

## АЛГОРИТМІЧНО-СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ РУДНИЧНОЇ АТМОСФЕРИ

Соломічев, Р.І., аспірант.; Вовна О.В., доц., к.т.н.

(ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк, Україна)

**Загальна постановка проблеми.** Не зважаючи на комплексне оснащення вугледобичних підприємств новою системою аерогазового захисту УТАС (уніфікована телекомунікаційна система диспетчерського контролю й автоматизованого керування гірничими машинами та технологічними комплексами), на даний час на вугільних шахтах України залишається загроза життю робітників, у тому числі, що пов'язана з утворенням вибухонебезпечних ситуацій в шахті. Як відомо, система УТАС складається з більш ніж десяти підсистем, які контролюють концентрацію метану ( $\text{CH}_4$ ) у виробленні, оксиду вуглецю ( $\text{CO}$ ), водню ( $\text{H}_2$ ), сірководню ( $\text{H}_2\text{S}$ ), кисню ( $\text{O}_2$ ), швидкість повітряного потоку, температуру навколишнього середовища, вологість повітря, концентрацію легких та важких вуглеводнів, але при цьому в системі відсутнє обладнання за контролем зваженого у повітрі вугільного пилу, який підвищує імовірність вибуху пило-газової суміші. Даний недолік пов'язаний з тим, що існуючими аспіраційними пробовідбірниками неможливо в автоматичному режимі вести безперервний контроль концентрації та дисперсності вугільного пилу, немає цілісного алгоритму визначення імовірнісних характеристик вибуховості пило-газової суміші в залежності від швидкості та вологості повітря, дисперсності зваженого пилу. Проте, розроблений оптико-абсорбційний вимірювач пилу [1] позбавлений вказаних недоліків, має високу швидкодію, точність та роздільну здатність, які дозволяють вести безперервний контроль концентрації та дисперсності вугільного пилу в системі аерогазового захисту.

**Постановка цілі та задач дослідження.** Метою роботи є дослідження структури та алгоритму роботи інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) контролю вибухонебезпечних газових сумішей атмосфери вугільних шахт. Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити та дослідити комплексний показник-функціонал, який визначає імовірнісні характеристики критичних меж вибуховості пило-газової суміші;
- виконати структурний синтез ІВС контролю вибухонебезпечних газових сумішей, яка враховує параметри рудничної атмосфери;
- скласти алгоритм роботи ІВС, який на основі вимірюваних даних буде оцінювати поточну ситуацію у шахтному виробленні та прогнозуватиме вибухонебезпечні ситуації.

**Вирішення задач та результати дослідження.** Проведені дослідження дають основу вважати, що на вибуховість пило-газової суміші в умовах вугільних шахт впливає така невід'ємна складова як газ – метан, що у відповідній кількості істотно знижує поріг вибуховості всієї суміші. Але при відсутності метану, або незначних його концентраціях у виробленнях вугільний пил з певною концентрацією ( $C_{\text{П}}$ ,  $\text{г/м}^3$ ), дисперсністю ( $D$ ,  $\text{мкм}$ ), зольністю ( $A^d$ , відн.од), виходом летючих ( $V_c^{\text{daf}}$ , відн.од) також становить суттєву загрозу та може спричинити вибух. Крім цього, на вибух впливає вологість повітря ( $\gamma_{\text{пов}}$ ,  $\text{г/м}^3$ ), його швидкість та температура.

Встановлено дослідженнями МакНДІ, що найвибуховіша дисперсність пилу лежить у межах від 1 до 10  $\text{мкм}$  – це пил, який практично не осідає за всією довжиною шахтної виробки. З досліджень [2] отримано характеристики розподілення відносних концентрацій рудничного пилу від довжини виробки  $l$ ,  $\text{м}$  для різної дисперсності та швидкості повітря, які зображено на рисунку 1, де позначено: 1 – концентрація вугільного пилу з радіусом частинок  $r=0.5$   $\text{мкм}$  при швидкості повітря  $u=0,7$   $\text{м/с}$ ; 2 –  $r=0.5$   $\text{мкм}$ ,  $u=1,3$   $\text{м/с}$ ; 3 –  $r=2.5$   $\text{мкм}$ ,  $u=1,3$   $\text{м/с}$ ; 4 –  $r=2.5$   $\text{мкм}$ ,  $u=6$   $\text{м/с}$ . При швидкості повітря від 0,7 до 1,3  $\text{м/с}$  (менш ніж критична) концентрація пилу з дисперсністю часток до 3  $\text{мкм}$  залишається практично незмінною від

