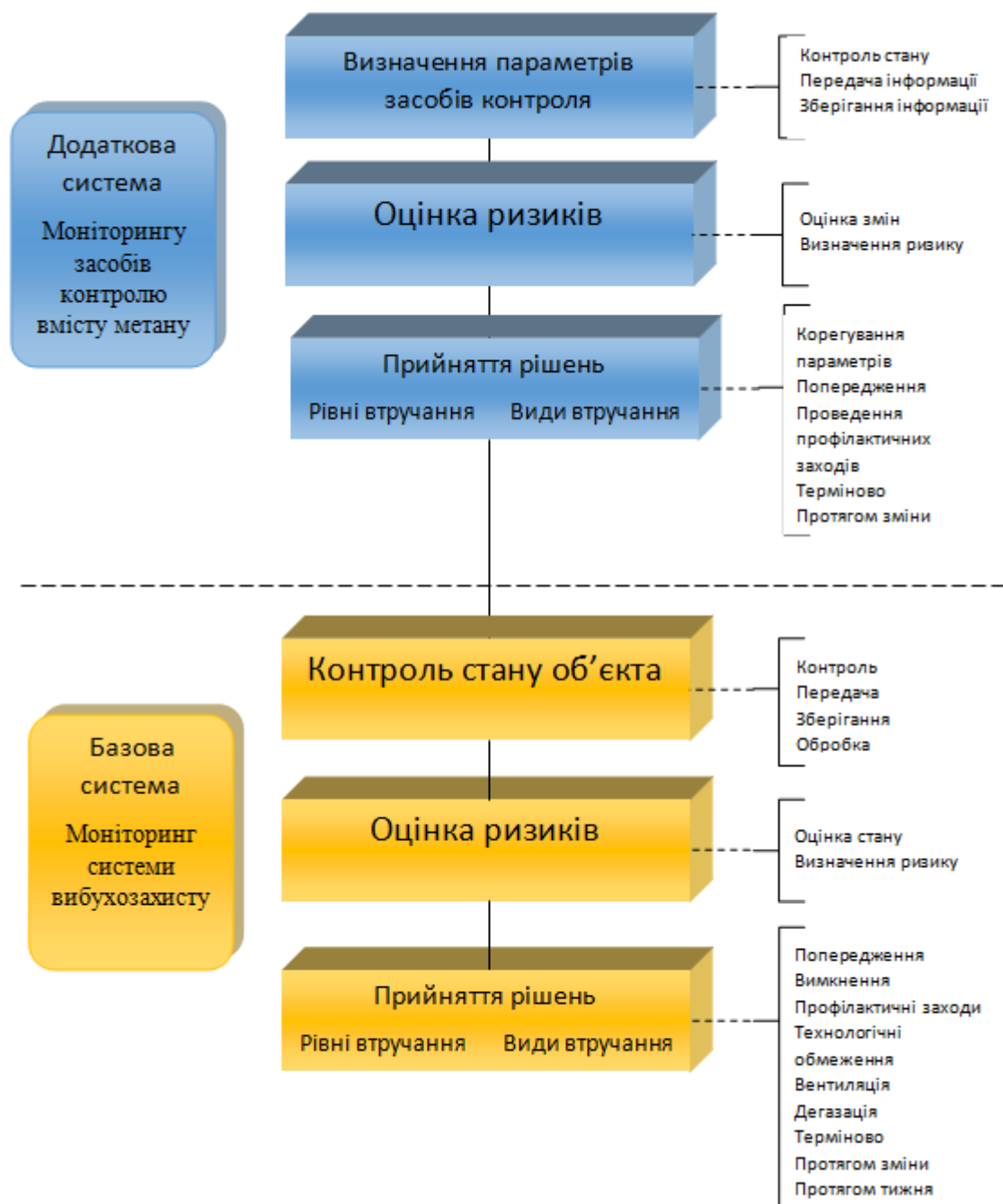


Рис. 1.1 Структура 2-рівневої системи моніторингу вибухозахисту

В майбутньому система моніторингу вибухозахисту має бути інтегрована в загальну систему моніторингу технологічної безпеки пахти. Це повинна бути система для спостереження, збору, обробки, передачі, збереження та аналізу інформації про стан обладнання та умови праці, прогнозування їх змін в часі, а також розробки обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень з урахуванням соціально-економічних наслідків впливу надзвичайних ситуацій та шкідливих і небезпечних чинників на працівників і ефективність виробництва.

Для створення системи моніторингу вибухозахисту в першу чергу необхідно здійснити розробку методів і алгоритмів комп'ютерного моніторингу засобів контролю вибухонебезпечності та необхідного програмного забезпечення.

Для цього потрібно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз досліджень та практичних рішень в області проведення діагностики працездатності засобів контролю вибухонебезпечності вугільних шахт;
- обґрунтувати алгоритми проведення комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності;
- розробити алгоритмічне забезпечення процесу діагностики працездатності засобів контролю вибухонебезпечності вугільних шахт;
- розробити технічні засоби та програмне забезпечення для моніторингу стану засобів контролю вибухонебезпечності вугільних шахт.

Висновки до розділу 1

1. Сучасні системи моніторингу безпеки вибухів у вугільних шахтах відстежують, передають, зберігають і надають інформацію про вміст метану в шахтній атмосфері і генерують керуючі сигнали для відключенні електроенергії - основного джерела займання газоповітряної суміші.

2. Однією з причин вибухів є неспрацьовування засобів захисного відключення електропостачання при наявності небезпечної концентрації метану в

атмосфері гірничих виробок шахт, що викликано недостатньою надійністю систем контролю вмісту метану. Зниження ймовірності вибуху досягається шляхом підвищення ймовірності безвідмовної роботи системи контролю вмісту метану та захисного відключення джерел електропостачання.

3. Найменша надійність притаманна таким основним складовими системи моніторингу як газоаналізatori. Складні підземні умови їх роботи (висока вологість повітря, удари, пил, вібрації, заливання водою та ін.), а також можливе навмисне втручання в їх роботу можуть негативно впливати на працездатність засобів контролю та їх параметри, що здатне призвести до неспрацьовування засобів захисного відключення електропостачання, що є однією з основних причин вибухів метану на вугільних шахтах.

4. Надійність існуючих систем вибухозахисту може бути значно підвищена, за умови їх доповнення комп'ютеризованими системами призначеними для безперервного стеження за станом та працездатністю найменш надійних складових елементів системи моніторингу - засобів контролю вмісту метану. Така система повинна безперервно, в режимі реального часу, стежити за станом газоаналізаторів, контролювати їх основні параметри, прогнозувати їх зміни в часі, за можливості відновлювати працездатність засобів шляхом корегування значень цих параметрів, оцінювати ризики, пов'язані зі зміною параметрів та приймати рішення стосовно необхідності та рівня втручання обслуговуючого персоналу в роботу засобів контролю та технологічних систем спираючись на основі визначених ризиків.

5. Методологічною основою комп'ютерної системи моніторингу вибухонебезпечності є наступне положення - за мінімальних витрат ресурсів на створення та експлуатацію системи моніторингу зменшити ймовірність вибухів метану на вугільних шахтах до нормативно прийнятних значень

6. Для створення запропонованої системи моніторингу вибухозахисту в першу чергу необхідно розробити методи та алгоритми для забезпечення процесу діагностики працездатності засобів контролю вибухонебезпечності вугільних

шахт, алгоритмів та алгоритмічне забезпечення для проведення комп'ютерного моніторингу засобів контролю вибухонебезпечності.

Результати дослідження щодо питань розділу 1 відображено в роботах за участю автора [56 - 58].

Література до розділу 1

1. Nigel Simister, Monitoring // Intrac (2017).
2. Sonny S. Ariss, Computer monitoring: benefits and pitfalls facing management // Information & Management 39 (2002) 553–558.
3. Геоматика в моніторингу довкілля та оцінці загрозливих ситуацій [Текст]: монографія / [О. Л. Дорожинський та ін.] ; за ред. Олександра Дорожинського; Нац. ун-т «Львів. Політехніка». – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2016. – 399 с.
4. Borys Kobylanskyi, Improvement of safety management system at the mining enterprises of Ukraine / Borys Kobylanskyi, Hanna Mykhalchenko // Mining of Mineral Deposits 14, 2, 34-42 (2020).
5. Tahani Aldhafeeri, A Review of Methane Gas Detection Sensors: Recent Developments and Future Perspectives / Tahani Aldhafeeri, Manh-Kien Tran, Reid Vrolyk , Michael Pope, Michael Fowler // Inventions 2020, 5, 28 (2020).
6. Безпека та гігієна праці у гірничодобувній галузі та вугільній промисловості в Україні / Міжнародна організація праці; Група технічної підтримки з питань гідної праці та Бюро МОП для країн Центральної та Східної Європи. – Київ: МОП, 2018 р. – 36 с.
7. Правила безпеки у вугільних шахтах. ДНАОП 10.0-1.01-10, К., 2010. – 430 с.
8. Ляшко О.М. Умови праці шахтарів основних професій вугільних шахт. Український журнал з проблем медицини праці. 2018, №3(56).- С. 64-71
9. Драчук Ю.З. До питання вибору пріоритетних проблем інноваційного розвитку у сфері безпеки й екології у вугільній галузі / Ю.З. Драчук //

Економічний вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2005. – №1. – С.75–82.

10. Брюханов А.М. Математическое моделирование аварийных событий / А.М. Брюханов, В.П. Колосюк // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сб. научн. тр. МакНИИ. – Макеевка, 2003. - С. 60-74.

11. Здановський В.Г., Румежак О.М. Про деякі аспекти безпеки праці у вугільній промисловості. // Проблеми охорони праці в Україні. – 2018. Вип. 34. – С. 21- 30.

12. Гого В.Б., Кобилянський Б.Б. Аналіз чинників і факторів ергатичної системи безпеки праці шахтарів України // Вісті Донецького гірничого інституту. – №2 (47), 2020 – С. 194-205.

13. Spain, E.; Venkatanarayanan, A. Review of physical principles of sensing and types of sensing materials. In Sensor Materials, Technologies and Applications; ScienceDirect: Dublin, Ireland, 2014; pp. 5–46.

14. Triki, M.; Nguyen, B.T.; Vicet, A. Compact sensor for methane detection in the mid infrared region based on quartz enhanced photoacoustic spectroscopy. Infrared Phys. Technol. 2015, 69, 74–80.

15. Butt, M.A.; Degtyarev, S.A.; Khonina, S.N.; Kazanskiy, N.L. An evanescent field absorption gas sensor at mid-IR 3.39 μm wavelength. J. Mod. Opt. 2017, 64, 1892–1897.

16. Massie, C.; Stewart, G.; McGregor, G.; Gilchrist, J.R. Design of a portable optical sensor for methane gas detection. Sens. Actuators B Chem. 2016, 113, 830–836.

17. Yang, J.; Zhou, L.; Huang, J.; Tao, C.; Li, X.; Chen, W. Sensitivity enhancing of transition mode long-period fiber grating as methane sensor using high refractive index polycarbonate/cryptophane A overlay deposition. Sens. Actuators B Chem. 2015, 207, 477–480.

18. Ryoko, Y.; Masaki, K.; Koji, F.; Tadashi, S.; Yoshihisa, S. Highly sensitive laser based trace-gas sensor technology and its application to stable isotope ratio analysis. NTT Tech. Rev. 2014, 12, 4.

19. Zheng C.; Ye, W.; Sanchez, N.P.; Li, C.; Dong, L.; Wang, Y.; Griffin, R.J.; Tittel, F.K. Development and field deployment of a mid-infrared methane sensor without pressure control using interband cascade laser absorption spectroscopy. *Sens. Actuators B Chem.* 2017, 244, 365–372.
20. Park, N.H.; Akamatsu, T.; Itoh, T.; Izu, N.; Shin, W. Calorimetric thermoelectric gas sensor for the detection of hydrogen, methane and mixed gases. *Sensors* 2014, 14, 8350–8362.
21. Dűcso, C.; Ádám, M.; Fürjes, P.; Hirschfelder, M.; Kulinyi, S.; Bársony, I. Explosion-proof monitoring of hydrocarbons by mechanically stabilised, integrable calorimetric microsensors. *Sens. Actuators B Chem.* 2003, 95, 189–194.
22. Liu X., Cheng S., Liu H., Hu S., Zhang D., Ning H. A survey on gas sensing technology. *Sensors* 2012, 12, 9635–9665.
23. Prabakaran, S.; John, B.; Balaguru, R. Gas sensing mechanism of metal oxides: The role of ambient atmosphere, type of semiconductor and gases. A review. *Sci. Lett. J.* 2015, 4, 1262015.
24. Zhang, J.; Qin, Z.; Zeng, D.; Xie, C. Metal-oxide-semiconductor based gas sensors: Screening, preparation, and integration. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2017, 19, 6313–6329.
25. Li, Z.; Li, H.; Wu, Z.; Wang, M.; Luo, J.; Torun, H.; Hu, P.; Yang, C.; Grundmann, M.; Liu, X.; et al. Advances in designs and mechanisms of semiconducting metal oxide nanostructures for high-precision gas sensors operated at room temperature. *Mater. Horiz.* 2019, 6, 470–506.
26. Kanan, M.S.; El-Kadri, M.O.; Abu-Yousef, A.I.; Kanan, C.M. Semiconducting metal oxide based sensors for selective gas pollutant detection. *Sensors* 2009, 9, 8158–8196.
27. Wetchakun, K.; Samerjai, T.; Tamaekong, N.; Liewhiran, C.; Siri Wong, C.; Kruefu, V.; Wisitsoraat, A.; Tuantranont, A.; Phanichphant, S. Semiconducting metal oxides as sensors for environmentally hazardous gases. *Sens. Actuators B Chem.* 2011, 160, 580–591.

28. Fine, G.F.; Cavanagh, L.M.; Afonja, A.; Binions, R. Metal oxide semiconductor gas sensors in environmental monitoring. *Sensors* 2010, 10, 5469–5502.
29. Stoytcheva, M.; Zlatev, R. Electrochemical sensors for environmental analysis. In *Encyclopedia of Applied Electrochemistry*; Springer: New York, NY, USA, 2014; pp. 1–515.
30. Tsiplakides, D. Electrochemical sensor of gaseous contaminants. In *Encyclopedia of Applied Electrochemistry*; Springer: New York, NY, USA, 2014; pp. 379–893.
31. Chaudoy, V.; Ghamouss, F.; Luaïs, E.; Tran-Van, F. Cross-Linked polymer electrolytes for li-based batteries: From solid to gel electrolytes. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2016, 55, 9925–9933.
32. Tahani Aldhafeeri, Manh-Kien Tran, Reid Vrolyk. Michael Pope and Michael Fowler (2020) A Review of Methane Gas Detection Sensors: Recent Developments and Future Perspectives. *Inventions* 2020, 5(3), 28
33. Колосюк А.В., Колосюк В.П. Вибухонебезпека систем електропостачання гірничих машин на шахтах, небезпечних за раптовими викидами вугілля і газу. Монографія // Кременчук: КрНУ ім. Михайла Остроградського, 2017. – 178 с.
34. Голинько В.И., Котляров А.К. Контроль взрывоопасности среды в горных выработках и оборудовании угольных шахт. Монография / Днепропетровск: изд-во «Ли́ра», 2010. – 368 с.
35. Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах: В 2 т. – К.: Держнаглядохоронпраці, 2003. – Т.1. – 480 с.; Т.2. – 416 с.
36. Технічне завдання на аналізатор метану переносний Сигнал. 5. ТЗ 23998857.005-2000. – Конотоп: Автоматвуглерудпром, 2002. – 17 с.
37. Технічне завдання на аналізатор метану та діоксиду вуглецю переносний Сигнал. 7. ТЗ 1810202050. – Конотоп: Автоматвуглерудпром, 2005. – 19с.

38. Технічне завдання на аналізатор метану, кисню, токсичних газів та температури переносний Сигнал. 9. – Конотоп: Автоматвуглерудпром, 2007. – 20с.

39. Анализаторы метана АТ1-1 и АТ3-1. Руководство по эксплуатации 1364.01.00.000 РЭ. – Конотоп: ОАО НПО «Красный металлист», 2006. – 55 с.

40. Брюханов А.М. Анализ обстоятельств взрывов метана на угольных шахтах и разработка мероприятий по их предотвращению / Брюханов А.М., Мнухин А.Г., Бусыгин К.К. // Уголь Украины, №4, 2003. – С. 37-40.

41. Брюханов А.М. Условия формирования взрывоопасной среды после внезапного выброса угля и метана / Брюханов А.М. // Науковий вісник УкрНДПБ України. – К.: 2007. – №1 (15). – С. 23-27.

42. Брюханов А.М. Научно-технические основы расследования и предотвращения аварий на угольных шахтах. Монография. – Донецк: Норд-пресс, 2004. – 347 с.

43. Смоланов С.Н. Ликвидация сложных подземных аварий методами вентиляционного воздействия. Монография. – Д.: Наука и образование, 2002. – 272 с.

44. Інструкція з контролю складу рудникового повітря, визначення багатогазовості та встановлення категорій шахт за метаном // Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах. – Київ: 2003. – Том 1. – 480 с.

45. Технічне завдання на метан-реле шахтне швидкодіюче МРШ.1. – Конотоп: Автоматвуглерудпром, 2008. – 17 с.

46. Голинько В.И., Котляров А.К., Белоножко В.В. Контроль взрывоопасности горных выработок шахт – Д.: Наука и образование, 2004. – 207с.

47. Голинько В.И., Белоножко А.В., Белоножко В.В. Контроль взрывоопасности газовых смесей при аварийных загазированиях горных выработок шахт: монография. – Днепропетровск: НГУ, 2014. – 209 с.

48. Голинько В.И. Белоножко А.В. Исследование работоспособности термokatалитических датчиков метана после их длительной эксплуатации / Науковий вісник НГУ. – 2006. – №10. – С. 72-75.

49. Zhang Xuhui (2011) Evaluation and Testing of an Intelligent Methane Detecting System Elsevier / Procedia Engineering 15, P. 3843 – 3847

50. Голинько В.И. Белоношко А.В. Исследование процессов накопления продуктов термической деструкции углеводородов на поверхности термоэлементов / Науковий вісник НГУ. – 2008. – №7. – С. 60-65.

51. Белоношко А.В. К вопросу о надежности контроля взрывоопасности горных выработок термokatалитическими газоанализаторами / Матер. міжн. конф. «Форум гірників-2007». – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – С. 262-267.

52. Голинько В.И., Котляров А.К. Исследование температурных режимов термоэлементов в мостовых измерительных схемах термокондуктометрических анализаторов метана / Науковий вісник НГУ. – 2006 – №12. – С. 55-58.

53. Tatiana Tyuleneva, Evgeny Kabanov, Marat Moldazhanov and Evgeny Plotnikov (2021) Improving the Professional Risk Management System for Methane and Coal Dust Explosions Using a Risk-based Approach. E3S Web of Conferences 278, 01027

54. Jinjia Zhang, Yiping Zeng, Genserik Reniers and Jie Liu (2022) Analysis of the Interaction Mechanism of the Risk Factors of Gas Explosions in Chinese Underground Coal Mines / Public Health 2022, 19, 1002.

55. Long Shi, Jinhui Wang, Guomin Zhang, Xudong Cheng, Xianbo Zhao A risk assessment method to quantitatively investigate the methane explosion in underground coal mine Process Safety and Environmental Protections (2017), 107, 317-333.

56. Алексеев М.О., Голінько О.В. Підвищення надійності засобів контролю вибухонебезпечності метаноповітряних сумішей. – Суспільство, релігія, культура, наука, техніка, освіта, економіка в умовах новітніх глобальних викликів для України і Польщі: матеріали Міжнар. науково-практичної конф. – Запоріжжя. – 2017. – С. 205-208.

57. Голінько В.І., Голінько О.В. Теоретико-методологічні засади комп'ютерного моніторингу систем вибухозахисту. Наукові праці ДонНТУ.

Серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка», №2-37, 2023. С. 22-29.

58. Holinko O., Yuldasheva N., Zhartay Z., Mirzoieva T., Petrychenko O., Hulevets V. METHODOLOGY OF CREATION AND DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEMS FOR TECHNOLOGICAL SAFETY OF MINING FACILITIES. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2023, № 6, 127-133.

Розділ 2.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТА АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТИКИ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

2.1. Дослідження існуючих методів діагностики нульових показань аналізаторів метану

На практиці для контролю нульових показань термokatалітичних аналізаторів метану використовується чисте атмосферне повітря. Процедура контролю зводиться до розміщення виносного термokatалітичного датчика в малогабаритну камеру, яка заповнюється чистим повітрям. Виконувати автоматичну перевірку таким чином дуже складно і непрактично. Ще одним відомим способом діагностики нуля є короткочасне переведення термогрупи газоаналізатора в режим роботи, при якому окислення метану на робочому елементі не відбувається. Цей метод був запропонований більш ніж 30 років тому [1]. Більш того виробник стаціонарних засобів контролю метану, намагався реалізувати на практиці апаратуру для автоматичного контролю нуля стаціонарних аналізаторів метану. Проте дослідні зразки апаратури не пройшли приймальних випробувань і вона не була допущена до впровадження.

Причини цього полягали з одного боку в недосконалій елементній базі, яка в той час була використана для створення апаратури, відносно низькому на той час рівні розвитку електроніки та відсутності ефективних засобів для обробки та зберігання інформації, а з іншого – в недостатній вивченості процесів, які протікають в первинних перетворювачах при реалізації цього методу [2]. На практиці виявилось, що при переведенні термokatалітичного сенсора в температурний режим за якого окислення метану на робочому термоелементі не відбувається, незважаючи на відсутність метану в повітрі виникають суттєві зміщення нуля вимірювального моста, і це не дозволяло здійснити його перевірку таким методом.

Остання причина пов'язана з тим, що при виготовленні термокаталітичних сенсорів неможливо забезпечити абсолютно однакові параметри термоелементів в термогрупі, тому при такій зміні температурного режиму, шляхом зменшення струму через елементи, завжди відбувається суттєве зміщення нуля вимірювального моста газоаналізатора.

Теоретичний аналіз процесу теплових процесів, що протікають в однокамерних термокаталітичних датчиках метану [3] показав, що за традиційних схем включення чутливих елементів у вимірювальний міст (рис. 2.1) для забезпечення ідентичних вольт амперних характеристик чутливих елементів потрібно при виготовленні датчиків забезпечити ідентичність опорів термоелементів при 0°C , площі, форми та коефіцієнтів чорноти поверхні чутливих елементів та терморезистивних коефіцієнтів термоелементів,

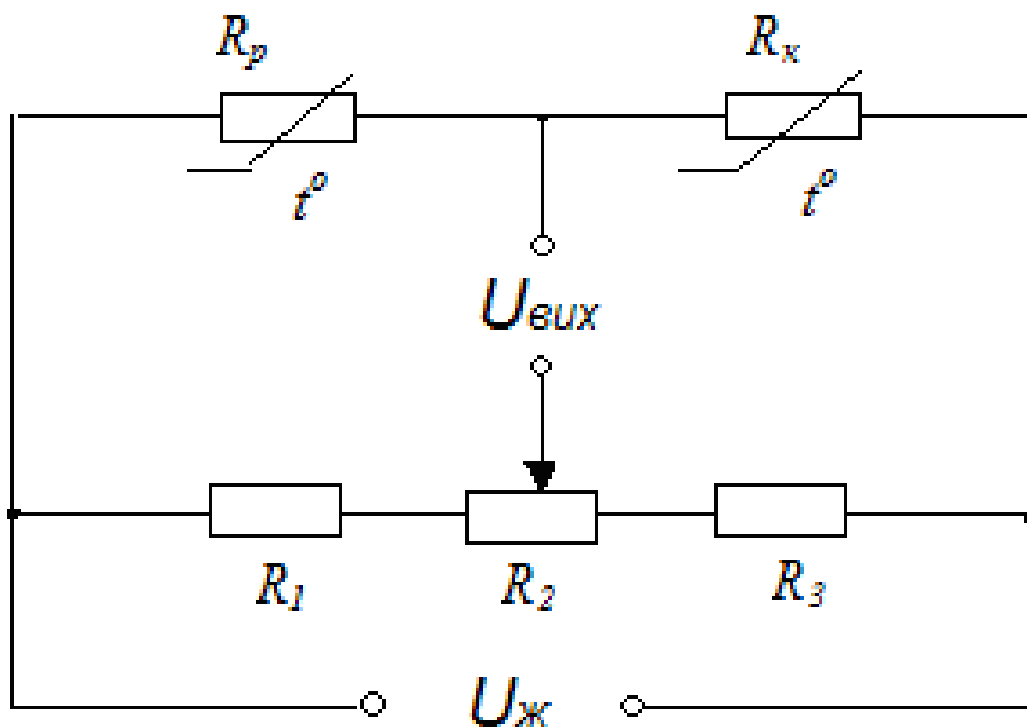


Рис. 2.1. Схема вимірювального моста з термоелементами в одній гільці.

Неідентичних вольт амперних характеристик чутливих елементів, обумовлених наприклад розкидом опорів елементів (рис. 2.2) приводить до того, що при відхиленні режиму живлення вимірювального моста від номінального, виникає зміщення нуля моста аналізатора.

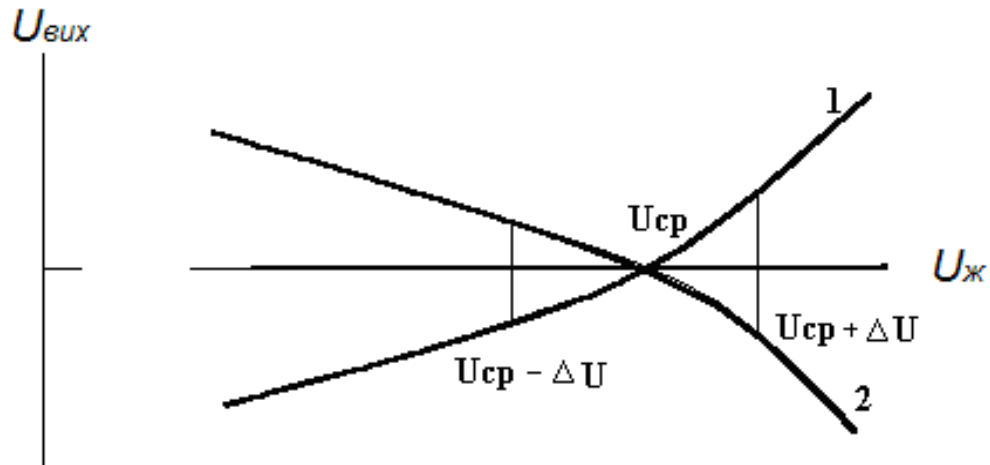


Рис. 2.2. Залежність вихідної напруги вимірювального моста від напруги живлення: 1 – при $R_p > R_k$; 2 – при $R_k > R_p$ [3].

Реалізувати такий 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 повинне бути таким, щоб вольтамперні характеристики робочого і порівняльного елемента збігалися або перетиналися як мінімум в двох точках (рис. 2.3).

В подальшому [4,5] було показано, 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. Однак, незважаючи на те, що при виготовленні термокаталітичних сенсорів неможливо забезпечити абсолютно ідентичні параметри термоелементів в термогрупі, є можливість максимально наблизити характеристики чутливих елементів в робочій зоні і досягти того щоб при зменшенні струму що проходить через елементи до певного значення не виникало значного зміщення нуля вимірювального моста. [4,5]. Це може можна здійснити через управління вольтамперними характеристиками та їх початкове зміщення.

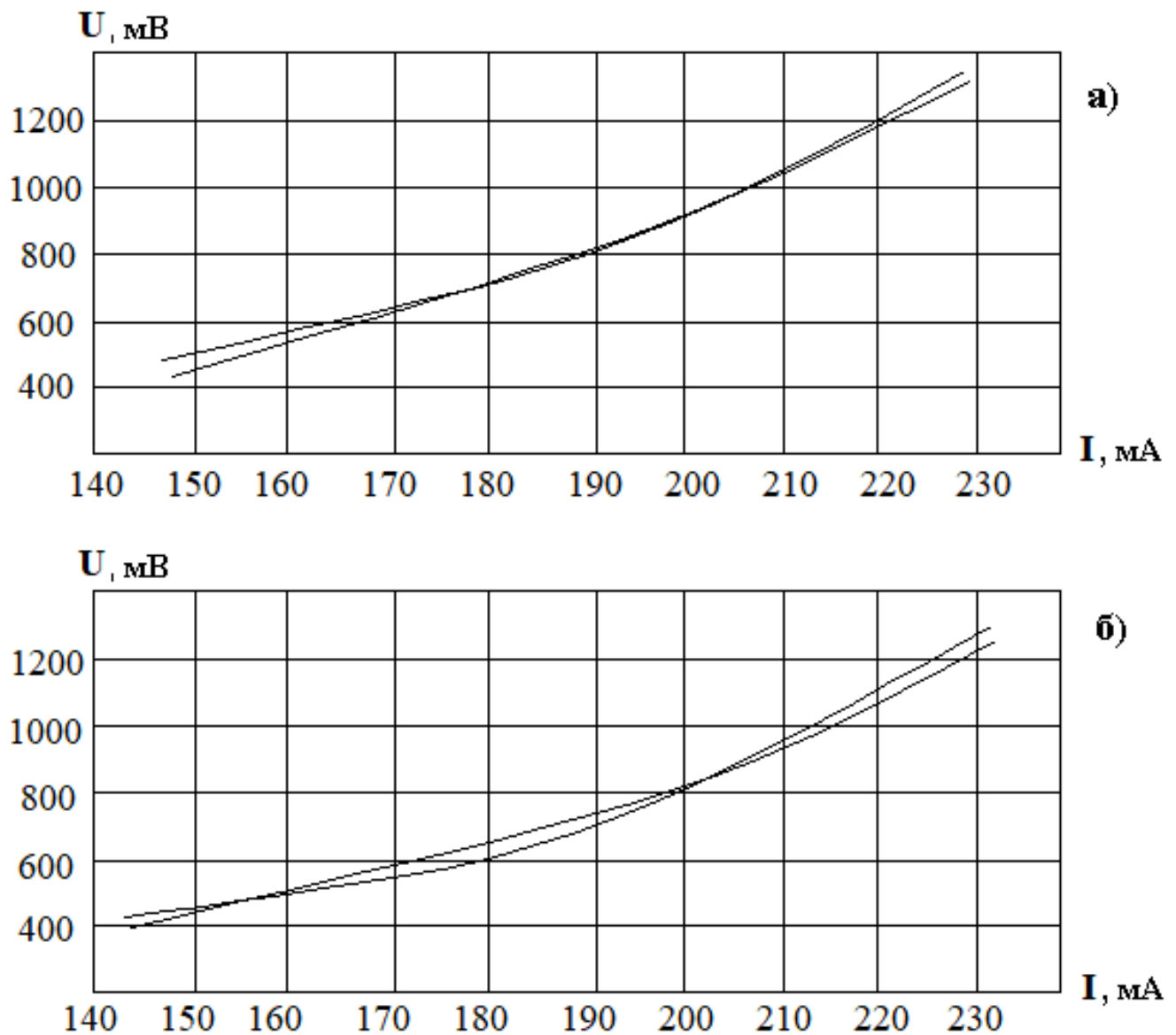


Рис. 2.3. Вольт амперні характеристики термоелементів: а - в реальному вимірювальному мості; б – при пересічні в двох точках

Для цього було розроблено схему оригінальну схему вимірювального моста (рис. 2.4) та методику його налаштування [4], яка передбачала багаторазове виконання операцій зі зміщення нуля моста і зміни опору резисторів, підключених паралельно до термоелементів. Це дозволяло досягти такого стану моста, за якого при зменшенні струму через термоелементи не спостерігалось значного зсуву нуля вимірювального моста.

