

УДК 543.42:621.384.3:622.412

О.В. Вовна, д-р техн. наук, доц.,  
Донецький національний технічний університет, м.Красноармійськ  
[Vovna.Alex@ukr.net](mailto:Vovna.Alex@ukr.net)

## Концептуальні рішення структурно-алгоритмічної організації комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи забезпечення аерогазової безпеки шахт

*У цій роботі розглянуто структурно-алгоритмічну організацію комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері вугільних шахт. Розроблена система забезпечують в режимі реального часу отримання інформації щодо зміни параметрів атмосфери вугільних шахт для своєчасного виявлення небезпечних ситуацій та попередження персоналу підприємства гірничошахтної промисловості.*

**Ключові слова:** метан, пил, вимірювання, система, структура, рівень безпеки, шахта.

### Вступ

Одним із пріоритетних напрямів проблеми підвищення ефективності промислових систем комплексної аерогазової безпеки вугільних шахт є розробка та вдосконалення інформаційно-вимірювальних підсистем концентрації метану та пилу. Це дозволяє отримувати метрологічно надійну інформацію в режимі реального часу щодо змін фактичного та прогнозованого стану аерогазової безпеки промислових підприємств. Вимірювання концентрації токсичних і вибухонебезпечних пилогазових компонентів рудничної атмосфери вугільних шахт у режимі on-line дозволить знизити вірогідність виникнення вибухонебезпечних ситуацій і запобігти ендегенним та екзогенним пожежам.

На основі аналізу результатів досліджень [1, 2] удосконаленої феноменологічної моделі вибуховості пило-метано-повітряної суміші у рудничній атмосфері необхідно запропонувати рішення структурно-алгоритмічної організації комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи концентрації метану та пилу у вугільних шахтах [3, 4]. Як метод розробки використовується метод декомпозиції багаторівневих систем [5]. На основі обґрунтованих і запропонованих вимірювальних підсистем концентрації метану та пилу необхідно синтезувати структуру комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи. Для цієї системи необхідно обґрунтувати і розробити нові підходи до алгоритмічного та програмного забезпечення. Реалізація та використання цих підходів у розробленій системі дозволить виявити та знизити вірогідність виникнення вибухонебезпечних ситуацій і забезпечить необхідний рівень аерогазової безпеки із запобіганням виникненню вибухів пилогазової суміші у шахтах.

### Опис

Аналіз предметної області та стан питання вимірювальних систем концентрації метану і пилу в рудничній атмосфері вугільних шахт з урахуванням результатів моделювання процесів вибуховості пилогазової суміші дозволяють обґрунтувати концептуальні рішення структурно-алгоритмічної організації досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи. Ця проблема вирішується завдяки прогнозуванню виникнення передаварійних та аварійних ситуацій на їх початкових стадіях під час накопичення результатів вимірювань у базі даних і побудови моделей екстраполяції. Прогнозування здійснюється на основі методу однофакторної екстраполяції за фактором-аргументом часу [6]. Реалізація запропонованих рішень у вигляді комплексу апаратно-програмних засобів дозволить підвищити рівень безпеки та знизити вірогідність виникнення вибухонебезпечних ситуацій у гірничих виробках вугільних шахтах. На основі аналізу результатів проведених досліджень у цій роботі та у роботах інших авторів [7, 8], обґрунтовано призначення та сформульовано базові функції комплексного забезпечення аерогазового захисту вугільних шахт:

1. Забезпечення приймання та накопичення інформації від вимірювальних систем УТАС [9], шахтних диспетчерських центрів і локальних засобів вимірювального контролю за аерогазовою обстановкою вугільних шахт.

2. Захищене резервне зберігання результатів вимірювань параметрів рудничної атмосфери за весь період роботи інформаційно-вимірювальної системи.

3. Аналітична обробка в on-line режимі отриманої інформації щодо зміни параметрів атмосфери вугільних шахт для своєчасного

виявлення небезпечних ситуацій та попередження персоналу підприємства.

