

УДК 543.42:621.384.3:622.412

О.В. ВОВНА (д-р техн. наук, доц.)

А.А. ЗОРІ (д-р техн. наук, проф.)

Донецький національний технічний університет

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБОК І ДОСЛІДЖЕНЬ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ ТА ПИЛУ В РУДНИЧНІЙ АТМОСФЕРІ ШАХТ

Представлено результати розробок і досліджень комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері шахт. У роботі вирішено науково-прикладну проблему створення і технічної реалізації нових науково-обґрунтованих підходів у комп'ютеризованій інформаційно-вимірювальній техніці, які дозволяють розробити високоточні швидкодіючі оптоелектронні вимірювальні системи у складі комплексу забезпечення аерогазової безпеки шахт. Це дало можливість розробити рекомендації та спроектувати вимірювальні підсистеми для реальних умов експлуатації.

Ключові слова: вимірювальна система, концентрація, метан, пил, руднична атмосфера, точність, швидкодія.

Загальна постановка проблеми. З розвитком економіки України зростає потреба в енергетичних ресурсах, у тому числі і корисних копалин, що розробляються підземним способом, до яких відноситься і вуглевидобування. Несприятлива світова кон'юнктура паливно-енергетичних ресурсів з обмеженими власними природними запасами нафти і газу перетворює вуглевидобування на стратегічний напрям господарської діяльності України. Вугілля, природні запаси якого можуть забезпечити потреби України на сотні років вперед, перетворюється на основу паливно-енергетичної незалежності України. Донбас, вугільні запаси якого експлуатуються більше сотні років, як і раніше залишається найважливішим вугледобувним басейном України. Тут зосереджено величезні розвідані запаси вугілля, але за ним доводиться опускатися все глибше під землю. З поглиблення гірничих робіт та інтенсифікації вуглевидобування неухильно зростає кількість газодинамічних явищ. У теперішній час в Україні більше половини шахт є небезпечні за раптовими викидам газу. Недосконалість технічних засобів контролю якісного стану атмосфери підземних виробок, недоліки в організації техніки безпеки на вугільних підприємствах Донбасу в останнє десятиліття спричинили за собою масштабні аварії з численними людськими жертвами [1].

У висновках та рекомендаціях Державної комісії щодо дотримання вимог підвищення техніки безпеки на вугільних шахтах, необхідно строго дотримуватися встановленого регламенту пилогазового та вентиляційного режимів, вдосконалення методів прогнозу газовиділень у шахтах, як найважливіша міра, вказується на створення та вдосконалення апаратури для контролю концентрації метану та вугільного пилу в рудничній атмосфері. У вугільній промисловості склалася парадоксальна ситуація: вимоги до швидкодії засобів вимірювання концентрації метану в підземних виробках визначені ГОСТ 1980 року [2], але і на теперішній час в Україні не існує засобу вимірювання концентрації метану, що задовольняє цим вимогам.

З 2005 року на кафедрі електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» отримав широкий розвиток та апробацію новий науково-технічний напрямом «Методи та засоби аналітичного вимірювання концентрації газових компонент у рудничній атмосфері вугільних шахт». Цей науковий напрям підтримувався колективом співробітників кафедри: д-р техн. наук, проф. Зорі А.А., д-р техн. наук, доц. Вовна О.В., канд. техн. наук, доц. Коренев В.Д.; канд. техн. наук, доц. Хламов М.Г.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Розробки і дослідження виконувалася відповідно до «Програм наукових досліджень і розробок Міністерства освіти і науки України за пріоритетними напрямками науки і техніки»: «Інформаційні і телекомунікаційні технології», згідно з Законом України від 12.10.2010 р. №2519 – 17 та «Нові апаратні рішення для перспективних засобів обчислювальної техніки, інформаційних і комунікаційних технологій», згідно з постановою Кабінету міністрів України від 07.09.2011 р. №942, у рамках

таких держбюджетних робіт ДВНЗ «ДонНТУ», що фінансувалися МОН України, приватними компаніями України та міжнародними організаціями Європейського союзу:

1. «Розробка швидкодіючих методів і засобів виміру концентрації метану у рудничній атмосфері вугільної шахти» (Д-15-06), № 0106U001267.

2. «Розроблення швидкодіючого вимірювача концентрації метану для системи газового захисту вугільних шахт» (Д-14-07 за договором № ДЗ/364-2007), № 0107U007159.