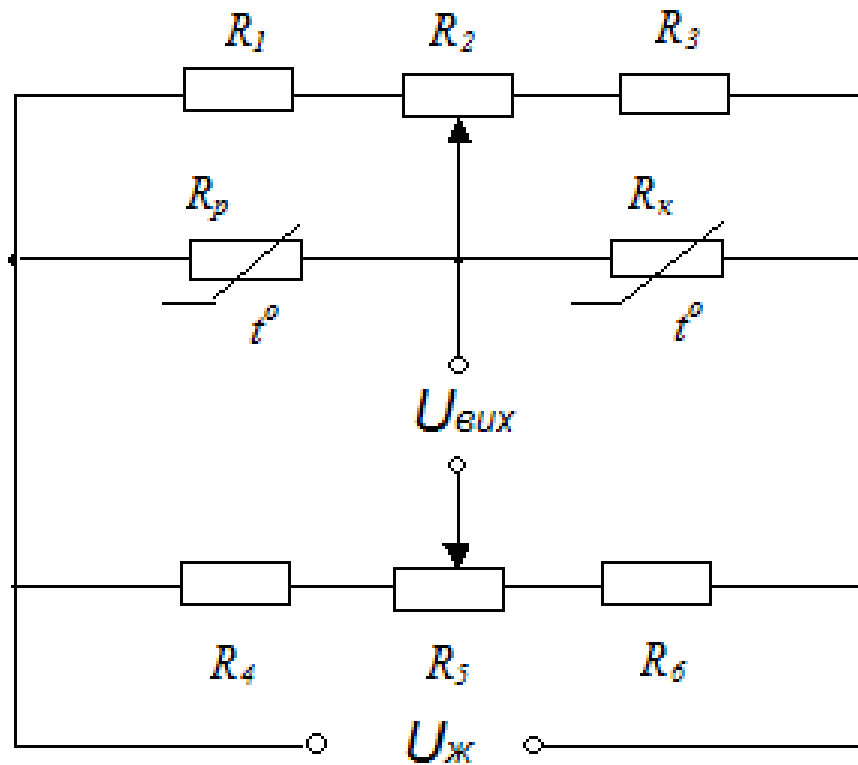


Рис. 2.4. Схема вимірювального моста з можливістю управління характеристиками гілок моста з термоелементами

Введення резисторного ланцюжка, що шунтує термоелементи, при певному підборі величин опору шунтів дозволяє вирівняти крутизну вольтамперних характеристик термоелементів. Оскільки при зміні опорів шунтуючих елементів відбувається також розбаланс моста, було розроблено відносно простий спосіб балансування запропонованої схеми включення [4]. В якості параметра, при змінах якого здійснювалось балансування, було взято напругу живлення вимірювального моста, а балансування здійснювалось при низькочастотній модуляції напруги, причому глибину модуляції вибирали з урахуванням можливих коливань факторів, що впливають на аналізатор, приведених до коливання напруги. Частоту модуляції вибирали з урахуванням інерційних властивостей термогрупи в діапазоні від 0,1 до 0,2 Гц.

При подачі на вимірювальний міст напруги, модульованої низькою частотою (рис. 2.5), на виході незбалансованого моста спостерігається модульована тією ж

частотою напруга (крива 1, рис. 2.6), величина амплітуди якої визначається ступенем невірноваженості моста.

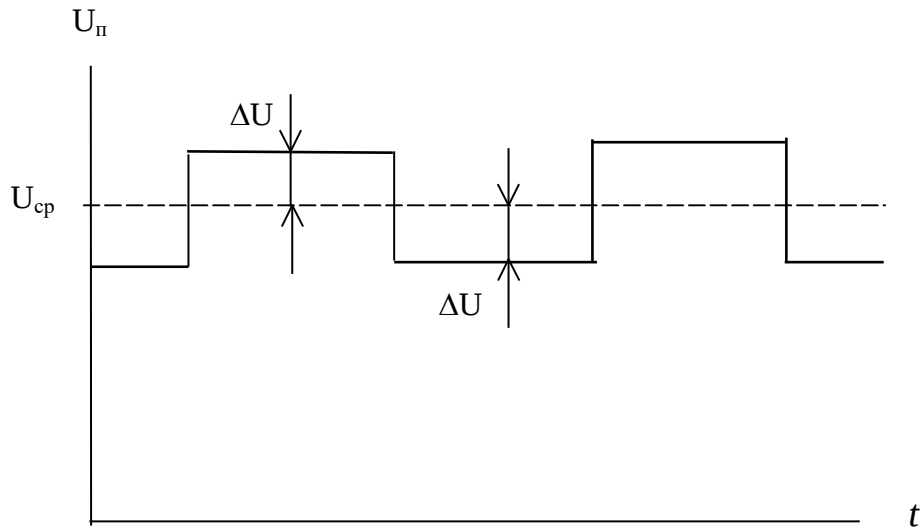


Рис.2.5. Напруга живлення моста при його балансуванні

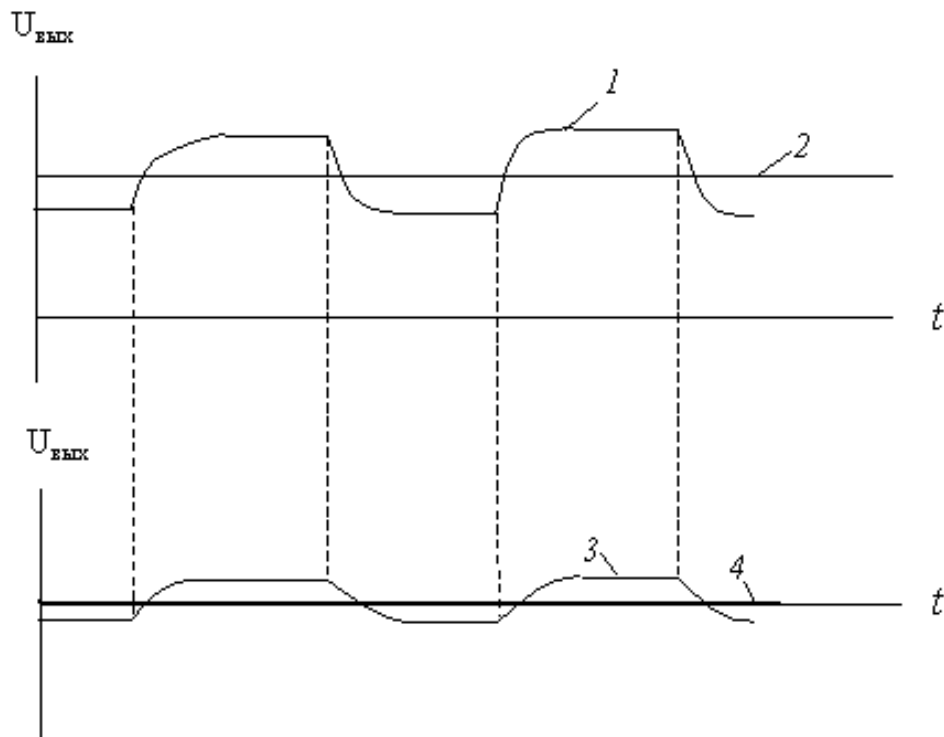


Рис. 2.6. Вихідна напруга моста при його балансуванні

Балансування моста здійснюється наступним чином: спочатку резистор R_2 (рис.4) встановлюють в положення, при якому відсутня низькочастотна модуляція

вихідної напруги вимірювального моста (крива 2, рис. 6). Потім резистором R_3 встановлюють середнє значення вихідної напруги моста, що дорівнює нулю. Так як при цьому частково порушуються умови роботи термогрупи, то на виході вимірювального мосту знову спостерігається низькочастотна складова, але з меншою амплітудою коливань (крива 3, рис. 6). Зазначені операції повторюють до повного балансування моста (крива 4, рис. 6), для чого зазвичай потрібно 3-4 цикли регулювання.

Наведена схема включення термогрупи та запропонований порядок її балансування було досліджено на термогрупах, що серійно випускаються НВО «Червоний металіст» та застосовуються в стаціонарній та переносній апаратурі контролю вмісту метану [7]. Дослідження показали, що таке рішення дозволяє практично повністю виключити зміщення нуля вимірювального моста при коливаннях напруги та інших впливових факторів (рис. 2.7).

Запропонована була також методика балансування моста у шахтних умовах, шляхом зміни величини напруги, що живить термогрупу, за допомогою мікроперемикача.

Однак така процедура балансування виявилася досить тривалою і складною, оскільки вимагала використання додаткових елементів для регулювання крутизни вольт-амперної характеристики (змінних резисторів) та спеціальної підготовки персоналу. Це ускладнило практичну реалізацію запропонованих рішень. До того ж доступ персоналу до елементів налаштування нуля вимірювального моста та регулювання характеристик термоелементів під час експлуатації аналізаторів метану в умовах шахт виявився небажаним. У шахтах були зафіксовані випадки навмисного зміщення нуля в область від'ємних значень концентрацій для відключення системи захисту. Отже, для впровадження даного методу автоматичної діагностики нульових показань газоаналізаторів необхідно усунути процес балансування та унеможливити доступ до елементів регулювання нуля та чутливості пристроїв [7].

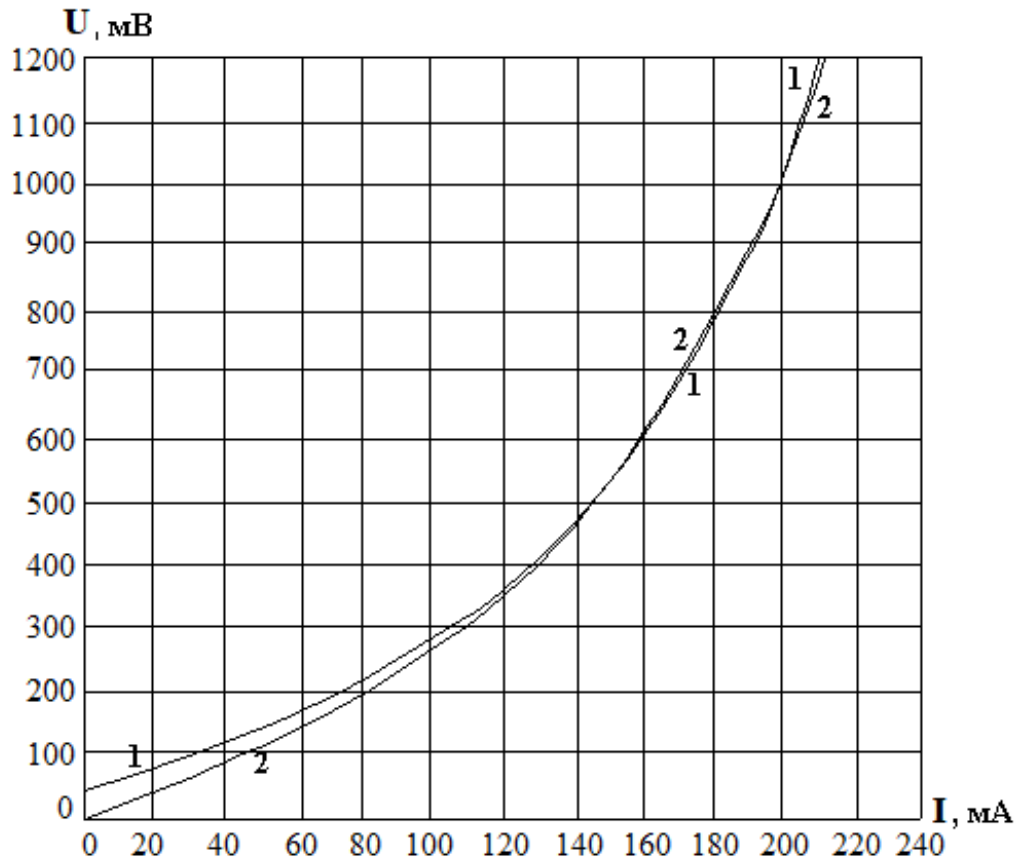


Рис. 2.7. Вольт амперні характеристики гілок моста з термоелементами після балансування[5].

Відомий також метод діагностики та коригування зміщення нуля вихідного сигналу моста аналізаторів метану шляхом послідовної подачі до чутливих елементів атестованих газових сумішей з відомою концентрацією метану, наприклад 0,5об.% CH_4 , 0,75об.% CH_4 та 1,0об.% CH_4 , з наступним програмним розрахунком вихідної характеристики аналізатора та величини зміщення нуля із наступним коригуванням показань з врахуванням визначеного зміщення [8, 9, 10]. Таке коригування реалізоване в аналізаторах метану вбудованих в індивідуальний світильник шахтарів [11]. Процедура коригування здійснюється періодично на спеціальному стенді на поверхні шахти перед видачею світильників. Така програмне коригування нуля дозволяє вітмовитися від ручного доступу до елементів регулювання нуля вимірювального моста.

Очевидно, що такий підхід до коригування нуля аналізаторів не може бути використаний для стаціонарних датчиків контролю метану в системі вибухознахисту.

2.2. Дослідження рішень в області контролю чутливості датчиків стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану

Сучасні мікропроцесорні засоби обробки інформації широко впроваджуються в пристрої для контролю та управління машинами, механізмами і технологічними процесами. Це не лише підвищує якісні характеристики та надійність таких пристроїв, але й відкриває можливість реалізації принципово нових функцій, зокрема в області автоматичної діагностики їхнього стану. Сьогодні системи автоматичної діагностики активно розробляються та застосовуються в різних сферах — від складних об'єктів, таких як енергоблоки атомних електростанцій [12], до побутових пристроїв [13].

Останнім часом системи автоматичної діагностики почали впроваджуватися і в гірничодобувній галузі, зокрема для моніторингу технічного стану конвеєрів тощо [14, 15]. Проте, навіть із впровадженням таких систем на гірничих підприємствах, діагностика чутливості стаціонарних аналізаторів метану досі виконується вручну. Працівники шахт вручну перевіряють чутливість цих пристроїв, подаючи до їхніх виносних датчиків атестовані суміші метану та повітря із балонів з попередньо відомою концентрацією. Автоматизувати цей процес наразі складно.

Питання автоматизації контролю чутливості термокаталітичних датчиків аналізаторів метану було розглянуто в дослідженні [16]. Автори запропонували здійснювати діагностику шляхом аналізу відносного значення зміни амплітуди сплеску вихідної напруги вимірювального моста після паузи визначеної тривалості. У період паузи зменшується величина струму через чутливі елементи і вимірювальний міст працює в режимі, за якого на робочому елементі не відбувається окислення метану.

За умови контролю довибухових концентрацій метану термokatалітичним датчиком, коли лімітуючим агентом у метаноповітряній суміші є метан, а перебіг реакції окислення метану на робочому елементі здійснюється в дифузійній області, потік метану до поверхні каталітично активного елемента лінійно залежить від концентрації метану в реакційній камері та ефективної провідності елемента [17], тобто

$$Q_m = \gamma_e C_{mk}, \quad (2.1)$$

де $\gamma_e = 10^{-2} K_{ef} \beta_m F_e$ – ефективна дифузійна провідність каталітично активного елемента, м³/с; C_{mk} – концентрація метану в реакційній камері, кг/м³; K_{ef} – коефіцієнт ефективності окислення метану; β_m – коефіцієнт масопередачі, м/с; F_e – площа поверхні елемента, м².

Концентрація метану в малогабаритній реакційній камері, виготовленій з пористої кераміки або металокераміки де розміщені термоелементи, пов'язується з концентрацією метану в навколишньому середовищі C_{ma} через співвідношення [13].

$$C_{mk} = \kappa_m C_{ma} = C_{ma} \frac{\gamma_\phi}{\gamma_e + \gamma_\phi}, \quad (2.2)$$

де $\kappa_m = \gamma_\phi / (\gamma_e + \gamma_\phi)$ – коефіцієнт передачі датчика за концентрацією; γ_ϕ – дифузійна провідність пористого керамічного або металокерамічного фільтра, м³/с.

За постійних параметрів живлення термоелементів датчика ефективна дифузійна провідність однозначно визначає активність робочого елемента. Зміна параметрів джерела живлення змінює ефективну дифузійну провідність елемента і, відповідно, концентрацію метану в реакційній камері.

Сутність запропонованого в [16] метода діагностики активності робочого елемента шляхом керування режимом живлення термоелементів полягає в тому, що за час, коли напругу живлення термokatалітичного датчика знижують до величини, за якої температура початкового розігріву каталітично активного

елемента є недостатньою для протікання окислення метану на його поверхні, в реакційній камері не відбувається вигорання метану, тому після паузи його концентрація в камері буде значно вищою, ніж до паузи. Після розігріву робочого елемента та відновлення процесу горіння метану до встановлення стаціонарного режиму вихідна напруга вимірювального моста буде більшою, ніж до паузи.

Протягом паузи тривалістю t відбувається зміна концентрації метану в камері зі швидкістю

$$\frac{dC_{mk}}{dt} = \frac{\gamma_{\phi}}{V_p} (C_{ma} - C_{mk}), \quad (2.3)$$

де V_p – об'єм реакційної камери, м^3 .

Рішення рівняння (2.3) з урахуванням початкових умов має вигляд:

$$C_{mk} = C_{mko} + (C_{ma} - C_{mko}) \left[1 - \exp\left(-\frac{\gamma_{\phi}}{V_p} t\right) \right]. \quad (2.3)$$

Експериментально визначені значення ефективної дифузійної провідності робочого термоелемента, дифузійної провідності металокерамічного фільтру та об'єму реакційної камери серійного датчика аналізаторів метану АТЗ-1 [12] складають близько $\gamma_e = 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$, $\gamma_{\phi} = 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$, $V_p = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$. Аналіз виразу (2.3) показує, що при таких значеннях параметрів за тривалості паузи до 20 с концентрація метану в реакційній камері практично досягне концентрації метану у навколишньому атмосфері, тобто $C_{mk} = C_{ma}$.

Наявність вищої концентрації метану в камері після паузи призводить до початкового сплеску вихідної напруги моста, нормоване значення якого буде:

$$\frac{\Delta U_{вих}}{U_{вих.о.}} = \frac{C_{mk} - C_{mko}}{C_{mko}}. \quad (2.4)$$

З врахуванням виразу (2.2) маємо

$$\frac{\Delta U_{вих}}{U_{вих.о.}} = \frac{\gamma_{\phi} + \gamma_e}{\gamma_{\phi}}. \quad (2.5)$$

Таким чином, при значній тривалості паузи і стабільній концентрації метану нормоване значення сплеску вихідної напруги моста після паузи однозначно не характеризує каталітичну активність елемента, а залежить від відношення сумарної провідності елемента і фільтра до дифузійної провідності фільтра, яка може змінюватися в процесі експлуатації внаслідок забруднення фільтра пилом.

За незначної тривалості паузи (до 2 с) вираз (2.3) можна подати у вигляді лінійної залежності [16]

$$C_{mk} = C_{mko} + (C_{ma} - C_{mko}) \frac{\gamma_{\phi}}{V_p} t \quad (2.6)$$

Тоді, враховуючи (2.4), нормалізоване значення стрибка вихідної напруги моста після короткої паузи можна визначити як

$$\frac{\Delta U_{вих}}{U_{вих.о.}} = \frac{\gamma_{\phi} t}{V_p} \quad (2.7)$$

На перший погляд за незначної тривалості паузи, нормоване значення сплеску вихідної напруги моста однозначно визначає каталітичну активність елемента і це дозволяє використати цей метод для контролю чутливості датчиків стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану. Проте експериментальна перевірка запропонованого методу діагностики активності робочого термоелемента, яка була виконана на термокаталітичних датчиках, що випускаються, що застосовуються в стаціонарних аналізаторах метану АТ1-1 і АТ3-1 [16], показала, що за малої тривалості паузи сплеск вихідної напруги вимірювального моста незначний, він суттєво спотворений перехідними тепловими процесами, що виникають в результаті охолодження та нагрівання термоелементів. Крім того в результаті пульсацій швидкості повітря, обумовленої турбулентним режимом його руху в гірничих виробках [17], виникають низькочастотні флуктуації вихідного сигналу датчиків, що в свою чергу ускладнює можливість діагностування чутливості за сплеском вихідного сигналу датчика при незначній тривалості паузи.

Дослідження перехідних процесів при обмеженні подачі метаноповітряної суміші до реакційної камери датчика [18] показали, що зменшити вплив

нестабільності дифузійної провідності фільтра на результати оцінки чутливості датчика за значної тривалості паузи можна при використанні запропонованого термокаталітичного датчика з подвійним дифузійним фільтром [20], конструкція якого наведена на рис. 2.8.

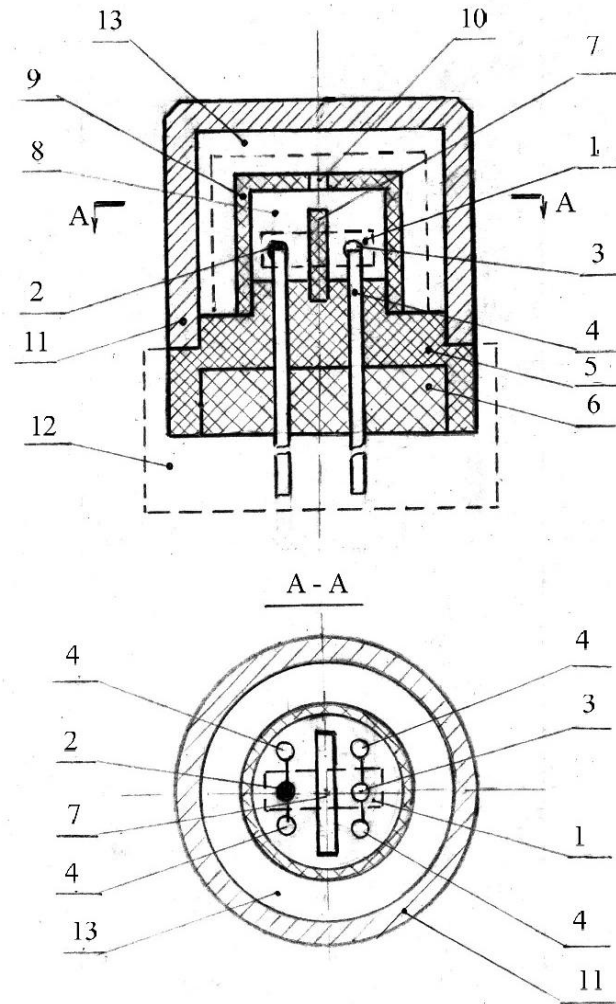


Рис. 2.8. Конструкція датчика з додатковим газодифузійним фільтром [16] :
 1 – чутливі елементи; 2, 3 – каталітично активний та порівняльний елементи; 4 –
 стійки; 5 – основа; 6 – епоксидний компаунд; 7 – екран; 8 – реакційна камера; 9 –
 стакан; 10 – калібрований отвір; 11 – фільтрелемент; 13 – проміжний об'єм

Датчик такої конструкції забезпечив розширення діапазону вимірювання концентрації метану, а також зниження впливу таких факторів, як нестабільність живлення, температура, швидкість газоповітряної суміші та запиленість металокерамічного фільтра, на точність вимірювання. Крім того, він не

пошкоджується при аварійних загазуваннях виробок до вибухонебезпечних концентрацій.

Параметри фільтра і отвору вибирається такими, щоб виконувалась наступна умова

$$\gamma_{отв} \ll \gamma_{\phi} , \quad (2.8)$$

де $\gamma_{отв}$ - дифузійна провідність каліброваного отвору, м³/с.

Тоді, по аналогії з (2.5), при стабільній концентрації метану за значної тривалості паузи нормоване значення сплеску вихідної напруги моста для такого датчика буде

$$\frac{\Delta U_{вих}}{U_{вих.о.}} = \frac{\gamma_{отв} + \gamma_e}{\gamma_{отв}}. \quad (2.9)$$

Характерним для цього випадку є те, що при стабільній незмінній величині дифузійної провідності каліброваного отвору та зазначеному співвідношенні величин дифузійної провідності (2.8) нормоване значення викиду пов'язано з ефективною дифузійною провідністю термоелемента.

Суттєве зниження величини вихідного сигналу при малій дифузійній провідності каліброваного отвору накладає певні обмеження, щодо її величини. Так, при використанні датчика з додатковим газодифузійним фільтром і значенні ефективної дифузійної провідності каталітично активного елемента $\gamma_e = 10^{-7}$ м³/с величину дифузійної провідності каліброваного отвору як правило вибирають не менше $\gamma_{отв} = 0,25 \cdot 10^{-7}$ м³/с [6]. В цьому випадку для виконання умови (2.8) дифузійна провідність фільтра повинна бути на порядок більшою цього значення, що за нормальних умов експлуатації є прийнятним. Проте у випадках суттєвого забруднення фільтрелементу, наприклад в результаті засипання інертним пилом чи заливанні водою при проведенні заходів зі зниження пиловибухонебезпеки дифузійна провідність фільтрелемента суттєво зменшується і в цьому випадку нормоване значення сплеску вихідної напруги моста після паузи буде залежати не лише від каталітичної активності чутливого елементу, а і від дифузійної

провідності фільтрелемента. Така ситуація виникає і в результаті несанкціонованого втручання в роботу систем вибухозахисту, коли шляхом обмеження доступу метаноповітряної суміші до сенсора знижують показання газоаналізатора.

Зважаючи на викладене, доцільно проведення подальших досліджень з пошуку та обґрунтування методів діагностики, які б забезпечили селективний контроль чутливості аналізаторів, випадків забруднення газодифузійних фільтрів та обмеження дифузії метаноповітряної суміші до чутливих елементів датчиків.

2.3. Дослідження існуючих методів виявлення випадків забруднення газодифузійних фільтрів та обмеження дифузії метаноповітряної суміші до чутливих елементів датчиків

У роботі [6] було запропоновано використовувати зміну параметрів живлення термокаталітичних датчиків для обґрунтування методу автоматичного контролю їх чутливості. Згідно з цією методикою, діагностика чутливості аналізаторів може здійснюватися шляхом аналізу перехідних процесів після короткочасного зниження напруги живлення вимірювального моста аналізатора метану до такого значення, за якого на каталітично активному елементі не відбувається процес окислення метану. Такий підхід дозволяє поєднати процеси контролю чутливості термокаталітичних сенсорів із перевіркою їх нульових показань. При цьому оцінку стану забруднення фільтру запропоновано здійснювати виходячи з аналізу зміни вихідної напруги вимірювального моста після короткочасного припинення окислення метану. Діагностичним параметром при цьому є зміна відносного значення максимуму напруги сплеску після відновлення робочого режиму живлення вимірювального моста.

Однак, як зазначено в попередньому розділі, відносне значення максимуму вихідної напруги після паузи тривалістю 20 секунд і більше, що спричинене підвищенням вмісту метану в реакційній камері, залежить не лише від каталітичної активності елемента, а й від дифузійної провідності

металокерамічного фільтра. Унаслідок цього аналіз відносної величини максимуму вихідної напруги не дозволяє однозначно визначити причину змін, оскільки такі зміни можуть виникнути як у випадку зниження каталітичної активності чутливого елемента так через значне забруднення фільтра.

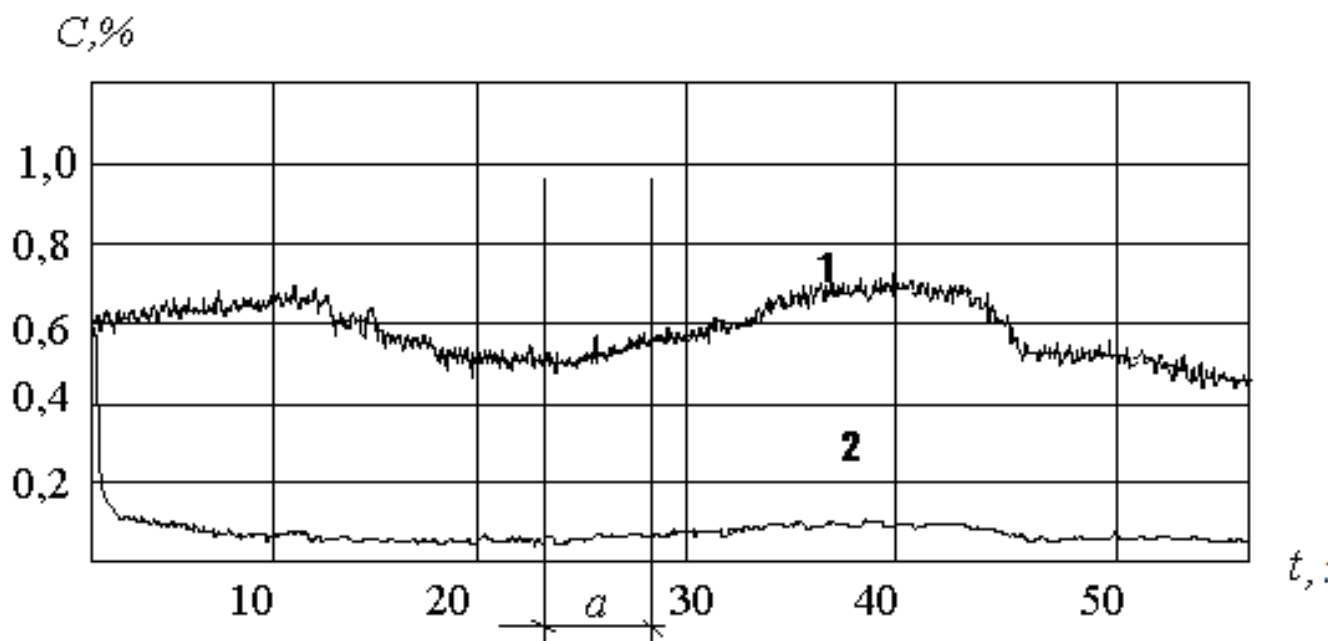
При використанні термокаталітичного датчика з подвійним дифузійним фільтром [20], конструкція якого наведена на рис. 2.8, за умови $\gamma_{отв} \ll \gamma_{\phi}$, зменшується вплив нестабільності дифузійної провідності фільтра на результати вимірювання, а нормоване значення сплеску вихідної напруги моста для такого датчика за нормальних умов експлуатації залежить від каталітичної активності елемента та від величини дифузійної провідності каліброваного отвору (2.6). У випадках суттєвого забруднення фільтр елемента нормоване значення сплеску вихідної напруги моста буде залежати також і від дифузійної провідності фільтрелемента. Тому використання такого методу для контролю забруднення газодифузійних фільтрів можливе лише за наявності селективного контролю чутливості аналізаторів.

