

УДК 543.42:621.384.3:622.412

О.В. Вовна, д-р техн. наук, доц.
Донецький національний технічний університет, м. Покровськ, Україна
Oleksandr.Vovna@donntu.edu.ua

Алгоритмічне забезпечення системи вимірювального контролю меж вибуховості рудничної атмосфери вугільних шахт

Під час проведення теоретичних та експериментальних досліджень отримала подальший розвиток модель визначення нижньої межі вибуховості системи «метан – вугільний пил – повітря», що враховує зміни вмісту вологості у повітрі, виходу летючих газових компонентів і зольності вугілля, які отримані у результаті лабораторного аналізу. Використання зазначених інформативних параметрів в розробленому алгоритмічному забезпеченні системи аерогазового захисту дозволяє підвищити точність визначення критичних меж вибуховості пилогазової суміші.

Ключові слова: концентрація, метан, вугільний пил, руднична атмосфера, ідентифікація, нижня межа вибуховості, шахта.

Вступ

При інтенсифікації технологічного процесу видобутку вугілля підчас очисних та підготовчих робіт у гірничих виробках вугільних шахт спостерігається різке зростання пилоутворення та газоносність шахт, що сприяє підвищенню небезпеки вибухів [1, 2]. Дефіцит оперативних даних щодо концентрації та дисперсності вугільного пилу, концентрації метану, а також зміни інших факторів, не дозволяє визначити достовірні ймовірнісні характеристики вибуховості вугільного пилу в суміші з метаном при зміні вологості та швидкості повітряного потоку, що збільшує ризик виникнення вибухонебезпечних ситуацій у рудничній атмосфері. Для вирішення цієї проблеми необхідно виконувати контроль меж вибуховості пило-метано-повітряної суміші, що забезпечить підвищення рівня безпеки на промислових вугле-видобувних підприємствах. Запропоновані науково-практичні результати роботи дозволять створити комплекси і системи, які здійснюватимуть у режимі реального часу вимірювальний контроль концентрації газових компонентів в атмосфері промислових підприємств та керувати технологічними процесами на основі результатів газоаналітичних вимірювань.

Постановка задач дослідження

Метою роботи є розробка алгоритмічного забезпечення системи вимірювального контролю параметрів рудничної атмосфери, що дозволить підвищити рівень безпеки та знизити вірогідність виникнення вибухонебезпечних ситуацій в умовах шахт. Задля досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено наступні задачі:

– на основі розробленої моделі визначення нижньої межі вибуховості системи «метан-вугільний пил-повітря» запропонувати рекомен-

дації щодо проектування інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) аерогазового захисту (АГЗ) шахт;

– запропонувати узагальнений алгоритм функціонування ІВС концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері вугільних шахт;

– розробити алгоритм оцінки значень меж вибуховості пилогазової суміші у рудничній атмосфері шахт.

Результати розробок і досліджень

Під час проведення теоретичних та експериментальних досліджень отримала подальший розвиток модель визначення нижньої межі вибуховості (НМВ) системи «метан – вугільний пил – повітря» [3, 4], яка враховує зміни вмісту вологості у повітрі, виходу летючих газових компонентів і зольності вугілля. Що дозволило підвищити точність визначення критичних меж вибуховості системи аерогазового захисту вугільних шахт.

З аналізу результатів моделювання визначено [5], що під час підвищення насичення повітря рудничної атмосфери вологою у 3 рази (від 3 до 9 г/м³) нижня межа вибуховості вугільного пилу збільшується у 2 рази, вибухонебезпечне значення концентрації пилу змінюється від 10,9 г/м³ до 22,4 г/м³. Значення вмісту вологи у повітрі 3 г/м³ відповідає критичному значенню відносної вологості 13 % при температурі 25°C, за яких вірогідність виникнення вибухонебезпечних ситуацій є досить високою. Під час збільшення вмісту вологи у 4 рази до 12 г/м³ (52 % і 25°C) НМВ вугільного пилу зростає у 3 рази (31,7 г/м³). Тому без здійснення вимірювань вмісту вологи в повітрі у діапазоні від 3 до 9 г/м³ у режимі реального часу неможливо оцінити вибухонебезпечність вугільного пилу, що вітає, для запобігання виникненню вибухонебезпечного аерозолу в

рудничній атмосфері.