4. Моніторинг концентрації метану та меж вибуховості пилогазової суміші рудничної атмосфери вугільних шахт.

5. Візуалізація вимірювальної інформації, результатів їх аналітичної обробки у ергономічній для аналізу та сприйняття формі.

6. Стратегічне керування безпечним функціонуванням підприємств гірничошахтної промисловості.

7. Персоніфіковане надання даних щодо роботи гірничих підприємств України уповноваженим особам через інформаційні пристрої.

На основі аналізу базових функцій запропоновано та розроблено схему розподілу інформаційних потоків для комплексу забезпечення аерогазового захисту вугільних шахт, яку наведено на рис. 1.

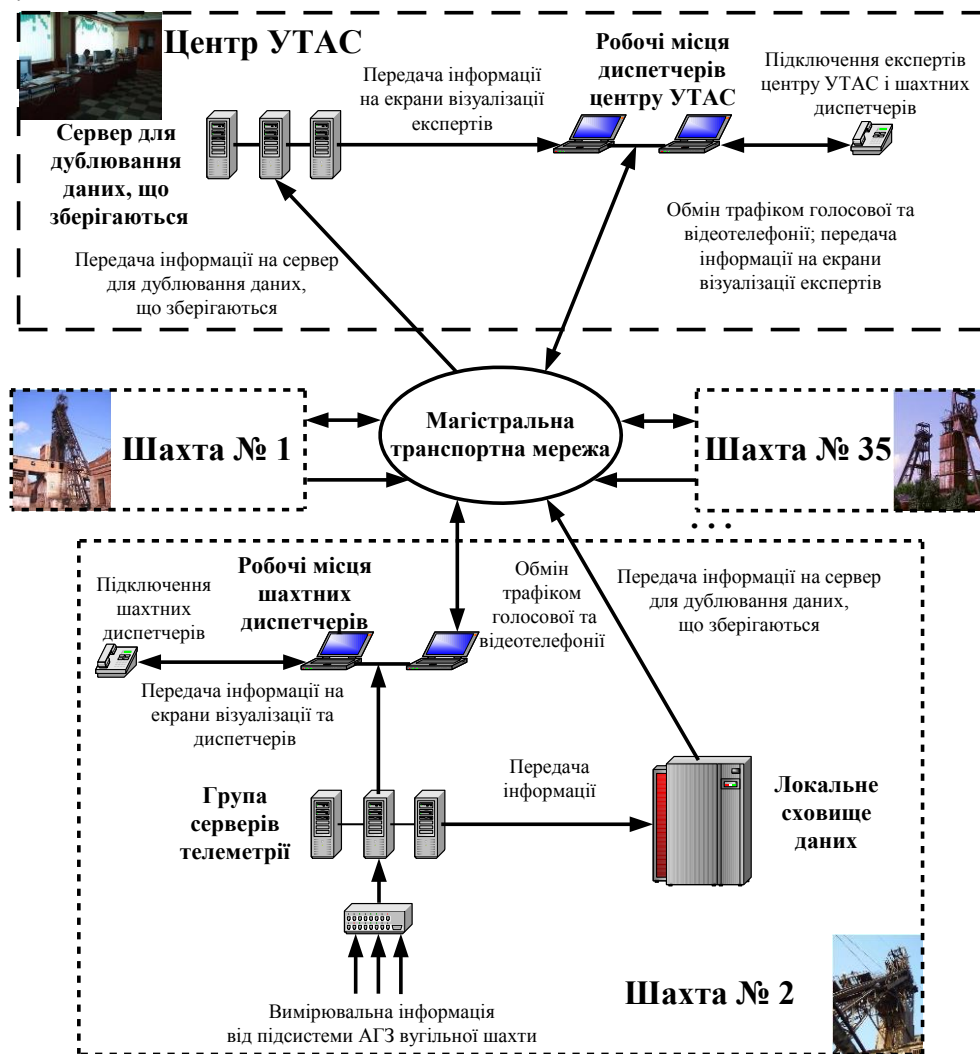


Рисунок 1 – Схема розподілу інформаційних потоків комплексу забезпечення АГЗ підприємств гірничошахтної промисловості

Комплекс забезпечення аерогазового захисту підприємств гірничошахтної промисловості (див. рис. 1) має у своєму складі такі системи:

1. Вузол зв'язку Центру, який забезпечує обмін інформацією між шахтами і Центром, координацію роботи та керування системою.