Відомі методи виявлення випадків суттєвого забруднення газодифузійних фільтрів та обмеження дифузії метаноповітряної суміші до чутливих елементів датчиків, що полягають в аналізі перехідних процесів, які виникають при раптовій зміні провідності фільтра чи обмеження дифузії метаноповітряної суміші до виносного датчика [6], а також шляхом аналізу змін характеру мікро- та макрофлуктуацій вихідного сигналу аналізатора та зміщення частотної характеристики вихідного сигналу в область нижчих частот [21].

В роботі [6] наведено результати досліджень у шахтних умовах стаціонарних аналізаторів метану при різних видах забруднення фільтроелементів та обмеженні дифузії метаноповітряної суміші до виносного датчика. Дослідження роботи засобів контролю вибухонебезпечності було проведено в умовах шахти ім. Героїв Космосу ВАТ «Павлоградвугілля». При проведенні досліджень, на рівній ділянці гірничої виробки, у місці, де відсутні сильні збурення вентиляційного струменя місцевими опорами (машини, механізми тощо), по ходу вентиляційного струменя послідовно один за одним на незначній

відстані встановлювалися два виносні датчики метану. Один із датчиків був контрольним, а інший - використовувався для вивчення характеру впливу на аналізатори різних видів забруднення фільтроелементів та обмеженні дифузії метаноповітряної суміші до датчика. Датчики підключалися до вимірювальних перетворювачів, сигнали яких виводилися на поверхню і реєструвалися. За цифровими індикаторами блоків ППІ перевірялася ідентичність показань аналізаторів при вимірі ними концентрації метану в гірничій виробці. У разі розбіжності показань по табло на 0,1% проводилася додаткова перевірка та налаштування аналізаторів до усунення розбіжності показань .

На рисунках 2.9 та 2.10 наведено фрагменти спостережень за роботою газоаналізаторів після заливання термокаталітичного датчика водою та після заклеювання отворів у корпусі виносного датчика [6].



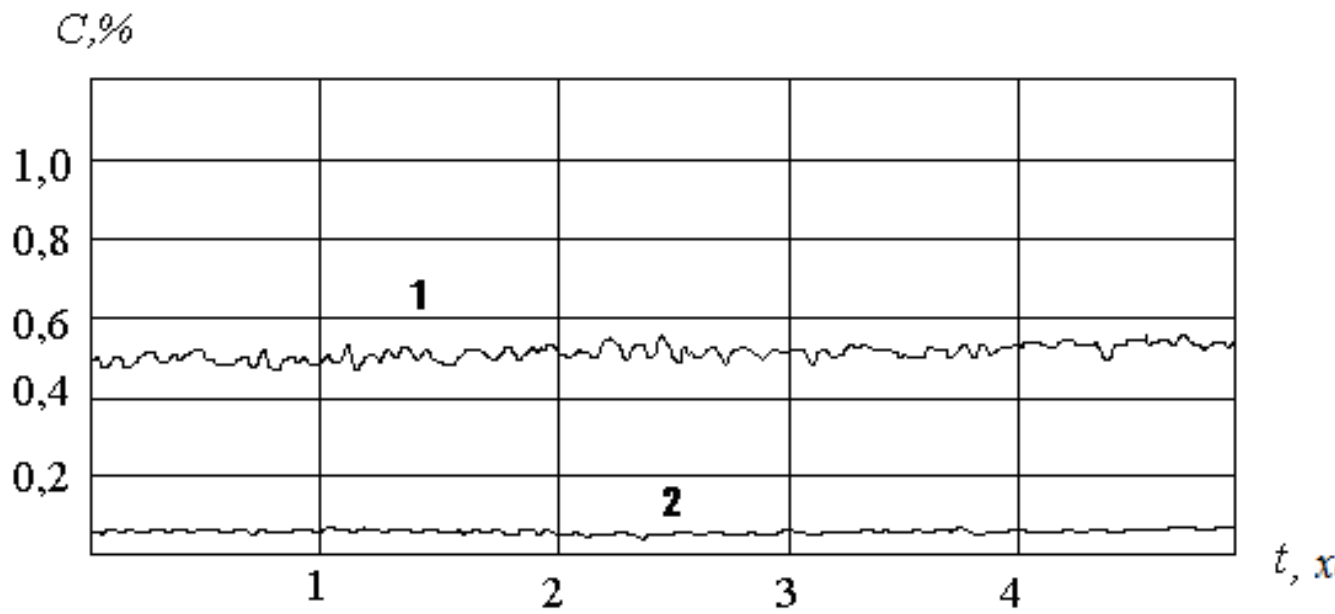
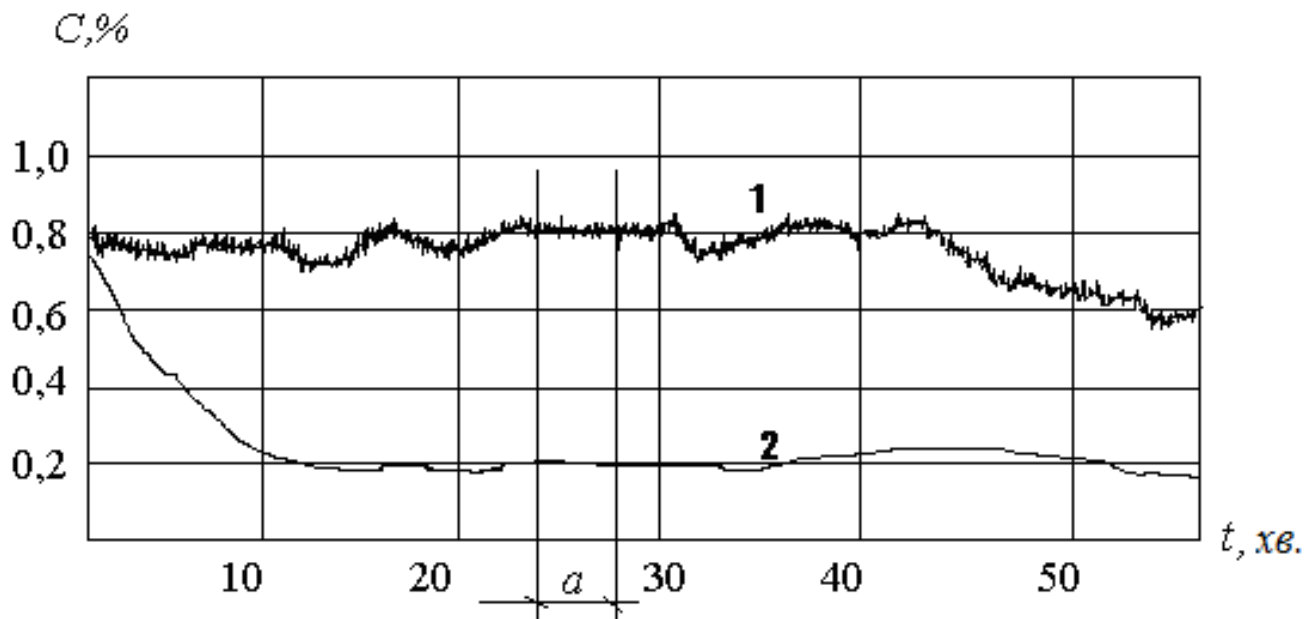


Рис. 2.9. Фрагменти спостережень за роботою газоаналізаторів після заливання термокаталітичного датчика водою: 1 – контрольний газоаналізатор; 2- газоаналізатор після заливання датчика водою [6].



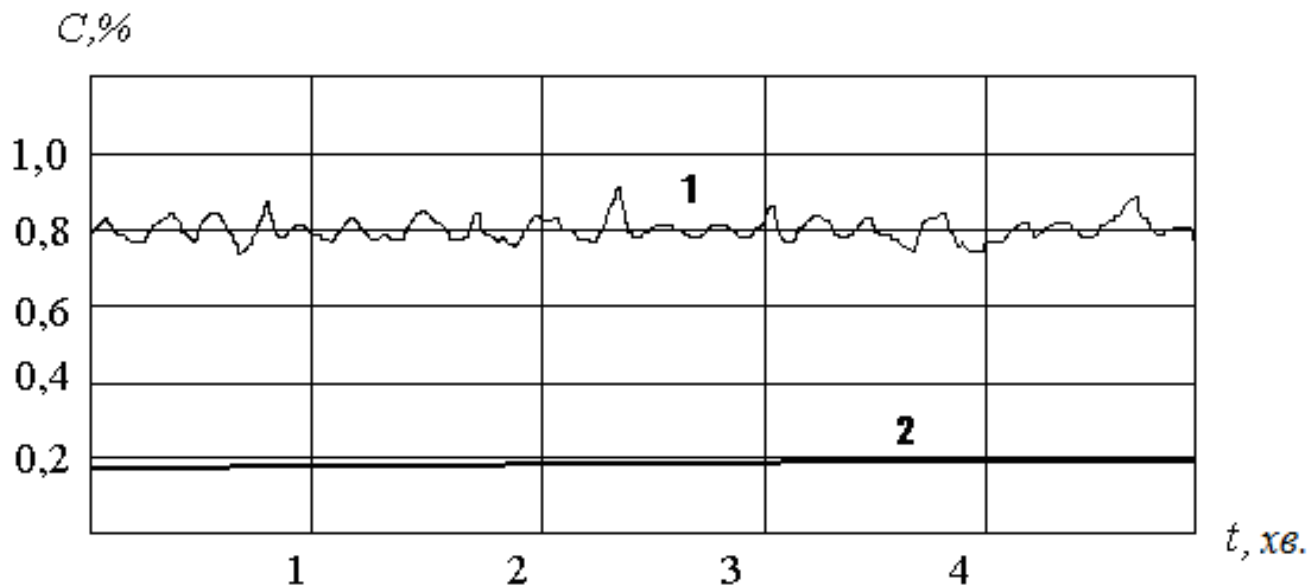


Рис. 2.10. Фрагменти спостережень над роботою газоаналізаторів після заклеювання отворів у корпусі виносного датчика: 1 – контрольний газоаналізатор; 2- газоаналізатор після обмеження подачі суміші [6] .

На всіх рисунках вихідний сигнал контрольного аналізатора позначений цифрою 1, а випробуваного цифрою 2. При заливанні фільтрелемента водою (рис 2.9) тривалий час аналізатор може зовсім не реагувати на наявність метану. Однак, часто не вся площа фільтроелемента виявляється просоченою водою, що характерно при короточасному потраплянні води в виносний датчик метану за умови проведення протипилових заходів. У такому випадку, як показано на рисунку 2.10, на початковому етапі показання тестованого аналізатора швидко суттєво знижуються, а надалі вихідний сигнал аналізатора (крива 2) практично повторює динаміку зміни вихідного сигналу контрольного аналізатора при суттєво меншому його амплітудному значенні [6]. Характерним є також певне зниження відносної величини мікрофлуктуацій вихідного сигналу. У випадку обмеження надходження метаноповітряної суміші до виносного датчика (рис 2.10) характерним є те, що в початковий момент протягом 12 - 15 хвилин показання випробуваного аналізатора знижуються у кілька разів (залежно від ступеню обмеження) і наближаються до нового усталеного значення. Надалі вихідний сигнал аналізатора (крива 2) з деякою затримкою в часі повторює форму

вихідного сигналу контрольного аналізатора (крива 1) з тією відмінністю, що відносна величина флуктуацій сигналу у часі істотно менше флуктуацій контрольного сигналу. Можливе пояснення цьому полягає в зниженні ступеня впливу пульсацій газоповітряного потоку на первинний перетворювач газоаналізатора при додатковій ізоляції внутрішньої порожнини корпусу виносного датчика від потоків, що рухаються [6].

Виходячи з отриманих результатів спостережень за роботою газоаналізаторів після заливання термokatалітичного датчика водою та після заклеювання отворів у корпусі виносного датчика авторами роботи [6] було запропоновано, що для виявлення випадків заливання фільтроелемента та для виявлення впливу води на термokatалітичний датчик можуть використовуватися такі характерні ознаки: різке зниження показань аналізатора за період менше ніж одна хвилина, зменшення відносної амплітуди мікрофлуктуацій вихідного сигналу газоаналізатора, а також подальше стабілізування сигналу на значно нижчому рівні. Для виявлення випадків обмеження надходження метаноповітряної суміші до датчика - характерне плавне зниження показань аналізатора протягом 12 - 15 хвилин, а потім встановлення вихідного сигналу значно меншого рівня. В останньому випадку додатковою ознакою є також суттєве зниження відносного значення флуктуацій вихідної напруги термokatалітичного сенсора.

Проте, як зазначають самі автори [6] різке зниження показань аналізатора за такої постійної часу може траплятися і з інших причин, в тому числі і за звичайного режиму роботи аналізатора, при цьому також може відбуватися і зменшення відносного значення флуктуацій вихідної напруги термokatалітичного сенсора. Тому, для підвищення надійності виявлення випадків суттєвого зменшення дифузійної провідності фільтрелементів термokatалітичного датчика внаслідок заливання водою важливо надалі здійснювати пошук інших, альтернативних рішень. Крім того ці ознаки не дають можливості отримати кількісну оцінку змін і здійснити коригування показань аналізаторів у випадку їх виявлення.

Зміни характеру мікро- та макрофлуктуацій вихідного сигналу аналізатора та зміни частотної характеристики вихідного сигналу, що полягає в її зміщенні більш низькочастотний діапазон, запропоновано використовувати як інформаційні ознаки обмеження надходження метаноповітряної суміші до датчика в роботі [21].

Для встановлення факту обмеження доступу рудникового повітря до датчика:

- визначають середні значення концентрації метану за поточний п'ятихвилинний інтервал часу;
- визначають середні значення вмісту метану у кожному з п'яти п'ятихвилинних інтервалів, перед поточним інтервалом часу;
- визначають середнє значення вмісту метану за п'ять попередніх інтервалів часу;
- визначають середньоквадратичне відхилення поточної концентрації метану від середнього значення концентрації метану за поточний період часу;
- визначають середньоквадратичне відхилення середнього значення концентрації метану за поточний період часу від середнього значення вмісту метану за п'ять попередніх інтервалів часу;
- за величиною відношення середнього значення концентрації за поточний інтервал до значення концентрації за попередні інтервали та відношення відповідних середньоквадратичних відхилень робиться висновок про наявність обмеження доступу контрольованого середовища до датчика.

Випадки обмеження доступу рудникового повітря до датчика також можна визначити шляхом аналізу зміни частоти, яка відповідає піку частотної характеристики вихідного сигналу сенсора [21]. У цьому разі:

- функцію зміни вихідного сигналу сенсору, що пропорційна вмісту метану, виражають у вигляді низки гармонійних функцій;
- обчислюють середні значення частот, що відповідають піку частотної характеристики вихідного сигналу сенсора для кожного з попередніх п'ятихвилинних інтервалів часу, що передують поточному;

- обчислюють середнє значення частоти, яка відповідає максимуму частотної характеристики вихідного сигналу сенсора за п'ять попередніх інтервалів вимірювання;
- визначають середнє значення частоти, що відповідає максимуму частотної характеристики вихідного сигналу аналізатора за поточний інтервал часу;
- визначають відношення середніх значень частот, що відповідають піку частотної характеристики вихідного сигналу сенсора, і робиться висновок про обмеження доступу метаноповітряної суміші до датчиків.

Аналіз змін характеру флуктуацій вихідного сигналу аналізатора та зсув частотної характеристики вихідного сигналу в бік нижчих частот. [21] дає можливість виявити суттєве обмеження доступу контрольованої атмосфери до датчиків, проте ці ознаки не дають можливості отримати кількісну оцінку змін і здійснити коригування показань аналізаторів у випадку їх виявлення.

Зважаючи на викладене, доцільно проведення подальших досліджень з пошуку та обґрунтування методів діагностики, які б забезпечили не лише виявлення випадків забруднення газодифузійних фільтрів та обмеження дифузії метаноповітряної суміші до чутливих елементів датчиків, а і здійснити коригування показань аналізаторів у випадку їх виявлення

2.4. Дослідження рішень спрямованих на забезпечення надійності систем контролю при газодинамічних явищах

Однією з причин вибухів є недостатня швидкодія системи вибухозахисту при раптовому викиді вугілля, породи та газу. Раптові викиди є одним з найбільш небезпечних явищ, що призводить до утворення вибухонебезпечних газових сумішей вміст метану в яких за відносно короткий проміжок часу може досягати 100%, а швидкість його наростання в гірничій виробці іноді становить 5%/с [22].

Зменшення ймовірності вибуху метану забезпечується завдяки підвищенню ймовірності безвідмовного функціонування стаціонарних засобів контролю метану та своєчасного захисного відключення електроживлення [23]. Однак, навіть при безвідмовному функціонуванні засобів контролю метану та аварійного захисного відключення, недостатня швидкодія засобів контролю може бути причиною займання суміші при раптових викидах вугілля, породи та газу.

На сьогодні як в Україні, так і за кордоном накопичено значний досвід розробки та експлуатації засобів автоматичного газового контролю [6]. Нині на шахтах України, що розробляють пласти, небезпечні за раптовими викидами вугілля, в основному, використовують аналізатори метану АТБ, які призначені для безперервного централізованого контролю об'ємної частки метану, а також швидкості її наростання в гірничих виробках шахт, видачі команд на відключення електроживлення контрольованої ділянки при перевищенні допустимих норм об'ємної частки метану і швидкості її наростання. Через часті помилкові спрацьовування за відсутності газодинамічних явищ, застосування цих аналізаторів призводить до необґрунтованих простоїв і суттєвих економічних втрат. Крім того існуюча швидкодіюча апаратура для шахт, що розробляють пласти, небезпечні за раптовими газодинамічними явищами, не повністю відповідає вимогам [24]. Зважаючи на це питання пошуку нових підходів до розробки системи швидкодіючого вибухозахисту залишається відкритим, а для запобігання вибухам метаноповітряної суміші, необхідно проведення подальших

досліджень, спрямованих як на підвищення надійності засобів контролю метану, так і на збільшення їх швидкодії.

Аналіз існуючих методів контролю вмісту метану, показав, що найбільша швидкодія засобів газового контролю може бути забезпечена при застосуванні оптичного абсорбційного методу.

Однак одним з недоліків цього методу є значний вплив на результати вимірювання температури, тиску, вологості та різних газових домішок. Суттєвим фактором, який стримує застосування цього методу вимірювання, є висока запиленість рудничного повітря в місці встановлення аналізаторів.

Виконані останнім часом дослідження оптичного методу дозволили розробити на основі цього методу достатньо чутливі малогабаритні датчики метану [25, 26, 27]. В якості фільтру в цих датчиках використовується металева сітка, усередині якої знаходиться вимірювальний оптичний канал. При товщині металевих дротів 0,1 мм та площі отворів фільтру 0,01 мм² постійна часу складає біля 1 с. В експериментальних зразках аналізаторів метану, заснованих на оптичному адсорбційному методі, було покращено динамічні показники аналізаторів програмними методами [27] та частково компенсований вплив зазначених чинників на результати вимірювання, у тому числі і запиленості [25]. Проте це призводить до суттєвого ускладнення аналізаторів, в тому числі потребує використання додаткових оптичних датчиків, зі зміненими спектральними характеристиками. Крім того донині не досліджені питання автоматичної діагностики стану аналізаторів метану заснованих на оптичному адсорбційному методі.

Нині практично всі аналізатори метану, що використовуються в системах автоматичного газового захисту, ґрунтуються на відносно інерційному термокаталітичному методі вимірювання [6]. Це пояснюється високою вибірковістю термокаталітичних сенсорів, та незначним впливом на їх роботу можливих змін у газовому складі повітря та його вологості, пилу, температури та інших чинників. Дослідження цього методу та термокаталітичних засобів

контролю метану значно підвищили надійність і стабільність роботи таких газоаналізаторів.

Крім того, особливістю термокаталітичних датчиків є можливість керувати їх роботою шляхом зміни параметрів живлення датчиків, що при застосуванні сучасних мікропроцесорних засобів дозволяє здійснювати комп'ютерну діагностику працездатності засобів контролю та систем захисного відключення.

За рахунок удосконалення конструкції датчиків, мінімізації розмірів чутливих елементів поліпшено динамічні характеристики. Зменшення постійного часу термокаталітичних датчиків та використання додаткових інформаційних ознак дозволило певною мірою підвищити швидкодію апаратури газового контролю [6], але остаточно це питання не вирішено.

Очевидно, що найвища швидкодія оптичного датчика може бути забезпечена при встановленні джерел та приймачів випромінювання безпосередньо в аналізованому газовому потоці. Однак у цьому випадку на джерело та приймач випромінювання інтенсивно осаджується пил, що призводить до значних похибок виміру та в кінцевому підсумку до порушення працездатності аналізаторів. Враховуючи те, що датчики швидкодіючої апаратури газового контролю встановлюються в місцях інтенсивного відкладення пилу (привибійний простір підготовчих виробок і місця сполучення очисних і підготовчих виробок), де концентрація пилу може досягати 500 мг/м^3 і більше, процес накопичення пилу на незахищених елементах може протікати досить інтенсивно, що практично виключає застосування незахищених від осадження пилу чутливих елементів. Наявність елементів захисту, з одного боку, збільшує постійну часу датчиків, з другого – ускладнює процес їх періодичного обслуговування. Все це обумовлює те, що до цього часу не вдалося створити надійні, швидкодіючі засоби газового контролю з використанням методу оптичного вимірювання. Альтернативним вирішенням питання може бути створення аналізаторів метану, в яких одночасно використовуються два датчики: основний – термокаталітичний та допоміжний малоінерційний – оптичний [28].

Структурна схема такого варіанту виконання апаратури газового контролю з використанням двох датчиків метану наведено на рис. 2.11. В цьому аналізаторі високостабільний та відносно інерційний термокаталітичний датчик є основним, вихідний сигнал якого використовується для формування сигналу телевимірювання, сигналу на відключення електроенергії та коригування вихідного сигналу малоінерційного оптичного датчика, який в свою чергу забезпечує видачу сигналу на відключення електроенергії при досягненні неприпустимої концентрації метану та при неприпустимій швидкості зміни концентрації метану.

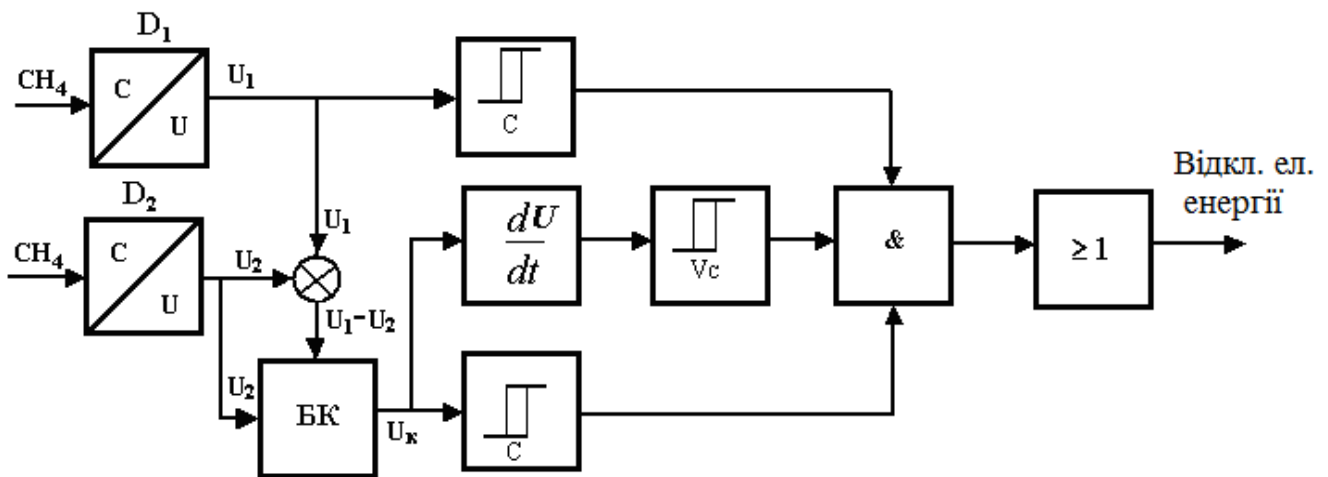


Рис. 2.11. Структурна схема швидкодіючого аналізатора метану [25]

Недоліком такого рішення є те, що в процесі накопичення пилу на елементах оптичного датчика змінюються не тільки його показання, а і чутливість датчика. Коригування вихідного сигналу оптичного датчика не дозволяє компенсувати зміну його чутливості, що в певних умовах може призвести до несвоєчасного спрацювання захисту.

Зважаючи на викладене доцільно проведення подальших досліджень з пошуку та обґрунтування рішень спрямованих на поліпшення динамічних характеристик системи вибухозахисту, які б забезпечили своєчасне спрацювання засобів захисного відключення, їх працездатність в складних умовах вугільних

шахт, а також можливість діагностики їх стану системою комп'ютерного моніторингу засобів контролю вмісту метану.

Висновки до розділу 2

Виконаний аналіз досліджень в області діагностики стану засобів контролю вибухонебезпечності вугільних шахт дозволяє зробити наступні висновки:

1. При застосуванні відомого методу діагностики нульових показань аналізаторів метану, термогрупу газоаналізатора короткочасно переводять у такий режим роботи, за якого на каталітично активному елементі не відбувається окислення метану. При цьому із-за неможливості забезпечити ідентичні параметри термоелементів в термогрупі [1], зниження струму через елементи завжди призводить до суттєвого зсуву нуля вимірювального моста, що не дозволяє використати цей метод в системі комп'ютерного моніторингу вибухонебезпечності. Забезпечити ідентичність вольтамперних характеристик гілок вимірювального моста з чутливими елементами, можна шляхом його балансування [4], однак процедура балансування є довготривалою та складною, необхідно вводити додаткові елементів до вимірювального моста для управління крутизною вольтамперних характеристик (перемінні резистори) та здійснювати спеціальну підготовку персоналу. Все це, а також недоцільністю надання права доступу персоналу до елементів регулювання нуля мостової вимірювальної схеми, та зміни вольт амперних характеристик термоелементів під час експлуатації газоаналізаторів в шахтних умовах, створює додаткові труднощі і не дає можливості реалізувати запропоновані рішення в системі комп'ютерного моніторингу. Метод діагностики та коригування зміщення нуля вихідного сигналу моста аналізаторів метану шляхом послідовної подачі до чутливих елементів атестованих газових сумішей з відомою концентрацією метану [11], потребує постійного залучення персоналу до обслуговування аналізаторів, і є неприйнятним для використання в системі комп'ютерного моніторингу.

2. Аналіз відомого методу контролю чутливості датчиків стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану, що полягає в оцінці зміни відносного

значення піку вихідної напруги вимірювального моста після того, як короткочасно вимірювальний міст аналізатора переводиться в режим роботи за якого на каталітично активному елементі термокаталітичного сенсора не відбувається окислення метану [16], показав, що за значної тривалості паузи і стабільної концентрації метану нормоване значення сплеску вихідної напруги моста після паузи однозначно не характеризує каталітичну активність елемента, а залежить від відношення сумарної провідності елемента і фільтра до дифузійної провідності фільтра. За незначної тривалості паузи сплеск вихідної напруги вимірювального моста незначний, він суттєво спотворений перехідними тепловими процесами, що виникають в результаті охолодження та нагрівання термоелементів. Крім того в результаті пульсацій швидкості повітря, обумовленої турбулентним режимом його руху в гірничих виробках, виникають низькочастотні флуктуації вихідного сигналу датчиків, що в свою чергу не дозволяє діагностувати чутливість за сплеском вихідного сигналу датчика при незначній тривалості паузи. Реалізація цього методу можлива при використанні датчика з подвійним газодифузійним фільтром [16] при використанні якого при малій та стабільній величині дифузійної провідності каліброваного отвору нормоване значення викиду пов'язано з ефективною дифузійною провідністю термоелемента. Проте у випадках суттєвого забруднення фільтрелементу, наприклад в результаті засипання інертним пилом чи заливанні водою при проведенні заходів зі зниження пиловибухонебезпеки нормоване значення сплеску вихідної напруги моста після паузи буде залежати не лише від каталітичної активності чутливого елемента, а і від дифузійної провідності фільтрелемента. Така ситуація виникає і в результаті несанкціонованого втручання в роботу систем вибухозахисту, коли шляхом обмеження доступу метаноповітряної суміші, що обмежує можливість використання цього методу.

3. Досліджена можливість застосування для діагностики забруднення газодифузійних фільтрів відомого методу, що полягає в аналізі змін вихідного сигналу вимірювального моста газоаналізатора після короткочасного зниження струму через термоелементи датчика до значення, при якому припиняється

окислення метану на каталітично активному термоелементі (перехідних процесів) [6]. Встановлено, що нормоване значення піку вихідного сигналу моста після паузи тривалістю понад 20, який виникає внаслідок накопиченням метану в реакційній камері термокаталітичного сенсора, залежить як від каталітичної активності робочого термоелементу і від величини дифузійної провідності фільтр елементу датчика. Тому аналіз зміни амплітуди сплеску вихідної напруги після такої паузи не дозволяє точно визначити причину зміни — чи це спостерігається через зниження чутливості датчика, чи внаслідок забруднення газодифузійного фільтра. Метод, що базується на вивченні змін флуктуацій вихідного сигналу та зсуву спектру флуктуацій сигналу в нижчі частоти [21], дозволяє виявити значні обмеження доступу метаноповітряної суміші до датчиків. Однак за використання цього методу неможливо здійснити кількісну оцінку змін, що не дає можливості коригувати показання газоаналізаторів при їх виявленні.