Для вимірювання вмісту вологи (AH , $г/м^3$) у повітрі рудничної атмосфери запропоновано використовувати датчик ПМ-14 [6]. Цей датчик застосовується в УТАС для вимірювання відносної вологості (RH , %) у діапазоні від 0 до 100 % з абсолютною похибкою вимірювання не більше $\pm 5\%$ і температурою (T , $^{\circ}C$) від -20 до $+60^{\circ}C$ з похибкою не більше $\pm 1^{\circ}C$. Датчик забезпечує діапазон вимірювання абсолютної вологості (AH , $г/м^3$) повітря від 0,1 до 131,5 $г/м^3$ з абсолютною похибкою вимірювання не більше $\pm 5 г/м^3$.

Під час проведення досліджень розробленої моделі виявлено, що для визначення НМВ необхідно також враховувати характеристики марки вугілля. Так, для марки вугілля Ж при виході летючих речовин з вугілля $V_C^{daf} = 34\%$ та зольності вугілля $A^d = 7,0\%$ НМВ пилу становить 10,9 $г/м^3$, при вмісті вологи у повітрі 3 $г/м^3$ і $C_{CH_4} = 1^{об.}\%$. Під час збільшення V_C^{daf} до 41 %, що становить не більше 20 % від номінального значення, НМВ пилу зменшується на 21 % і становить 8,6 $г/м^3$. Чутливість НМВ пилу до зміни V_C^{daf} у діапазоні від 34 до 41 % та його A^d від 7 до 14 % дорівнюють:

$$S_{V_C^{daf}} = \frac{\Delta C_{C(CH_4)}(C_{CH_4(C)}, \Delta V_C^{daf}, A^d, \gamma, P)}{\Delta V_C^{daf}} =$$

$$= \frac{10,9 - 8,6}{34 - 41} = -0,329 \frac{об.}{\%};$$

$$S_{A^d} = \frac{\Delta C_{C(CH_4)}(C_{CH_4(C)}, V_C^{daf}, \Delta A^d, \gamma, P)}{\Delta A^d} =$$

$$= \frac{12,9 - 10,9}{14 - 7} = 0,286 \frac{об.}{\%}.$$

З аналізу отриманих значень чутливості НМВ вугільного пилу до зміни характеристик марки вугілля можна зробити висновок, що підвищення виходу летючих газових компонент знижує пропорційно межі вибуховості метано-пило-повітряної суміші, а збільшення у 2 рази зольності пилу підвищує межі вибуховості на 18 %. Тому під час визначення НМВ пилогазової суміші необхідно проводити періодичний лабораторний аналіз параметрів марки вугілля [7]: вихід летючих компонент (V_C^{daf} , %) у діапазонах [8]: менше 9 % з абсолютною похибкою вимірювання не більше $\pm 1,5\%$; від 9 до 45 % – не більше $\pm 1,0\%$; більше 45 % – не більше $\pm 1,5\%$; його зольності (A^d , %) у діапазонах [9]: від 5 до 15 % з абсолютною похибкою не більше $\pm 1,0\%$; від 15 до 35 % – не більше $\pm 1,5\%$; від 35 до 90 % – не більше $\pm 2,0\%$. Зміна у робочих межах тиску рудничної атмосфери практично не впливає на

НМВ системи «метан – пил – повітря», тому зміною цього чинника можна знехтувати.

Вимірювання параметрів рудничної атмосфери: концентрації метану, зваженого пилу, змін температури і вмісту вологи у повітрі (вологість), а також обліку характеристик марки вугілля: виходу летючих компонент і його зольності, які отримано у результаті лабораторного аналізу, дозволяють сформулювати рекомендації щодо запобігання наближення параметрів системи аерогазового захисту шахт до критичних меж вибуховості пилогазової суміші.

Комплексне використання максимальної кількості інформативних параметрів дозволяє ідентифікувати виникнення вибухонебезпечних ситуацій в умовах вугільних шахт. Результати виконаних досліджень є основою для розробки алгоритмів функціонування ІВС для умов рудничної атмосфери.