2. Вузли зв'язку шахт, які організують взаємодію диспетчерських центрів шахт з Центром комплексу УТАС.

3. Канали зв'язку, які організовано на основі магистральної транспортної мережі, що пов'язує безпосередньо Центр УТАС з диспетчерськими шахт.

4. Система самодіагностування комплексу.

5. Система зберігання параметрів конфігурації комплексу.

6. Система налаштування, оперативного керування і моніторингу ІР-автоматичних телефонних станцій (ІР-АТС).

Відповідно до запропонованої схеми розподілу інформаційних потоків (див. рис. 1) комплекс УТАС забезпечує:

- двонаправлений телефонний та відеотелефонний зв'язок з можливістю проведення конференцій засобами пакетної комутації між диспетчерами різних шахт, а також шахтними диспетчерами та експертами Центру УТАС за допомогою магістральної транспортної мережі;

- передачу цих вимірювань у однонаправленому режимі до локального сховища даних на шахті та до сервера дублювання диспетчерського центру УТАС засобами магістральної транспортної мережі;

- передачу інформації до екранів візуалізації робочих місць диспетчерів від локального сховища даних у межах однієї шахти;

- передачу інформації до екранів візуалізації робочих місць експертів Центру УТАС від сервера дублювання даних диспетчерського Центру УТАС.

Апаратно-програмний комплекс забезпечує отримання даних від різних шахт, які підключено до Центру УТАС, аналіз даних і виведення інформації до терміналів Центру. Гірничошахтний комплекс складається з таких систем:

- обробки та аналізу інформаційних параметрів і дестабілізуючих факторів рудничної атмосфери вугільних шахт;

- отримання та передача інформаційного пакету даних від шахти до сервера дублювання і диспетчерського центру УТАС;

- візуалізація отриманого інформаційного пакету в диспетчерському Центрі УТАС.

На базі аналізу систем апаратно-програмного комплексу постає задача розробки програмного комплексу для синхронізації даних з набором джерел баз даних (ДБД) і приймачів (ПБД). При цьому структури ДБД і ПБД можуть змінюватися у часі при додаванні, вилученні та корекції таблиць. Дані до ДБД надходять із достатньо високою швидкістю (період опитування вимірювальних каналів і систем може змінюватись від 0,15 до 10 с). Оперативна інформація в режимі реального часу виводиться на екрани візуалізації експертів Центру УТАС. Тому програмний комплекс має у своєму складі такі системи:

- синхронізації даних [10], яка містить підсистему обробки та отримання даних [11] від диспетчерських пунктів окремих шахт;

- візуалізація отриманих інформаційних пакетів.

Задачею підсистеми обробки даних на шахті є отримання даних від шахтної бази даних (ШБД) та передача їх за запитом до Центру УТАС. Структурну схему роботи підсистеми обробки та отримання даних [12, 13] від диспетчерських шахт до Центру УТАС представлено на рис. 2.

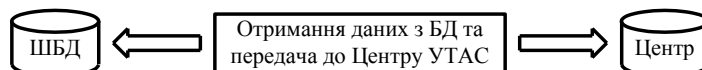


Рисунок 2 – Структурна схема роботи підсистеми обробки та отримання даних від диспетчерських шахт до Центру УТАС