4. Відомий метод спрямований на забезпечення надійності систем контролю при газодинамічних явищах шляхом одночасно використання в аналізаторі двох датчиків серед яких основний – термокаталітичний та допоміжний малоінерційний – оптичний [21], дає можливість суттєво поліпшити динамічні характеристики засобів вибухозахисту. Проте недоліком такого рішення є те, що в процесі накопичення пилу на елементах оптичного датчику змінюються не тільки його показання, а і чутливість. Коригування вихідного сигналу оптичного датчика не дозволяє компенсувати зміну його чутливості, що в певних умовах може призвести до несвоєчасного спрацювання захисного відключення.

5. Зважаючи на викладене доцільно проведення подальших досліджень з пошуку та обґрунтування рішень в області розробки методів та алгоритмів процесу діагностики стану засобів контролю вибухонебезпечності вугільних шахт, які б забезпечили своєчасне спрацювання засобів захисного відключення, їх працездатність в складних умовах вугільних шахт, а також можливість визначення змін параметрів аналізаторів метану та їх коригування шляхом комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт.

Література до розділу 2

1. Голинько В.И., Котляров А.К. К вопросу о контроле работоспособности стационарных анализаторов метана. Збірник наукових праць НГУ. – 2007. – №29. – С. 212-218.
2. Голинько В.И., Белоношко А.В., Белоношко В.В. Контроль взрывоопасности газовых смесей при аварийных загазованиях горных выработок шахт: монографія. – Днепропетровск: НГУ, 2014. – 209 с.
3. Голинько В.И., Белоношко В.В. Совершенствование термодаталитических средств контроля содержания метана / Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. техн. зб. – 2003. – Вип. 70. – С. 92 – 100.
4. Патент України 62861А, МК G01N27/18. Схема включення термодаталітичного датчика і спосіб її балансування / В.В. Білоношко, В.П. Білоношко, В.І. Голінько, А.К. Котляров та ін. // Опубл. 15.12.03 Бюл. №12.
5. Голинько В.И., Котляров А.К. Разработка методов автоматической диагностики средств контроля метана // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сб. научн. тр. – Макеевка-Донбасс: МакНИИ. – 2005. – С. 210-217.
6. Голинько В.И., Котляров А.К. Контроль взрывоопасности среды в горных выработках и оборудовании угольных шахт. Монографія. Днепропетровск: изд-во «Ли́ра», 2010. – 368 с.
7. Алексеев М.О. Голінько О.В. Автоматична діагностика стану стаціонарних термодаталітичних газоаналізаторів // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: ДВНЗ «НГУ», 2018 – № 53 – С. 223-229.
8. Rulin Wang, the Recent Research Method and Main Objective on Coal Mine Methane Sensor, Coal Mine Automation, 4(1998), p. 16-18.
9. Hélène Debeda, Laurent Dulau and other, Development of a reliable methane detector, Sensors and Actuators B, Chemical, 44 (1997), p. 248–256
10. Minming Tong. Dynamic Correction of Nonlinear Characteristic of Thermostatic Methane Detection with Catalytic Sensor, Chinese Journal of Scientific Instrument, 5 (2001), p. 463-465.

11. Zhang Xuhui (2011) Evaluation and Testing of an Intelligent Methane Detecting System Elsevier / Procedia Engineering 15, P. 3843 – 3847
12. O.V. Yefimov, V.L. Kavertsev, T.V. Potanina, T.A. Harkusha, L.I. Tiutiunyk, A.V. Motovilnik. Methods and approaches to simulation, diagnostics, forecasting equipment state and optimization of robot modes of npp power units. Вісник НТУ «ХПІ». 2021, № 1 (1361) – С. 43-47.
13. Купін А.І. Інформаційні моделі автоматичної діагностики побутової техніки у системах типу "Інтелектуальний дім" / А.І. Купін, Д.І. Кузнецов // Вісник Криворізького Національного Університету. - 2016. - Вип. 41. - С. 116-120.
14. Ефіменко Л.І. Принципи побудови автоматизованої системи діагностики технічного стану конвеєра / Л.І. Ефіменко, М.П. Тиханський // Вісник КТУ. - 2010. - Вип. 25. - С. 163-167.
15. Тиханський М.П. Прогнозування працездатності конвеєрної установки / М.П. Тиханський, Л.І. Ефіменко, А.М. Тиханська // Гірничий вісник. - 2019. - Вип. 105. - С. 160-163.
16. Голинько В.И., Котляров А.К. Разработка метода контроля чувствительности термokatалитических датчиков метана // Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2004. Вип. 73. – С. 54-60.
17. Methane from Underground Coal Mines in Ukraine: Elements of Acquisition and Management Processes / V. Holinko, R. Dychkovskyi, A. Dyczko, M. Popczyk. KOMAG Institute of Mining Technology. 2024. 108 s.
18. Котляров А.К. Исследование переходных процессов при ограничении подачи метановоздушной смеси в реакционную камеру датчика / Науковий вісник НГУ. – 2004. – №12. – С. 47-51
19. Голинько В.И., Котляров А.К., Белоножко В.В. Контроль взрывоопасности горных выработок шахт – Д.: Наука и образование, 2004. – 207 с.
20. Патент України 61224А, МК G01N25/22, E21F1/00. Спосіб вимірювання вмісту горючих газів в шахтній атмосфері та пристрій для його реалізації / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько, А.К. Котляров та ін. // Опубл. 17.11.03 Бюл. №11.

21. Котляров А.К., Белоножко В.В. Повышение надежности взрывозащиты горных выработок шахт // 36. наук. праць Дніпродзержинського державного технічного університету. – 2010. - Вип.1(14). – С. 231-235.
22. Брюханов А.М. Научно-технические основы расследования и предотвращения аварий на угольных шахтах. – Донецк: Норд-пресс, 2004. – 347 с.
23. Колосюк А.В., Колосюк В.П. Вибухонебезпека систем електропостачання гірничих машин на шахтах, небезпечних за раптовими викидами вугілля і газу. Монографія // Кременчук: КрНУ імені Михайла Остроградського, 2017. – 178с.
24. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания: ДСТУ ГОСТ 24032:2009. – Действ. от 2009-02-01. – К.: Держспоживстандарт, 2009. – 24 с.
25. Вовна А.В., Зори А.А. Быстродействующий измеритель концентрации метана в рудничной атмосфере угольных шахт / Вісник КНУ ім. Михайла Остроградського. – Кременчук, 2013. – Вип. 6 (83). – С. 114 – 119.
26. Вовна О.В. Підвищення точності оптоелектронного вимірювача концентрації метану вугільних шахт / О.В. Вовна, А.А. Зорі, Р.М. Ахмедов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. «Електроенергетика та перетворювальна техніка» – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 4 (1226) – С. 19 – 24.
27. Вовна О.В. Спосіб компенсації динамічної похибка інфрачервоного вимірювача концентрації метану для вугільних шахт / О.В. Вовна, А.А. Зорі, М.Г. Хламов // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць «Електроенергетика та перетворювальна техніка» – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010 – №12 – С. 65–70.
28. Голинько В.И., Котляров А.К. Повышение быстродействия термодинамических анализаторов метана // Науковий вісник НГУ. – 2009. №.12 С. 55-59.

Розділ 3

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ КОМП'ЮТЕРНОГО
МОНІТОРИНГУ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ**3.1. Розробка методу та алгоритму комп'ютерного моніторингу
нульових показань аналізаторів метану**

Для обґрунтування методу моніторингу нульових показань аналізаторів метану виконаємо аналіз процесу теплових процесів, що відбуваються в однокамерних термокаталітичних датчиках метану. Теоретична залежність напруги як на чутливому, так і на порівняльному термоелементах датчика від величини струму через термоелемент описується наступним чином [1]

$$U_e = I_e R_{ez} + \beta b_e R_{0e} I_e^3. \quad (3.1)$$

де U_e - напруга на термоелементі, В; I_e - струм через термоелемент, А; R_{ez} - опір термоелемента при температурі газу, Ом; β - температурний коефіцієнт опору, $1/^\circ\text{C}$; b_e - терморезистивний коефіцієнт термоелемента, $^\circ\text{C}/\text{A}^2$; R_{0e} - опір термоелемента при 0°C , Ом;

Терморезистивний коефіцієнт визначає взаємозв'язок між електричними, тепловими і геометричними характеристиками термоелемента і є постійною величиною [1]. Опір термоелемента при температурі газу для платиногового резистора визначається відомим виразом

$$R_{ez} = R_{0e} (1 + \beta t_z), \quad (3.2)$$

де t_z – температура газу, $^\circ\text{C}$.

При послідовному включенні робочого і порівняльного термоелементів, виходячи з виразів (1) і (2) напруга на них відповідно становить:

$$U_p = I_e R_{0p} (1 + \beta t_z) + \beta b_p R_{0p} I_e^3, \quad (3.3)$$

$$U_n = I_e R_{0n} (1 + \beta t_z) + \beta b_n R_{0n} I_e^3. \quad (3.4)$$

Реально, при серійному виготовленні термокаталітичних сенсорів, неможливо забезпечити абсолютно однакові вольтамперні характеристики для робочого та порівняльного термоелементів. Тому, за умови використання вимірювального моста з включенням робочого і порівняльного термоелементів у одну гілку цього моста, його нуль встановлюється за допомогою зміни величини опору резисторів у порівняльній гілці моста. Налаштування моста (встановлення нуля) виконується за величини струму через термоелементи, яка відповідає робочому режиму сенсора. У випадку зміни величини струму через елементи, наприклад зменшення до величини, за якої температура попереднього розігріву робочого термоелементу є недостатньою для протікання на ньому реакція окислення метану, через відмінність вольтамперних характеристик термоелементів, нуль вимірювального моста зміщується, що ускладнює можливість здійснення діагностики нульових показань аналізаторів шляхом зміни режиму живлення термокаталітичного сенсора.

Розглянемо можливість реалізації діагностики нуля аналізаторів шляхом зміни режиму живлення термокаталітичного сенсора за умови використанням сучасних технологій збереження та обробки даних. На рисунку 3.1 наведено можливі вольтамперні характеристики робочого та порівняльного термоелементів за відсутності метану в повітрі. Для демонстрації наведено характеристики, які мають суттєві відмінності, хоча насправді зміщення характеристик є значно меншим. Коли струм через термоелементи I_e відповідає робочому режиму сенсора, різниця напруги між ними, яка виникає через неідентичність вольтамперних характеристик елементів, дорівнює ΔU . Виходячи з рівнянь (3) і (4), ця різниця напруги має значення.

$$\Delta U = U_p - U_n = I_e(R_{0p} - R_{0n})(1 + \beta t_z) + \beta I_e^3(b_p R_{0p} - b_n R_{0n}). \quad (3.5)$$

Коли струму знижується до такого рівня I'_e , за якого температура попереднього розігріву робочого термоелементу є недостатньою для протікання на ньому реакція окислення метану, різниця напруги дорівнює

$$\Delta U' = U'_p - U'_n = I'_e(R_{0p} - R_{0n})(1 + \beta t_z) + \beta I_e'^3(b_p R_{0p} - b_n R_{0n}). \quad (3.6)$$

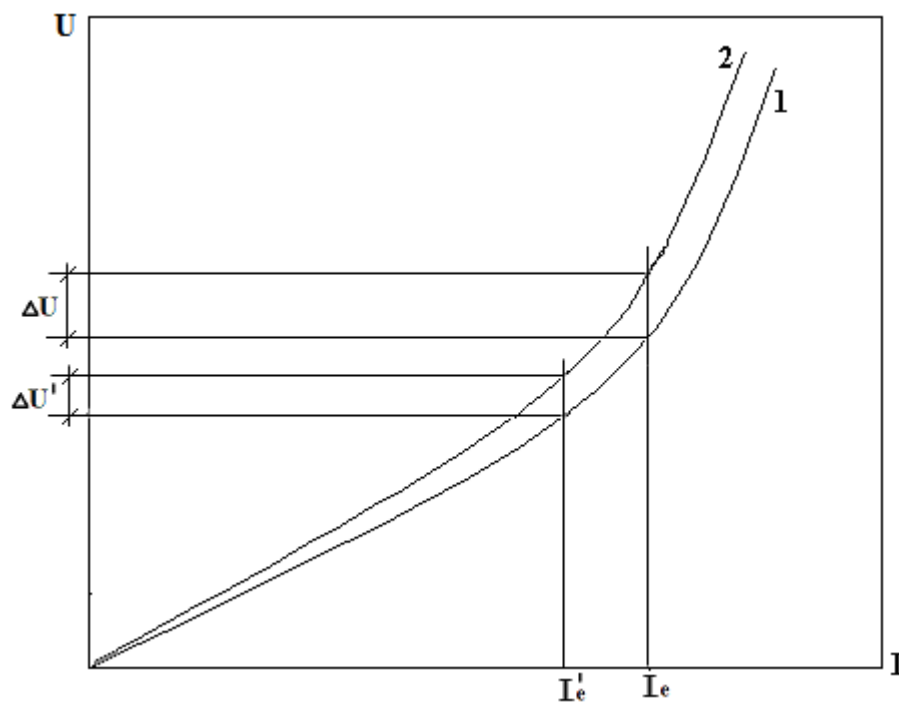


Рис. 3.1. Вольтамперні характеристики термоелементів термодаталітичного сенсора за умови відсутності метану в газовій суміші.

Аналіз виразів (3.5) і (3.6) вказує на те, що зміна ΔU може виникати з різних причин, таких як коливання температури газу, нестабільність опору термоелементів або їх терморезистивних коефіцієнтів. Щодо нестабільності опору термоелементів та їх терморезистивних коефіцієнтів, це може бути наслідком тривалої експлуатації датчиків через накопичення на їх поверхні продуктів термічної деструкції вуглеводнів [2]. Також це може відбуватися через вплив значних імпульсних механічних навантажень, це може призвести до зміщення

термоелементів у реакційній камері або до змін їхніх параметрів (утворення тріщин чи руйнування носія). Подібні навантаження можуть виникати внаслідок випадкових ударів по виносному датчику або падінні датчика при їх просторових переміщеннях [3].

Коливання температури повітря в шахтних умовах здатні виникати внаслідок зміни метеорологічних умов на денній поверхні шахти, зміни режиму роботи вентиляторів головного провітрювання, регулювання та перерозподілу повітря в шахтній вентиляційній мережі. Для забезпечення стабільності нульових показань аналізаторів при зміні температури повітря можна враховувати ці зміни, встановивши в аналізатор метану датчик температури газу. Зниження впливу змін температури повітря на нульові показання аналізаторів можна досягти також за допомогою вибору такого режиму живлення чутливих елементів датчика, що забезпечує незалежність ΔU від температурних змін. Аналіз рівнянь (3.5) та (3.6) показує, що це можна реалізувати шляхом зміни величини струму, який протікає через елементи, таким чином, щоб напруга на порівняльному елементі залишалася стабільною при зміні температури газу. Це, забезпечує стабільність напруги на робочому елементі і незалежність ΔU від температурних коливань і практично гарантує незалежність температурного режиму елементів від температури навколишнього середовища при контролі до вибухових концентрацій метану, що є критично важливим для підтримання сталої чутливості аналізаторів у всьому діапазоні температурних змін середовища [1].

Представимо вирази (3.5) і (3.6) у вигляді

$$\Delta U = I_e a + I_e^3 b, \quad (3.7)$$

$$\Delta U' = I_e' a + I_e'^3 b. \quad (3.8)$$

де $a = (R_{0p} - R_{0n})(1 + \beta t_c)$; $b = \beta(b_p R_{0p} - b_n R_{0n})$.

Так, наявність інформації про величину струму та різницю напруг в робочому режимі та при зниженні струму дозволяє розрахувати значення коефіцієнтів a та b з рівнянь (3.7) та (3.8). Це дає змогу врахувати вплив

нелінійних властивостей термоелементів та забезпечити більш точне визначення параметрів аналізатора метану.

Так, при виборі I'_e на 20% менше ніж I_e , рішення системи рівнянь відносно коефіцієнта a має вигляд

$$a = \frac{\Delta U' - 0,512\Delta U}{0,288} . \quad (3.9)$$

Так, зважаючи на незмінність опорів елементів за нульової температури, коефіцієнт a можна представити у вигляді

$$a = a_0(1 + \beta t_z) \quad (3.10)$$

Відповідно

$$a_0 = \frac{a}{1 + \beta t_z} \quad (3.11)$$

В режимі перевірки нуля газоаналізаторів аналізаторів, на основі значень струму I'_e та $\Delta U'$ з урахуванням розрахованої величини коефіцієнта a , є можливість програмним методом уточнити фактичне значення величини коефіцієнта b , використовуючи рівняння (3.8). Це дає змогу автоматично, на основі рівняння (3.7), не лише перевіряти стабільність нульових показань аналізатора під час експлуатації, але й коригувати їх у разі зміни в межах заздалегідь встановлених значень.

Газоаналізатор з програмним встановленням нуля відрізняється від традиційних аналізаторів тим, що в ньому відсутні фізичні елементи для регулювання "нуля" та встановлення чутливості. Натомість він використовує для цього відповідне програмне забезпечення для автоматичної діагностики нульових показань [4, 5]. Аналізатор має два режими роботи: режим налагодження та робочий режим. Це дозволяє здійснювати перевірку і налаштування аналізатора в режимі налагодження, а потім безперешкодно перейти у робочий режим без втручання оператора. Всі операції з налагодження та перевірки виконуються за допомогою програмного забезпечення аналізатора, що робить цей процес більш ефективним і надійним.

В режимі налагодження за допомогою командою з дисплея аналізатора виносний датчик розміщується в спеціальній компактній камері, яка по черзі заповнюється атмосферним повітрям або атестованою газовою сумішшю, що містить 1,0 %об. метану.

При переході до режиму налагодження:

- подається команда на подачу до датчика чистого повітря;
- визначається величина струму через чутливі термоелементи, і за потреби коригується до заданого номінального значення I_n ;
- з витримкою часу (після закінчення перехідних процесів в датчику) визначається величина напруги на елементах та їх різниця ΔU ;
- зменшується струм, що протікає через чутливі термоелементи, до $0,8I_n$;
- здійснюється перевірка струму через чутливі елементи, і за потреби його значення коригується до $0,8I_n$;
- з витримкою часу (після закінчення перехідних процесів в датчику) визначається величина напруги на елементах при величині струму $0,8I_n$ та їх різниця $\Delta U'$;
- визначається температура повітря;
- розраховуються значення коефіцієнтів a і b в рівняннях та a_0 ;
- подається команда на подачу до датчика атестованої газової суміші;
- здійснюється перевірка струму через чутливі елементи, і при необхідності його значення регулюється до номінального I_n ;
- з витримкою часу (після закінчення перехідних процесів) визначається величина напруги на елементах та їх різниця ΔU_M ;
- визначається чутливість датчика $K_o = \Delta U_M \pm \Delta U$;
- у випадку, коли концентрація метану в атестованій газовій суміші C_a має відхилення від 1 об.%, K_o приводиться до однопроцентної суміші $K_1 = K_o/C_a$;
- значення K_1 заноситься в пам'ять мікроконтролера і характеризує чутливість аналізатора, мВ/%CH₄.

Алгоритм роботи аналізатора в режимі налагодження представлений на рисунку 3.2..

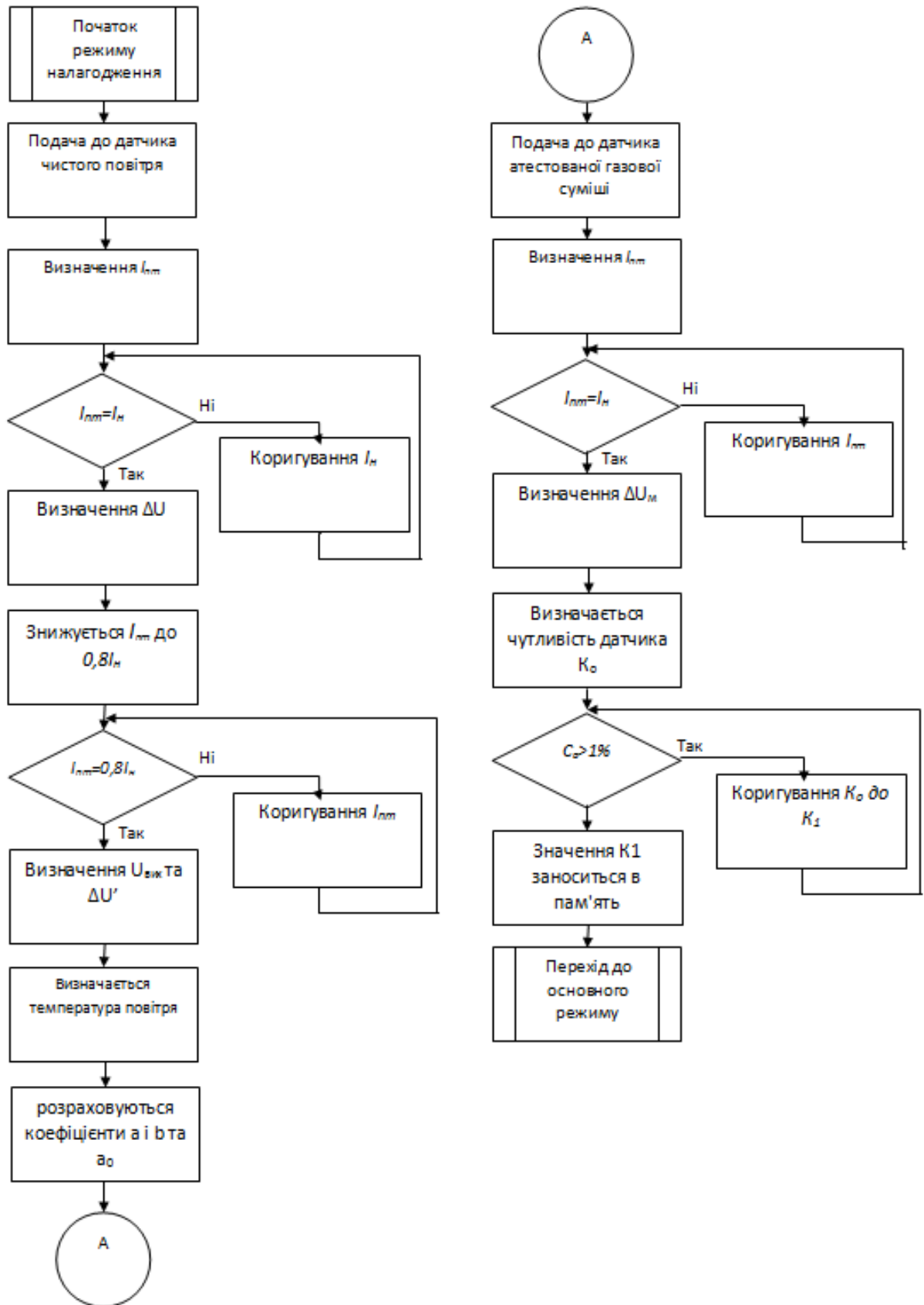


Рис. 3.2. Алгоритм роботи аналізатора режимі налагодження по встановленню вольтамперних характеристик елементів та чутливості аналізатора.

Після завершення роботи програми налагодження аналізатор автоматично переходить до робочого режиму. У цьому режимі безперервно проводяться операції вимірювання напруги на елементах, підтримки встановленого значення напруги на порівняльному елементі, розрахунку різниці напруг між елементами та передачі інформації про вміст метану

В цьому режимі (рис. 3.3):

- визначається величина напруги на порівняльному елементі U_n ;
- перевіряється величина напруги на порівняльному елементі і при необхідності коригується його значення до визначеної при налаштуванні U_{n0} ;
- визначається величина напруги на елементах та їх різниця ΔU_M ;
- розраховується концентрація метану $C = K_1(\Delta U_M \pm \Delta U)$;
- передача даних про концентрацію метану.

За запитом оператора або періодично, відповідно до часу, визначеного програмою роботи аналізатора, та за умови стабільної і безпечної газової ситуації на місці встановлення газоаналізатора, проводиться перевірка та коригування його нульових показань. Алгоритм роботи аналізатора при перевірці нульових показань показано на рисунку 3.4.

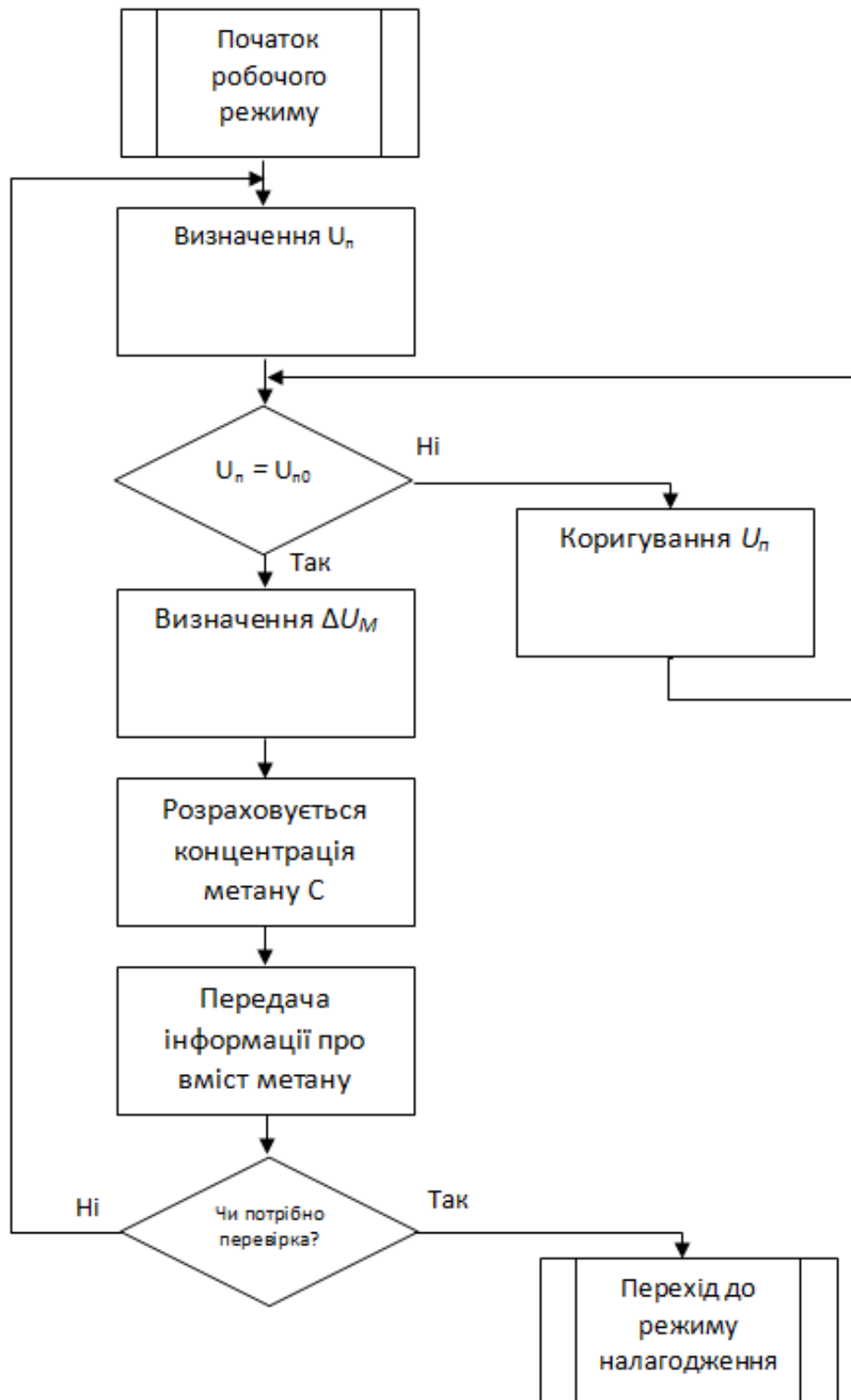


Рис.3.3. Алгоритм робочого режиму

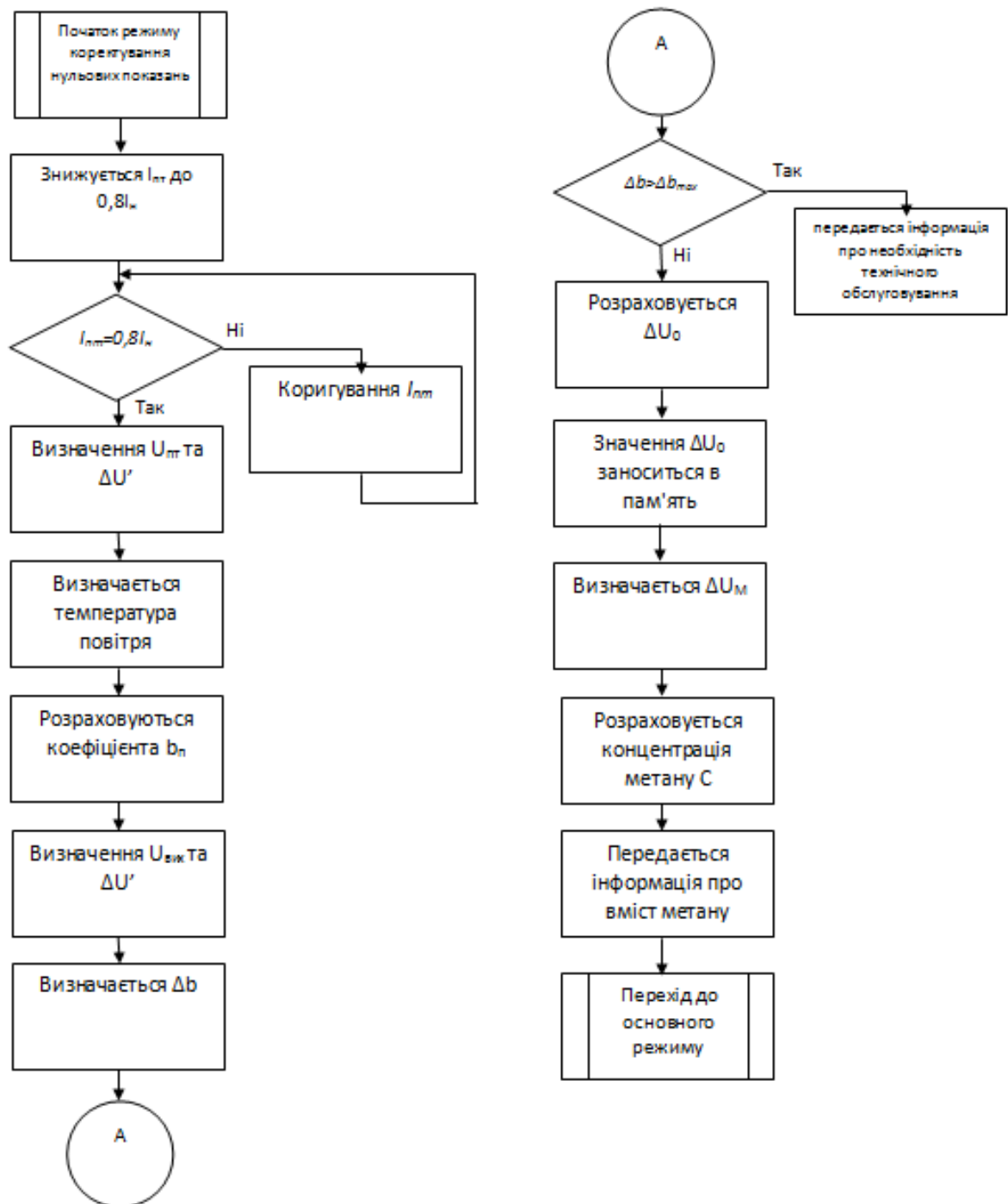


Рис. 3.4. Алгоритм роботи аналізатора при перевірці нульових показань аналізатора

В цьому режимі;

- струм, що проходить через термоелементи, зменшується до $0,8I_n$;
- здійснюється перевірка струму через чутливі елементи, і за необхідності його значення коригується до $0,8I_n$;

- з витримкою часу (після закінчення перехідних процесів в датчику) визначається величина напруги на елементах при величині струму $0,8I_n$ та їх різниця $\Delta U'$;

- визначається температура повітря;

- розраховуються поточне значення коефіцієнта b_n ;

- визначається відхилення поточного значення коефіцієнта b_n від значення коефіцієнта b визначеного при налаштуванні аналізатора $\Delta b = b_n - b$;

- у випадку перевищення величини Δb встановленого максимально допустимого відхилення оператору передається інформація про необхідність його втручання в роботу аналізатора;

- при не перевищенні Δb встановленого максимально допустимого відхилення в іншому випадку розраховується і заноситься в пам'ять корегована величина зміщення нуля аналізатора $\Delta U_0 = I_e a + I_e^3 b$;

- визначається величина напруги на елементах та їх різниця ΔU_M ;

- розраховується концентрація метану $C = K_1(\Delta U_M \pm \Delta U_0)$;

- передається інформація про вміст метану.