Узагальнений алгоритм функціонування ІВС концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері шахт, у вигляді блок-схеми наведено на рис. 1. Це алгоритм представлено блоками, які реалізують такі операції:

– ініціалізація апаратних засобів інформаційно-вимірювальної системи і підсистем, що підключаються до неї, блоків і вимірювальних каналів (блок 1);

– тестування лінії зв'язку для обміну даними за протоколом RS-485 між диспетчерським пунктом збору інформації системи аерогазового захисту вугільних шахт УТАС (блок 2). Після закінчення тестування лінії зв'язку встановлюється прапор ознаки успішного з'єднання – 1, в іншому разі – 0;

– перевірка умови встановлення зв'язку (блок 3), при якому здійснюється з'єднання. Якщо зв'язок встановлено, то запускається основний цикл (блок 4) роботи програми функціонування інформаційно-вимірювальної системи (блоки 5 – 7), в іншому разі – проводиться діагностика несправностей апаратних засобів вимірювальної системи або лінії зв'язку з подальшою генерацією кодів несправності (блок 9) цих пристроїв;

– основний цикл роботи програми має такі підпрограми функціонування: вимірювання концентрації метану в рудничній атмосфері вугільних шахт (блок 5); вимірювання концентрації вугільного пилу з урахуванням його дисперсності (блок 6) та оцінка значень меж вибуховості пилогазової суміші у рудничній атмосфері гірничих виробок вугільних шахт (блок 7);

– після проведення основного циклу роботи програми здійснюється перевірка наявності команди переривання функціонування ІВС (блок 8); якщо її отримано, то завершується робота системи, в іншому разі – операції повторюються циклічно з тестування лінії зв'язку для обміну даних між ІВС та системою аерогазового захисту УТАС (блоку 2).

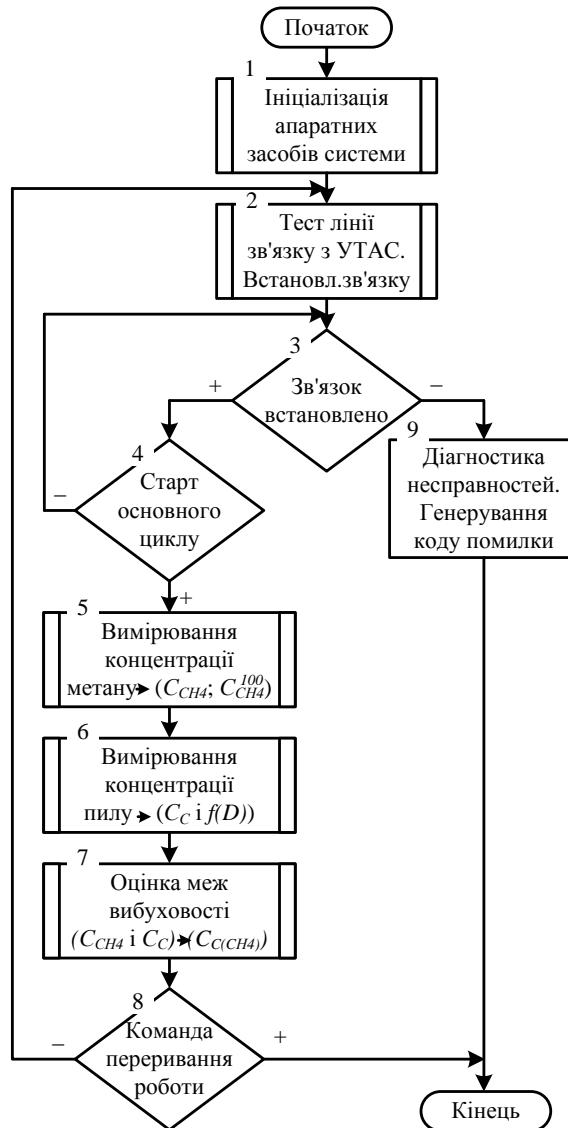


Рисунок 1 – Блок-схема узагальненого алгоритму функціонування ІВС концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері вугільних шахт

Алгоритм оцінки значень меж вибуховості пилогазової суміші у рудничній атмосфері, блок-схему якого наведено на рис. 2, представлено 15 блоками. Під час початкового запуску підпрограми оцінки межі вибуховості пилогазової суміші задається число спостережень ($S=10$) НМВ пилогазової суміші ($C_C(C_{CH_4})$) та кількість циклів роботи цієї підпрограми ($N=10$). До підпрограми оцінки значень НМВ (блок 1) передаються виміряні значення параметрів рудничної атмосфери (C_{CH_4} ; C_C ; RH , T) і вводяться характеристики марки вугілля: вихід летючих газових компонент (V_C^{daf}) та його зольність (A^d), які визначено під час лабораторного аналізу. У підпрограму прописуються порогові значення НМВ пилогазової суміші ($C_{C(CH_4)}^{nop}$) та швидкості її зміни ($v_{C(CH_4)}^{nop}$) [10].

