

УДК УДК 331.45: 622.418

### **Кружилко Олег Євгенович**

Доктор технічних наук, завідувач відділу інформаційних технологій

Державна установа Національний науково-дослідний інститут охорони праці та промислової безпеки, Київ

### **Полукарова Світлана Геннадіївна**

Завідувач сектору розробки програмного забезпечення

Державна установа Національний науково-дослідний інститут охорони праці та промислової безпеки, Київ

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ШАХТНОЇ АТМОСФЕРИ**

***Анотація.** Одним із основних напрямів діяльності ДУ «ННДІПБОП» є дослідження проблематики аварійності та травматизму й розроблення заходів щодо їх зменшення. На шахтах України з 2004 року впроваджувалась перша вітчизняна комплексна система протиаварійного захисту. У рамках здійснення авторського нагляду та узагальнення досвіду роботи цієї системи була створена робоча група, до складу якої входили фахівці Національного НДІ промислової безпеки та охорони праці. Для обробки масивів даних, отриманих від датчиків, побудови математичних моделей параметрів шахтної атмосфери, розрахунку прогнозних значень цих параметрів розроблено інформаційно-аналітичну підсистему контролю стану шахтної атмосфери.*

***Ключові слова:** вугільна галузь; шахтна атмосфера; прогнозування; моделювання*

### **Вступ**

Одним із основних напрямів діяльності ДУ «ННДІПБОП» є дослідження проблематики аварійності та травматизму й розроблення заходів щодо їх зменшення. Своєчасне інформування про стан виробничого травматизму полягає у збиранні, аналізі та узагальненні даних – це пріоритетний напрям роботи відділу інформаційних технологій, фахівці якого уже більше десяти років розробляють інформаційні системи, призначені для автоматизованого формування звітів про стан виробничого травматизму. За статистикою один із найвищих рівнів людських та матеріальних втрат, пов'язаних із травматизмом, спостерігається у вугільній галузі. Сьогодні ситуація, що склалася у цій галузі в Україні, вимагає використовувати нестандартні рішення, новітні наукові розробки. Одним із факторів суттєвого зниження рівня травматизму є впровадження на шахтах систем протиаварійного захисту. Починаючи з 2004 року на шахтах України впроваджувалась перша вітчизняна комплексна система протиаварійного захисту [1; 7 – 8]. У рамках здійснення авторського нагляду та узагальнення досвіду роботи цієї системи була створена робоча група, до складу якої входили фахівці ДУ «ННДІПБОП».

Застосування методів моделювання і прогнозування для дослідження стану шахтної атмосфери безумовно є необхідним та перспективним напрямом діяльності.

### **Постановка проблеми**

В результаті виконання виробничих процесів у шахтах утворюється характерне повітряне середовище, яке називають шахтної атмосферою, що складається з атмосферного повітря, природних (метан, вуглекислий газ, сірководень та ін.) і технологічних (продукти вибухових робіт, газу, що виділяються в зарядних камерах під час роботи двигунів) газів, вугільного та породного пилу і парів води.

Однією із задач впроваджених на шахтах систем протиаварійного захисту є збирання та аналіз даних про стан шахтної атмосфери. Для обробки масивів даних, отриманих від датчиків, побудови математичних моделей параметрів шахтної атмосфери, розрахунку прогнозних значень цих параметрів була розроблена інформаційно-аналітична підсистема контролю стану шахтної атмосфери [2]. Ця підсистема була впроваджена на двадцяти шахтах України.

Відділ інформаційних технологій ДУ «ННДІПБОП» постійно проводить дослідження даних та моделей для прогнозування стану шахтної атмосфери, в результаті чого інформаційно-аналітична підсистема контролю стану шахтної атмосфери зазнала суттєвих змін. Як було зазначено у [2], апробація методу розподіленого лага при побудові моделей датчиків, показує, що використання цього методу здебільшого приводить до моделей з необхідною точністю (в межах 10%) і метод може використовуватись для побудови складних моделей прогнозу. Тому, враховуючи отримані розрахунки, було удосконалено систему контролю стану шахтної атмосфери, а саме

реалізовано метод розподіленого лага для моделювання багатовимірних залежностей показників шахтної атмосфери (залежність показників датчиків шахтної атмосфери від датчиків стану шахтного устаткування і інших процесів, а також від часу доби і порядкового номера доби). Також було доопрацьовано прогнозну модель оцінки управління, яка враховує керуючі впливи на часових інтервалах, наступних за інтервалом управління.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Тема прогнозування даних завжди є актуальною. Методи моделювання застосовують для підвищення ефективності управління, зокрема у сфері охорони праці [2 – 4], у фінансовій сфері [9], у медицині [10]. Зовсім іншим підходом до прогнозування є застосування алгоритмів адаптивного лінійного прогнозуючого фільтра [5]. Новітнім рішенням є побудова платформи Prognoz Platform для оптимального управління [6].