Першою задачею підсистеми отримання даних від диспетчерських шахт є прийом інформаційних повідомлень, їх розпакування та обробка. Другою задачею цієї підсистеми є зберігання отриманих даних у базі даних Центру УТАС (ЦБД). Залежно від результатів обробки отриманих пакетів здійснюється формування повідомлень сервісам візуалізації. На основі аналізу задач, які вирішуються підсистемою обробки та отримання даних, запропоновано використовувати сервіс для відправлення даних до Центру на основі служби WCF Data Service [14], що дозволить у режимі реального часу надавати дані, які зберігаються у вигляді джерел у ШБД, за запитом з Центру УТАС. Технічна реалізація цього сервісу на основі WCF Data Service забезпечить:

- проведення опитування ДБД шахт, отримання даних, обробка, передачу та зберігання їх до ЦБД;

- повідомлення усіх терміналів візуалізації про необхідність відображення даних, що знов надійшли.

На основі задач, які розв'язуються підсистемою обробки та отримання даних з використанням WCF Data Service, запропоновано узагальнену структурну схему роботи цієї підсистеми, яку наведено на рис. 3.

Сервіс отримання даних від ШБД запропоновано реалізувати службою Windows Service (Open Services Architecture) [15]. Це дозволить для будь-якого розширення використаної операційної системи визначати стандарти API (Прикладний програмний інтерфейс) і SPI (Інтерфейс з сервером). Ця служба створює між клієнтом (ШБД) і сервером проміжний блок-менеджер, що

реалізує стандартний протокол доступу до даних. Це дозволяє операційній системі однаково звертатися до драйверів пристроїв і менеджерів бази даних. Основна задача сервісу, який реалізовано службою Windows Service, є опитування видалених WCF Data Service шахт, контроль наявності підключення до шахт, отримання даних від них, обробка та зберігання інформації до ЦБД, а також повідомлення додаткових сервісів щодо необхідності розсилання нових даних терміналам під час зміни статусів.

Сервіс призначено для обміну повідомленнями між браузером і Web-сервером у режимі реального часу. Повідомлення терміналів візуалізації пропонується реалізувати на базі WebSocket [16]. Задачею сервісу є відправка даних до терміналів. Після обробки і зберігання даних Windows Service відправляє повідомлення, що містять підготовлені для візуалізації дані.

У свою чергу сервіс розсилає їх до відповідних терміналів. Під час запуску нового терміналу здійснюється звернення до сервісу, термінал підписується на його події. Таким чином всі термінали автоматично отримують нові дані.

Для забезпечення синхронізації роботи ДБД і ЦБД запропоновано використовувати систему (див. рис. 4), що має такі компоненти:

- служба доступу до ДБД (СДДБД), яку призначено для надання даних з ДБД та інформації про схеми таблиць;
- служба синхронізації даних ДБД і ПБД (ССД), яка здійснює синхронізацію даних у ПБД, під час опитування всіх СДДБД шахт;
- Web-додатки аналітичного центру (ВДАЦ), які використовують WebSocket для повідомлення про появу нових даних.

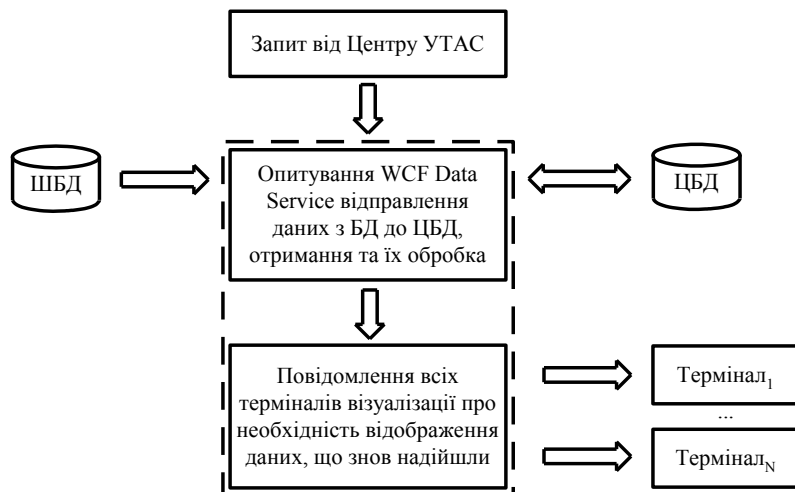


Рисунок 3 – Структурна схема роботи підсистеми обробки та отримання даних з використанням WCF Data Service