3. «Підвищення ефективності мікропроцесорної інформаційно-вимірювальної системи контролю концентрації метану для системи газового захисту вугільних шахт» (Д-16-09), № 0108U010586.

4. «Розроблення методів та засобів підвищення метрологічної надійності газоаналітичних вимірювачів в умовах підвищеної вибухонебезпечності промислових підприємств» (Д-5-11), № 0111U004016.

5. «Розробка методів та засобів оперативного контролю запилення рудничної атмосфери для системи аерогазового захисту вугільних шахт» (Д-3-13), № 0112U005894.

6. «Розробка та дослідження експериментального зразка оптичного вимірювача концентрації метану для вугільних шахт» (Д-15-06), №0115U002655.

7. Господарська робота «Розробка вимірювача із застосуванням інфрачервоного оптико-абсорбційного методу контролю концентрації метану в рудничній атмосфері вугільних шахт», 10 – 294 за договором № 752 (10 – 294).

8. Міжнародна освітня програма TEMPUS «Тренінги в технології автоматизації для України» № 544010-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES.

Постановка проблеми та задач досліджень. Мета роботи – розробка наукових підходів до створення високоточних швидкодіючих оптоелектронних вимірювальних систем у складі комплексу забезпечення аерогазової безпеки шахт за рахунок використання розроблених та реалізованих методів і засобів підвищення ефективності вимірювальних систем шляхом обліку та компенсації впливу дестабілізуючих факторів.

Для досягнення поставленої мети розв'язано такі задачі:

1. Проаналізовано відомі методи і засоби, які покладено в основу побудови вимірювальної системи концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері шахт.

2. Розроблено моделі формування інформаційних параметрів і дестабілізуючих факторів при вимірювальному контролі концентрації метану та пилу.

3. Розроблено нові методи і засоби підвищення ефективності вимірювальних систем концентрації метану та пилу, що забезпечують збільшення швидкодії, точності та метрологічної надійності цих вимірювальних засобів.

4. Обґрунтовано і розроблено структурно-алгоритмічну організацію вимірювальних каналів комп'ютеризованих системи, що побудовано при обліку особливостей розроблених методів та засобів.

5. Створено макетні та дослідні зразки комп'ютеризованих вимірювальних систем і проведено їх експериментальні дослідження, що підтверджують адекватність розроблених теоретичних моделей, ефективність запропонованих методів та створених на їх основі засобів вимірювального контролю.

Результати розробок і досліджень. Під час виконання роботи проаналізовано відомі методи і засоби, які покладено в основу побудови вимірювальної системи концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері. Встановлено, що для підвищення рівня аерогазової безпеки шахт перспективним напрямом є розробка нових підходів, методів і засобів отримання вимірювальної інформації щодо зміни концентрації метану та пилу. Це можливо досягти шляхом створення та впровадження високоточних швидкодіючих оптоелектронних комп'ютеризованих вимірювальних систем.

Аналіз існуючих засобів вимірювання концентрації пилу показав, що єдиними стандартизованими пристроями для її вимірювання в шахті є аспіраційні пиломіри. Вони забезпечують відносну похибку вимірювання $\pm 20\%$ у діапазоні від 0 до 5 г/м^3 з швидкістю не менше 3 хвилин, що є неприйнятним. Встановлено, що використання оптичних вимірювачів, які дозволяють здійснювати вимірювання концентрації пилу у режимі реального часу, обмежується складністю їх обслуговування в умовах шахт. Для зниження впливу цього фактора запропоно-

вано розробити відповідні методи і засоби, використання яких у вимірювачі дозволить підвищити його метрологічну надійність.

На основі проведеного аналізу існуючих вимірювальних засобів концентрації метану та пилу встановлено невідповідності їх технічних характеристик сучасним вимогам за швидкістю, точністю та метрологічною надійністю. Отже, постає нагальна потреба у розробці нових методів, моделей і технічних рішень, що і визначає сутність наукової проблеми, що розв'язується.

Розроблено модель розповсюдження метану в тупикових виробках на основі теорії дифузійно-конвективного масоперенесення речовини [3], рівняння якого:

$$\frac{\partial C_{CH_4}}{\partial t} + v \frac{\partial C_{CH_4}}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C_{CH_4}}{\partial x^2}, \quad (1)$$

де C_{CH_4} , об.% – концентрація метану; v , м/с – середня швидкість руху повітря у виробці; D – коефіцієнт турбулентної дифузії; t , с – час; x , м – відстань від вибою до відповідної точки виробки.