### Мета статті

Метою статті є ознайомлення читача з реалізацією одного із методів моделювання і прогнозування стану шахтної атмосфери.

### Виклад основного матеріалу

Початковими даними для побудови математичної моделі є дані про стан шахтної атмосфери, отримані від датчиків системи.

Для розрахунку формується таблиця, що містить період, за який отримано дані, значення прогнозованого показника та значення чинників, що впливають на показник. Для кожного чинника, а також для показника обчислюються їх математичні сподівання за заданий квант часу (півгодини, година і так далі). При цьому проводиться виявлення так званих неправильних або «збійних» значень показників датчиків. У подальших обчисленнях використовуються значення математичного сподівання з заданим періодом часу. Враховуючи, що на значення прогнозованого показника впливають також його попередні значення, то масив початкових даних можна представити у таблиці (таблиця).

Як показують практичні дослідження найефективніше використовувати зміщення даних на три інтервали часу [4]. Тобто, прогнозоване значення показника на наступний період часу  $y_{m+1}$  невідомо, воно визначатиметься з використанням отриманої математичної моделі та даних за  $m$ -й,  $m-1$ -й та  $m-2$ -й періоди часу.

Для побудови математичної моделі беруть дані, починаючи з четвертого періоду, так як на попередніх періодах не всі значення показників були визначені.

Таблиця – Масив початкових даних

| Період | Показник       |                  |                  |                  | Чинники         |     |                 |
|--------|----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----|-----------------|
|        | Y              |                  |                  |                  | X <sub>i</sub>  |     |                 |
| 1      | y <sub>1</sub> | -                | -                | -                | x <sub>11</sub> | ... | x <sub>1n</sub> |
| 2      | y <sub>2</sub> | y <sub>1</sub>   | -                | -                | x <sub>21</sub> | ... | x <sub>2n</sub> |
| 3      | y <sub>3</sub> | y <sub>2</sub>   | y <sub>1</sub>   | -                | x <sub>31</sub> | ... | x <sub>3n</sub> |
| 4      | y <sub>4</sub> | y <sub>3</sub>   | y <sub>2</sub>   | y <sub>1</sub>   | x <sub>41</sub> | ... | x <sub>4n</sub> |
| ..     | ..             | ..               | ..               | ..               | ..              | ..  | ..              |
| m      | y <sub>m</sub> | y <sub>m-1</sub> | y <sub>m-2</sub> | y <sub>m-3</sub> | x <sub>m1</sub> | ... | x <sub>mn</sub> |

Далі проводиться розрахунок коефіцієнтів парної кореляції між чинниками та показниками. Коефіцієнт кореляції розраховується за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

де  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  – середні значення чинника та показника.

З пари чинників, які лінійно зв'язані між собою, залишаємо один.

Побудова математичної моделі для розрахунку прогнозованого значення  $y_{m+1}$  здійснюється методом регресійно-кореляційного аналізу на основі даних таблиці.

У загальному випадку модель має вигляд:

$$Y = F_1(x_1, \dots, x_n) + F_2(x_{n+1}, \dots, x_m) + F_3(Y(x_{n+1} - 1), \dots, Y(x_{n+1} - k)),$$

де  $Y(x_{n+1} - 1), \dots, Y(x_{n+1} - k)$  – лагові значення із запізненням у часі показника, що моделюється.

Точність моделі характеризується величиною відхилення прогнозованого показника від реального значення показника, оцінюється точність отриманої моделі за формулою:

$$\Delta = 100 - \left| \frac{y_{m+1}^\Phi - y_{m+1}^P}{y_{m+1}^\Phi} \right| \cdot 100\%,$$

де  $y_{m+1}^\Phi$  – фактичне значення показника;  $y_{m+1}^P$  – розрахункове значення у  $m+1$ -му періоді.

Описаний метод дозволяє отримати моделі з точністю в межах 10%.

### Реалізація

Розроблена інформаційно-аналітична підсистема контролю стану шахтної атмосфери показана на рис. 1.