джерела пилоутворення та по всій довжині вироблення (залежності 1, 2). Крупні фракції пилу (більш ніж 3 мкм) осідають на відстані близько 20 метрів від початкового перетину при швидкості повітря менш ніж критична (залежність 3). Зі збільшенням швидкості вище критичної (більше 5 м/с) спостерігається ефект вторинного пилоутворення за рахунок пилу, який здимається з ґрунту та поверхонь виробки, що фактично підвищує її концентрацію в повітрі та відстань розповсюдження (залежність 4).

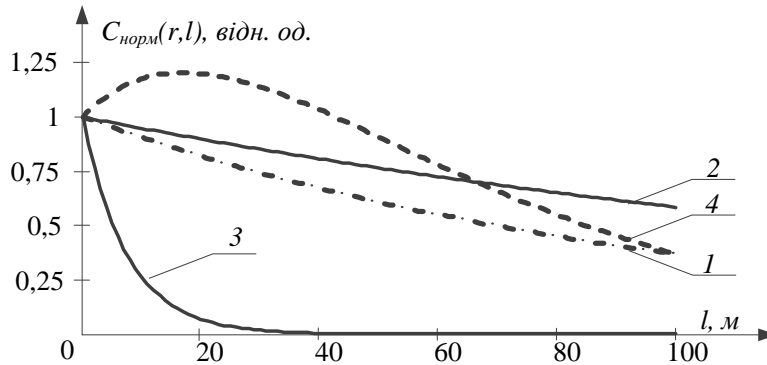


Рисунок 1 – Характеристика розподілення концентрації пилу за довжиною вироблення

Розроблена математична модель [2, 3] дає змогу встановити вибухонебезпечну концентрацію вугільного пилу в залежності від зольності, виходу летючих, вологості повітря та концентрації метану, на основі наступного рівняння:

$$C_n(V_c^{daf}, A^d, \gamma_{нов}, X_m) = (\delta_{зв}(V_c^{daf}, A^d) + \zeta \cdot \gamma_{нов}^\beta) \cdot \left( 1 - \left( \frac{X_m}{X_{MHMB} + \vartheta \cdot \gamma_{нов}^\alpha} \right)^m \right)^{1/m}, \quad (1)$$

де  $X_{MHMB}$  – нижня межа вибуховості (НМВ) метану в сухому повітрі, %;  $\vartheta$  – узгоджувальний коефіцієнт підвищення НМВ метану, равный  $\vartheta = 0,009$ , %/(г/м<sup>3</sup>);  $\alpha = 2,34$  – показник степені, який підбирається експериментальним шляхом;  $\delta_{зв}(V_c^{daf}, A^d)$  – НМВ зваженого вугільного повітря в сухому повітрі, г/м<sup>3</sup>;  $\zeta$  – коефіцієнт підвищення НМВ (в залежності від властивостей вугілля змінюється в діапазоні від 0,357 до 0,755);  $\beta = 1,65$  – показник степені, що підбирається експериментальним шляхом;  $m = 0,66512 - 0,12818(X_m / (X_{MHMB} + \vartheta \cdot \gamma_{нов}^\alpha))$ .

Графік поверхні вибухової концентрації пилу  $C_{П}$  г/м<sup>3</sup>, побудований за вираженням (1) від концентрації метану  $X_m$  від 0 до 4 об.%, та вологості повітря  $\gamma_{нов}$  від 0 до 3 г/м<sup>3</sup> має вигляд, як показано на рисунку 2, при середніх параметрах зольності вугілля марки  $l_1$   $A^d = 6,3$  % та виході летючих  $V_c^{daf} = 41$  %.