Результати розрахунку динаміки концентрації метану в тупиковій виробці за її довжиною x від 0 до 50 м при $\Delta x = 1$ м протягом часу t від 0 до 6 с при $\Delta t = 0,2$ с наведено на рис. 1. Запропонована модель дозволяє оцінити динамічну похибку вимірювання C_{CH_4} [4] (див. рис. 2):

$$\Delta_{CH_4}^{дин}(t, x) = \pm(C_{CH_4}(t + T_{09}, x) - C_{CH_4}(t, x)),$$

де T_{09} , с – швидкодія вимірювача концентрації метану, значення якої визначається на рівні 90 % від сталого значення його вихідного сигналу.

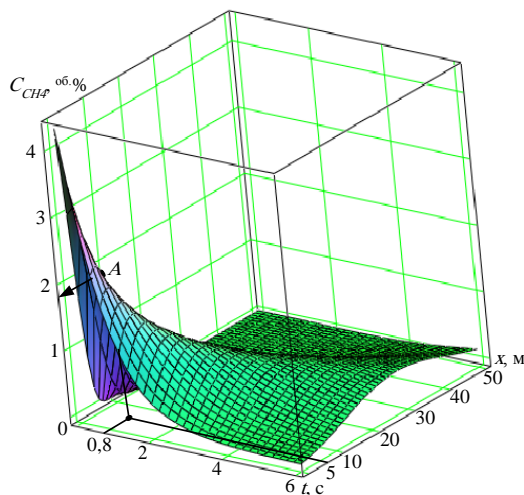


Рис. 1. Динаміка концентрації метану в тупиковій виробці

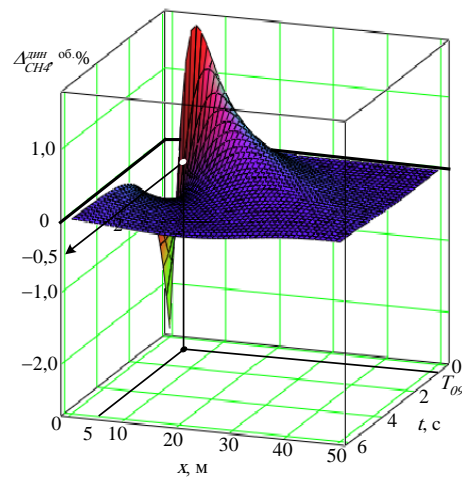


Рис. 2. Зміна $\Delta_{CH_4}^{дин}$ вимірювань C_{CH_4} за довжиною виробки протягом часу

При $x=5$ м від привибійного простору тупикових виробок, де встановлено вимірювачі концентрації метану, згідно з Правилами техніки безпеки, з урахуванням вимог за швидкістю вимірювача ($T_{09}=0,8$ с) величина $\Delta_{CH_4}^{дин}$ складає $-0,5$ об.%. Набуте значення в 2,5 рази перевищує значення основної похибки вимірювання ($\pm 0,2$ об.%). У зв'язку з цим швидкодія стаціонарних метанометрів повинна складати не більше 0,8 с, що повністю співпадає з вимогами Правил техніки безпеки та ДСТУ ГОСТ24032:2009.

Проведені теоретичні дослідження дозволили визначити низку особливостей процесів вимірювання концентрації метану та пилу, їх перетворення у вимірювальних каналах, визначення інформативних параметрів під час зміни комплексу дестабілізуючих факторів рудничної атмосфери. При цьому запропоновано методи і засоби, які потенційно забезпечують підвищення ефективності цих вимірювальних систем. Реалізовані експериментальні дослідження [5 – 7] підтверджують адекватність розроблених теоретичних основ і моделей. Виконано лабораторні випробування розроблених, створених і метрологічно атестованих таких засобів вимірювання, як:

- дослідні зразки вимірювачів концентрації метану з компенсацією впливу зміни концентрації пилу, запилення його оптоелектронних компонентів і зміни температури на їх метрологічні характеристики;

- макетні зразки вимірювачів концентрації вугільного пилу з урахуванням його дисперсності та компенсацією запилення стекол оптоелектронних вимірювачів, вихідні параметри яких є інваріантними до зміни температури.