Циклічно (блоки 2 і 3) здійснюється процедура багаторазових спостережень нижньої межі

вибуховості пилогазової суміші $C_{C(CH_4)}$ та швидкості її зміни $v_{C(CH_4)}$. Від підсистем вимірювань концентрації метану (C_{CH_4}) та вугільного пилу (C_C) з урахуванням його дисперсності (a , b і β функції $f(D)$), передаються масиви цих вимірювальних параметрів рудничної атмосфери (блок 4).

Від блоку вимірювання температури (T) та відносної вологості (RH), в якому як датчик вологості використано ПМ-14 ІВС, передаються до підпрограми масиви параметрів T та RH (блок 5). Після цього розраховуються параметри T та RH у значення вологовмісту (AH) рудничної атмосфери (блок 6). Від блоку введення характеристик марки вугілля: V_C^{daf} та A^d , ІВС передаються до підпрограми масиви цих параметрів (блок 7). На основі отриманої вимірювальної інформації розраховується (блок 8) значення НМВ вугільного пилу від концентрації метану ($C_{C(CH_4)}$) у рудничній атмосфері за формулою [3, 4]:

$$C_{C(CH_4)}(C_{CH_4(C)}, V_C^{daf}, A^d, \gamma, P) = C_{C\ HMB\gamma}(C_{CH_4(C)}, V_C^{daf}, A^d, \gamma, P) \times \left[1 - \left(\frac{C_{CH_4(C)}}{C_{CH_4\ HMB\gamma}(\gamma, P)} \right)^{m(C_{CH_4(C)}, \gamma, P)} \right]^{\frac{1}{m(C_{CH_4(C)}, \gamma, P)}}$$

де $\gamma, \text{г/м}^3$ – вміст вологи у пилоповітряній суміші рудничної атмосфери;

$m(C_{CH_4(C)}, \gamma, P) = m_1 + m_2 \cdot C_{CH_4(C)} / C_{CH_4\ HMB\gamma}(\gamma, P)$;
 m_1, m_2 – коефіцієнти, значення яких визначено експериментально.