Таким чином завдяки використанню сучасних мікропроцесорних технологій обробки даних, є можливість не лише автоматично перевіряти стабільність нульових показників аналізаторів, але й коригувати їх у разі змін. Для реалізації отриманих результатів досліджень було розроблено програмне забезпечення для роботи аналізатора з функцією автоматичної діагностики нульових показників.

3.2. Розробка методу та алгоритму комп'ютерного моніторингу чутливості датчиків стаціонарних аналізаторів метану

При протіканні реакції окиснення метану на каталітично активному елементі датчика в дифузійній області та довибухових його концентраціях потік метану до його поверхні лінійно залежить від вмісту метану в реакційній камері та ефективної дифузійної провідності робочого термоелемента γ_e , яка характеризує чутливість сенсора [6]

$$Q_m = \gamma_e C_{mk}, \quad (3.12)$$

За таких умов вихідна напруга вимірювального моста може бути обчислена за допомогою виразу [7]

$$U_{вих} = \frac{R_{e0} I_e \beta_e Q_{mn} \gamma_e C_{mk}}{2K}, \quad (3.13)$$

де R_{e0} , – опір елемента при нульовій температурі, Ом; I_e – величина струму, що протікає через елементи, А; β_e – температурний коефіцієнт опору елемента, $1/^\circ\text{C}$. K – теплова провідність елемента, $\text{Вт}/^\circ\text{C}$; Q_{mn} – нижча теплота згоряння метану, $\text{Дж}/\text{м}^3$.

У термокаталітичних датчиках метану, зокрема в тих, що застосовуються в стаціонарних газоаналізаторах, термоелементи розташовуються в мініатюрній реакційній камері, яка виконана з пористої кераміки або металокераміки – газообмінного фільтрувального елемента. У цьому випадку потік метану до поверхні каталітично активного елемента датчика можна визначити за формулою [8].

$$Q_m = C_{ma} \gamma_e \gamma_\phi / (\gamma_e + \gamma_\phi) \quad (3.14)$$

де C_{ma} – концентрація метану в атмосфері; γ_ϕ – провідність фільтра, $\text{м}^3/\text{с}$.

З виразів (3.13) та (3.14) можна зробити висновок, що потік метану до каталітично активного елемента та вихідна напруга вимірювального моста при сталому значенні концентрації метану в повітрі залежать від провідності фільтрелемента і властивостей робочого елемента. Зміни цих характеристик можливі через коригування режиму живлення моста, внаслідок впливу оксидів сірки, старіння пристрою, а також накопичення продуктів термічного розкладу вуглеводнів на чутливих елементах чи забруднення фільтрувального елемента.

Для зменшення впливу зазначених чинників на роботу гаоаналізаторів було розроблено покращену модель датчика метану з подвійним дифузійним фільтром [9]. Датчик такої конструкції наведено на рис. 2.8.

В такому датчику потік метану до поверхні робочого термоелемента сенсора визначається наступним чином [10]

$$Q_m = C_{ma} \gamma_e \gamma_f \gamma_{otv} / (\gamma_f \gamma_e + \gamma_e \gamma_{otv} + \gamma_f \gamma_{otv}). \quad (3.15)$$

За умови $\gamma_{otv} \ll \gamma_f$ і $\gamma_{otv} \ll \gamma_e$ кількість метану, що надходить до робочого елемента, практично визначається величиною дифузійного опору каліброваного отвору, і засмічення фільтрелемента а також зміна чутливості робочого елемента термокаталітичного сенсора на вихідну напругу вимірювального моста майже не впливає. Однак виконання цієї умови призводить до суттєвого зниження вихідної напруги моста та збільшення постійної часу датчика. Тому реально вибір γ_{otv} здійснюється в межах від $2\gamma_{otv}$ до $6\gamma_{otv}$. У цьому випадку вихідна напруга вимірювального моста знаходиться в межах від 10 до 4 мВ/% об., а постійна часу датчика не перевищує 15 с [10].

Особливістю датчика з подвійним дифузійним фільтром є те, що вихідна напруга вимірювального моста термокаталітичного датчика в значному діапазоні значення струму через термоелементи практично не залежить від зміни величини струму [10]. Наприклад, на рис. 3.5 показано, експериментально отримані вихідні характеристики датчика з подвійним дифузійним фільтром при вмісті метану в повітрі $C_{ma}=1,02$ об.% [10].

Такий характер залежності вихідної напруги вимірювального моста від струму через термоелементи пояснюється тим, що потік метану, що окислюється на робочому елементі, в основному визначається дифузійним опором отвору. Збільшення струму через елементи, а також ефективної дифузійної провідності робочого елемента спричиняють зростання вихідної напруги вимірювального моста, але одночасно це призводить до зниження концентрації метану в вимірювальній камері. Крім того, при високих температурах розігріву чутливого елемента термокаталітичного датчика суттєво зростає потік тепла, що відводиться від поверхні термоелемента, що викликає додаткове розсіювання енергії при протіканні реакції і зниження реального значення вихідної напруги вимірювального моста [10].

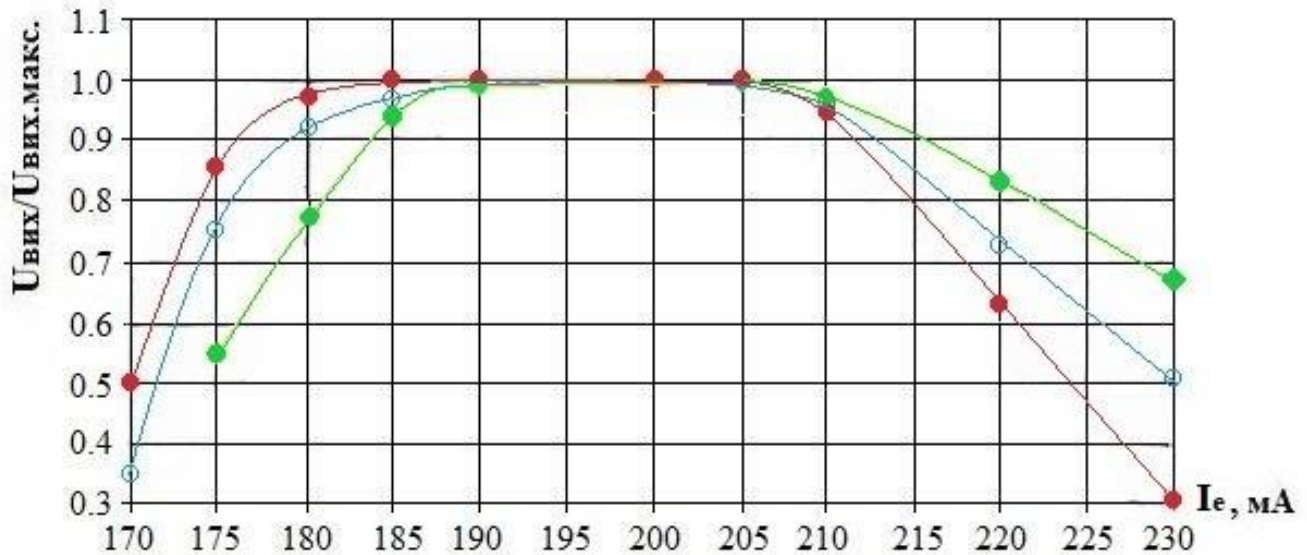


Рис. 3.5. Вихідні характеристики датчика з подвійним дифузійним фільтром ($C=1,02\text{об.}\%$): $\blacklozenge$ - $\gamma_e = 2\gamma_{\text{отв}}$; $\circ$ - $\gamma_e = 4\gamma_{\text{отв}}$; $\bullet$ - $\gamma_e = 6\gamma_{\text{отв}}$ [9]

Режим живлення вимірювального моста встановлюють таким чином, щоб робоча точка потрапляла на горизонтальну ділянку характеристики і при цьому витратах енергії на розігрів термоелементів були по можливості мінімальними. У цьому випадку, при температурі газової суміші 20°C , для датчика з характеристиками, представленими на рис. 3.4, струм через термоелементи дорівнює 190 мА , а напруга на порівняльному термоелементі становить близько 750 мВ .

Згідно з рівнянням (3.15), при сталому значенні $\gamma_{\text{отв}}$ і постійному вмісті метану, зниження ефективної дифузійної провідності робочого елемента з $6\gamma_{\text{отв}}$ до $2\gamma_{\text{отв}}$ супроводжується зменшенням потоку метану до поверхні робочого елемента, що, у свою чергу, призводить до зниження чутливості аналізатора на 20% .

Розглянемо можливість діагностики чутливості термокаталітичного сенсора аналізатора через зміну режиму живлення чутливих елементів. Припустимо, що під час налаштування аналізатора з використанням сертифікованої метаноповітряної суміші з концентрацією метану $C = 1,02\text{ об.}\%$ режим живлення термокаталітичного датчика був обраний так, щоб робоча точка знаходилася на початку плато характеристики (рис. 3.4), що відповідає струму через

термоелементи величиною 190 мА. У початковому стані ефективна дифузійна провідність робочого елемента становила $\gamma_e = 6\gamma_{отв}$. Якщо зменшити струм через термоелементи до 180 мА, то, згідно з характеристиками датчика (рис. 3.5), вихідна напруга вимірювального моста зменшиться на 2%. Проте, якщо ефективна дифузійна провідність робочого елемента знизиться до $\gamma_e = 2\gamma_{отв}$, наприклад, через отруєння каталізатора, такий самий режим зміни струму призведе до зниження вихідної напруги моста на 22%. Таким чином, за умови збереження провідності $\gamma_e = 6\gamma_{отв}$, зміни режиму живлення в зазначених межах практично не впливають на вихідну напругу моста. Натомість зменшення ефективної дифузійної провідності робочого елемента термокаталітичного датчика істотно позначається на вихідній напрузі 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 термокаталітичного датчика 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 впливає як величина струму так і температура газу. Температура елемента t_e в повітрі в загальному випадку можна визначити за виразом [10]

$$t_e = bI_e^2 + t_z, \quad (3.16)$$

де b – терморезистивний коефіцієнт, Ом·°C/Вт; t_z – температура газу, °C.

Терморезистивний коефіцієнт робочого елемента є постійною величиною і для досліджуваних термоелементів пелістерного типу становить приблизно $9 \cdot 10^3$ Ом·°C/Вт. На основі цього, щоб підтримувати стабільний температурний режим термоелементів за умов змін температури газу, величину струму через елементи необхідно коригувати виходячи з наступної залежності

$$I_e = \sqrt{I_{ен}^2 - \frac{1}{b}(t_z - t_{zn})}, \quad (3.17)$$

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

Підтримання стабільного температурного режиму термоелементів у разі зміни температури газу досягається також шляхом вибору такого режиму живлення, який гарантує постійність опору порівняльного елемента. Це забезпечує ефективну компенсацію впливу змін температури навколишнього середовища на роботу аналізатора [11].

На основі викладених принципів нами було розроблено алгоритм та програму роботи аналізатора з функцією автоматичної діагностики нульових показань. Вдосконалення реалізовано на базі мікропроцесора PIC24FJ64GA104 [5] шляхом доповнення програми роботи аналізатора модулем, який дозволяє автоматично діагностувати чутливість термокаталітичного датчика та коригувати показання аналізатора у разі її змін [12].

Сутність діагностики чутливості термокаталітичного датчика та коригування показань аналізатора при її зміні полягає у наступному. У режимі налагодження, коли до зовнішнього датчика аналізатора подається сертифікована газова суміш з концентрацією метану 1,0%, шляхом регулювання струму через чутливі елементи (у досліджуваних датчиках у діапазоні від 180 до 200 мА) визначається струм, що відповідає моменту виходу вихідної напруги моста на плато характеристики (рис. 3.5).

Після цього фіксується та зберігається відносне зменшення вихідної напруги вимірювального моста аналізатора, яке відбувається при зниженні струму через чутливі елементи на 5% відносно визначеного струму, що відповідає моменту виходу напруги моста на плато характеристики.

$$\Delta U_{вн} = \frac{U_{1н} - U_{2н}}{U_{1н}}, \quad (3.18)$$

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%.

Момент виходу вихідної напруги моста на плато характеристики фіксується тоді, коли подальше збільшення струму через чутливі елементи на 1 мА не спричиняє зростання вихідної напруги моста більше ніж на 1%. Значення струму $I_{ен}$, яке було встановлено, а також температура газу під час налаштування аналізатора записуються в пам'ять пристрою. Ці параметри використовуються надалі для автоматичного налаштування робочого режиму аналізатора, забезпечуючи його точність і стабільність у роботі.

При цьому аналізатор в режимі налагодження після подачі до датчика атестованої газової суміші та визначення значення K_1 (рис. 3.2), що характеризує чутливість аналізатора, переходить до виконання операцій, пов'язаних з діагностикою чутливості термокаталітичного датчика. Алгоритм його роботи полягає в наступному (рис. 3.6):

- величина струму знижується через термоелементи до рівня $0,9I_n$;
- перевіряється струм через чутливі елементи, і за потреби його значення коригується до необхідного рівня в $0,9I_n$;
- визначається величина напруги на елементах при величині струму $0,9I_n$ та їх різниця ΔU_i ;
- величина струму через термоелементи збільшується на $0,005I_n$;
- визначається величина напруги на елементах та їх різниця ΔU_{i+1} ;
- визначається відносна зміна різниці напруг, як $(\Delta U_{i+1} - \Delta U_i) / \Delta U_i$, при її значенні більше 0,01 продовжується процедура збільшення струму, а в іншому разі запам'ятовуються значення величини струму яка відповідає моменту виходу вихідної напруги моста на плато характеристики $I_{вих}$ та значення різниці напруг за даної величини струму $\Delta U_{вих}$;
- знижується величина струму через термоелементи до $0,95I_n$;
- визначається величина напруги на елементах при величині струму $0,95I_n$ та їх різниця ΔU ;

- визначається та запам'ятовується відносна зміна різниці напруг при зменшенні струму через елементи на 5% відносно струму в момент виходу вихідної напруги моста на плато характеристики $\Delta U_{ен} = (\Delta U_1 - \Delta U_{0,95}) / \Delta U_1$.

У робочому режимі безперервно здійснюється контроль стабільності температурного режиму термоелементів при зміні температури газу, вимірюються напруги на елементах, обчислюється різниця напруг та проводиться оцінка вмісту метану. За зовнішнім запитом оператора або через певні проміжки часу, визначені програмою аналізатора, виконується перевірка чутливості датчика та коригування показань при її зміні. Для цього зменшується струм через чутливі елементи на 5% від встановленого рівня, і визначається відносне зменшення вихідної напруги моста аналізатора.

$$\Delta U_{ер} = \frac{U_{1p} - U_{2p}}{U_{1p}}, \quad (3.19)$$

де U_{1p} та U_{2p} – відповідно значення вихідної напруги вимірювального моста в робочому режимі, коли він працює на плато характеристики і струм через елементи зменшується на 5%.

Визначається відносне зменшення вихідної напруги $\Delta U_{ер}$ та порівнюється з $\Delta U_{ен}$. Якщо $\Delta U_{ер} = \Delta U_{ен}$, то чутливість датчика залишається незмінною, і коригування не потрібне. Якщо ж відносне зменшення $\Delta U_{ер}$ до $\Delta U_{ен}$ вихідної напруги становить до 10%, проводиться коригування чутливості аналізатора шляхом її збільшення на величину $\Delta U_{ен} - \Delta U_{ер}$. В іншому випадку оператор отримує сповіщення про необхідність перевірки та налагодження аналізатора.

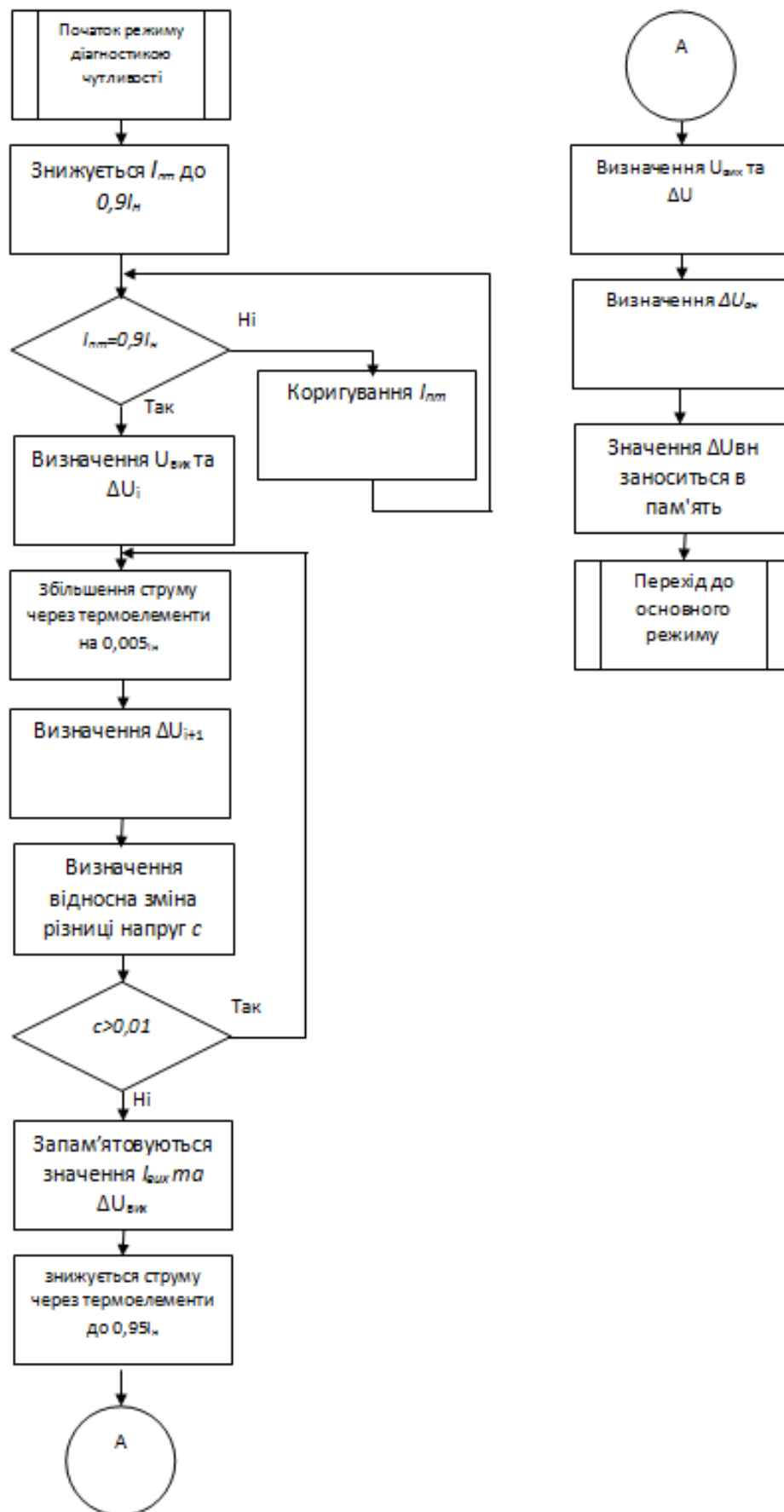


Рис. 3.6. Алгоритм роботи в режимі налагодження з визначення чутливості аналізатора

Алгоритм перевірки чутливості датчика та коригування показань аналізатора у разі її зміни полягає в наступному (рис. 3.7):

- знижується величина струму через термоелементи до $0,95I_n$;
- визначається величина напруги на елементах при величині струму $0,95I_n$ та їх різниця ΔU_{ep} ;
- визначається відносна зміна різниці напруг при зменшенні струму через елементи на 5% моста на плато характеристики $\Delta U_{ep} = (\Delta U_1 - \Delta U_{0,95}) / \Delta U_1$.
- визначається відносна зміна показника чутливості $\Delta P = (\Delta U_{en} - \Delta U_{ep}) / \Delta U_{en}$, при $\Delta P \leq 0,01$ коригування чутливості не проводиться, при $0,01 \geq \Delta P \geq 0,1$ здійснюється коригування чутливості аналізатора, при $\Delta P \geq 0,1$ оператору надсилається сповіщення про потребу провести перевірку та налаштування аналізатора.

Варто зазначити, що при зміні режиму живлення чутливих елементів термокаталітичного датчика виникають перехідні теплові та газодинамічні процеси. Тому зняття показань має проводитися після завершення цих перехідних процесів, що для досліджуваних первинних перетворювачів займає приблизно 5 секунд після зниження струму через термоелементи. В умовах шахти можливо, що за цей час зміниться концентрація метану, тому визначення відносного зменшення вихідної напруги ΔU_{ep} слід здійснювати кілька разів, а потім за допомогою обробки даних вибирати ті значення, що повторюються, і відкидати випадкові результати.

Виконані дослідження підтвердили ефективність методу автоматичної діагностики стану стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану. Цей метод полягає у використанні мікропроцесорних засобів для аналізу вихідних характеристик перетворювачів при зміні струму через чутливі елементи. Показано, що такий підхід дозволяє не лише автоматично перевіряти стабільність чутливості перетворювачів, а й коригувати показання газоаналізатора під час зміни чутливості. Для досягнення цих результатів було створено алгоритм і

програму для аналізатора, що включають функцію автоматичного дистанційного контролю чутливості термокаталітичних датчиків метану.

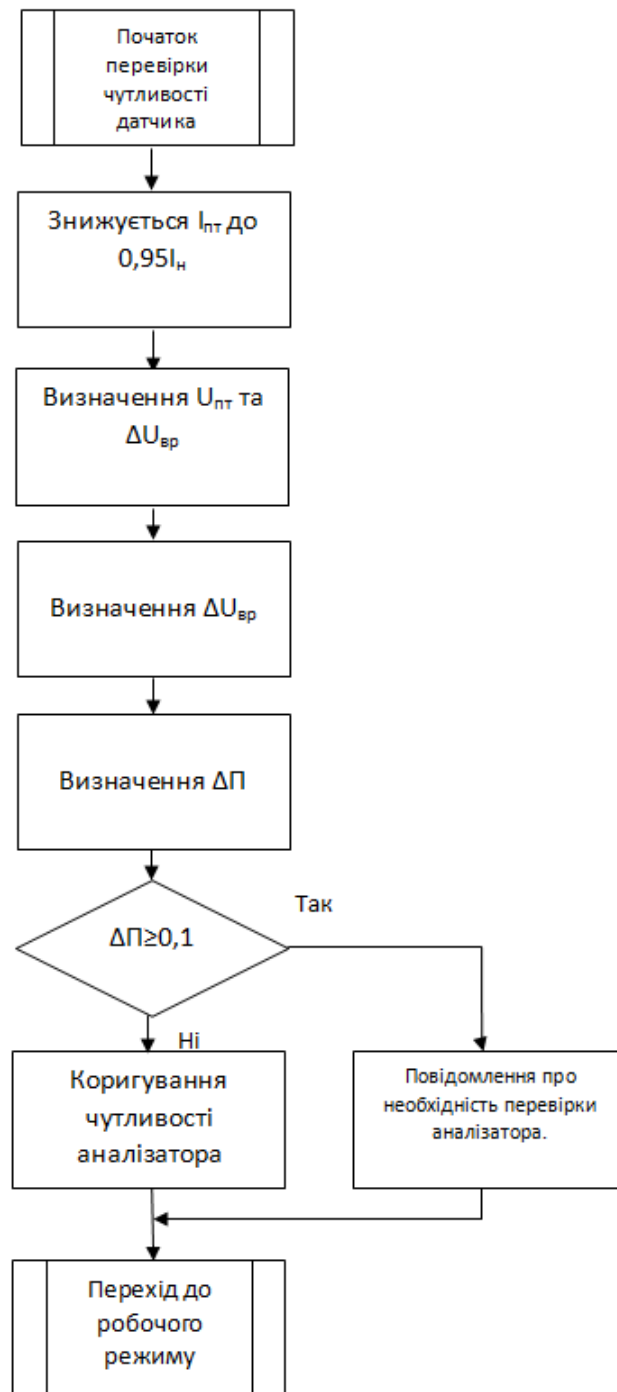


Рис. 3.7. Алгоритм перевірки чутливості датчика та корегування показань аналізатора при її зміні

Подальші дослідження в області автоматичної діагностики стану стаціонарних термокаталітичних аналізаторів слід сконцентрувати на теоретичне обґрунтуванні можливості автоматичного дистанційного виявлення забруднень фільтрелементу датчика внаслідок заливання водою або накопичення пилу. Також актуальним завданням є виявлення порушень цілісності реакційної камери і розробка необхідного алгоритмічного та програмного забезпечення для здійснення таких процедур.

3.3. Розробка методу та алгоритму виявлення випадків забруднення газодифузійних фільтрів та обмеження дифузії метаноповітряної суміші до чутливих елементів датчиків

У розділі 3.2 наведено результати досліджень, які демонструють можливість виконання селективного контролю чутливості первинних перетворювачів аналізаторів. Наявність інформації щодо чутливості сенсора дозволяє реалізувати розглянутий в попередньому розділі метод виявлення забруднення фільтрувального елементу шляхом аналізу перехідних процесів, що виникають за умови короткочасного зниження величини струму через термоелементи до величини за якої температура елементу знижується і процес каталітичного окиснення метану припиняється. Розглянемо можливість реалізації такого метода при використанні термокаталітичного датчика з подвійним дифузійним фільтром. У робочому режимі роботи такого датчика концентрація метану в реакційній камері становить [7]

$$C_{mk0} = C_{ma} \frac{\gamma_o \gamma_\phi}{\gamma_\phi \gamma_e + \gamma_e \gamma_o + \gamma_o \gamma_\phi}. \quad (3.20)$$

При протіканні реакції окиснення в дифузійній області величина тепловиділення на робочому елементі, прямо пропорційна потоку метану Q_m , який досягає поверхні термоелемента, який в свою чергу залежить від концентрації CH_4 в реакційній камері та ефективної дифузійної провідності

робочого елемента, що при сталих умовах живлення визначає активність цього елемента.

$$Q_m = \gamma_e C_{mk0}. \quad (3.21)$$

Якщо температура розігріву чутливого елемента зменшується до величини, за якої горіння метану на робочому елементі припиняється, процес вигорання метану в реакційній камері не протікає. У цьому випадку потік метану в реакційну камеру залежить від різниці між його концентрацією в рудниковій атмосфері та концентрацією в камері, а також сумарного значення дифузійних провідностей металокерамічного фільтра і каліброваного отвору

$$Q_m = (C_{ma} - C_{mk})(\gamma_\phi + \gamma_o). \quad (3.22)$$

За час паузи, тривалість якої вибирається достатньою для завершення перехідних процесів при проведенні діагностиці нуля [4], відбувається накопичення метану в реакційній камері сенсора. До моменту закінчення паузи, концентрації CH_4 в камері виявляється вищою, ніж до паузи. Динаміка зміни цієї концентрації залежить від об'єму камери V_k і величини потоку метану, що надходить до камери. Без врахування процесу накопичення метану в прошарку між стаканом і фільтрелементом, процес зміни концентрації метану в реакційній камері можна описати наступним диференціальним рівнянням

$$\frac{dC_{mk}}{dt} = \frac{\gamma_\phi + \gamma_o}{V_k} (C_{ma} - C_{mk}) \quad (3.23)$$

Рішення наведеного рівняння має вигляд

$$C_{mk} = C_{mk0} + (C_{ma} - C_{mk0}) \left[1 - \exp\left(-\frac{\gamma_\phi + \gamma_o}{V_p} t\right) \right] \quad (3.24)$$

де C_{mk0} - концентрація метану в камері до початку паузи.

За незабрудненого газодифузійного фільтра з об'ємом реакційної камери датчика $V_p = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$, з ефективною дифузійною провідністю каталітично активного елемента $10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$, дифузійною провідністю фільтра $3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ та дифузійною провідністю отвору $0,25 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ [7], за час паузи, яка триває

приблизно 20 секунд, концентрація метану в реакційній камері практично дорівнюватиме концентрації метану в навколишньому середовищі.

$$C_{mk} = C_{ma} \quad (3.25)$$

У такому випадку, після відновлення робочого режиму живлення сенсора, згоряння метану, накопиченого в реакційній камері за час паузи, викличе короткочасне підвищення (сплеск) вихідної напруги моста. Нормоване значення амплітуди такого сплеску визначається як

$$П = \frac{\Delta U_{вих}}{U_{вих.о.}} = \frac{C_{ma} - C_{mko}}{C_{mko}}, \quad (3.26)$$

де $\Delta U_{вих} = U_a - U_{вих.о.}$; U_a – максимальне значення вихідної напруги вимірювального моста після закінчення паузи, В.