Досвід і рекомендації за результатами досліджень вимірювальних систем концентрації метану та пилу, які отримано під час виконання теоретичних та експериментальних досліджень [8, 9], матеріалізовано у вигляді методик і практичних розробок цих вимірювальних систем для підприємств гірничої промисловості. Розроблені комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи використано у комплексі забезпечення аерогазової безпеки шахт з використанням запропонованих і реалізованих методів та засобів підвищення ефективності вимірювальних систем.

У розробленому дослідному зразку вимірювача концентрації метану реалізовані апаратно-програмні методи компенсації [5, 9]:

- зміни концентрації пилу та запилення оптоелектронних компонентів вимірювача;
- динамічної похибки результатів вимірювань;
- температурного дрейфу вихідних сигналів вимірювача.

Практична цінність результатів досліджень полягає у розробці, створенні та експериментальному дослідженні макетних і дослідних зразків вимірювачів концентрації пилогазових компонентів рудничної атмосфери вугільних шахт. Під час проведення досліджень розроблено дослідні зразки вимірювачів концентрації метану для двох діапазонів вимірювань: від 0 до 4^{об.}% з основною абсолютною похибкою не більше $\pm 0,1$ ^{об.}% та від 0 до 100^{об.}% з величиною похибки не більше $\pm 1,0$ ^{об.}%. При цьому отримані значення є у 4 рази меншими ніж регламентовані ДСТУ [2]. Виконано оцінку швидкодії розробленого вимірювача, значення якої складає не більше 84 мс, що є у 1,8 разів меншим за необхідну величину (150 мс). Це значення отримано під час проведення досліджень та пропонується внести його як поправку до ДСТУ [2] у бік зменшення його величини до 0,15 с порівняно з існуючим показником 0,8 с.

Виконано оцінку значення додаткових похибок вимірювання концентрації метану від зміни таких дестабілізуючих факторів:

- температури у діапазоні її зміни від +5 до +35°C складає $\Delta_{CH_4}(T) = \pm 0,09$ ^{об.}%, що є у 2,2 рази меншим за регламентоване значення ($\pm 0,2$ ^{об.}%);

- концентрації пилу від 0 до 5 г/м³, що складає п'ятикратний запас, порівняно з вимогами ДСТУ [2] під час експлуатації цих вимірювачів (1 г/м³), $\Delta_{CH_4}(C_C) = \pm 0,10$ ^{об.}%, яке є у 2 рази меншим за величини похибки, що регламентується (не більше $\pm 0,2$ ^{об.}%).

Найвірогідніше ($P=0,95$) значення додаткової похибки вимірювання концентрації метану від змін температури та запилення рудничної атмосфери склало не більше $\pm 0,15$ ^{об.}%, що є у 2,5 рази меншим за подвоєне значення основної допустимої похибки (не більше $\pm 0,4$ ^{об.}%).

Під час проектування вимірювача концентрації метану розроблено конструкцію його корпусу, 3D-модель зовнішнього вигляду якого наведено на рис. 3 а, без захисних кришок на рис. 3 б. Вимірювач має два відсіки: оптоелектронних компонент та електронних перетворювачів. Електронну частину з'єднано телекомунікаційним кабелем з системою аерогазового захисту вугільних шахт. На корпусі відсіку оптоелектронних компонент виведено індикаторні світлодіоди (СВД) для якісного відображення вимірюваних значень концентрації

метану. Вимірювач встановлюється під склепінням гірничих виробок шахт індикаторними СВД вниз.