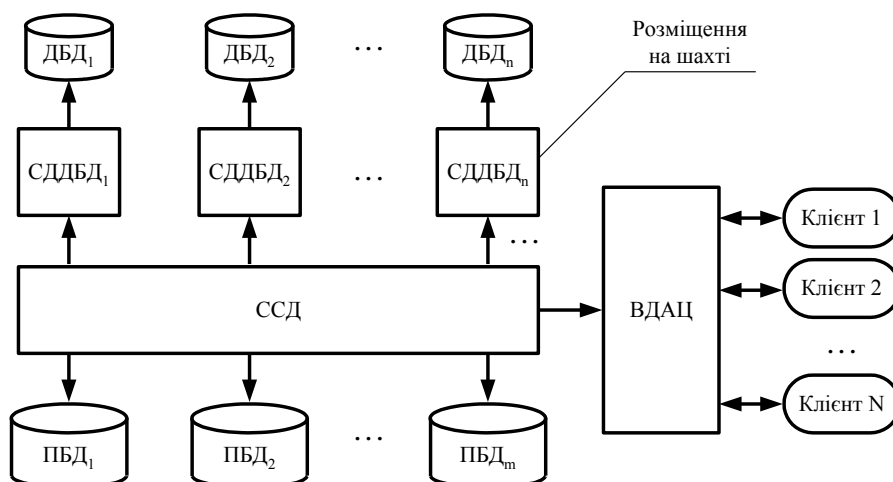


Рисунок 4 – Структурна схема роботи системи синхронізації ДБД і ЦБД

При старті ССД визначається робочий набір шахт, які підлягають моніторингу. Цей набір оновлюється за таймером, періодичність якого встановлюється у конфігурації комплексу. Процес синхронізації ДБД і ПБД є потоковим одностороннім обміном даними. Запропонований підхід з частою синхронізацією дозволяє надати клієнтам інформацію в режимі реального часу.

Особлива увага при синхронізації приділяється збоєм і крайнім ситуаціям під час використання програмного забезпечення. У процесі роботи служб програмне середовище може опинитися у таких умовах: відмова в роботі мережі (недоступність вузлів) на різних ділянках; архівація та установка ПБД або ДБД у початковий стан; перезавантаження ССД або СДДБД; підвищене навантаження на канал зв'язку або сервер аналітичного центру.

Під час перезавантаження ССД, порушення роботи мережі та ін. ПБД не міститиме всі дані від ДБД, які накопичено за час простою синхронізації. Ці пропуски можуть бути заповнені,

але за умови, що система функціонує у режимі реального часу, дані може бути відновлено не повністю. Якщо накопичений об'єм даних є дуже великим, а систему перезавантажено, то може не вистачити ресурсів під час переміщення даних. На цьому етапі пропонується ввести обмеження на пересилання цих даних – для запиту пересилати не більше  $N$  (параметр конфігурації) останніх записів.

ССД під час отримання інформації від кожної шахти повідомляє Web-додатки щодо надходження нових даних. Комунікація між ССД і Web-додатком здійснюється через WCF Data Service. Web-додаток є системою візуалізації отриманих даних (див. рис. 5), основною задачею якої є організація зберігання налаштувань конфігурації та виведення інформації до терміналів експертів диспетчерського Центру УТАС. Основними елементами системи є компоненти керування, конструктор форм візуалізації даних і візуалізатор форм.



Рисунок 5 – Структурна схема роботи системи візуалізації під час отримання даних від БД з диспетчерського Центру УТАС

Компонента керування забезпечує доступ до різних елементів системи, на основі списку прав доступу. Користувач, який пройшов аутентифікацію (зіставлення логін/пароля з обліковим записом у базі даних), ідентифікацію (отримання унікального логіну) та авторизацію, працює тільки з тими модулями, до яких у нього є права доступу. Адміністратор має право керувати користувачами, правами і ролями, а також надавати право доступу до модулів системи або комплексу Центру УТАС. Для досягнення необхідного рівня безпеки, який відповідає міжнародним стандартам, у апаратно-програмному комплексі УТАС використовуються сучасні алгоритми шифрування та захисту від несанкціонованого доступу, як на апаратному, так і на програмному рівні.