З врахуванням (3.20) будемо мати

$$\frac{\Delta U_{вих}}{U_{вих.о.}} = \frac{\gamma_e}{\gamma_\phi + \gamma_o}. \quad (3.27)$$

Звідси

$$\gamma_\phi = \gamma_e \frac{U_{вих.о.}}{\Delta U_{вих}} - \gamma_o. \quad (3.28)$$

Дифузійна провідність каліброваного отвору залишається постійною і не змінюється при забрудненні фільтрелемента. В такому разі, при сталому значенні активності чутливого елемента, яка однозначно визначає його ефективну дифузійну провідність, шляхом визначення відношення вихідної напруги моста до паузи до максимального значення вихідної напруги вимірювального моста після закінчення паузи можна однозначно виявити і оцінити ступінь забруднення фільтр елемента датчика.

З метою оцінки ефективності запропонованого методу визначення забруднення фільтрелемента в лабораторних умовах було проведено дослідження перехідних процесів, що виникають в термокаталітичному сенсорі з подвійним газодифузійним фільтром після зміни режиму живлення термоелементів. Для проведення досліджень використовувалася метаноповітряна суміш із об'ємним

вмістом метану 1,03 %. Датчик метану, встановлений в камері, включався у вимірювальний міст. Проводилось налаштування моста при відсутності в камері метану. Після чого в камеру подавалась атестована газова суміш, визначалася вихідна напруга вимірювального моста, а потім фіксувалась зміна вихідної напруги після тимчасового зниження струму через термоелементи до рівня, при якому припиняється окислення метану на робочому елементі. Щоб уникнути випадкових похибок, спостереження проводили тричі. Після цього здійснювалось часткове зволоження фільтруючого елемента та його забруднення пилом, і проводились аналогічні вимірювання. Результати аналізу спостережень представлені на рисунку 3.8. Час паузи під час досліджень складав 40 секунд, що майже повністю забезпечує вирівнювання концентрації метану в реакційній камері та навколишньому середовищі (див. рівняння 3.25).

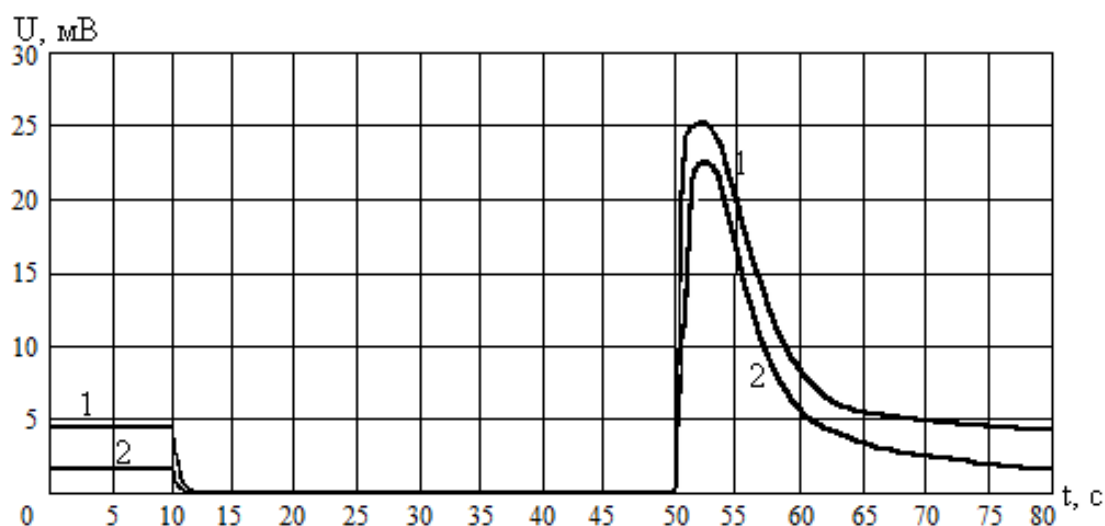


Рис. 3.8. Перехідні процеси при дослідженні датчика з подвійним дифузійним фільтром: 1 – за нормального стану фільтрелементу; 2 – після суттєвого забруднення фільтрелементу.

Як показано на рисунку 3.8, якщо фільтр елемент незабруднений після паузи амплітуда сплеску вихідної напруги моста практично в шість раз більша за значення вихідної напруги до паузи. Водночас, за суттєвого забруднення фільтрелемента відношення відповідних напруг значно збільшується і в даному випадку становить одинадцять.

Важливо зазначити, що при значному забрудненні фільтра амплітудне значення вихідної напруги моста після паузи є дещо меншою за теоретично розраховане значення. Очевидно, що у такому випадку концентрація метану в камері не відповідала його концентрації метану в повітрі (див. рівняння 3.25). Це можна пояснити збільшенням інерційності процесу заповнення камери через значне зменшення газодифузійної провідності фільтр елемента при забрудненні. Проте відносне значення амплітуди сплеску при забрудненні фільтра значно перевищує таке значення для чистого фільтра.

Для реалізації розглянутого методу виявлення забруднень фільтра в газоаналізаторах, що здатні суттєво впливати на точність вимірювання вмісту метану в рудниковій атмосфері та викликати на роботу системи захисного відключення електропостачання на дільниці, були внесені необхідні корективи в алгоритм і програмне забезпечення розробленого аналізатора метану. Ці зміни включають функції автоматичної діагностики та коригування нульових показань і чутливості первинних термокаталітичних перетворювачів [4,12].

Аналізатор метану, що базується на мікроконтролері PIC24FJ64GA104, працює у двох режимах: режимі налагодження та робочому режимі. Процес налагодження відбувається автоматично за допомогою чистого повітря та атестованої газової суміші (наприклад, з вмістом 1% метану).

Під час налагодження, після заповнення камери атестованою газовою сумішшю та виконання необхідних операцій для отримання вольтамперних характеристик чутливих елементів і визначення чутливості сенсора [4,12], здійснюються процедури з визначення відносного значення амплітуди сплеску вихідного сигналу моста, коли фільтрелемент знаходиться в чистому стані (3.26).

Для чого:

- визначається значення струму через чутливі елементи та, якщо потрібно, коригується його значення до номінального значення I_n ;
- після 2 секундної затримки (що забезпечує завершення перехідних теплових процесів у термокаталітичному сенсорі) вимірюється напруга на виході вимірювального моста;

- зменшується струм через чутливі елементи на 20% (наприклад, з 200 мА до 160 мА);
- через 20 секунд встановлюється початкове значення струму I_n через чутливі термоелементи;
- протягом 10 секунд вимірюється напруга на виході моста після перерви;
- визначається амплітуда сплеску вихідної напруги моста;
- обчислюється відношення амплітуди сплеску вихідної напруги моста до значення вихідної напруги моста до паузи (7) для чистого фільтр елемента P_n ;
- це відношення записується в пам'ять мікроконтролера і характеризує дифузійну провідність чистого фільтрелемента.

Алгоритм функціонування аналізатора в режимі налагодження для визначення відносної величини сплеску вихідної напруги моста при чистому стані фільтрувального елемента представлений на рис. 3.9.

Після завершення налаштування аналізатор автоматично переходить в робочий режим. Алгоритм для цього режиму в частині, що передбачає перевірку гаодифузійної провідності фільтрелементу, показано на рис. 3.10. Процес моніторингу стану газодифузійного фільтра здійснюється паралельно з діагностикою нульових показників [4]. Під час цієї операції струм через термоелементи зменшується на 20% і на каталітично активному елементі припиняється реакція окиснення метану. Вибрана тривалість пауза дозволяє завершити перехідні теплові процеси в сенсорі.

У цьому режимі:

- визначається значення струму через чутливі елементи та, якщо потрібно, коригується його значення до номінального значення I_n ;
- протягом 10 секунд вимірюється вихідна напруга моста;
- після паузи визначається амплітуда сплеску вихідної напруги моста;
- обчислюється поточне значення сплеску вихідної напруги моста P_p (7);
- визначається різниця між поточним і нормованим значенням сплеску вихідної напруги моста $P_p - P_n$;

- якщо різниця між поточним і нормованим значенням перевищує одиницю, диспетчеру надсилається сигнал про необхідність обслуговування аналізатора, і аналізатор продовжує вимірювання концентрації метану.

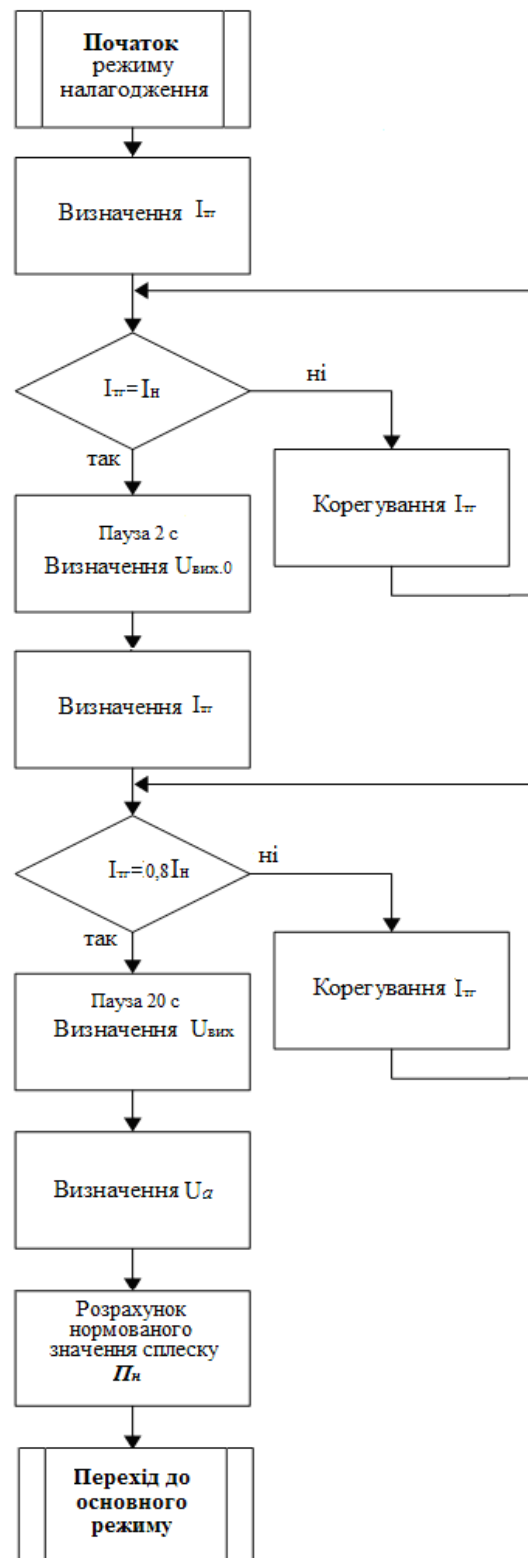


Рис. 3.9. Алгоритм роботи аналізатора у режимі налагодження з визначення відносної величини сплеску вихідної напруги моста при незабрудненому стані.

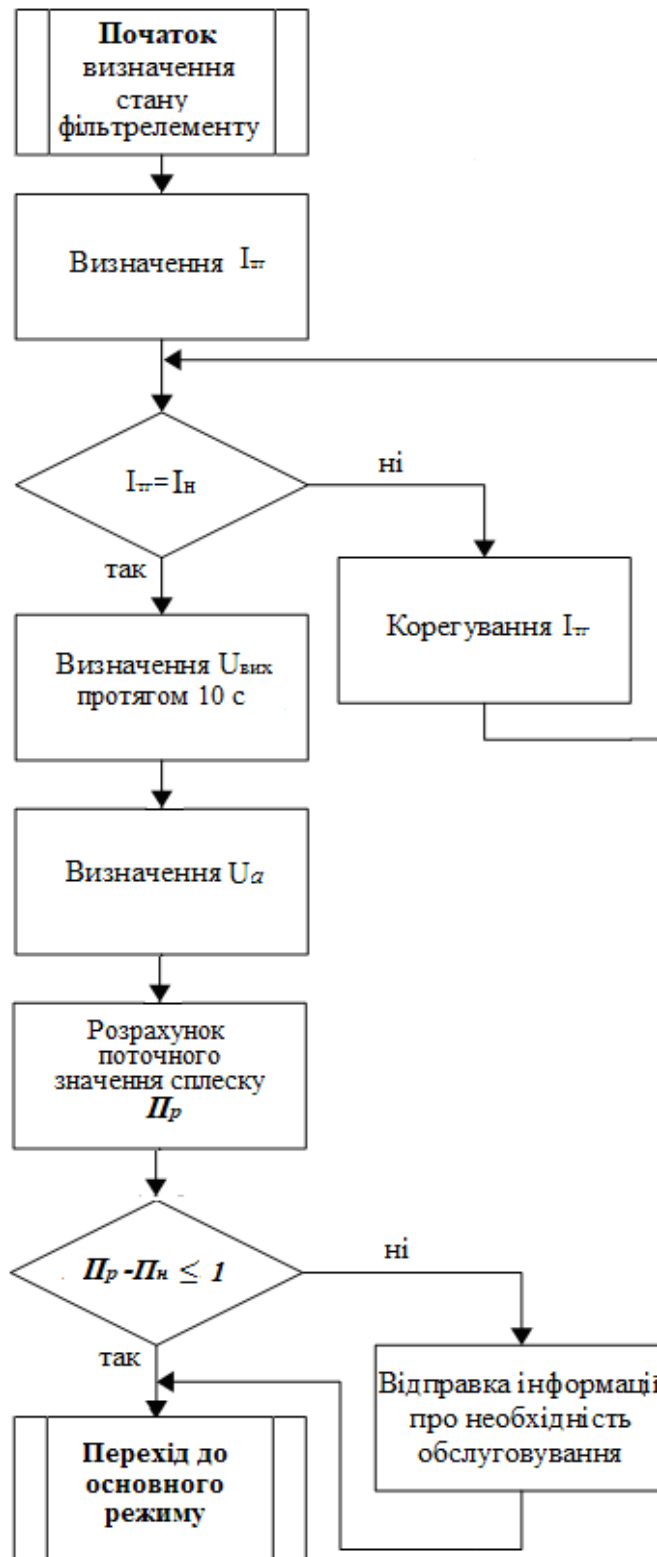


Рис. 3.10. Алгоритм роботи аналізатора з визначення стану фільтрелементу у робочому режимі

Варто зазначити, що з використанням сучасних мікропроцесорних технологій для обробки даних можна не лише виявляти значні забруднення

фільтрувальних елементів, але й коригувати показання аналізатора відповідно до рівня забруднення. Однак для реалізації цієї можливості необхідно провести додаткові дослідження цього питання.

3.4. Обґрунтування методу та алгоритму спрямованих на забезпечення надійності систем контролю вибухонебезпеки при газодинамічних явищах

Аналіз відомих методів спрямованих на забезпечення надійності систем контролю вибухонебезпеки при газодинамічних явищах, виконаний в [13], показав, що суттєво поліпшити динамічні властивості аналізаторів метану можливо при одночасному використанні в аналізаторах двох датчиків: основного – термокаталітичного та допоміжного малоінерційного – оптичного. Недоліком такого методу є те, що в процесі накопичення пилу на елементах оптичного датчику змінюються не тільки його показання, а і чутливість датчика. Коригування вихідного сигналу оптичного датчика не дозволяє компенсувати зміну його чутливості, що в певних умовах може призвести до несвоєчасного спрацювання захисту.

Усунути цей недолік можна шляхом переходу оптичного датчику від вимірювання значення концентрації до вимірювання величина приросту концентрації метану при газодинамічних явищах.

Зв'язок між інтенсивністю падаючого потоку випромінювання J та кількістю енергії J_n поглиненої нескінченно тонким шаром dx аналізованого газу в спектральному інтервалі $d\nu$ відповідно до закону Бугера [14] має вигляд

$$J_n = -KJdx d\nu, \quad (3.29)$$

де K – коефіцієнт поглинання.

При постійній довжині хвилі випромінювання, товщині шару суміші x з концентрацією метану C рішення рівняння (3.29) має вигляд [14]

$$J_n = J_0(1 - \exp(-ACx)), \quad (3.30)$$

де A – коефіцієнт поглинання при довжині хвилі λ , характерний для молекули поглинаючого газу, який не залежить від його концентрації.

При контролі довибухових концентрацій метану і відстані між джерелом і приймачем випромінювання до декількох дециметрів вираз (3.30) може бути представлений у вигляді лінійної залежності

$$J_n = J_0(1 - ACx). \quad (3.31)$$

Виходячи з виразу (3.31) зміна концентрації газу на величину ΔC призведе до зміни потоку випромінювання на величину

$$\Delta J_n = A\Delta CxJ_0. \quad (3.32)$$

Звідки маємо

$$\Delta C = a \frac{\Delta J}{J_0}, \quad (3.33)$$

де $a = 1/Ax$ - постійна величина, яка залежить від поглинаючої здатності газу та відстані між джерелом і приймачем випромінювання.

З виразу (3.33) витікає, що при наявності інформації про початкову інтенсивність падаючого потоку випромінювання та його інтенсивність через вибраний проміжок часу, величина приросту концентрації метану при газодинамічних явищах за незначний проміжок часу Δt може бути однозначно визначена шляхом розрахунку. Важливим є те, що відносне значення поглиненої енергії не залежить від змін абсолютного значення інтенсивності падаючого потоку випромінювання, що забезпечує незалежність результатів вимірювання від повільно протікаючих процесів, пов'язаних зі зміною температури, тиску, та накопичення пилу на оптичних елементах.

Викладене дозволяє по іншому підійти до питання створення аналізатора метану для систем швидкодіючого газового захисту при одночасному використанні термокаталітичного та оптичного датчиків метану (рис. 3.11). Основна ідея зазначеного підходу зводиться до того, що за умов відсутності раптових змін концентрації метану, спричинених газодинамічними процесами,

інформація про вміст метану в повітрі та прийняття рішення про припинення електропостачання дільниці ґрунтується на результатах вимірювання концентрації газу метану термokatалітичним сенсором D_1 .

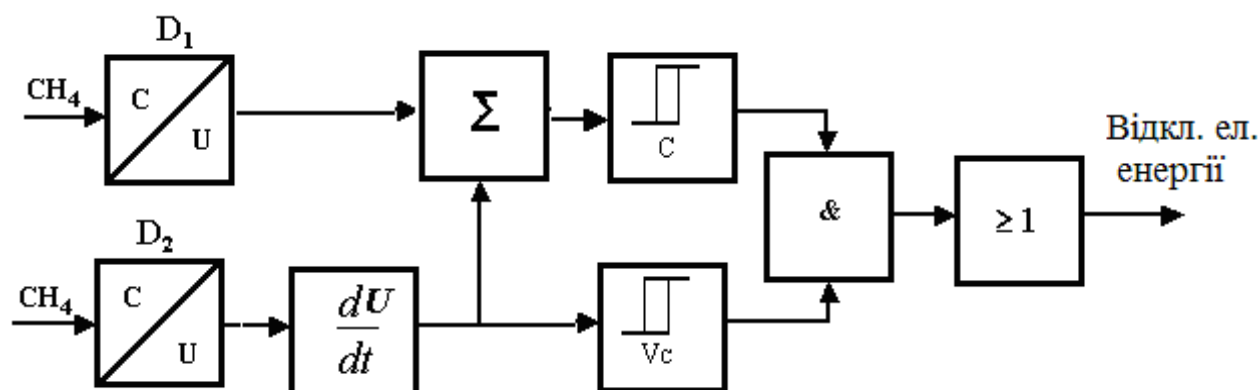


Рис. 3.11. Структурна схема аналізатора для систем швидкодіючого газового захисту

Оптичний сенсор D_2 з низькою інерційністю використовується виключно для виявлення раптових змін вмісту метану в часі, які виникають при раптових викидах газу, породи та вугілля. За умови, якщо приріст концентрації метану перевищує допустиме значення (наприклад 1%/с), незалежно від поточного значення концентрації метану в гірничій виробці, миттєво подається сигнал на відключення електрообладнання. В іншому випадку (наприклад в діапазоні приросту $0,2 \text{ \%}/\text{с} \leq dC/dt < 1,0 \text{ \%}/\text{с}$) визначається сума поточного значення концентрації метану, за показаннями термokatалітичного датчика, та проросту концентрації за визначений проміжок часу. У випадку перевищення цієї суми недопустимої концентрації формується сигнал на відключення електрообладнання.

Запропонований метод підвищення швидкодії газоаналізаторів та систем захисного відключення електропостачання реалізовані нами через доповнення розробленого газоаналізатора з функціями діагностики і коригування нуля та діагностики чутливості термokatалітичних сенсорів [4, 12] шляхом його оснащення додатковим малоінерційним оптичним сенсором, а також внесення необхідних змін до алгоритму та програмного забезпечення.

Алгоритм роботи малоінерційного газоаналізатора, побудованого на мікроконтролері PIC24FJ64GA104, має два режими: налагодження та робочий. Налагодження проводиться автоматично без необхідності зовнішнього налаштування чи втручання персоналу. Для цього використовується повірочна газова суміш (наприклад, з концентрацією 1 %об. метану) та чисте повітря.

Після переведу аналізатора в режимі налагодження на табло аналізатора виводиться надпис «Повітря» і інформація про час до початку роботи програми налагодження. Після чого:

- датчики метану розміщуються в спеціальній малогабаритній камері;
- камера заповнюється чистим повітрям;

Алгоритм роботи аналізатора в режимі налагодження швидкодіючого оптичного датчика наведено на рис. 3.12. В цьому режимі програмно з витримками часу, необхідними для закінчення перехідних процесів:

- встановлюється номінальний струм через світло-випромінюючий діод (СВД);
- визначається величина напруги на виході оптичного датчика U_0 ;
- значення U_0 заноситься в пам'ять мікроконтролера.

З витримкою часу (необхідної для налагодження інерційного термокаталітичного датчика) на табло аналізатора виводиться надпис «Атестована суміш» і інформація про час до початку продовження роботи програми налагодження. Камера заповнюється атестованою газовою сумішшю (наприклад, з вмістом метану 1 об.%.). Після чого:

- перевіряється значення струму через СВД і при необхідності коригується його величина;
- визначається величина напруги на виході оптичного датчика U_n ;
- визначається значення $\Delta U = U_0 - U_n$;
- визначається відносне значення зміни напруги $K_o = \Delta U / U_0$;
- у випадку, коли концентрація метану в атестованій газовій суміші C_a має відхилення від 1 об.%, здійснюється приведення K_o до однопроцентної суміші $K_1 = K_o / C_a$;

- значення K_1 заносяться в пам'ять мікроконтролера і характеризує чутливість оптичного датчика за величиною відносної зміни вихідної напруги.

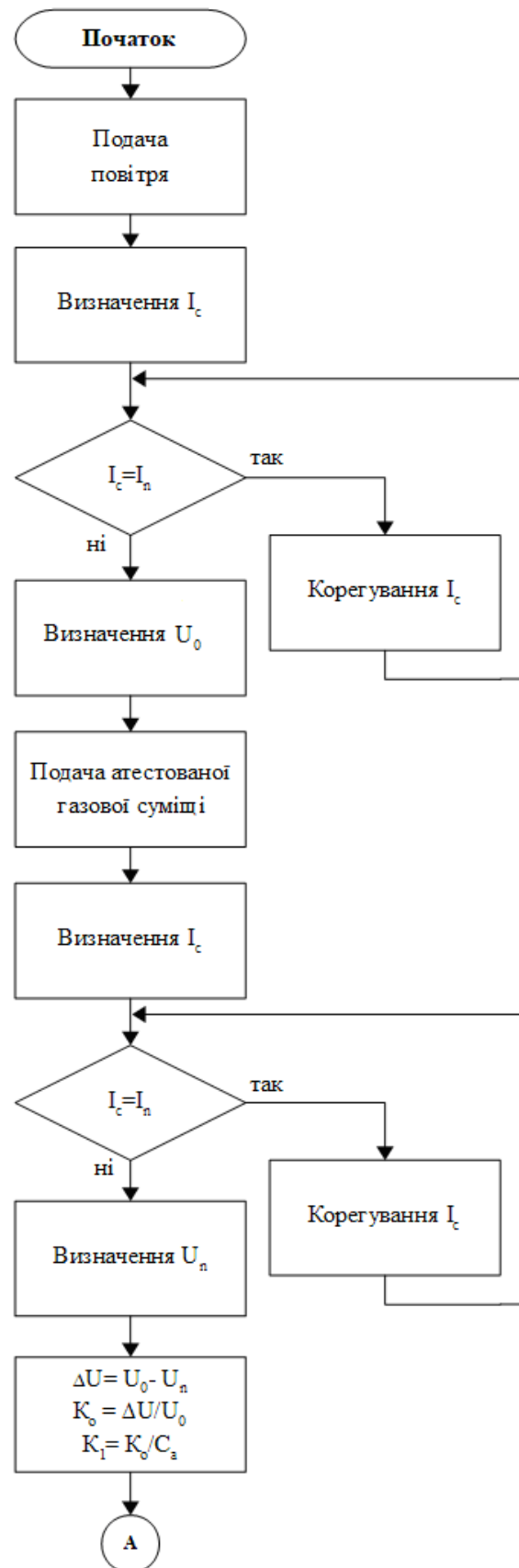


Рис. 3.12. Алгоритм роботи аналізатора в режимі налагодження

По завершенню часу виконання програми налагодження аналізатор автоматично переходить до робочого режиму. Алгоритм робочого режиму газоаналізатора представлено на рисунку 3.13.

В цьому режимі:

- з заданою періодичністю (наприклад, через 0,5 с, що дозволяє виконати чинні вимоги [15] до часу спрацювання системи захисного відключення) здійснюється вимірювання напруги на виході оптичного датчика U_n ;
- за результатами останніх 10 вимірювань визначається поточне середнє значення U_{cp} на виході оптичного датчика (час усереднення вибрано з врахуванням постійної часу термокаталітичного датчика);
- в подальшому визначається різниця між поточним середнім значенням U_{cp} і результатом останнього вимірювання $\Delta U = U_{cp} - U_n$;
- визначається відносне значення зміни напруги $K_n = \Delta U / U_{cp}$;
- розраховується зміна (збільшення чи зменшення концентрації) концентрації метану за останній проміжок часу $\Delta C = K_n / K_1$;
- при $\Delta C > 1,0$ %/с подається команда на виключення електричної енергії;
- за умови, коли $0,2$ %/с $\leq \Delta C < 1,0$ %/с, визначається кореговане поточне значення вмісту метану C_k , як сума показань термокаталітичного датчика та проросту концентрації за визначений проміжок часу;
- якщо $C_k \geq 1,3$ % подається команда на виключення електричної енергії;
- за величиною U_n здійснюється оцінка стану забруднення оптичного каналу, у випадку якщо $U_n \leq U_0 / 2$ диспетчеру відправляється повідомлення про необхідність проведення обслуговування аналізатора метану.

Таким чином підвищити швидкодію та надійність апаратури газового контролю можливо при одночасному використанні в аналізаторах метану двох датчиків, один з яких є високостабільним, але відносно інерційним, наприклад, термокаталітичний, а інший - малоінерційний оптичний за умови переходу оптичного датчику від вимірювання значення концентрації до вимірювання величина приросту концентрації метану при газодинамічних явищах.

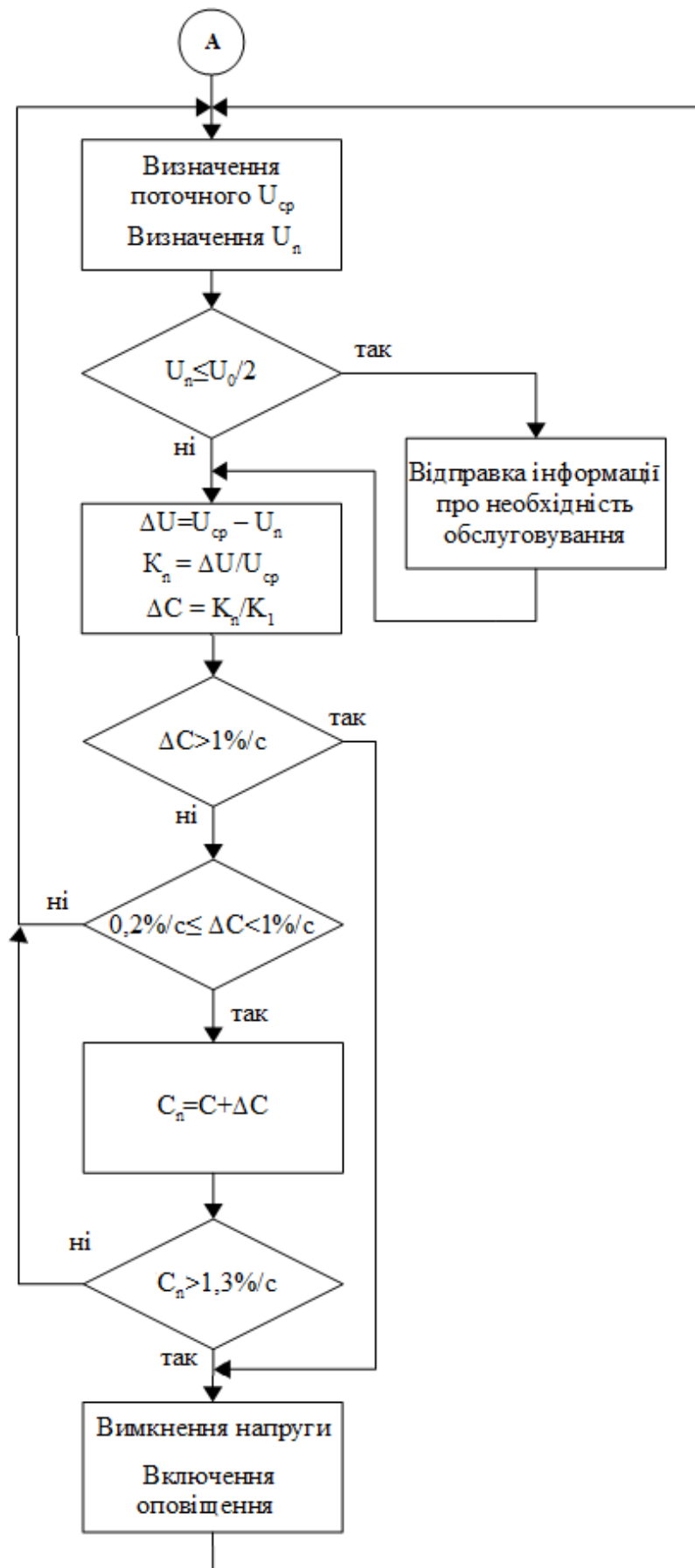


Рис. 3.13. Алгоритм робочого режиму швидкодійного аналізатора

Висновки до розділу 3.