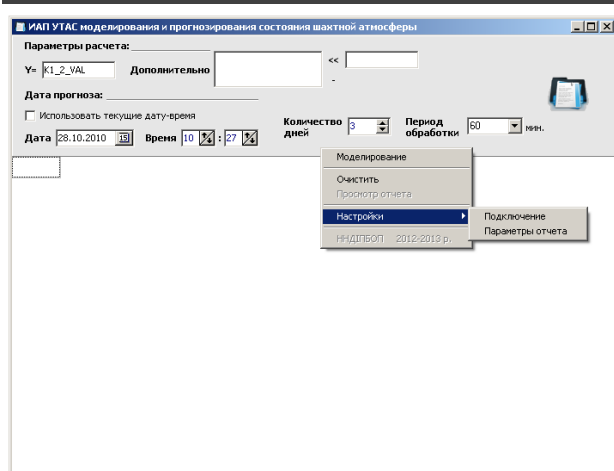


Рисунок 1 – Інформаційно-аналітична підсистема

Результати моделювання та прогнозування за датчиком метану наведені на рис. 2.

Шахта "Заря"  
 Отчет создан: 09.10.2013 10:13:54  
 Период моделирования: 05.10.2013 10:00:00 - 08.10.2013 10:00:00  
 Параметры моделирования: K154\_1\_VAL  
 Результаты моделирования:  
 Точность: 95.56255% Погрешность: 4.43745% Коэф. сум. кор.: 0.80545  
 Результаты прогнозирования:  
 Точность: 95.04020% Погрешность: 4.95980%

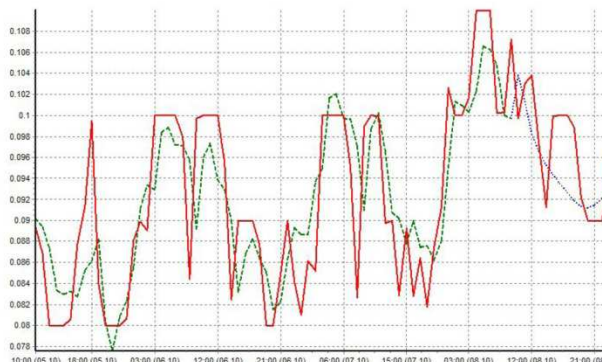


Рисунок 2 – Моделювання за датчиком метану

Результати моделювання та прогнозування за датчиком оксиду вуглецю на рис. 3.

Шахта "Льовайська"  
 Отчет создан: 10.10.2013 15:28:54  
 Период моделирования: 07.10.2013 15:00:00 - 10.10.2013 15:00:00  
 Параметры моделирования: K117\_2\_VAL  
 Результаты моделирования:  
 Точность: 99.45851% Погрешность: 0.54149% Коэф. сум. кор.: 0.75708  
 Результаты прогнозирования:  
 Точность: 99.86723% Погрешность: 0.13277%

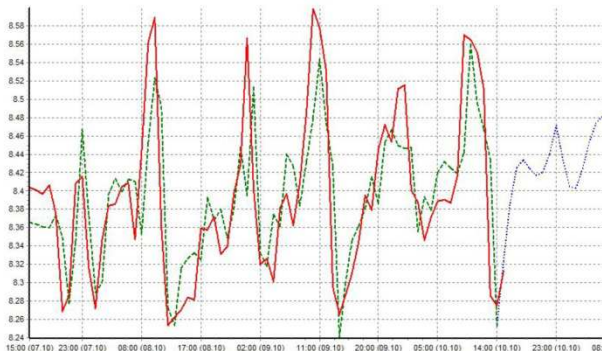


Рисунок 3 – Моделювання за оксидом вуглецю

Як показують дослідження, для отримання моделей з точністю в межах 10% дані повинні відповідати певним вимогам, а саме: протягом періоду, за який взяті дані для моделювання, не повинні змінюватися виробничі умови, період краще брати мінімум три дні. Мали місце випадки, коли протягом певного періоду математичні моделі, побудовані для одного і того ж датчика мали достатню точність, а потім настає період, коли таку модель побудувати неможливо. Це пояснюється зміною виробничих умов, режимів роботи, проведенням профілактичних робіт та іншими факторами. Датчики, дані яких моделюються, повинні працювати без збоїв як мінімум три дні.

Наприклад, на шахті проводяться буропідривні роботи, які супроводжуються викидом метану. Якщо проводити моделювання за даними, отриманими від датчиків метану за цей період, то похибка розрахунків становитиме понад 10% (рис. 4.).