Конструктор форм є front-end RIA-додатком на JavaScript. Функціонал конструктора форм дозволяє забезпечити адміністратору Центру УТАС створення нових форм візуалізації даних за виглядом і функціональністю, які є близькими до десктопних додатків. Дані у створю-

ваних формах мають формат XML. Візуалізатор форм також є front-end RIA-додатком на JavaScript, який дозволяє використовувати X/HTML. Візуалізатор форм повністю базується на функціоналі конструктора форм.

Використання цієї структури системи візуалізації дозволяє збалансувати ресурси, а також обробляти більшу кількість сесій одночасно під час використання одного й того ж апаратно-програмного комплексу. Також дані між клієнтом і сервером передаються без очікування під час оновлення їх у ДБД.

## Висновок

Запропоновано концептуальні рішення структурно-алгоритмічної організації комп'ютеризованої інформаційно-виміральної системи, які базуються на прогнозуванні виникнення передаварійних та аварійних ситуацій на початкових стадіях під час накопичення результатів вимірювань у базі даних і побудови моделей екстраполяції. Прогнозування виконується на базі однофакторного методу екстраполяції за

аргументом часу. Реалізація концептуальних рішень на основі апаратно-програмних засобів запропонованого комплексу аерогазового захисту підприємств гірничо-видобувного

промисловості на базі УТАС підвищує рівень безпеки та знижує вірогідність виникнення вибухонебезпечних ситуацій.

### Список використаної літератури

1. Вовна О.В. Обґрунтування вимог до системи раннього виявлення самозаймання пиловугільних аерозолів в умовах промислових підприємств / О.В. Вовна, І.С. Лактіонов // Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2011. – Вип. 21 (183). – С. 157-163.
2. Вовна О.В. Вплив варіації концентрацій окремих компонентів пилогазоповітряних сумішей на загальний поріг вибуховості в умовах виробок вугільних шахт / О.В. Вовна, А.А. Зорі, Р.І. Соломічев // Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2012. – Вип. 23 (201). – С. 145-152.
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. «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении». – 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 // Вісн. НТУ «ХП». Збірн. наук. пр. «Електроенергетика та перетворювальна техніка». – 2015. – № 19 (1128). – С. 79-88.
5. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2003. – 747 с.
6. Громова Н.М. Основы экономического прогнозирования: учеб. пособ. [Электронный ресурс] / Н.М. Громова, Н.И. Громова. – Издательство «Академия Естествознания», 2006. – Режим доступа: <http://www.rae.ru/monographs/10>. – Назва з титул. екрану.
7. Свистунов Б.Л. Структурно-алгоритмические методы синтеза инвариантного изменения параметров электрической цепи: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук: спец. 05.11.01 «Приборы и методы измерения (электрические измерения)» / Борис Львович Свистунов; Пензен. гос. ун-т. – Пенза, 2004. – 47 с.
8. Шакурский В.К. Структурно-алгоритмические методы и средства инвариантных преобразований для систем управления технологическими процессами: автореф. дис. на соиск. учен. степ. доктора техн. наук: спец. 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» / Виктор Константинович Шакурский; Тольят. политехн. ин-т. – Самара, 1998. – 39 с.
9. ITRAS ДП «Петровський завод вугільного машинобудування» [Електронний ресурс]: Підсистема управління параметрами навколишнього середовища шахти. – Режим доступу: <http://itras.com.ua/index.php?id=16076&show=4nalbum&do=showgall&gid=28531>. – Назва з титул. екрану.
10. Пиковский А. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление / А. Пиковский, М. Розенблюм, Ю. Куртс. – М.: Техносфера, 2003. – 496 с.
11. Парк Дж. Передача данных в системах контроля и управления: практич. руковод. / Дж. Парк, С. Маккей, Э. Райт; пер. с англ. В.В. Савельева. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 480 с.
12. Гергель В.П. Теория и практика параллельных вычислений: учеб. пособ. / В.П. Гергель. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 423 с.
13. Пьявченко О.Н. Информационно-измерительные системы определения параметров газожидкостных потоков: моногр. / О.Н. Пьявченко, А.А. Зори, С.И. Клевцов и др. – Таганрог: Изд-во «Танаис», 2013. – 244 с.
14. Microsoft [Электронный ресурс] : Службы WCF Data Services 4.5. – Режим доступа: <https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/cc668792%28v=vs.110%29.aspx>. – Назва з титулу екрану.
15. Microsoft [Электронный ресурс] : Introduction to Windows Service Applications. – Режим доступа: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/d56de412%28v=vs.110%29.aspx>. – Назва з титулу екрану.
16. Microsoft [Электронный ресурс] / API WebSocket. – Режим доступа: <https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/hh673567%28v=vs.85%29.aspx>. – Назва з титулу екрану.