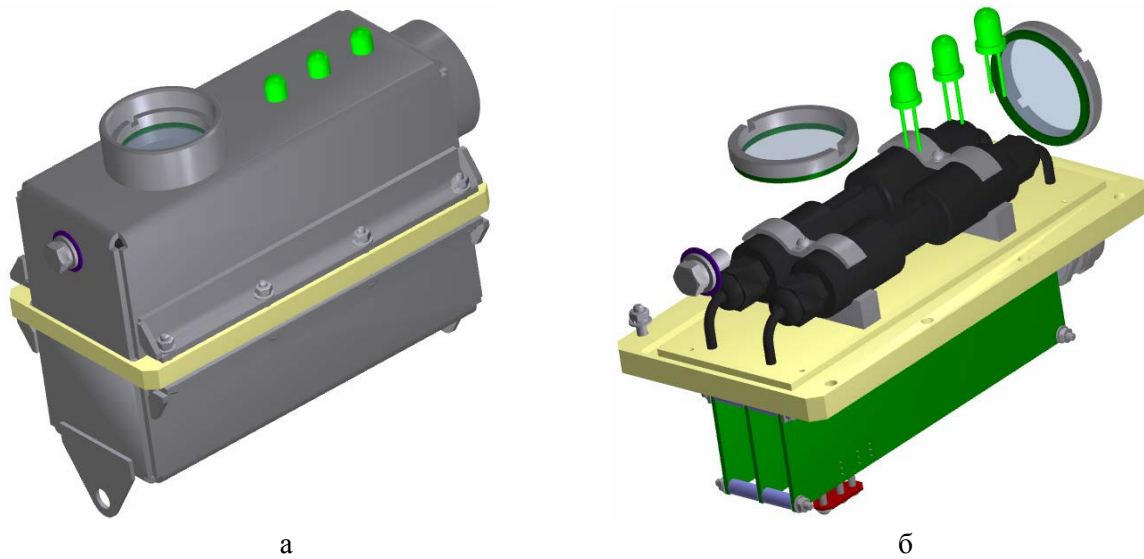


Рис. 3.3. D-модель зовнішнього вигляду корпусу вимірювача концентрації метану (а) та його конструктивне виконання без захисних кришок (б)

У розробленому макетному зразку вимірювача концентрації вугільного пилу реалізовано апаратно-програмні методи компенсації [8, 9]:

- дисперсійного складу пилового аерозолу рудничної атмосфери шахт;
- запилення його оптоелектронних компонентів;
- температурного дрейфу вихідних сигналів вимірювача.

Під час виконання досліджень розроблені макетні зразки вимірювачів концентрації пилу у діапазоні вимірювань від 0 до 3000 мг/м³ з основною абсолютною похибкою не більше ± 14 мг/м³, що є у 3,5 рази меншим за необхідне значення (не більше ± 50 мг/м³) та у 14 разів меншим ніж у прототипу. Прототипом є сертифікований аспіраційний вимірювач ПКА-01, який має похибку вимірювання ± 200 мг/м³.

Виконано оцінку швидкодії розробленого макетного зразка вимірювача, значення якої не перевищує 0,15 с. Це значення є на три порядки меншим ніж у сертифікованого аспіраційного вимірювача ПКА-01 (180 с), що дозволяє проводити вимірювання концентрації пилу у режимі реального часу та синхронізовано з вимірювачем концентрації метану.

Виконано оцінку значення додаткових похибок вимірювання концентрації пилу від зміни домінуючого дестабілізуючого фактору – температури у діапазоні від +15 до +40°C складає не більше ± 4 мг/м³, що є у 3,5 рази меншим за величину основної похибки вимірювань (± 14 мг/м³) та повністю задовольняє поставленим вимогам.

Розроблені вимірювачі концентрації метану та зваженого вугільного пилу пройшли випробування у науково-дослідній лабораторії кафедри електронної техніки ДВНЗ «ДонНТУ» та у виробничих умовах:

– лабораторій аерогазового захисту шахти ім. М.І.Калініна у рамках договору № 752/10 – 294 від 30.04.2010 р. на виконання сумісно з ПК «Дейта Експрес» науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи «Розробка вимірювача із застосуванням інфрачервоного оптико-абсорбційного методу контролю концентрації метану в рудничній атмосфері вугільних шахт», а також ПАТ «ШУ «Покровське» і ВП Шахта «1/3 Новогродівська».

- лабораторії АКУ ДП «Петровський завод вугільного машинобудування» дослідження

проводилися у рамках договору № 230/2907 від 29.08.2008 р. про співпрацю та організацію взаємовідносин між ДВНЗ «ДонНТУ» та ДП «Петровський завод вугільного машинобудування».

Розроблено програми і методики метрологічної атестації макетних та дослідних зразків вимірювачів концентрації метану і пилу, які використано Донбаською філією головного науково-дослідного інституту метрології та сертифікації МОН України (ГНДІМС) та Науково-дослідним інститутом прикладної електроніки НАН України для проведення науково-дослідних робіт під час розробки методів і засобів підвищення швидкодії і точності вимірювачів пилогазових компонент для умов шахт.