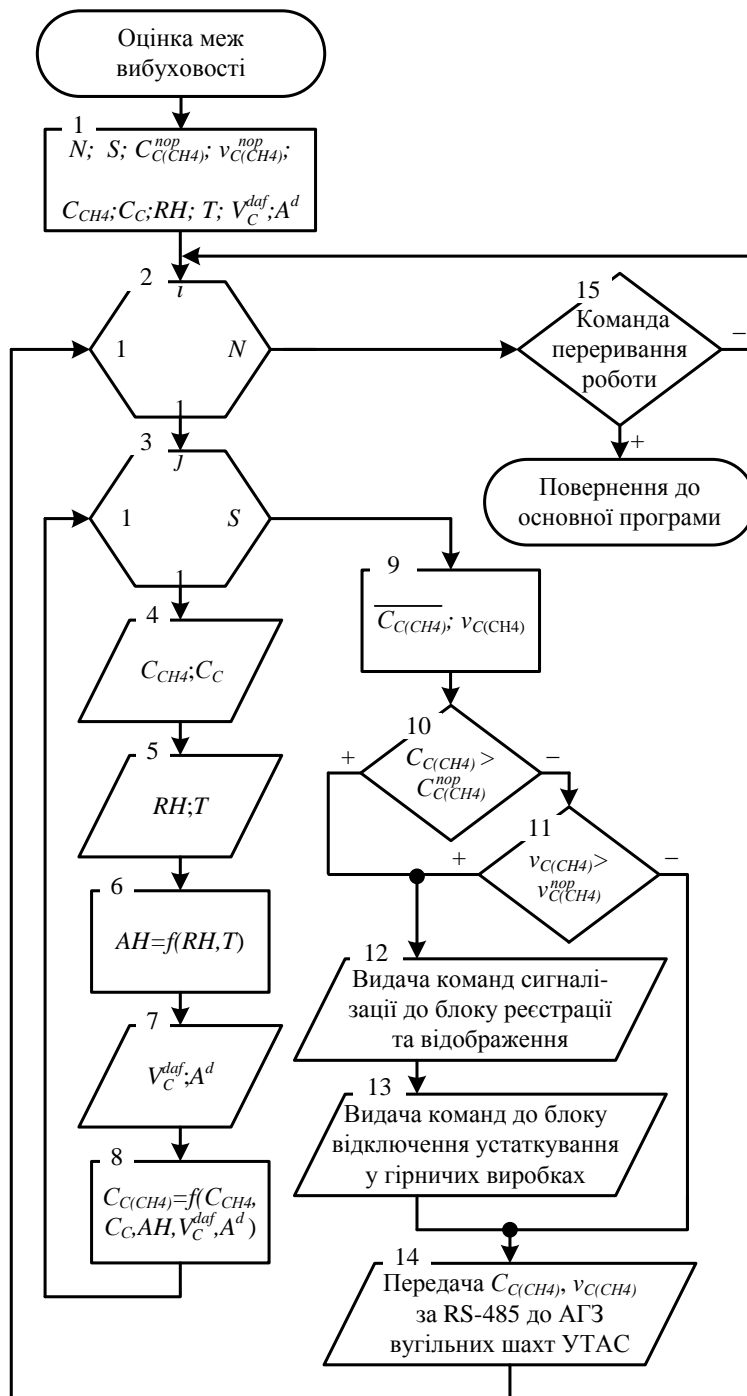


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму оцінки значень меж вибуховості пилогазової суміші у рудничній атмосфері

Після виконання циклу (блок 3) накопичення результатів спостережень ($C_{C(CH_4)}$), здійснюється їх усереднення за інтервал часу 1 с ($S=10$) – $C_{C(CH_4)}$ та визначення швидкості її зміни ($v_{C(CH_4)}$) у блоці 9. У блоках 10 і 11 порівнюються результати оцінки НМВ ($C_{C(CH_4)}$) і швидкості її зміни ($v_{C(CH_4)}$) з їх пороговими значеннями ($C_{C(CH_4)}^{nor}$ і $v_{C(CH_4)}^{nor}$). Якщо величина хоча б одного з цих параметрів перевищує порогові значення, то формуються команди сигналізації, які надходять до блоку реєстрації та відображення (блок 12), і до блоків відключення устаткування у гірничих виробках (блок 13) ІВС. Інформація щодо зміни характеристик рудничної атмосфери ($C_{C(CH_4)}$ і $v_{C(CH_4)}$) передається за послідовним інтерфейсом RS-485 до комплексу аерогазового захисту вугільних шахт УТАС (блок 14).

Після закінчення основного циклу роботи (блок 2) підпрограма перевіряє наявність повідомлень від ІВС. Якщо команда переривання роботи (блок 15) не надходила, то підпрограма переходить до наступного циклу роботи. У іншому разі вона завершує свою роботу та переходить до команди переривання роботи основного алгоритму функціонування ІВС (див. рис. 1).

Висновки

Розроблено алгоритми функціонування ІВС та її підсистем, які виконують вимірювання концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері. Створено модуль оцінки значень НМВ пилогазової суміші у рудничній атмосфері. Цей модуль на основі багатопараметричного

функціоналу визначає значення НМВ вугільного пилу, величина якої залежить від змін концентрації метану та зваженого пилу з урахуванням його дисперсності; температури та вологовмісту газової суміші; характеристик марок вугілля (виходу летючих газових компонент та його зольності).

Розроблене алгоритмічне забезпечення дає можливість прогнозувати вірогідність виникнення вибухонебезпечних ситуацій при однофакторній екстраполяції за аргументом часу. Облік передісторії динаміки вимірюваних параметрів рудничної атмосфери дозволить підвищити рівень безпеки та знизити вірогідність виникнення вибухонебезпечних ситуацій в умовах шахт.

Наукова новизна. Уперше запропоновано і реалізовано алгоритмічну організацію інформаційно-вимірювальних систем концентрації метану та пилу, яка, на відміну від існуючих, заснована на багатопараметричному функціоналі визначає значення нижньої межі вибуховості вугільного пилу, що дозволило збільшити вірогідність виявлення вибухонебезпечних ситуацій та забезпечити підвищення рівня аерогазового захисту вугільних шахт.

Практична значимість 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 шахт.