Виконані дослідження дозволили розробити методи та алгоритми необхідні для проведення комп'ютерного моніторингу засобів контролю вибухонебезпечності рудникової атмосфери, у тому числі: нуля аналізаторів метану, чутливості термокаталітичних сенсорів та стану забруднення їх газодифузійних фільтрів.

Діагностику зміщення нульових показань аналізаторів метану запропоновано здійснювати шляхом зниження температури попереднього розігріву чутливих елементів термогрупи до рівня, при якому реакція окислення метану на робочому елементі не відбувається та, з врахуванням зміщення нуля в цьому режимі і вольтамперних характеристик елементів, визначення розрахунковим шляхом величини зміщення нуля в робочому режимі.

Теоретично обґрунтований метод та розроблено алгоритм контролю чутливості первинних перетворювачів і корекції показань аналізаторів метану, що базуються на аналізі змін вихідних характеристик первинних перетворювачів у зоні переходу вихідної напруги вимірювального моста до горизонтальної частини (плато) характеристики при зміні струму через чутливі елементи.

Обґрунтований метод та розроблено алгоритм виявлення випадків значного забруднення газодифузійних фільтрів термокаталітичних сенсорів, заснований на аналізі перехідних процесів, що виникають у датчиках під час зміни режиму живлення термоелементів.

Обґрунтований метод підвищення швидкодії та надійності систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт через одночасне використання двох типів датчиків в аналізаторах метану: високо стабільного, але відносно інерційного термокаталітичного датчика, та малоінерційного оптичного датчика, особливістю якого є те, що при відсутності значних змін, викликаних газодинамічними явищами, вимірювання концентрації метану та генерація сигналу для відключення електрообладнання здійснюється за допомогою термокаталітичного датчика, а оптичний малоінерційний датчик застосовується лише для виявлення різких змін вмісту метану в повітрі, які виникають при раптових викидах метану,

породи та вугілля. Для реалізації запропонованого метода розроблено алгоритм роботи мало інерційного аналізатора метану.

Література до розділу 3

1. Голинько В.И., Котляров А.К., Белоношко В.В. Контроль взрывоопасности горных выработок шахт – Д.: Наука и образование, 2004. – 207 с.
2. Голинько В.И. Белоношко А.В. Исследование процессов накопления продуктов термической деструкции углеводородов на поверхности термоэлементов / Науковий вісник НГУ. – 2008. – №7. – С. 60-65.
3. Голинько В.И., Белоношко А.В. Исследование работоспособности термokatалитических датчиков метана после их длительной эксплуатации / Науковий вісник НГУ. – 2006. – №10. – С. 72-75.
4. Алексеев М.О., Голінько О.В. Автоматична діагностика стану стаціонарних термokatалітичних газоаналізаторів. Збірник наукових праць НГУ, Д.: ДВНЗ «НГУ», 2018 – № 53 – С. 223-229.
5. Алексеев М.О., Голінько О.В. Підвищення надійності засобів контролю вибухонебезпечності метаноповітряних сумішей. – Суспільство, релігія, культура, наука, техніка, освіта, економіка в умовах новітніх глобальних викликів для України і Польщі: матеріали Міжнар. науково-практичної конф. – Запоріжжя. – 2017. – С. 205-208.
6. Methane from Underground Coal Mines in Ukraine: Elements of Acquisition and Management Processes / Vasyl Holinko, Roman Dychkovskyi, Artur Dyczko, Marcin Popczyk. KOMAG Institute of Mining Technology. 2024. 108 s.
7. Голинько В.И., Котляров А.К. Контроль взрывоопасности среды в горных выработках и оборудовании угольных шахт. Монография / В.И. Голинько, А.К. Котляров – Днепропетровск: изд-во «Лира», 2010. – 368 с.
8. Голинько В.И., Котляров А.К. Разработка метода контроля чувствительности термokatалитических датчиков метана / Гірничая електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2004. Вип. 73. – С. 54-60.

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

10. Голинько В.И., Белоножко В.В. Исследование процесса окисления метана в термодаталитических датчиках / Науковий вісник НГУ. - Дніпропетровськ, 2003 - №7, с. 62-65.

11. Голинько В.И., Котляров А.К. Исследование температурных режимов термоэлементов в мостовых измерительных схемах термокондуктометрических анализаторов метана / Науковий вісник НГУ. – 2006 – №12. – С. 55-58.

12. Алексеев М.О., Голінько О.В. Автоматичний контроль чутливості датчиків стаціонарних термодаталітичних аналізаторів метану, Гірничий вісник, Криворізький національний університет, 2020 – випуск 107. – С. 16-22.

13. Голінько В.І., Голінько О.В. Методи та алгоритми підвищення швидкодії систем автоматичного газового захисту. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Проблеми моделювання та автоматизації проектування», 2021. №1(17). С. 79-87.

14. Глосарій термінів з хімії / укладачі: Й. Опейда, О. Швайка ; Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет. — Донецьк : Вебер, 2008. — 738 с. — ISBN 978-966-335-206-0.

15. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания: ДСТУ ГОСТ 24032:2009. – Действ. от 2009-02-01. – К.: Держспоживстандарт, 2009. – 24 с.

Розділ 4

РОЗРОБКА ПРОГРАМНО АПАРАТНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ

4.1 Розробка алгоритмічного забезпечення системи моніторингу

Алгоритм роботи комп'ютеризованої системи повинен забезпечувати роботу газоаналізаторів в режимах налагодження і вимірювання, а також забезпечувати діагностування стану блоків аналізатора і виявлення випадків порушень нормальних режимів експлуатації або несанкціонованого втручання в роботу засобів контролю вибухонебезпечності в процесі вимірювання, в тому числі, і по зовнішньому запиту (диспетчера), що реалізуються мікропроцесорних засобів, які потребують розробки відповідних алгоритмів.

Для поєднання кількох алгоритмів в одному контролері часто застосовують підходи, що забезпечують ефективне управління. У випадку використання мікроконтролера PIC24FJ64GA104 це досягається за допомогою внутрішньої системи переривань, які активуються відповідно до програми функціонування аналізатора метану, як основного елемента системи контролю вибухонебезпечності вугільних шахт. У такій системі програмне забезпечення аналізатора включає такі складові:

1. Налагодження та перевірка аналізатора - виконуються операції з встановлення нульових показань, визначення чутливості сенсора, підготовки до експлуатації та початкової конфігурації. Програма використовує регістри для виконання початкових команд, які забезпечують калібрування пристрою.

2. Основний алгоритм - реалізується у вигляді безперервного циклу, який включає вимірювання вихідної напруги вимірювального моста, відображення результатів на індикаторі, передачу даних про концентрацію метану до системи автоматичної сигналізації (АС). У процесі роботи накопичуються середні значення концентрації метану та їх середньоквадратичне відхилення, зберігаються періодичні середні показники. Дані порівнюються з аналогічними

показниками попередніх періодів для аналізу. Алгоритм також передбачає створення запитів на діагностику модулів і виявлення можливих спроб втручання чи аварійних збоїв під час роботи газоаналізаторів.

3. Обробка переривань - виконується на основі запитів від внутрішніх компонентів мікроконтролера, які потребують переривання основного циклу. Алгоритм визначає обробку події, яка спричинила переривання, та встановлює пріоритет черговості, особливо при одночасному надходженні кількох запитів.

Аналізатор метану, що базується на сучасних мікропроцесорних технологіях, забезпечує автоматичну діагностику нульових показань, чутливості термokatалітичного сенсора та стану газодифузійного фільтра. Пристрій не потребує регулювання «нуля» або чутливості вручну. Він функціонує у двох основних режимах: режимі налагодження та робочому. Усі процеси калібрування та перевірки виконуються повністю автоматично відповідно до заздалегідь розробленої програми, без необхідності втручання оператора.

В режимі налагодження датчик аналізатора метану розміщується у спеціальній компактній камері, яка за командою з дисплея спочатку заповнюється атмосферним повітрям, а потім повітряною метаноповітряною сумішшю з об'ємною концентрацією метану 1,0 %об.

Після заповнення камери чистим повітрям встановлюються необхідні температурні режими роботи чутливих елементів, визначається струм через термоелементи, вимірюються і зберігаються значення напруги на елементах і їх різниця, розраховуються коефіцієнти, які необхідні для побудови математичної моделі вольт-амперних характеристик чутливих елементів термokatалітичного сенсора (представленої у рівняннях (3.7) та (3.8) розділу 3.1).

Після заповнення камери повітряною метаноповітряною сумішшю здійснюються наступні дії: встановлюється напруга на порівняльному елементі, розрахована раніше для чистого повітря, вимірюється напруга на робочому елементі, а також визначається чутливість датчика у мВ/%CH₄ (рис. 3.2). Визначається струм, який відповідає виходу напруги моста на плато

характеристики (рис. 3.5), та фіксується відносне зниження вихідної напруги моста при зменшенні струму через елементи на 5% від зазначеного значення.

Додатково обчислюється і запам'ятовується відносна величина сплеску вихідної напруги моста в умовах незабрудненого фільтрелемента після зменшення струму через термоелементи на 20% із витримкою часу 20 секунд. На основі цих даних розраховується нормоване значення сплеску напруги моста для чистого фільтрелемента.

У робочому режимі аналізатор метану у безперервному циклі здійснює такі операції:

- визначення величини напруги на чутливих елементах;
- підтримання сталого значення напруги на порівняльному елементі, визначеного під час налагодження;
- обчислення різниці напруг між елементами;
- розрахунок концентрації метану та передача отриманої інформації.

За зовнішнім запитом оператора або автоматично, через задані інтервали часу, якщо це дозволяє газова обстановка в місці розміщення аналізатора стабільна та безпечна (об'ємна концентрація метану не перевищує 80% встановленої межі спрацювання сигналізації та захисного вимкнення електропостачання), проводиться перевірка та коригування нульових показань, чутливості сенсора та стану газодифузійного фільтра. У процесі перевірки встановлюється струм через термоелементи на рівні, при якому реакція окиснення метану на чутливому елементі припиняється. Після паузи часу, необхідної для закінчення перехідних теплових процесів, визначаються напруги на елементах, їх різниця, уточнюються коефіцієнти математичної моделі вольт-амперних характеристик термоелементів, визначається зміщення "нуля" датчика за відсутності реакції окиснення та розраховується зміщення "нуля" за робочого режиму. На основі цих даних приймається рішення про необхідність інформування оператора щодо перевірки чи налаштування приладу або про коригування нульових показань. Додатково визначається амплітуда сплеску вихідної напруги моста після паузи, розраховується різниця між поточним і

початковим значенням цього сплеску, що дає змогу оцінити, чи необхідне втручання обслуговуючого персоналу.

Після завершення перевірки нуля встановлюється робочі режими живлення сенсора, здійснюються вимірювання напруги, коригування напруги на порівняльному елементі, обчислення різниці напруг, а також внесення змін до нульових показань на основі перевірки. На завершення виконується розрахунок концентрації метану та оцінка стану газодифузійного фільтра. Після цього активується алгоритм перевірки чутливості датчика та коригування показань у разі її зміни (рис. 3.7). Блок-схема алгоритму роботи аналізатору метану наведена на рис. 4.1 (частина 1) та рис.4.2.(частина 2).

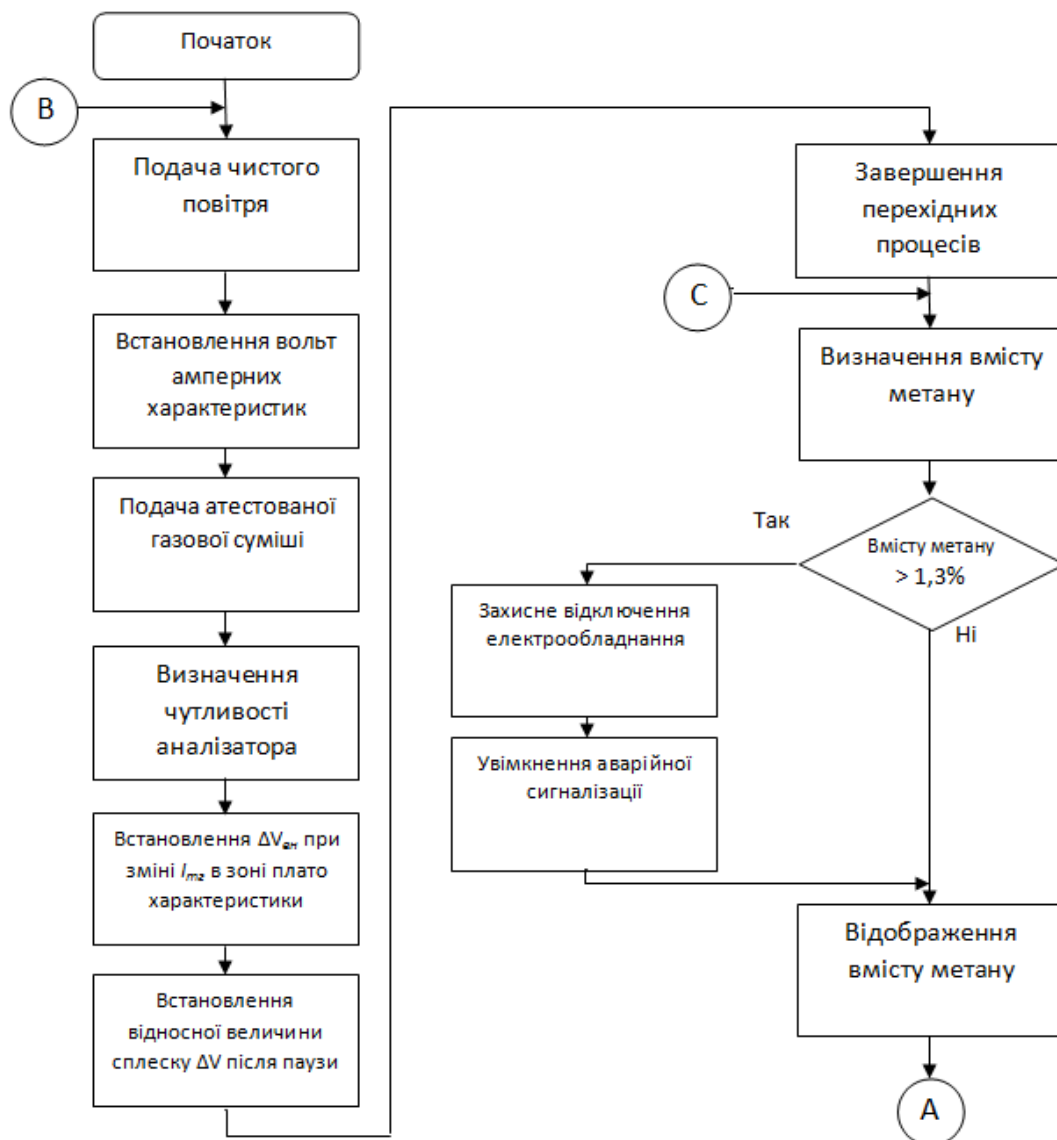


Рис. 4.1. Блок-схема алгоритму роботи програми, частина 1 (налагодження та основний режим)

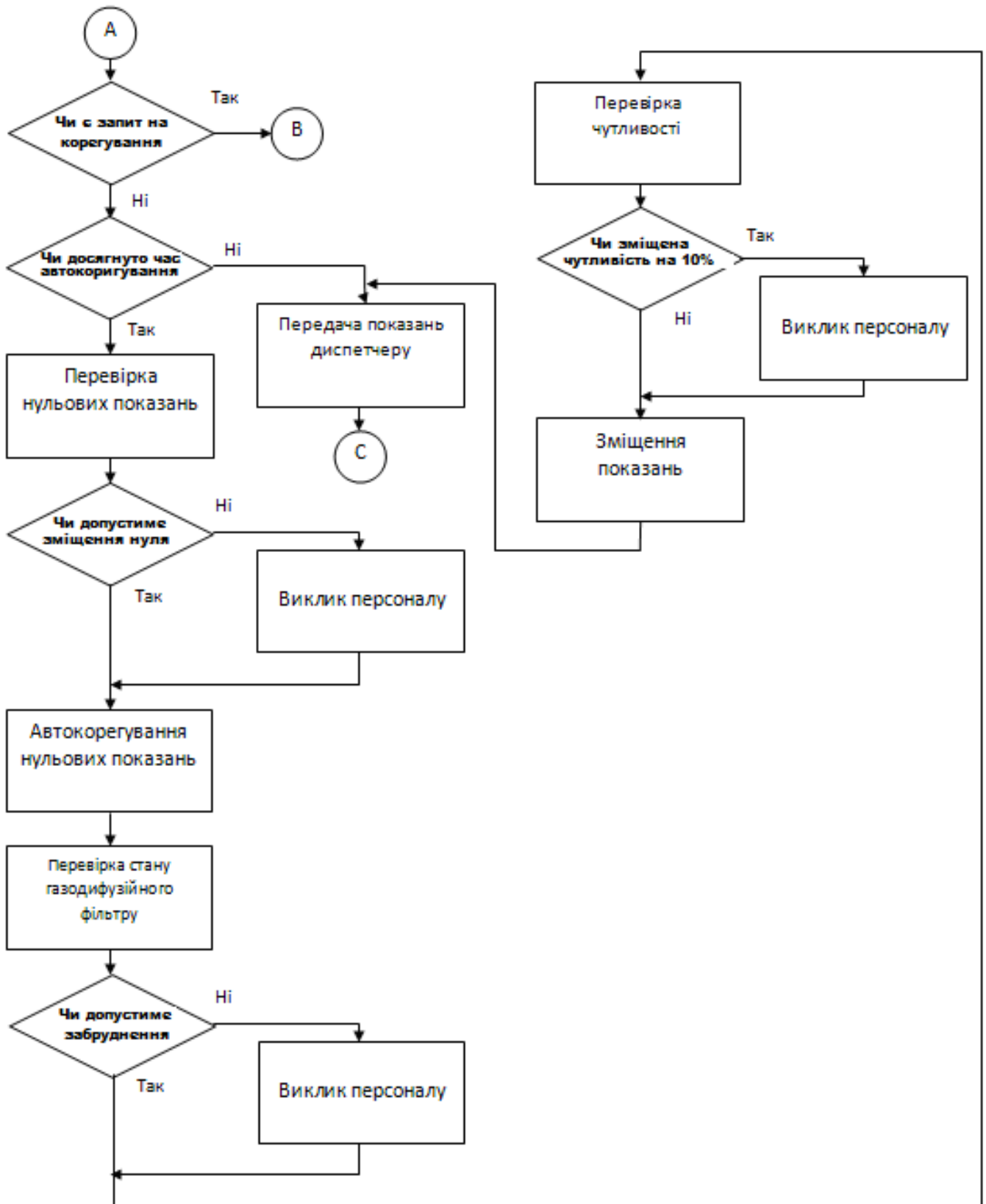


Рис. 4.2. Блок-схема алгоритму роботи програми, частина 2 (перевірка і коригування параметрів)

4.2 Апаратне забезпечення розробленої системи та використаних для її створення технічних засобів

Для реалізації розробленого вище алгоритму розроблена структура системи моніторингу, в якій основним вимірювальним засобом контролю вибухонебезпечності виступає спеціально створений аналізатор метану (метанометр), що одночасно забезпечує неперервний аналіз перехідних процесів, які протікають у його чутливих термоелементах під впливом, як концентрації метану в атмосфері гірничих виробок, так і змінних умов експлуатації, включаючи несанкціонований доступ до приладу. Принципова схема вимірювального блоку метанометра наведена на рис. 4.3.

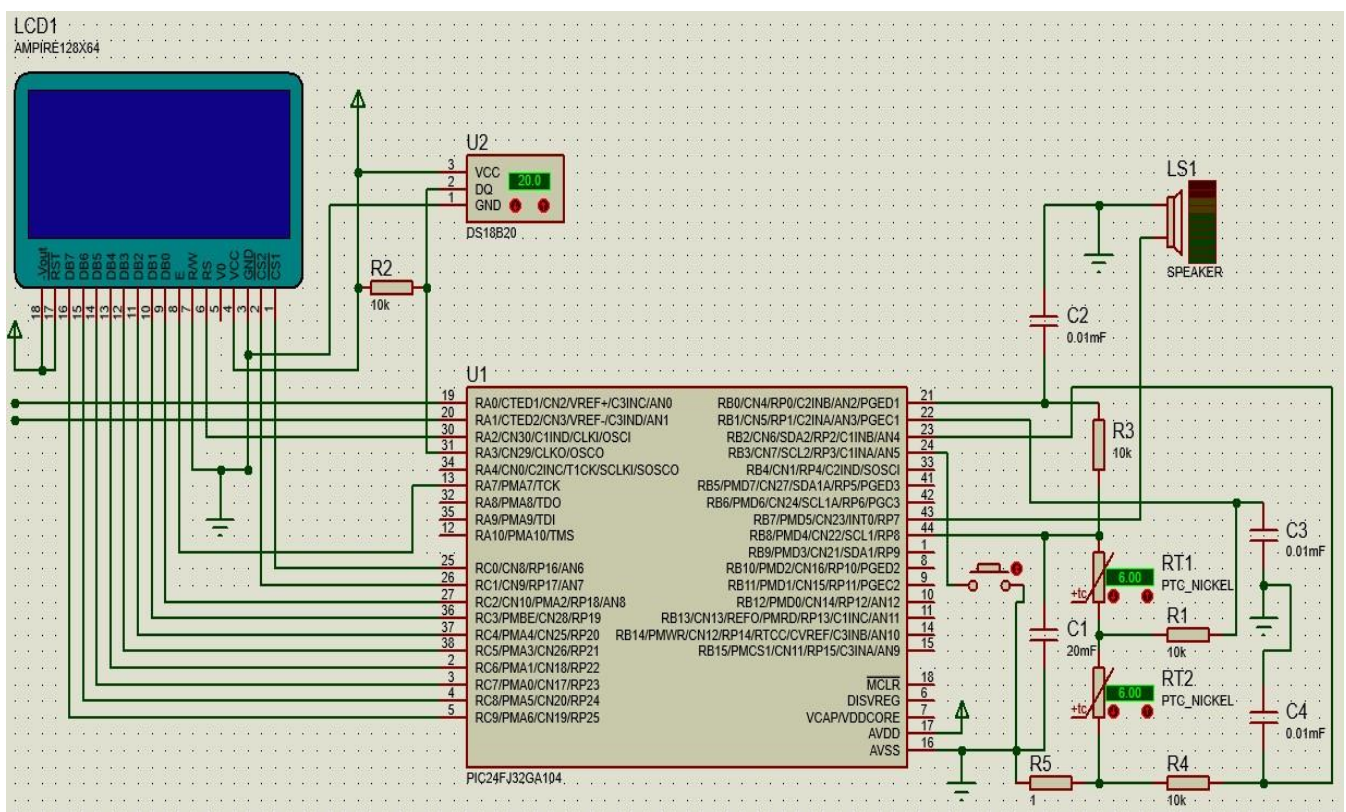


Рис. 4.3. Принципова схема вимірювального блоку аналізатора метану

Для створення указанного метанометра був вибраний мікроконтролер PIC24FJ64GA104 [1], який задовольняє вимогам до необхідної швидкості обробки даних, до обсягів постійної пам'яті та наявності вбудованих аналого-цифрових

перетворювачів (АЦП) і таймерів, а також здатний витримати експлуатаційні умови, в тому числі підземних гірничих виробок вугільних шахт. Блок-схема наведена на рис. 4.4.

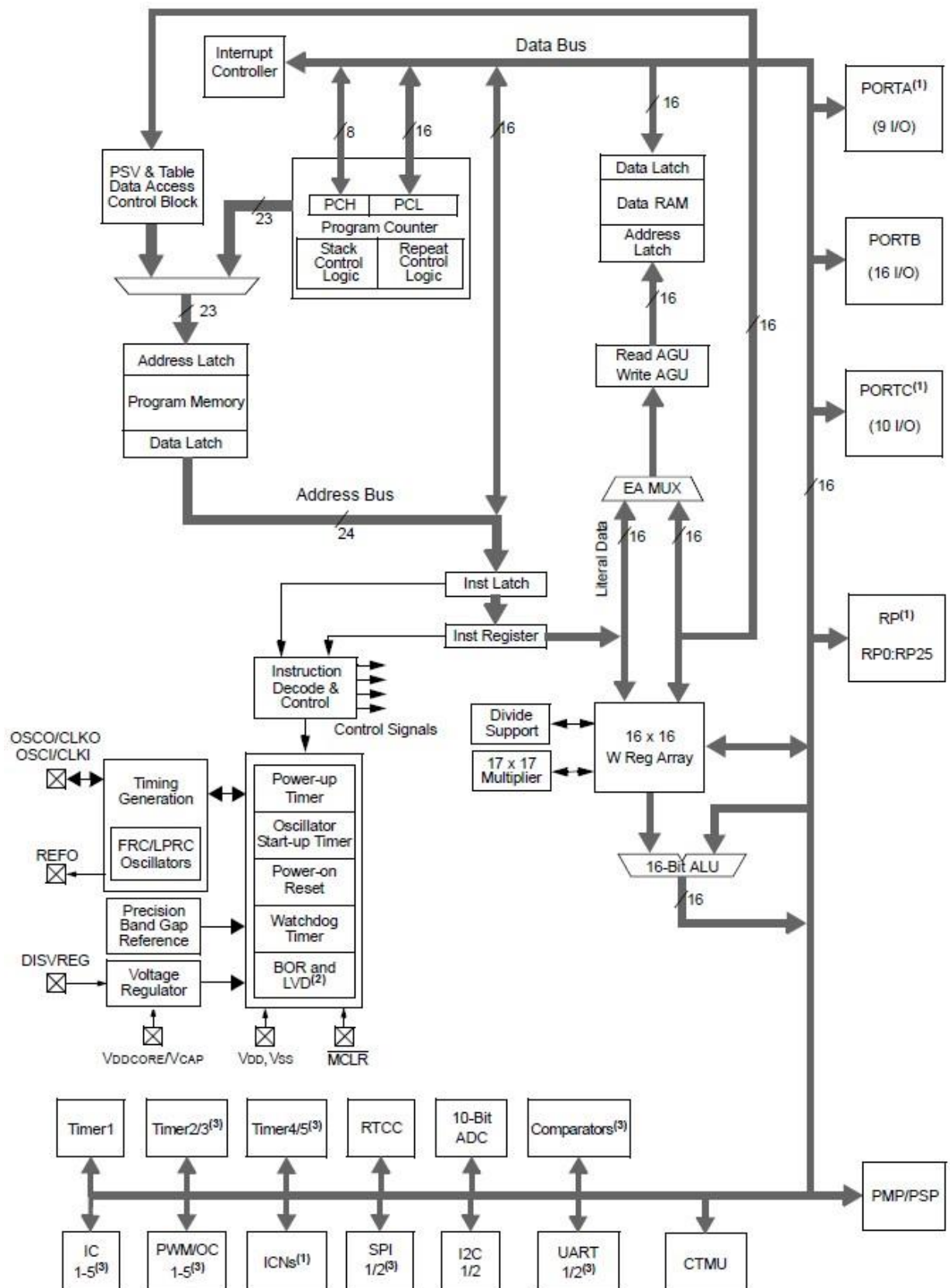


Рис. 4.4. Блок-схема мікроконтролера PIC24FJ64GA104 [1]

Мікроконтролер PIC24FJ64GA104 є представником 16-бітних мікроконтролерів від Microchip Technology, створених для широкого спектра завдань вбудованих систем[2-7]. Цей мікроконтролер побудований на розширеній RISC-архітектурі, яка поєднує простоту набору команд із високою ефективністю їх виконання. Гарвардська архітектура, реалізована в PIC24FJ64GA104, забезпечує розділення пам'яті програм і даних, що підвищує швидкість обробки і дозволяє виконувати паралельні операції над інструкціями та даними.

Основною особливістю PIC24FJ64GA104 є його енергоефективність, яка досягається завдяки низькому споживанню енергії як у робочих, так і в режимах очікування. Це робить його ідеальним для застосувань у системах автоматизації де важлива тривала автономна робота. Контролер пропонує кілька режимів енергозбереження що дозволяє оптимізувати енергоспоживання залежно від поточних потреб.

Мікроконтролер також відомий своїм багатим набором периферійних модулів, які забезпечують його універсальність. До них належать 16-канальний 10-бітний аналого-цифровий перетворювач (АЦП), кілька таймерів, широтно-імпульсної модуляції (PWM), модулі комунікації (SPI, I2C, UART), а також аналоговий компаратор. Завдяки цьому контролер легко інтегрується в системи збору даних, контролю та моніторингу.

Завдяки підтримці сучасних технологій програмування і розвиненої пам'яті (64 КБ флеш-пам'яті, 8 КБ оперативної пам'яті SRAM і 2 КБ EEPROM) PIC24FJ64GA104 підходить для роботи з великими програмами і неенергозалежними даними. Крім того, флеш-пам'ять із функцією самооновлення дозволяє виконувати оновлення програмного забезпечення безпосередньо в системі.

Контролер має компактні розміри і підтримує корпуси з кількістю виводів до 44, що дає змогу використовувати його в обмежених просторах і в пристроях із великою кількістю периферійних підключень. Завдяки поєднанню високої продуктивності, гнучкості й енергоефективності, PIC24FJ64GA104 є оптимальним

вибором для розробників сучасних комп'ютеризованих систем. Характеристики, наведені нижче [2].

- Архітектура та продуктивність. Контролер базується на 16-бітному ядрі з оптимізованою RISC-архітектурою, що підтримує одно циклове виконання більшості інструкцій, забезпечуючи високу продуктивність. Гарвардська архітектура з розділенням пам'яті для програм і даних дозволяє паралельно виконувати інструкції та завантажувати наступні.

- АЛП (арифметико-логічний пристрій): Виконує як арифметичні, так і логічні операції з даними. Завдяки 16 робочим регістрам загального призначення, будь-який із них може бути джерелом або приймачем даних.

- Продуктивність: Досягає 16 MIPS (мільйонів інструкцій за секунду) при тактовій частоті 32 МГц.

- Архітектура контролера підтримує паралельну обробку даних.
- Флеш-пам'ять: Об'єм – 64 КБ з ресурсом перезапису до 10,000 циклів.
- SRAM об'єм – 8 КБ.
- EEPROM об'єм – 2 КБ.
- Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) - 16 каналів із роздільною здатністю 10 біт. Швидкість перетворення – до 200 тис. вибірок на секунду.

- Чотири 16-бітних таймери з підтримкою режимів захоплення та порівняння.

- Чотири генератори ШІМ.
- SPI, I2C, UART (до двох модулів кожного типу).
- Аналоговий компаратор.