Результати теоретичних досліджень роботи використано під час проведення спільної науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи кафедри електронної техніки ДВНЗ «ДонНТУ» і ПК «Дейта Експрес» № 10 – 294 за госпдоговором № 752 (10 – 294) від 30.04. 2011 р. на тему «Розробка вимірювача із застосуванням інфрачервоного оптико-абсорбційного методу контролю концентрації метану в рудничній атмосфері вугільних шахт».

Розроблені методи і засоби дозволили реалізувати низку проектів для підприємств гірничої промисловості:

– швидкодіюча вимірювальна система концентрації метану для комплексу шахтного диспетчерського телефонного зв'язку та оповіщення «САТ» (Приватна компанія «Дейта Експрес», м. Донецьк, Україна);

– вимірювальна система концентрації полідисперсного пилу для уніфікованої телекомунікаційної системи диспетчерського контролю та автоматизованого управління гірничими машинами і технологічними комплексами «УТАС» (Державне підприємство «Петровський завод вугільного машинобудування, м. Донецьк, Україна).

За матеріалами проведених досліджень захищені дві кандидатські дисертації Вовна О.В. (2009 р.) [5] і Соломічев Р.І. (2014 р.) [8], а також у 2015 році захищена докторська дисертація на тему «Методи і засоби побудови комп'ютеризованих оптоелектронних вимірювальних систем концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері шахт» Вовна О.В. [9]. Опубліковано 88 друкованих робіт, серед них 2 монографії, 29 публікації в наукових фахових виданнях, які включено до наукометричних баз даних РИНЦ, ВІНТИ, ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY, INDEX COPERNICUS, 30 тези доповідей на наукових конференціях, 2 з яких включено до SCOPUS, та 27 патентів України на винаходи і корисні моделі.

Перспективи використання та напрямки подальших досліджень. Напрямами вдосконалення комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері вугільних шахт є аналіз та розв'язання таких задач:

– розробити дослідні зразки вимірювачів концентрації пилу для системи аерогазового захисту шахт УТАС під час виконання науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи ДВНЗ «ДонНТУ» сумісно з ДП «Петровський завод вугільного машинобудування» за напрямком «Розробка оптичного вимірювача концентрації пилу в рудничній атмосфері вугільних шахт»;

– провести комплексні випробування дослідних зразків вимірювачів концентрації метану та вугільного пилу в лабораторних умовах Науково-дослідного інституту гірничорятувальної справи і пожежної безпеки «Респіратор» (м. Донецьк, Україна);

– узгодити схемні і конструктивні рішення розроблених дослідних зразків вимірювачів концентрації метану та вугільного пилу з Державним Макіївським науково-дослідним інститутом безпеки робіт у гірничій промисловості «МакНДІ» (м. Макіївка, Україна);

– розробити конструкторську документацію на вимірювачі концентрації метану та вугільного пилу для умов рудничної атмосфери шахт;

– провести сертифікацію у МакНДІ разової партії вимірювачів концентрації пилогазових компонент на іскробезпеку для надання дозволу для їх встановлення у вугільних шахтах у складі систем АГЗ УТАС і САТ;

– встановити три дослідні зразки вимірювача концентрації метану та пилу в шахті та провести попередні промислові випробування;

– проаналізувати результати промислових випробувань та розробити конструкторську документацію на виготовлення вимірювачів концентрації метану і пилу, що серійно випуска-

ються, для систем аерогазового захисту шахт УТАС і САТ.

Одним з перспективних напрямів подальших досліджень є розробка апаратно-методичного комплексу для визначення виходу метану зі свердловин техногенних колекторів вугільно-порідного масиву у рамках договору № 340/4108 від 28.08.2012 р. про співпрацю та організацію взаємовідносин між ДВНЗ «ДонНТУ» та Інститутом геофізики ім. С.І. Суботіна Національної академії наук України. Реалізація цього комплексу дозволить розробити наукові основи новітніх технологій для інтенсифікації здобичі енергоносіїв.

Іншим достатньо важливим напрямом подальших досліджень є розробка науково-практичних основ вимірювального контролю концентрації пилогазових компонентів для систем екологічного моніторингу. Запропоновані науково-практичні результати роботи дозволять створити комплекси і системи, які здійснюватимуть у режимі реального часу вимірювальний контроль концентрації газових компонент в атмосфері промислових підприємств та керувати технологічними процесами на основі результатів газоаналітичних вимірювань. Під час комп'ютеризованої обробки вимірювальної інформації накопичуються результати вимірювань з побудовою адаптивних моделей екстраполяції, що дозволяє відстежувати відхилення від технологічного процесу за результатами газоаналітичних вимірювань та моніторингу.