Список літератури

1. Мясников, А.А. Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах / А.А. Мясников, С.П. Старков, В.И. Чикунев. – М.: Недра, 1985. – 205 с.
2. Умнов, А.Е. Предупреждение и локализация взрывов в подземных условиях / А.Е. Умнов, А.С. Голик, Д.Ю. Палеев и др. – М.: Недра, 1990. – 286 с.
3. Вовна, А.В. Структурно-алгоритмическая организация подсистемы контроля параметров взрывоопасности пылегазовой смеси в угольных шахтах / А.В. Вовна, А.А. Зори // Известия ЮФУ. Технические науки. Выпуск «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении». – Таганрог, 2015. – № 3 (164). – С. 16 – 24.
4. Вовна, О.В. Підсистема контролю меж вибуховості рудничної атмосфери для системи аерогазового захисту вугільних шахт / О.В. Вовна, А.А. Зорі // Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць «Електроенергетика та перетворювальна техніка». – Харків, 2015. – 19 (1128). – С. 79 – 88.
5. 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 національний технічний університет». – Красноармійськ, 2015. – 40 с.
6. ДП «Петровський завод вугільного машинобудування» [Електронний ресурс]: Датчик вологості ПМ-14. – Режим доступу: <http://itras.com.ua/index.php?id=16076&show=4nalbum&do=showgall&gid=28517>. – Назва з титул. екрану.
7. Топливо твердое минеральное. Обозначение показателей качества и формулы пересчета результатов анализа для различных состояний топлива: ГОСТ 27313-95. – Действующ. от 1997-01-01. –

Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995. – 19 с.

8. Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ: ГОСТ 6382-2001. – Действующ. от 2003-01-01. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – 17 с.

9. Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности: ГОСТ 11022-95. – Действующ. от 1997-01-01. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1995. – 6 с.

10. Безносков, Е.К. Розробка вимог до вимірювальної системи межі вибуховості атмосфери вугільних шахт/ Е.К. Безносков, О.В. Вовна // 36. наук. пр. I Всеукр. наук.-практич. форум «Телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології», 16 – 17 лист. 2015. – Красноармійськ, 2015. – С. 47 – 49.

Надійшла до редакції 06.03.2017

A.V. VOVNA

Донецкий национальный технический университет (Украина)

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ГРАНИЦ ВЗРЫВЧАТОСТИ РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

При проведении теоретических и экспериментальных исследований получила дальнейшее развитие модель определения нижнего предела взрывчатости системы «метан – угольная пыль – воздух», которая учитывает изменения содержания влажности в воздухе, выхода летучих газовых компонентов и зольности угля, полученные в результате лабораторного анализа. Использование этих информативных параметров в разработанном алгоритмическом обеспечении системы аэрогазовой защиты позволяет повысить точность определения критических границ взрывчатости пылегазовой смеси.

Ключові слова: концентрация, метан, угольная пыль, рудничная атмосфера, идентификация, нижний предел взрывчатости, шахта.

O.V. VOVNA

Donetsk National Technical University (Ukraine)

ALGORITHMIC SUPPORT OF MEASURING SYSTEMS WHICH ARE MONITORING LIMIT EXPLOSIVE IN THE UNDERGROUND ATMOSPHERE OF COAL MINES

Model for determining the low limit of explosiveness of the system «methane – coal dust – air» has been further developed. This model takes into account changes of inhumidity in the air, exit gas components and volatile ash content of coal. The accuracy of determining the critical limits of explosiveness air and gas protection system of coal mines can be improved using this model. Analysis of simulation results showed that the moisture content of the air in the mine atmosphere 3 times have increased from 3 g/m³ (at relative humidity of 13% and a temperature of 25°C – are equal to critical at high risk of explosive situations) till 9 g / m³ (relative humidity 39%) lower limit of explosiveness increased by 2 times and makes up 22.4 g/m³. By increasing the moisture content 4 times (up to 12 g/m³ at 52% relative humidity), the lower limit of explosiveness increased 3 times (31.7 g/m³). Also, the analysis of the research results revealed that it is necessary to determine the characteristics of the coal grade for determining the lower limit of an explosive mixture, because the increasing of volatile gas component output proportionally reduces the limit of explosiveness and the ash growing in 2 times increases content lower limit of explosiveness by 18%. Algorithms of functioning of information-measuring system and its subsystems were developed. They perform measure the concentration of methane and dust in the mine atmosphere. The estimation module of limits values of explosiveness dust and gas mixture in the mine atmosphere was created. This module, which is based on functional multi-parameter, defines lower limit of explosiveness of coal dust, whose value depends on: changes in the concentrations of methane and dust suspended considering its dispersion; temperature and moisture content of the considered gas mixture; characteristics of coal grades (yield of volatile gas components and ash). The developed algorithmic software allows predicting the probability of occurrence of explosive situations at univariate time extrapolation of the argument. Given the history dynamics of the measured parameters mine atmosphere will increase the level of security and reduce the risk of explosive situations in mining conditions. The practical significance of the article is to extend the scope of measuring control of the concentration of methane and dust on objects with complex conditions for obtaining measurement information taking into account the changes in the complex of destabilizing factors of miner atmosphere, that ensured higher reliability of decision making for air and gas safety systems of mines.