Надійшла до редакції 20.01.2016

**A.V. VOVNA**

Донецкий национальный технический университет

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРИЗОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АЭРОГАЗОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ШАХТ**

В данной работе рассмотрена структурно-алгоритмическая организация компьютеризированной информационно-измерительной системы концентрации метана и пыли в рудничной атмосфере угольных шахт. Разработанная система обеспечивает в режиме реального времени получение информации об изменении параметров атмосферы угольных шахт для своевременного выявления опасных ситуаций и предупреждения персонала предприятия горно-шахтной промышленности.

*Ключевые слова: метан, пыль, измерения, система, структура, уровень безопасности, шахта.*

**O.V. VOVNA**

Donetsk National Technical University

**CONCEPTUAL SOLUTIONS OF THE STRUCTURAL-ALGORITHMIC ORGANIZATION OF COMPUTERIZED INFORMATION-MEASURING SYSTEM OF AIR AND GAS MINE SAFETY ASSURANCE**

The solution of structural-algorithmic organization of a computerized information-measuring system of the methane and dust concentration in the coal mines has been proposed in this paper, which is based on the research results of the analysis of the improved phenomenological model explosiveness of dust and methane-air mixture in the mine atmosphere. As a result of this paper research, as well as in the works of other authors', purposes have been determined and the basic functions of the air and gas complex protection ensuring in the coal mines have been substantiated. Based on analysis of the basic functions of the distribution of information flows scheme for the air and gas complex protection ensuring in the coal mines has been proposed and developed. Measurement subsystems of the methane and dust concentrations have been substantiated and developed, as well as computerized information-measuring system structures have been synthesized. For this system we proved and developed new approaches to algorithmic and software. New approaches to algorithmic and software have been substantiated and designed for this system. The hardware-software complex provides data from various mines, which are connected to the Center, data analysis and received information output on the Centre's terminals. Based on the analysis of the systems hardware and software characteristics and parameters of software package to synchronize data with a database sources set and receivers has been developed. In this case database structure may vary over time with the addition, deletion and correction tables. Data for database are received with a sufficiently high rate (polling period of measuring channels and systems may vary from 0.15 to 10 s). Operational information is displayed on-line on the Center experts screen visualization. Conceptual solutions of the computerized information-measuring system structurally-algorithmic organization have been proposed in this paper, which are based on predicting the occurrence of pre-emergency and emergency situations at the initial stages of the accumulation of the measurements results in database and extrapolation models building. Prediction is performed on the basis of single-factor method with the extrapolating factor-time argument. Realization of the conceptual solutions based on the hardware and software for complex air and gas protection in mining industry, based on the mine atmosphere parameters measurement subsystem using telecommunications supervisory monitoring system improves safety in mines.

*Keywords: methane, dust, measuring, system, structure, safety, mine.*