Розроблені комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні підсистеми концентрації метану та пилу можуть бути інтегровані до автоматичних стаціонарних станцій, які є інформаційно-вимірювальними комплексами. Ці комплекси призначено для автоматичного безперервного спостереження і контролю за станом приземної атмосфери міст і промислових центрів.

Результати роботи можуть бути використані під час розробки малогабаритних інфрачервоних газоаналітичних вимірювачів для вимірювального контролю концентрації найпоширеніших забруднювачів (оксиду та двооксиду вуглецю, метану, оксидів азоту та ін.), які наявні у складі відпрацьованих газів транспортних засобів, атмосфери промислових підприємств та у системах екологічного моніторингу.

Висновки

1. Розроблені підходи до створення і технічної реалізації нових, науково-обґрунтованих результатів у інформаційно-вимірювальній техніці дозволили розв'язати важливу прикладну проблему розробки високоточних швидкодіючих оптоелектронних вимірювальних систем у складі комплексу забезпечення аерогазової безпеки вугільних шахт. Запропоновано рекомендації щодо застосування і впровадження розробок.

2. Практичне значення одержаних результатів роботи полягає в розширенні області застосування вимірювального контролю концентрації метану та пилу на об'єкти зі складними умовами отримання вимірювальної інформації з урахуванням зміни комплексу дестабілізуючих факторів рудничної атмосфери, що забезпечило підвищення достовірності прийняття рішень для систем аерогазової безпеки вугільних шахт. Закономірності, отримані в результаті досліджень, дозволили розробити методики, структури і засоби для створення комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем концентрації пилогазових компонент рудничної атмосфери.

Бібліографічний список

1. Льовкін М.Б. Розробка науково-організаційних методів запобігання аваріям та травматизму на основі встановлення закономірностей їх проявлення у вугільних шахтах України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.26.01 «Охорона праці» / Льовкін Микола Борисович; Держ. Макіїв. Наук.-дослід. ін-т з безпеки робіт у гірн. пром-сті (МакНДІ). – Макіївка, 2003. – 33 с.
2. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания: ДСТУ ГОСТ 24032:2009. – Действ. от 2009.02.01. – К.: Держспоживстандарт, 2009. – 24 с.
3. Мясников А.А. Проветривание подготовительных выработок при проходке комбайном / А.А. Мясников, С.П. Казаков. – М.: Недра, 1981. – 269 с.
4. Bewoor A.K. Metrology & measurement / A.K. Bewoor, V.A. Kulkarni. – Noida: McGraw-Hill Education, 2009. – 558 p.

5. Методы и средства аналитического измерения концентрации газовых компонент и пыли в рудничной атмосфере угольных шахт / А.В. Вовна и др. – Донецк: ГБУЗ «ДонНТУ», 2012. – 260 с.
6. Вовна А. Методы и средства измерения концентрации газовых компонент [Электронный ресурс] / А. Вовна, А. Зори, М. Хламов. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 244 с. –Режим доступа: <https://www.lap-publishing.com/catalog/>
7. Вовна О.В. Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система контролю концентрації метану у вугільних шахтах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти» / Вовна Олександр Володимирович; Держ. вищ. навч. заклад. «Донецький нац. техн. універ.» – Донецьк, 2009. – 20 с.
8. Соломічев Р.І. Мікропроцесорна інформаційно-вимірювальна система контролю концентрації пилу для аерогазового захисту вугільних шахт: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти» / Соломічев Роман Ігорович; Держ. вищ. навч. заклад. «Донецький нац. техн. універ.» – Красноармійськ, 2014. – 20 с.
9. Вовна О.В. Методи і засоби побудови комп'ютеризованих оптоелектронних вимірювальних систем концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері шахт: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти» / Вовна Олександр Володимирович; Держ. вищ. навч. заклад. «Донецький нац. техн. універ.» – Красноармійськ, 2015. – 40 с.