Keywords: concentration, methane, coal dust, mine atmosphere, identification, the lower limit of explosiveness, mine.

REFERENCES

1. Mjasnikov, A.A., Starkov, S.P. & Chikunov V.I. (1985), *Prevention of a gas and dust explosions in coal mines*. [Preduprezhdenie vzryvov gaza i pyli v ugol'nyh shahtah], Nedra, Moscow, 205 p.
2. Umnov, A.E., Golik, A.S., Paleev, D.Ju etc (1990), *Warning and localization of an explosions in underground conditions*. [Preduprezhdenie i lokalizacija vzryvov v podzemnyh uslovijah], Nedra, Moscow, 205 p.
3. Vovna, A.V & Zori A.A (2015), *Development and research experimental samples of the methane concentration meter for coal mines*. [Strukturno-algoritmicheskaja organizacija podsistemy kontrolja parametrov vzryvoopasnosti pylegazovoj smesi v ugol'nyh shahtah], Izvestiya SFedU: Engineering sciences, № 3(164), pp. 16-24.
4. Vovna, O.V & Zori A.A (2015), *The subsystem for control the explosive boundaries of the mine atmosphere for an airgas protection system of coal mines*. [Pidsistema kontrolju mezh vibuhovosti rudnichnoї atmosferi dlja sistemi aerogazovogo zahistu vugil'nih shaht], Visnik NTU «KhPI»: zbirnik naukovih prac' Elektroenergetika ta peretvorjuval'na tehnika, № 19 (1128), pp.79-88.
5. Vovna, O.V (2015), *Methods and means of the creation of computerized optical electronic methane and dust concentration measuring systems for mine atmosphere*. [Metodi i zasobi pobudovi komp'juterizovanih optoelektronnih vimirjuval'nih sistem koncentracii metanu ta pilu v rudnichnij atmosferi shaht], Doctor of Sciences. Thesis, Computer Systems and Components, State Higher Educational Establishment «Donetsk National Technical University», Krasnoarmejsk, 40 p.
6. "DP «Petrovs'kij zavod vugil'nogo mashinobuduvannja»" available at: <http://itras.com.ua/index.php?id=16076&show=4nalbum&do=showgall&gid=28517>
7. GOST 27313 (1995). *Solid mineral fuel. Designation of quality indicators and formulas for the results recalculating of the different fuel conditions analysis*. [Toplivo tverdoe mineral'noe. Oboznachenie pokazatelej kachestva i formuly perescheta rezul'tatov analiza dlja razlichnyh sostojanij topliva], Mezghosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii, Minsk, 19 p.
8. GOST 6382 (2001). *Solid mineral fuel. Methods for determining the volatile substances yield*. [Toplivo tverdoe mineral'noe. Metody opredelenija vyhoda letuchih veshhestv], Mezghosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii Minsk, 17 p.
9. GOST 11022 (1995). *Solid mineral fuel. Methods for determining ash content*. [Toplivo tverdoe mineral'noe. Metody opredelenija zol'nosti.], Mezghosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii, Minsk, 6 p.
10. Beznosov E.K. & Vovna O.V. (2015). *Development of requirements for the measuring system of the explosive boundaries of coal mines atmosphere*. [Rozrobka vimog do vimirjuval'noї sistemi mezhi vibuhovosti atmosferi vugil'nih shaht], Zbirnik naukovih prac' I Vseukraїns'kogo naukovo-praktichnogo forum «Telekomunikacii, avtomatika, komp'juterno-integrovani tehnologii», pp. 47-49.