Для забезпечення ефективної роботи в портативних або автономних пристроях PIC24FJ64GA104 підтримує декілька режимів енергозбереження: Idle, Sleep та Doze.

- Вбудована система Brown-out Reset (скидання при зниженні напруги) і сторожовий таймер (Watchdog Timer) забезпечують надійну роботу в умовах нестабільного живлення.

- Контролер підтримує до 21 інтерфейсу програмованого входу/виходу, що дозволяє гнучко налаштовувати роботу з периферійними пристроями. Кожен пін може працювати у режимах цифрового вводу/виводу або виконувати функції спеціалізованих периферійних модулів.

- Робоча напруга: 2,0–3,6 В.
- Частота роботи: до 32 МГц.
- Діапазон температур: від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$.

4.3. Реалізація розроблених методів та алгоритмів і характеристика запропонованого інтерфейсу оператора системи

Розроблена система моніторингу цілком автономна, тому для її функціонування сторонні програмні засоби не потрібні. Програма системи, що охоплює всі її компоненти забезпечена лістингом, написаним на мові програмування C та її пізніших версіях, з урахуванням рекомендацій [8,9].

Для запуску системи потрібно увімкнути електричне живлення, після чого обслуговуючий спеціаліст чи оператор системи повинен провести початкове налагодження метанометра за допомогою спеціальних метаноповітряних сумішей. Оскільки система працює в автоматичному режимі, тобто ніяк не взаємодіє з оператором, а тільки представляє йому дані про стан середовища, то при роботі запропонованого пристрою постійно відображається вміст метану у рудниковій атмосфері та температура повітря на рідинно-кристалічному табло [10]. Приклад наведено на рис. 4.5.



Рис. 4.5. Інтерфейс в робочому стані при концентрації метану 1.0241% та температурі 20°C

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 сповіщається на екрані (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Інтерфейс в стані калібрування сповіщає про необхідність подачі 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. 4.7).

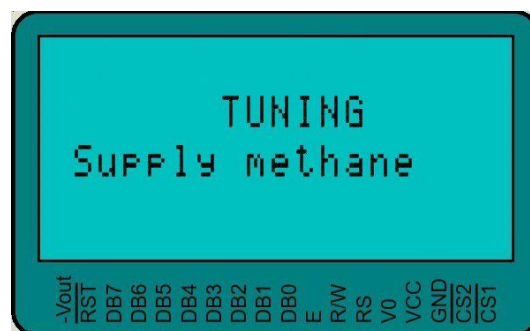


Рис. 4.7. Інтерфейс в стані калібрування сповіщає про необхідність подачі повітря з вмістом 1% метану

Після завершення калібрування на екран виводиться повідомлення про його завершення і прилад перейде в робочий робочий стан, тобто робочий режим (рис. 4. 8).



Рис. 4.8. 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. 4.9.

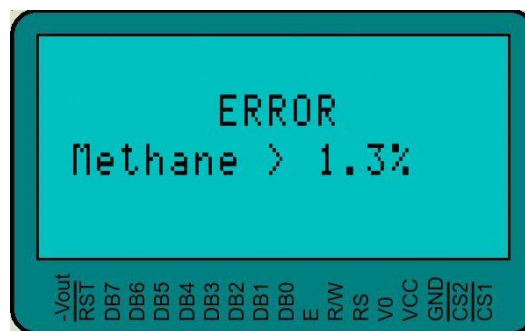


Рис. 4.9. Інтерфейс в робочому стані сповіщає про перевищення допустимої норми концентрації метану

Перевірка роботи метанометра проводилася при температурах від 17°C до 26°C, характерних для підземних гірничих виробок вугільних шахт

Відсутність метану в рудниковій атмосфері відображається як показано на рис. 4.10).



Рис. 4.10. Інтерфейс в робочому стані при концентрації метану 0% та температурі 21 °С

Якщо при роботі метанометра концентрація метану в оточуючому рудниковій атмосфері складе 0.9386% та виникне необхідність проведення калібрування в наслідок зменшення чутливості, то це буде відображено на інтерфейсі (рис. 4.11).

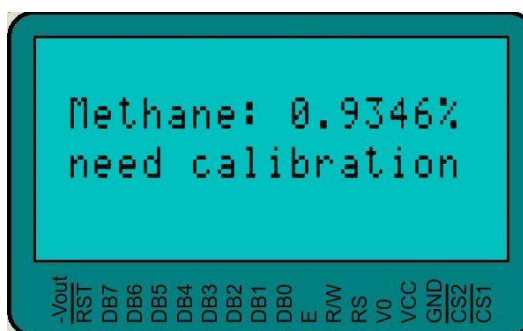


Рис. 4.11. Інтерфейс в робочому стані при концентрації метану 0.9386% та при необхідності проведення калібрування.

4.4. Реалізація заходів спрямованих на забезпечення надійності систем контролю вибухонебезпеки при газодинамічних явищах

Для забезпечення надійності систем контролю вибухонебезпеки при газодинамічних явищах нами передбачено використання в аналізаторах метану додаткового швидкодіючого оптичного датчика. Алгоритм налаштування швидкодіючого оптичного датчика та особливості контролю вибухонебезпечності середовища при використанні запропонованого методу розглянуті в розділі 3.4.

В цьому випадку все алгоритмічне забезпечення аналізатора складатиметься з наступних компонентів: налагодження аналізатора, основного режиму, перевірки і корегування нульових показань газоаналізатора, перевірки і корегування чутливості термокаталітичного сенсора та перевірка стану його газодифузійного фільтра.

При налагодженні аналізатора, при подачі повітря визначається величина напруги на виході оптичного датчика U_0 , а при подачі атестованої газової суміші додатково визначається чутливість оптичного датчика відносно значення зміни напруги $K_o = \Delta U/U_0$ на виході оптичного датчика.

Основний алгоритм, на відміну від алгоритму наведеного в розділі 4.1, передбачає додаткову оцінку стану забруднення оптичного датчика, оцінку вибухонебезпеки за показаннями оптичного датчика та оцінку небезпеки за корегованим значенням концентрації метану, процедура та алгоритм визначення яких викладена нами в розділі 3.4. Блок-схема алгоритму роботи програми в , цих режимах наведена на рис. 4.12.

Процедура перевірки й коректування нульових показань аналізатора, перевірки й коректування чутливості та перевірка стану газодифузійного фільтра аналізатора здійснюється відповідно до алгоритму наведеного в розділі 4.1 (рис. 4.2).

Принципова схема вимірювального блоку швидкодіючого аналізатора метану, виконаного на базі мікроконтролера PIC24FJ64GA104, наведена на рис. 4.13. Схема відрізняється від пристрою наведеного на рис. 4.3 тим, що в схемі присутній додатковий вимірювальний пристрій у вигляді оптичного датчику, який на відміну від основного термокаталітичного датчика не забезпечує потрібної точності вимірювання однак він забезпечує швидке реагування на зміну концентрації метану в атмосфері гірничих виробок.

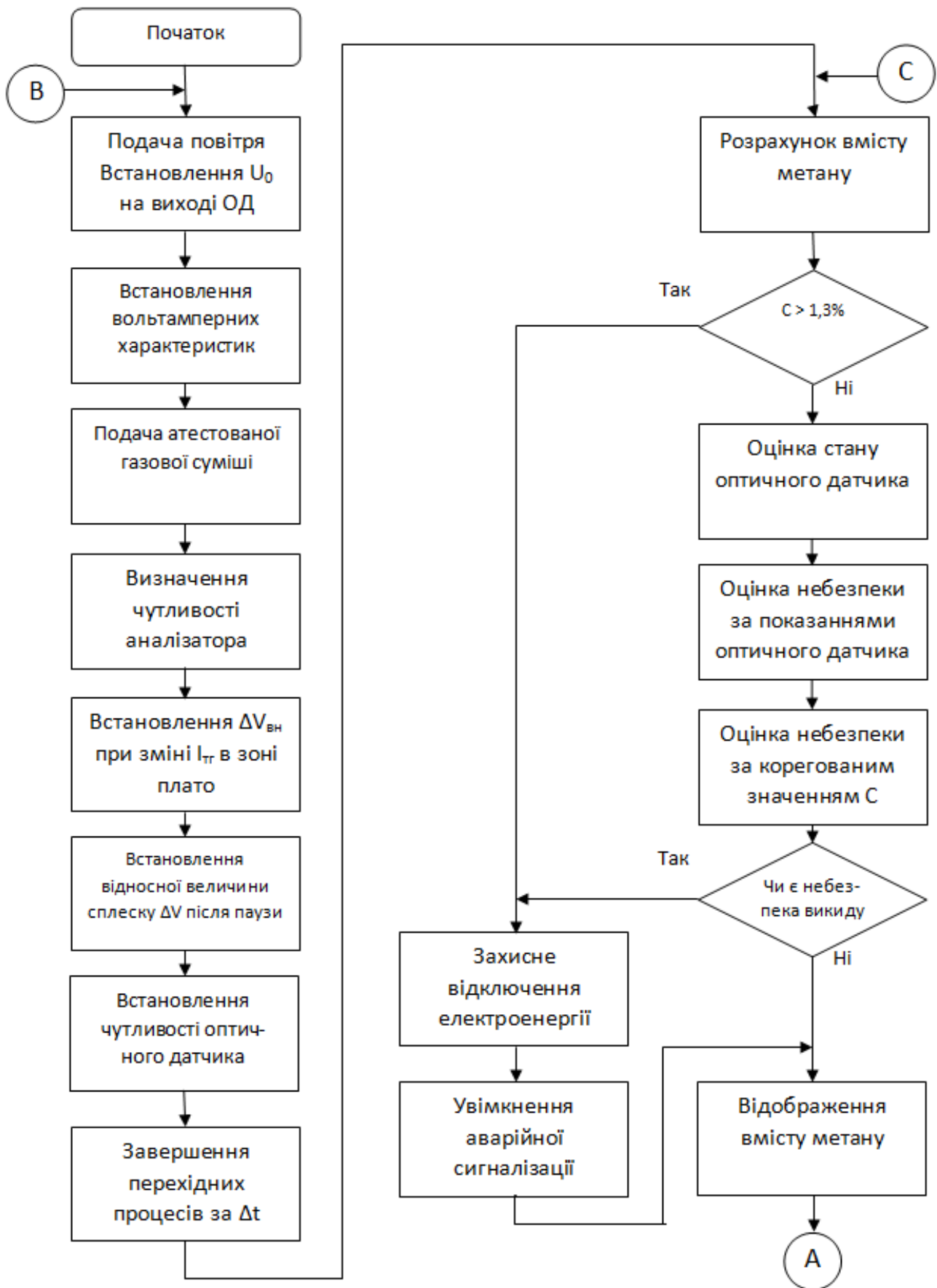


Рис. 4.12. Блок-схема алгоритму роботи швидкодіючого аналізатора (налагодження та робочий режим)

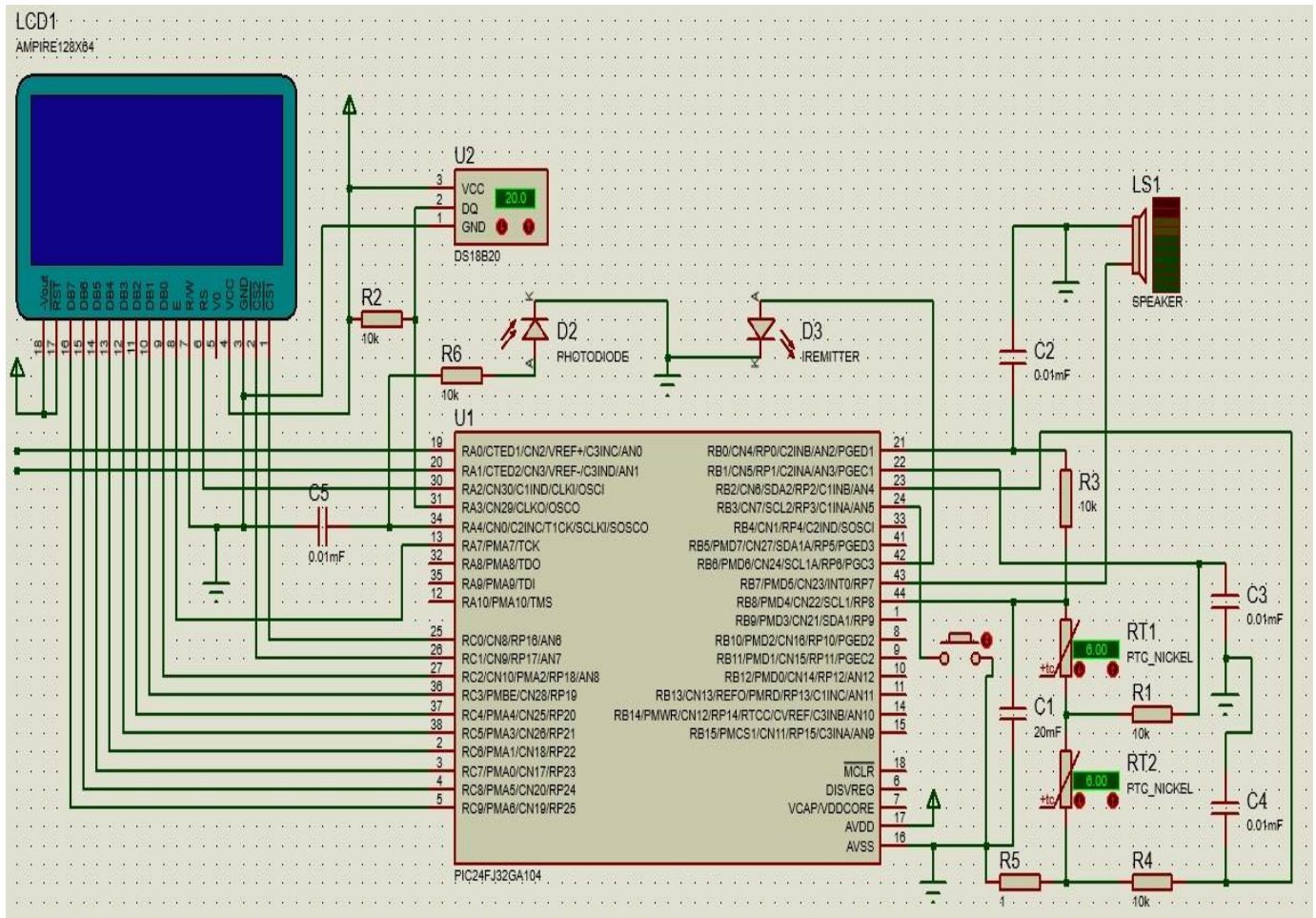


Рис. 4.13. Принципова схема вимірювального блоку швидкодійного аналізатора метану

Висновки до розділу 4.

Розроблено комп'ютеризовану систему для автоматичного дистанційного контролю вмісту метану та одночасного комп'ютерного моніторингу стану засобів контролю вибухонебезпечності вугільних шахт, що реалізовані на базі мікроконтролера PIC24FJ64GA104. Запропоновано структуру та розроблений алгоритм функціонування засобів, що передбачає:

- налаштування (повірку) аналізатора метану (установка нуля, чутливості, підготовку до роботи, початкові установки; визначення регістрів та підготовчих послідовностей операцій).

- основний робочий алгоритм (неперервний цикл) включає процес вимірювання напруги на вимірювальному мосту, виведення результатів на дисплей, передачу даних про вміст метану, а також накопичення інформації про поточні середні значення та їх середньоквадратичні відхилення. Крім того, здійснюється періодичне збереження поточних середніх значень, їх порівняння з попередніми значеннями, а також формування запитів на діагностику стану аналізатора та виявлення нетипових змін у його роботі.

- переривання основного алгоритму від внутрішніх запитів системи (алгоритм вектору переривань), виклик алгоритму обробки події, що викликала запит на переривання, і установку пріоритету в черговості обробки (у разі одночасних запитів).

Наведено характеристики основних компонентів розробленої системи та запропонованих чи використаних технічних засобів. Дано опис запропонованого інтерфейсу оператора системи з відображенням на рідинно-кристалічних табло метанометрів інформації, передбаченої алгоритмом і програмою їх функціонування. Наведені приклади відображених на табло можливих станів в системі, які створювалися в лабораторних умовах відповідно до характерних концентрацій метану і температурних умов в гірничих виробках..

Література до розділу 4

1. Документація на мікропроцесор PIC24FJ64GA104. Microchip Technology Inc, 2010. – 308 с.
2. Mazidi M.. Pic microcontroller and embedded systems using assembly and c for pic18/ Mazidi M., McKinlay R.D., Causey D. - Pearson India, 2021, - 816 p.
3. M A. Garcia-Ruiz, P.C.S. Mancilla. DIY Microcontroller Projects for Hobbyists: The ultimate project-based guide to building real-world embedded applications in C and C++ programming / Packt Publishing, 2021, - 320 p.
4. L.D. Jasio. Programming 16-Bit PIC Microcontrollers in C: Learning to Fly the PIC 24 / Newnes, 2011, - 378 p.

5. J. Morton. The PIC Microcontroller: Your Personal Introductory Course / Newnes, 2005, - 238 p.
6. H. H. Ward. Intermediate C Programming for the PIC Microcontroller: Simplifying Embedded Programming / Apress, 2020, - 364 p.
7. T. Wilmshurst. Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers / Newnes, 2009, - 704 p.
8. C. Bechara. Demystifying The Microchip PIC Microcontroller For Engineering Students: Following The KISS Principle / Charly Bechara, 2014, - 323 p.
9. M. Predko. Programming and Customizing the PIC Microcontroller / McGraw Hill TAB, 2007, - 1296 p.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, що є завершеною науковою роботою, подано вирішення актуального науково-прикладного завдання, що полягає в розробці теоретичних засад, методів, алгоритмів та програмного забезпечення для здійснення комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт.

Виконано аналіз робіт вчених, які присвячені питанням, пов'язаним здійснення комп'ютерного моніторингу в різних галузях. Встановлено, що ці роботи в основному зводяться до створення комп'ютерних моніторингових систем для безперервного спостереження за медико-біологічними параметрами пацієнтів, за переміщенням рухомих об'єктів, за параметрами вітрового потоку, за екологічним станом міст та територій, систем комп'ютерного моніторингу серверів та мереж та ін.

Виконано аналіз впливу гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов експлуатації засобів контролю вмісту метану в атмосфері гірничих виробок вугільних шахт на ризик виникнення вибухів метаноповітряної суміші, які спричиняють значні економічні збитки та характеризуються тяжкими соціальними наслідками у тому числі загибеллю та травмуванням працівників. Встановлено що однією з причин вибухів є несправність або відмова систем раннього виявлення небезпек, обумовлених накопиченням в гірничих виробках метану, та не спрацювання засобів захисного вимкнення електропостачання при їх появі. Виявлено, що зниження ризику вибуху метаноповітряних сумішей можливе за умови підвищення ймовірності безвідмовної роботи системи контролю вмісту метану та захисного відключення електропостачання, яке досягається при здійсненні комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності.

Виявлено, що основними причинами відмови системи контролю вибухонебезпечності є зміщення «нуля» аналізаторів метану, зниження чутливості первинних перетворювачів та забруднення газодифузійних фільтрів

датчиків метану та їх суттєва інерційність у разі виникнення раптових викидів метану.

Проведені дослідження та розроблено визначення зміщення «нуля» газоаналізаторів через зниження напруги живлення чутливих термоелементів термогрупи до рівня, за якого реакція окислення метану на них не відбувається. Розроблено алгоритм моніторингу зміщення «нуля» та відновлення працездатності аналізаторів шляхом його корегування та алгоритмічне забезпечення для проведення моніторингу мікропроцесорних стаціонарних аналізаторів метану «нуля» аналізаторів, виконаних на базі мікроконтролера PIC24FJ64GA104.

Теоретично обґрунтовано метод контролю чутливості термокаталітичних сенсорів та корегування показань газоаналізаторів, який полягає в тому, що при зміні величини струму через чутливі елементи термокаталітичного датчика відбувається зміна вихідних характеристики перетворювачів на ділянці виходу вихідної напруги вимірювального моста на горизонтальну частину (плато) характеристики. Розроблено алгоритм моніторингу чутливості первинних перетворювачів і корегування показань аналізаторів метану та алгоритмічне забезпечення для проведення моніторингу чутливості мікропроцесорних стаціонарних аналізаторів метану

Запропонований та досліджений методу виявлення випадків забруднення газодифузійних фільтрів термокаталітичних сенсорів та корекції показань аналізаторів метану, заснований на аналізі перехідних процесів, що виникають у датчиках при зміні режиму живлення термоелементів. Запропоновано алгоритм виявлення випадків забруднення та корегування показань аналізаторів метану у цьому випадку та розроблено алгоритмічне забезпечення для його реалізації.

Розроблено метод підвищення швидкодії систем автоматичного газового захисту, при одночасному використанні в аналізаторах метану двох датчиків, один з яких є високо стабільним, але відносно інерційним — термокаталітичним, а інший — малоінерційним оптичним, який полягає в тому, що за відсутності

суттєвих збурень, викликаних газодинамічними явищами, інформація про концентрацію метану та формування сигналу на відключення електрообладнання здійснюється на основі вимірювання концентрації термокatalітичним датчиком, а малоінерційний оптичний датчик служить лише для визначення величини приросту концентрації метану за короткий проміжок часу при газодинамічних явищах. Розроблено алгоритм для реалізації методу та відповідне алгоритмічне забезпечення.

Запропоновано комп'ютеризовану систему, методи та алгоритми її роботи та програмне забезпечення для проведення комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт на базі мікроконтролера PIC24FJ64GA104. Дано опис запропонованого інтерфейсу оператора системи з відображенням на табло аналізаторів інформації, передбаченої алгоритмом та програмою їх функціонування.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

```

#include "MAIN.H"

VOID PORT_INI(VOID)
{
    PORTD=0X00;
    DDRD=0XFF;
    PORTB=0X0B;
    DDRB=0X0A;
}

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();
    OCR1A = 50;
    OCR2 = 63;
    //OCR2 = 41;

    I2C_INIT();
    USART_INIT(8);

    SAVE_DATA= EEPROM_READ_DWORD(0);
    AIR_CLIEN = *((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_CLIEN;

    CLEARLCD();

    WHILE (1)
    {
        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_CLIEN) / AIR_DIF;

        AIR_NOW+=SEN_DIF;

        IF(AIR_NOW > 1.3)
        {
            PORTB=0X1B;

```

```

        DDRB=0X1A;

        CLEARLCD();
        SETPOS(6,0);
        STR_LCD("ERROR");
        SETPOS(0,1);
        STR_LCD("METHANE > 1.3%");
        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=0X0B;
        DDRB=0X0A;
    }

    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("%");

    IF (SEN=0)
    {
        SETPOS(0,1);
        TT_P = CONVERTTEMP(DT_CHECK());
        STR_LCD("TEMP: ");
        SENDCHARLCD(TT_P/10+0X30);
        SENDCHARLCD(TT_P%10+0X30);
        SENDCHARLCD('*');
        SENDCHARLCD('C');
    }
    USART_TRANSMIT(AIR_NOW);
    USART_TRANSMIT(TT_P);

    IF (AVTO_REG > 86400000)
    {
        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;
FLOAT OPT_NOW;

ISR (TIMER0_OVF_VECT)
{
    AVTO_REG++;

    ADMUX = (1<<REFS1) | (1<<REFS0) | (0<<MUX0) | (0<<MUX1) | (1<<MUX2);
    _DELAY_MS(50);
    OPT_NOW = (FLOAT) ADC_VALUE / 400;

    IF (OPT_NOW < 0.4 || OPT_NOW > 1.6 )
    {
        PORTB=0X1B;
        DDRB=0X1A;

        CLEARLCD();
        SETPOS(6,0);
        STR_LCD("ERROR");
        SETPOS(0,1);
        STR_LCD("METHANE DANGER");
        WHILE (1)
        {
            IF (!(PINB&0B00000001))
            {
                IF (BUTCOUNT < 5)
                {
                    BUTCOUNT++;
                }
                ELSE
                {
                    BREAK;
                }
            }
            ELSE
            {
                IF (BUTCOUNT > 0)
                    BUTCOUNT--;
            }
        }
        PORTB=0X0B;
        DDRB=0X0A;
    }
}

VOID TIMER_INI (VOID)
{
    TCCR0=0X05;
    TIMSK |= (1<<TOIE0);
}
#ifdef 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;
    }

    #IFDEF TIMER_H_
    #DEFINE TIMER_H_

    #INCLUDE "MAIN.H"

    VOID TIMER_INI(VOID);

    #ENDIF

    #IFDEF 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);
        UBRL = (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;
    }

    #IFDEF 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);
}

#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);
            }
        }
    }
}

```



```

    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 UCADATA)
{
    WHILE(EECR & (1<<EWE))
    {}
    EEAR = UIADDRESS;
    EEDR = UCADATA;
    EECR |= (1<<EEMWE);
    EECR |= (1<<EWE);
}

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

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

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;
}

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 UCADATA)
{
    EEPROM_WRITE_WORD(UIADDRESS, (UINT16_T) UCADATA);
    UINT16_T DT = UCADATA>>16;
    EEPROM_WRITE_WORD(UIADDRESS+2, DT);
}

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;
}

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]);
}

#ifndef EEPROM_H_
#define EEPROM_H_

#include "MAIN.H"

VOID EEPROM_WRITE(UNSIGNED INT UIADDRESS, UNSIGNED CHAR UCADATA);
VOID EEPROM_WRITE_DWORD(UNSIGNED INT UIADDRESS, UINT32_T UCADATA);
VOID EEPROM_WRITE_STRING(UNSIGNED INT UIADDRESS, CHAR STR1[]);

```

```

UINT32_T EEPROM_READ_DWORD(UNSIGNED INT UIADDRESS);
CONST CHAR* EEPROM_READ_STRING(UNSIGNED INT UIADDRESS, UNSIGNED INT SZ);
VOID EEPROM_WRITE_WORD(UNSIGNED INT UIADDRESS, UINT16_T UCADATA);
UNSIGNED CHAR EEPROM_READ(UNSIGNED INT UIADDRESS);
UINT16_T EEPROM_READ_WORD(UNSIGNED INT UIADDRESS);

#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 ADDRESS;
    ADDRESS=(0X40*Y+X)|0B10000000;
    SENDBYTE(ADDRESS, 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]);
}

#ifdef 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;
    TCCR1A=0B10000011;
    TCCR1B=0B00011100;
    TCCR2=0B01101110;
    TCNT1=0X00;
    OCR1A=0X00;
    OCR1B=0X00;
    TCNT2=0X00;
    OCR2=0X00;
    TIMSK|=0X00;}
}

```



**Товариство з обмеженою відповідальністю
НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ ОБ'ЄДНАННЯ
"Червоний металіст"**

41615, Україна, Сумська обл., м. Конотоп, вул. Деняка Віктора, 5
IBAN UA943138490000026002001197805 АКБ "Індустріалбанк"
IBAN UA903223130000026008000003857 АТ, "Укрексімбанк", м. Київ
IBAN UA 173006140000026004500226151 ПАТ "КРЕДІ АГРІКОЛЬ БАНК" м. Київ
Код за ЄДРПОУ 34880895, ПІН 348808926554, № свідоцтва 100039497
Тел. (05447) 2-33-80

Від 25.08.2024 № 44/52
На _____ від _____

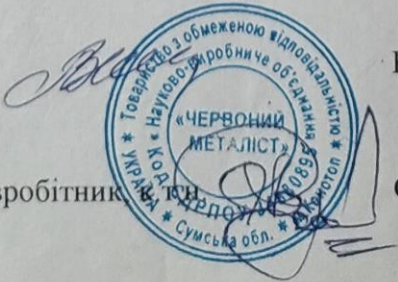
ДОВІДКА

про використання ТОВ «НВО «Червоний металіст» результатів наукових досліджень аспіранта кафедри програмного забезпечення та комп'ютерних систем НТУ «Дніпровська політехніка» Олександра Голінько

Результати наукових досліджень Олександра Голінько, які присвячені розробці теоретичних засад, методів, алгоритмів та програмного забезпечення для здійснення комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт, представляють суттєвий інтерес для НВО «Червоний металіст», що є основним виробником технічних засобів для систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт.

Основні наукові результати, зокрема запропоновані методи та алгоритми комп'ютерного моніторингу нульових показань аналізаторів метану, методи та алгоритми комп'ютерного моніторингу чутливості датчиків стаціонарних аналізаторів метану, методи та алгоритми виявлення випадків забруднення газодифузійних фільтрів та обмеження дифузії метаноповітряної суміші до чутливих елементів датчиків, а також рішення спрямовані на забезпечення надійності систем контролю вибухонебезпеки при газодинамічних явищах шляхом поліпшення динамічних характеристик аналізаторів метану та розроблене програмне забезпечення проведення комп'ютерного моніторингу для мікроконтролера ATmega8 будуть використані НВО «Червоний металіст» при модернізації засобів системи контролю вибухонебезпечності вугільних шахт яке планується здійснити з наступного року.

Голова товариства



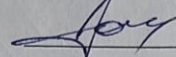
Валентина ПОНОМАРЬОВА

Головний науковий співробітник

Олександр КОТЛЯРОВ

ДОВІДКА (Про використання матеріалів в навчальному процесі).

ЗАТВЕРДЖУЮ

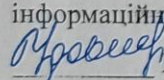
Проректор з науково-педагогічної
та навчально-виховної роботи Юрій ХОМЕНКО

«20» листопада 2024р.

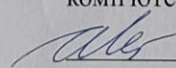
АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження
Голінько Олександра на тему «Методи та алгоритми комп'ютерного
моніторингу систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт»

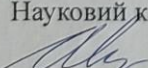
Наукові та науково-практичні результати дисертаційного дослідження на тему «Методи та алгоритми комп'ютерного моніторингу систем контролю вибухонебезпечності вугільних шахт», що виконувалися протягом 2021-2024рр., впроваджено в 2023/2024 навчальному році у навчальному процесі на факультеті інформаційних технологій на кафедрі програмного забезпечення комп'ютерних систем при підготовці методичного забезпечення дисциплін: «Програмування спеціалізованих мікроконтролерів» (проф. Лактіонов І.С.) для бакалаврів спеціальності 122 – Комп'ютерні науки; «Сучасні методи і системи підтримки прийняття рішень» (проф. Мороз Б.І.) для докторів філософії спеціальності 122 – Комп'ютерні науки.

Декан факультету
інформаційних технологій
 Ірина УДОВИК

«20» листопада 2024 р.

Завідувач кафедри
програмного забезпечення
комп'ютерних систем
 Михайло АЛЕКСЕЄВ

«20» листопада 2024 р.

Науковий керівник
 Михайло АЛЕКСЕЄВ
«20» листопада 2024 р.