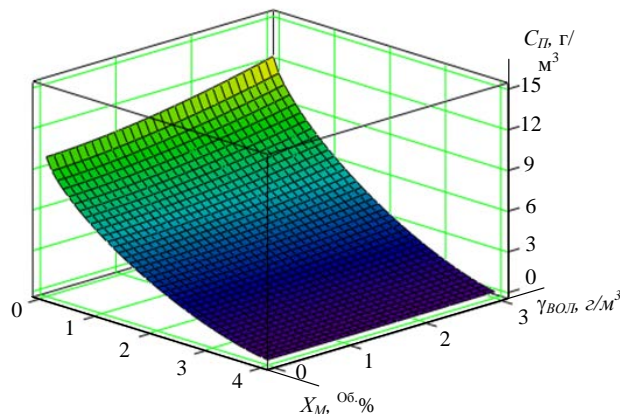


Рисунок 2 – Графік змінення вибухової концентрації вугільного пилу від концентрації метану та вологості повітря

Отримана теоретична модель на основі емпіричних даних погоджується з експериментальними дослідженнями, що виконувалися в МакНДІ [4]. Як видно з рисунку 2, при

сухому повітрі та відсутності метану – вугільний пилю вибухає при концентрації  $12 \text{ г/м}^3$ , а при концентрації метану  $1 \text{ }^{06}\%$  – вибухова концентрація пилю знижується у два рази при сухому повітрі. Вибухова концентрація пилю знов збільшується при підвищенні вологості в шахтному виробленні, яка виступає в ролі природного флегматизатору.

Отже, на онові створеної математичної моделі, що базується на багато параметричному функціоналі (1), запропоновано структуру ІВС контролю вибухонебезпечних сумішей рудничної атмосфери (рис. 3), яка складатиметься з наступних функціональних блоків: каналу вимірювання концентрації та дисперсності вугільного пилю, каналу вимірювання концентрації метану та каналу вимірювання вологості повітря. Дані вимірювачів по черзі перетворюються до цифрового формату завдяки аналого-цифровому перетворювачу (АЦК), робота якого регулюється сигналом управління (СУ<sub>АЦП</sub>) від мікропроцесору (МПС), де проходить попередня обробка та передача інформації до персонального комп'ютера (ПК). У ПК відбувається накопичення та обробка за певним алгоритмом інформації за розрахованою концентрацією та дисперсністю вугільного пилю, концентрацією метану та вологістю повітря, визначається імовірність настання вибухонебезпечної ситуації в шахтному виробленні. Так як в системі використовуються оптичні вузли, то для стабільної їх роботи потрібно забезпечити в певний момент часу очищення оглядових вікон вимірювачів, що передбачено в блоці очистки оптики (БОО).