References

1. Lovkin, N.B. (2003), Accident and injury prevention techniques scientific and organizational based on occurrence mechanism established in coal mining of Ukraine, Doctor of Sciences. Thesis, Labour protection", Makeyevka State Safety in Mines Research Institute, Makeyevka, Ukraine.
2. Ukraine Ministry of Coal Industry (2009), 24032:2009. *Pribory shahtnye gazoanaliticheskie. Obshhie trebovaniya, metody ispytaniya* [24032:2009 Mine gas analysis instruments. General requirements, test methods.], Ukraine Ministry of Coal Industry, Kiev, Ukraine.
3. Mjasnikov, A.A. and Kazakov S.P. (1981), *Provetrivanie podgotovitel'nyh vyrabotok pri prohodke kombajnom* [Development workings airing in the combine sinking], Nedra, Moscow, Russian Federation.
4. Bewoor, A.K. and Kulkarni V.A. (2009) "Metrology & measurement", McGraw-Hill Education, Noida, India.
5. Vovna, A.V. and etc. (2012), *Metody i sredstva analiticheskogo izmerenija koncentracii gazovyh komponent i pyli v rudnichnoj atmosfere ugol'nyh shaht* [Methods and means of the gas and dust components concentration analytical measuring in the coal mines atmosphere], DonNTU, Donetsk, Ukraine.
6. Vovna, A., Zori A and Khlamov. M. (2012), *Metody i sredstva izmerenija koncentracii gazovih komponent* [Methods and means of the gas components concentration measuring], LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Germany, Electronic Resources: finding resources by subject [Online], Retrieved from: <https://www.lap-publishing.com/catalog/> (Accessed 10 February 2016).
7. Vovna, O.V. (2009), Computer information-measuring system of control of methane concentration in coal mines, Ph.D. Thesis, Computer Systems and Components, State Higher Educational Establishment «Donetsk National Technical University», Donetsk, Ukraine.
8. Solomichev, R.I. (2014), Microprocessor information-measuring system of dust concentration control for aerogas protection in coal mines, Ph.D. Thesis, Computer Systems and Components, State Higher Educational Establishment «Donetsk National Technical University», Krasnoarmejsk, Ukraine.
9. Vovna, O.V. (2015), Methods and means of the creation of computerized optical electronic methane and dust concentration measuring systems for mine atmosphere, Doctor of Sciences. Thesis, Computer Systems and Components, State Higher Educational Establishment «Donetsk National Technical University», Krasnoarmejsk, Ukraine.

Надійшла до редакції 22.03.2016

O. Vovna, A. Zori

Donetsk National Technical University

COMPUTERIZED INFORMATION-MEASURING SYSTEMS OF METHANE AND DUST CONCENTRATION IN THE MINE ATMOSPHERE

The results of the research and development of computerized information-measuring systems of concentration of methane and dust in the mine atmosphere of coal mines are represented. The work has solved a scientific and technical problem of creation and technical implementation of new scientifically based approaches in computerized information and measuring equipment, which allow developing a fast-acting high-precision optoelectronic measuring systems of gas components concentration to make the mine works safe. This made it possible to develop and implement the recommendations as for measuring subsystem for real operating conditions. Practical value of the work is in development, producing and experimental research of model and experimental sample sensors of gases and dust concentration in the mine atmosphere of coal mines. The experimental samples of methane concentration measuring are designed and created for two measuring ranges: from 0 to 4 % of basic absolute error not exceeding 0.1 %, and from 0 to 100 % with an error not exceeding 1.0%. The obtained values are 4 times less than those adjusted by safety regulations. The speed of the developed experimental sample is no more than 84 ms that is 1.8 times smaller than the required value (150 ms). This value is obtained by carrying out a research, and it is offered to make it as an amendment to the State Standard to decrease its value to 0.15 s compared to the existing index of 0.8 s. During the studies the model samples of measuring of gas and dust concentration in the range from 0 to 3000 mg/m³ with a basic absolute error less than 14 mg/m³ were designed. The received result is 3.5 times less than the desired value (no more than 50 mg/m³) and 14 times less than the result of prototype is. The certified aspiration meter PKA-01 was used as a prototype, which has a main absolute measurement error 200 mg/m³ in the specified range. The evaluation of the speed of the developed model sample was executed, the value of which does not exceed 0.15 s. This value is three orders of magnitude less than of a prototype (180 s). It allows taking measurements of dust concentration in real time and synchronized with the developed methane concentration meter.

Keywords: accuracy, concentration, dust, gas, measurement system, methane, mine atmosphere.