Шахта "Прогресс"  
 Отчет создан: 10.10.2013 15:17:41  
 Период моделирования: 07.10.2013 15:00:00 - 10.10.2013 15:00:00  
 Параметры моделирования: K156\_1\_VAL  
 Результаты моделирования:  
 Точность: 82.45223% Погрешность: 17.54777% Коэф. сум. кор.: 0.92562  
 Результаты прогнозирования:  
 Точность: 93.78630% Погрешность: 6.21370%

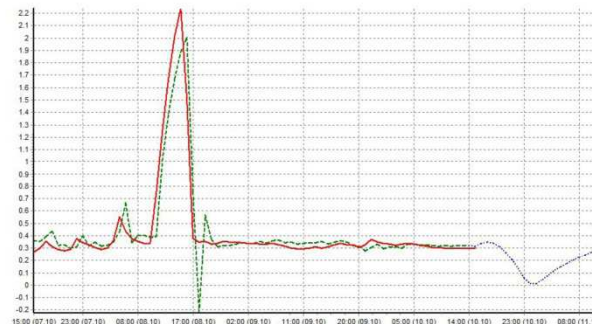


Рисунок 4 – Моделювання за умов впливу на процес

Це пояснюється тим, що змінилися виробничі умови порівняно з попереднім періодом.

## Висновки

Отримані результати свідчать, що метод розподіленого лага дозволяє побудувати моделі з необхідною точністю (в межах 10%), метод може використовуватись для побудови складних моделей прогнозу.

Для достовірного прогнозу дані повинні відповідати певним вимогам, а саме: протягом періоду, за який взяті дані для моделювання, не повинні змінюватися виробничі умови, період краще брати мінімум три дні.

Однією з можливостей, що забезпечують побудовані моделі, є врахування керуючого впливу, тобто оперативна оцінка змін значень модельованого показника як реагування на зміни значень керованих чинників. Прогнозна модель оцінки управління враховує керуючі впливи на часових інтервалах, наступних за інтервалом управління.

**Список літератури**

1. Здановський В.Г. Промислова безпека у вугледобувній галузі / В.Г. Здановський, А.П. Деньгін, І.М. Подобєд. – К.: ДУ «ННДІПБОП», 2015. – 377 с.
2. До питання моделювання та прогнозування показників стану шахтної атмосфери / В.В. Майстренко, О.А. Кириченко, С.Г. Полукарова. // Проблеми охорони праці в Україні: Зб. наук. праць – К. : ДУ «ННДІПБОП». – 2011. – Вип. 21. – С. 45 – 53
3. Наукові засади оперативного управління охороною праці: дис. ... доктора технічних наук: 05.26.01 / Кружилко О.Є. – К. – 2011. – 320 с.
4. Майстренко В.В. Оцінка ефективності державного нагляду за охороною праці у вугільній галузі [Текст] / В.В. Майстренко // Управління розвитком складних систем. – К. : КНУБА. – Вип. 17. – 2014. – С. 95 – 99.
5. Иносов С.В. Интеллектуальные возможности адаптивного линейного стационарного прогнозирующего фильтра [Текст] / С.В. Иносов, В.М. Корниченко, В.В. Гречуха // Управління розвитком складних систем. – К. : КНУБА. – Вип. 17. – 2014. – С. 173 – 180.
6. Development and implementation of advanced BI systems [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: /www/ URL: <http://www.prognoz.com/platform/modeling>
7. Майстренко В.В. Использование геоинформационной системы для развития унифицированной телекоммуникационной системы диспетчерского контроля и автоматизированного управления горными машинами и технологическими комплексами УТАС / В.В. Майстренко //Использование геоинформационной системы K-MINE в различных сферах деятельности : сборник докладов II Международного научно-практического семинара «SVIT GIS-2012», 14-18 мая 2012 г. – Кривой Рог: Дионис. – 2012.- С. 194-198.
8. Системи безпеки шахт України, їх можливості та перспективи / Ю.І. Шульга, В.Г. Здановський, Н.В. Кривцов, Н.В. Ігнатюк // Проблеми охорони праці в Україні: Зб. наук. праць – К. : ДУ «ННДІПБОП». – 2010. – Вип. 18. – С. 3 – 11.
9. Берзлев О.Ю., Білошицький А.О. Інформаційна система для прогнозування і прийняття рішень у фінансовій сфері [Текст] / О.Ю. Берзлев, А.О.Білошицький // Управління розвитком складних систем. – К. : КНУБА. – Вип. 18. – 2014. – С. 106 – 111.
10. Кондратьев М.А. Методы прогнозирования и модели распространения заболеваний /М.А. Кондратьев// Компьютерные исследования и моделирование. – 2013. – Т. 5. – № 5. – С. 863-882.

Стаття надійшла до редколегії 21.07.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук В.А. Глива, Інститут екологічної безпеки Національного авіаційного університету, Київ.