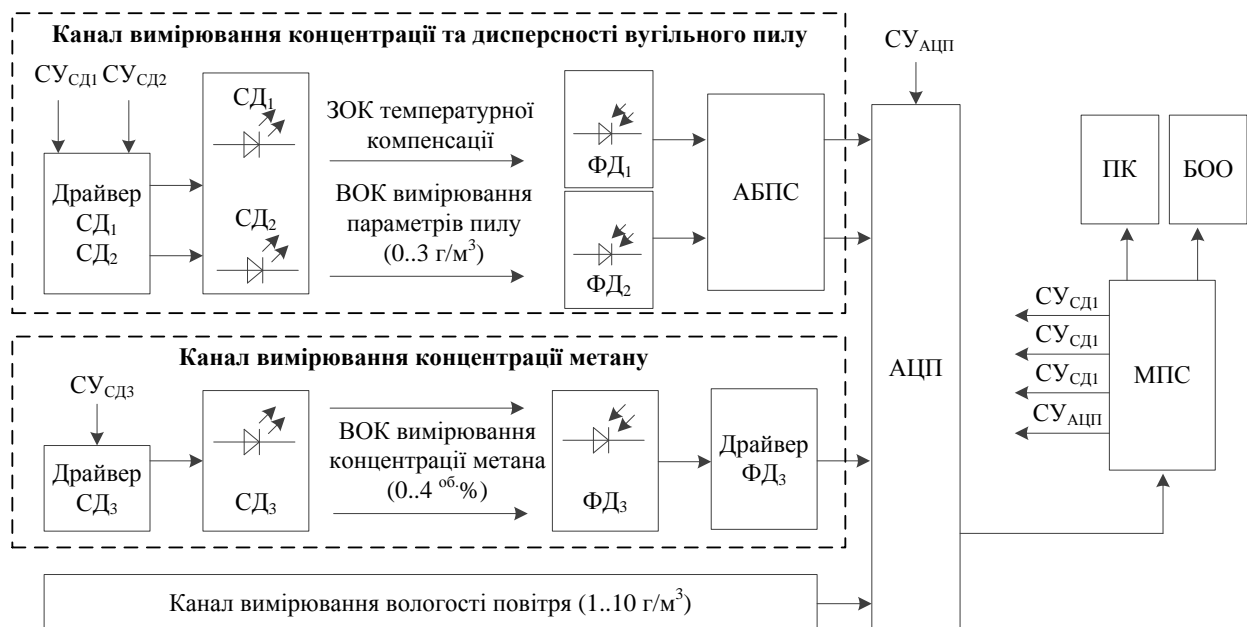


Рисунок 3 – Структурна схема комп'ютеризованої ІВС контролю вибухонебезпечних газових сумішей рудничної атмосфери

Канал вимірювання концентрації та дисперсності вугільного пилю [5] складається з відкритого оптичного каналу (ВОК), де відбувається часткове поглинання часточками пилю зонduючого випромінювання, та закритого оптичного каналу (ЗОК) термостатування зонduючих потоків випромінювання від світлодіодів (СД<sub>1</sub> та СД<sub>2</sub>) з різними довжинами хвиль  $\lambda_1=470 \text{ нм}$  та  $\lambda_2=624 \text{ нм}$ . На виходах ВОК та ЗОК розміщуються однакові високочутливі фотодіоди (ФД<sub>1</sub> та ФД<sub>2</sub>), узгоджені із спектром випромінювання світлодіодів, робота яких забезпечується відповідним драйвером та сигналами управління СУ<sub>СД1</sub> та СУ<sub>СД2</sub> від МПС. Інформаційні сигнали з виходів ФД<sub>1</sub> та ФД<sub>2</sub> перетворюються в напругу, підсилюються в аналоговому блоці перетворення сигналу (АБПС), де також усувається похибка від температурного дрейфу нуля та масштабується вихідний сигнал для подальшої оцифровки в АЦП.

Оптоелектронний блок вимірювання концентрації метану [6] складається з ВОК, де відбувається часткове поглинання молекулами метану зонduючого випромінювання від СД<sub>3</sub> з довжиною хвилі  $\lambda_1=3,6 \text{ мкм}$ , робота якого забезпечується сигналом управління СУ<sub>СД3</sub>

відповідного драйверу від МПС. Вихідний потік випромінювання з ВОК від СД<sub>3</sub> надходить до ФД<sub>3</sub>, спектральна чутливість якого узгоджена зі спектром випромінювання СД<sub>3</sub>, перетворюється в сигнал напруги та масштабується до уніфікованого вигляду для подальшої цифрової обробки.

Алгоритм роботи комп'ютеризованої ІВС контролю концентрації вибухонебезпечних пило-газових сумішей приведений на рисунку 4.

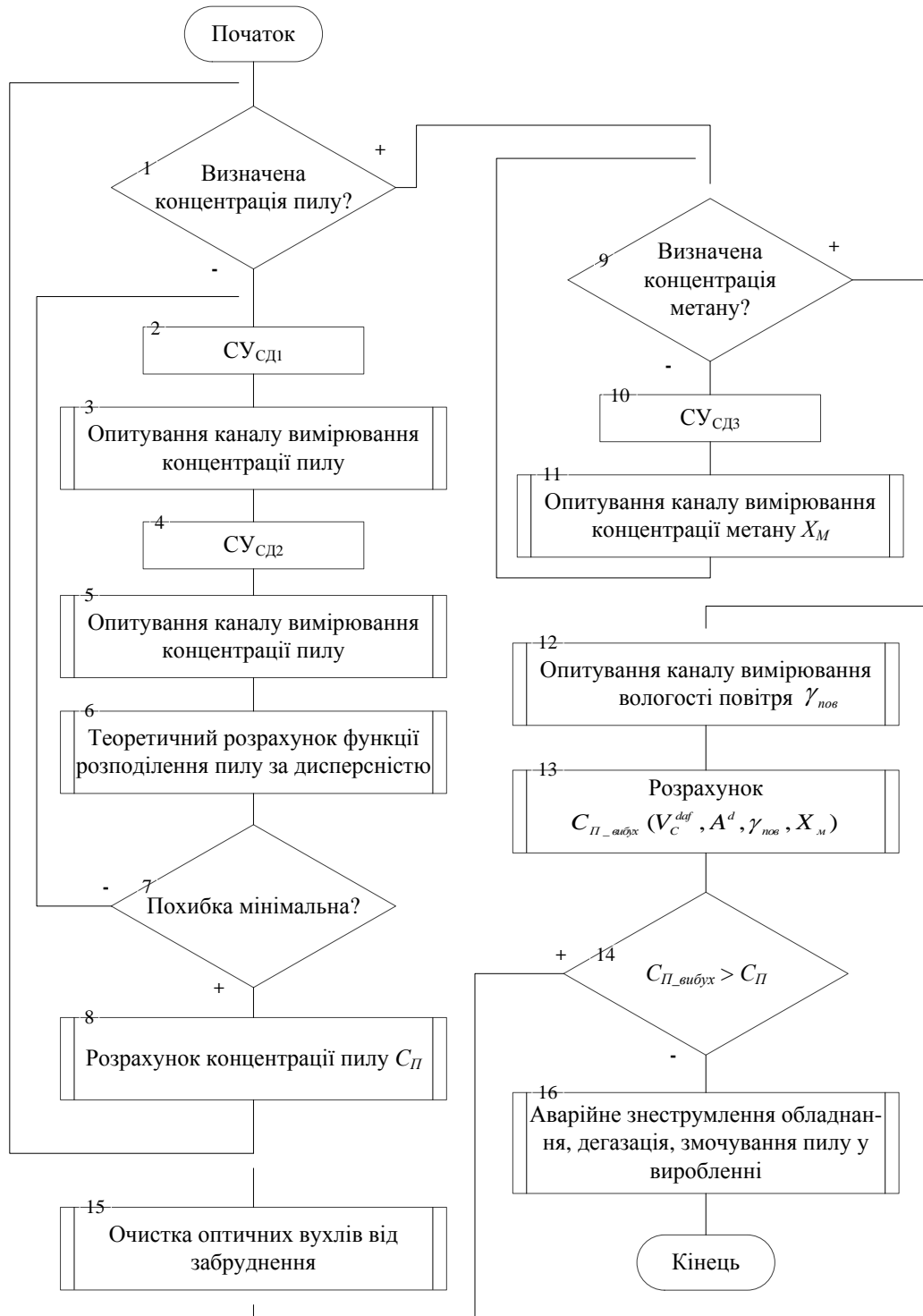


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритму роботи комп'ютеризованої ІВС контролю вибухонебезпечних газових сумішей рудничної атмосфери

Таким чином, знаючи поточні параметри рудничної атмосфери (концентрацію вугільного пилу, метану, вологість повітря) та їх динаміку змінення, на основі запропонованого алгоритму роботи комп'ютеризованої ІВС можна зробити прогноз щодо