**Кружилко Олег Євгеньевич**

Доктор технических наук, заведующий отделом информационных технологий

Государственное учреждение Национальный научно-исследовательский институт охраны труда и промышленной безопасности, Киев

**Полукарова Светлана Геннадиевна**

Заведующий сектором разработки программного обеспечения

Государственное учреждение Национальный научно-исследовательский институт охраны труда и промышленной безопасности, Киев

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ШАХТНОЙ АТМОСФЕРЫ**

**Аннотация.** Одним из основных направлений деятельности ГУ «ННИИПБОП» является исследование проблематики аварийности, травматизма и разработка мероприятий по их уменьшению. На шахтах Украины с 2004 года внедрялась первая отечественная комплексная система противоаварийной защиты. В рамках осуществления авторского надзора и обобщения опыта работы этой системы была создана рабочая группа, в состав которой входили специалисты Национального НИИ промышленной безопасности и охраны труда. Для обработки массивов данных, полученных от датчиков, построения математических моделей параметров шахтной атмосферы, расчета прогнозных значений этих параметров разработана информационно-аналитическая подсистема контроля состояния шахтной атмосферы

**Ключевые слова:** угольная отрасль, шахтная атмосфера; прогнозирование; моделирование

**Kruzhilko Oleg**

DSc (Eng.), Head of the Department of information technology

Public Agency «National Scientific and Research Institute of Industrial Safety and Occupational Safety and Health», Kiev

**Polukarova Svitlana**

Head of the sector of development of software

Public Agency «National Scientific and Research Institute of Industrial Safety and Occupational Safety and Health», Kiev

**MODELING INDICATORS OF THE STATE OF COAL MINE ATMOSPHERE**

**Abstract.** *One of the main activities of Public Agency «National Scientific and Research Institute of Industrial Safety and Occupational Safety and Health» is the study of problems of accidents and injuries and developing interventions to reduce them. On mines of Ukraine since 2004 introduced the first national comprehensive system of emergency protection. In the framework of the implementation of supervision and generalization of experience of this system was created a working group composed of specialists of the National Institute of industrial safety and labor protection. For processing data received from sensors, mathematical models of the parameters of the mine atmosphere, of calculation of forecast values of these parameters was developed by the information-analytical subsystem of control of the state of mine atmosphere*

**Keywords:** *the coal industry, mine atmosphere; forecasting; simulation*

**References**

1. Zdanovskiy, V., Dengin, A., Podobed, I. (2015). *Industrial safety in the coal mining industry*, 377.
2. Maystrenko, V., Kyrychenko, O., Polukarova, S. (2011). *The problem of modeling and predicting indicators of the state of mine atmosphere. Coll. sciences. Work Problems of Safety in Ukraine*, 21, 45-53
3. Kruzhilko, O. (2011). *The scientific basis for operational management of the occupational safety*, 320.
4. Maystrenko, V. (2014). *Evaluation of the effectiveness of the state supervision of labor protection in coal industry. Management of Development of Complex Systems*, 17, 95-99.
5. Inosov, S., Kornienko, V., Grechuha, V. (2014). *Intelligent adaptive capabilities stationary linear predictive filter, Management of Development of Complex Systems*, 17, 173-180.
6. *Development and implementation of advanced BI systems. (2016). Access: /www/ URL: <http://www.prognoz.com/platform/modeling>*
7. Maystrenko, V. (2012). *Using the information system for the development of a unified telecommunication systems of dispatcher monitoring and automated mining machines and technological complexes UTAS*, 194-198
8. Shulga, Y., Zdanovskiy, V., Krivtsov, N., Ignatovich, N. (2010). *Security systems Ukraine mines, their opportunities and prospects. Coll. sciences. Work Problems of Safety in Ukraine*, 18, 3-11.
9. Berzlev, A., Biloshytskiy, A. (2014). *Information system for forecasting and decision-making in the financial sector. Management of Development of Complex Systems*, 18, 106-111.
10. Kondratiev, M. (2013). *The methods of forecasting and dissemination of disease models. Computer studies and modeling*, 5, 863-882.

---

**Посилання на публікацію**

- APA Kruzhilko, Oleg & Polukarova, Svitlana. (2016). *Modeling indicators of the state of coal mine atmosphere. Management of Development of Complex Systems*, 27, 117 – 121 [in Ukrainian].
- ГОСТ Кружилко О.Є. Моделирование показателей stanu шахтної атмосфери / О.Є. Кружилко, С.Г. Полукарова // *Управління розвитком складних систем*. – 2016. – № 27. – С. 117 – 121.