настання вибухонебезпечної ситуації у виробленні, передчасно вжити відповідні заходи, такі як знеструмлення, дегазація та змочування пилу шахтної виробки. За цим алгоритмом вираховується теоретична границя вибуховості вугільного пилу на основі співвідношення (1) та порівнюється з поточним значенням вимірної концентрації пилу: якщо поточна концентрація нижче за розраховану граничну, то це розцінюється як нормальна робоча обстановка з безаварійним режимом роботи, якщо навпаки, то це розцінюватиметься як настання аварійного режиму з вживанням відповідних заходів. Вираховані значення граничної концентрації пилу записуються у пам'ять персонального комп'ютера та будується графік поверхні за типом, як зображено на рисунку 2 для відслідковування динаміки змін параметрів, що контролюються.

#### **Висновки.**

1. Запропоновано до використання комплексний показник-функціонал, який визначає імовірнісні характеристики критичних меж вибуховості пило-газової суміші, а саме нижню границю вибухової концентрації вугільного пилу  $C_{II}$  з урахуванням параметрів пилу (вихід летючих  $V_c^{daf}$ , зольність  $A^d$ ), вологості повітря  $\gamma_{нов}$  та концентрації метану  $X_m$  в атмосфері вугільної шахти.

2. Розроблено структуру комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи контролю вибухонебезпечних пило-газових сумішей на основі запропонованого багато параметричного функціоналу, яка в своєму складі передбачає канали вимірювання концентрації та дисперсності вугільного пилу, концентрації метану та канал вимірювання вологості повітря.

3. Розроблено алгоритм роботи комп'ютеризованої ІВС, в якому відображається принцип вимірювання параметрів пило-газових компонент, оцінювання поточної ситуації у шахтному виробленні та з урахуванням динаміки змін цих параметрів передбачено прогнозування настання вибухонебезпечної ситуації в шахті.

#### **Перелік посилань**

1. Соломичев Р.И. Разработка математической модели измерителя концентрации угольной пыли в шахте / Р.И. Соломичев // Сборник научных трудов технологического института Южного федерального университета. – Таганрог – 2013. Выпуск № 5. – С. 75 – 80.

2. Соломичев Р.І. Дослідження впливу зміни концентрації компонент пило газової суміші на поріг вибуховості в умовах вугільних шахт / А.В. Вовна, А.А. Зорі, Р.І Соломичев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Обчислювальна техніка та автоматизація". Донецьк – 2012. – Випуск № 23(201)'2012. – С. 145 – 152

3. Вовна О.В. Комплексне врахування впливу компонент рудничної атмосфери при розрахунку нижньої концентраційної межі вибуховості вугільного пилу. / О.В. Вовна, А.А. Зорі, Р.І. Соломичев // Сборник тезисов докладов Первой Всеукраинской научно-технической конференции «Современные тенденции развития приборостроения», 19-20 ноября 2012 г., г. Луганск, кафедра «Приборы», ВНУ им. В.Даля. – 2012. – С. 272 – 273.

4. Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах / [Відп. за випуск Г.М. Суслов, С.О. Крутенко]. – К.: Мінпаливенерго, 2003. – 480 с.

5. Соломичев Р.І. Двопроменевий спосіб вимірювання концентрації і дисперсності пилового аерозолу у вугільних шахтах / Р.І. Соломичев // Збірник тез доповідей другої наукової міжнародної конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (ВКДТС–2013). Вінниця: ПП «Едельвейс і К», 2013. – С. 111–113.

6. Вовна О.В. Розробка та дослідження швидкодіючого вимірювача концентрації метану інваріантного до запилення рудничної атмосфери / О.В. Вовна, А.А. Зорі // Наукові праці ДонНТУ. Серія : "Обчислювальна техніка та автоматизація". Донецьк – 2012. – Випуск № 22 (200). – С. 143–150.

7. Вовна А.В. Методы и средства аналитического измерения концентрации газовых компонент и пыли в рудничной атмосфере угольных шахт / А.В. Вовна, А.А. Зори, В.Д. Коренев, М.Г. Хламов // Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 260 с.