

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДЛЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

Курносів Г.В., Турупалов В.В.

Донецький національний технічний університет, м.Донецьк
кафедра автоматики та телекомунікацій

E-mail: kurnossov@ukr.net

Abstract

Kurnosov G.V., Turupalov V.V., Development of model for system of fire safety monitoring of coal mines. The question of fire danger monitoring and forecasting system of coal mines creation is considered. The analysis of a urgency of research of a fire danger problem of coal mines. Mathematical methods of fire danger estimation and forecast of coal output process and its components are offered. The mathematical forecasting model of preemergency development in the form of function is presented.

Ефективним засобом автоматизації технологічних процесів та моніторингу їхнього стану є прогностичні системи з розвинутою діагностикою. Важливою особливістю таких систем автоматизації і моніторингу є раннє розпізнавання передаварійних ситуацій із прогнозом розвитку їхнього стану. [8] Це забезпечується застосуванням у системах "штучного" інтелекту, а також інтелектуальних датчиків. Крім того, у промисловості знаходять усе більше застосування засоби технічної діагностики з багатофакторною оцінкою стану об'єктів, що мають складну виробничо-технічну структуру з непередбаченими (випадковими) подіями і високим ступенем ентропії процесів, що відбуваються. Особливо це характерно для вугільної промисловості, тому що високий рівень небезпеки вуглевидобутку в підземних умовах, що виявляється в раптових викидах вугілля і газу, проривах води і метану, екзогенними й ендогенними пожежами приводить до високого рівня травматизму шахтарів, у тому числі з летальними результатами.

Частка підземних аварій природного характеру складає 20%, а техногенних — 80%. На вугільних шахтах України 52% аварій зв'язані з підземними пожежами і вибухами, 25% — з газодинамічними явищами й обвалами у виробленнях, 23% — аварії при експлуатації машин і механізмів. [5]

За 1991–2004 р. у підземних виробленнях відбулося 2418 аварій та аварійних ситуацій, у тому числі 870 пожеж, 63 раптовий викид вугілля і газу, 396 завалів діючих вироблень, 180 ендо- і 664 екзогенних підземних пожеж. За цей період у результаті аварій та нещасливих випадків постраждало 358 тис. чол. Через аварії і травматизм у галузі економічний збиток за 2000 рік склав 73690 тис.грн., за 2001 рік — 173971 тис.грн., за 2002 рік — 45907 тис.грн., за 2003 рік — 8812 тис.грн., за 2004 рік — 125887 тис.грн. На рисунку 1 приведена, по даних гірничорятувальної служби, діаграма, що відображає кількість ендо- і екзогенних пожеж за період 1991–2004 років.

Шахти України розробляють, в основному, тонкі пласти з великою кількістю тектонічних порушень і слабких бічних порід, середня глибина перевищує 720 м, а 32 шахти виймають вугілля на глибині 1000–1400 р. Близько 90% шахт — газові, 60% — небезпечні по вибухах вугільного пилу, 45% розробляють пласти, схильні до газодинамічних явищ, а 25% — до самозаймання вугілля. Тільки 15%, чи 27 шахт, можна вважати сучасними підприємствами. Більше половини з них понад 50 років не реконструювалися, мають складні вентиляційні мережі і багатоступінчатий підземний

транспорт. Надалі проблема аварійності на вугільних підприємствах буде загострюватися.

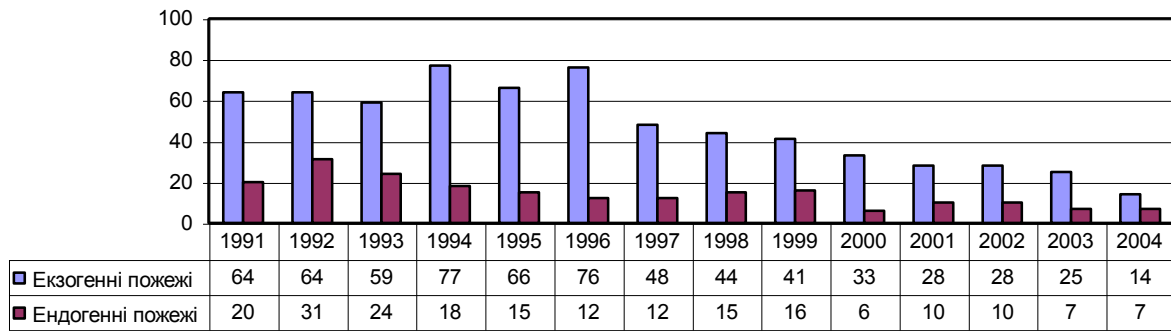


Рисунок 1 — Кількість ендо- і екзогенних пожеж

У зв'язку з викладеним, дослідження і створення комп'ютерної системи моніторингу, прогнозу і попередження пожежонебезпеки в гірничих виробках шахт є актуальною науковою задачею.

Мета розробки системи — розпізнавання передпожежної ситуації на початковій стадії розвитку процесу з метою підвищення рівня безпеки і зниження аварійності на вугільному підприємстві, що досягається за рахунок автоматизованої оцінки безпеки ведення гірничих робіт, багатофакторного контролю гірничошахтного обладнання і оточуючого середовища, прогнозу стану технологічного процесу вуглевидобутку і його складових частин.

Рішення наведеної задачі можливе за рахунок розробки математичної моделі безпеки ведення технологічного процесу вугільного підприємства в цілому, а також його окремих підрозділів.

Система повинна реагувати на відхилення технічних параметрів, які характеризують об'єкт контролю, що виходить за межі нормального (штатного) стану.

Технічні параметри оцінюються по змінам характеристик об'єкту контролю та по відхиленню критеріальних показників.

Якісна картина розвитку пожежі може бути проілюстрована за допомогою рисунку 2.

Система моніторингу, прогнозу і попередження пожежонебезпеки оцінює зміни характеристик небезпеки об'єкту по кожному з контрольованих параметрів, тобто здійснює прогноз погіршення стану за час t_y , і при зростанні рівня небезпеки виключає вплив аварійного процесу за час $t_y \ll t_{pa}$. Тим самим не допускається вихід об'єкту до критичного стану (точка А) і виключається необхідність проведення робіт по ліквідації аварії за час $t_{ла}$.

Безперервний контроль, прогнозування та аналіз різних видів небезпеки, які виникають при виконанні гірничих робіт, з використанням сучасних інформаційних технологій, спеціального математичного та програмного забезпечення дозволяє фахівцю, відповідальному за виконання робіт, прийняти необхідне рішення. Крім того, інформація про аварійний стан при виконанні робіт може використовуватися у режимі прямого автоматичного керування.

Чим менше t_y , тим раніше буде виконано процес попередження розвитку аварії і тим меншими будуть виробничі та економічні витрати.

В загальному вигляді математичну модель прогнозу розвитку передаварійної ситуації можна представити в вигляді функціоналу. [7]

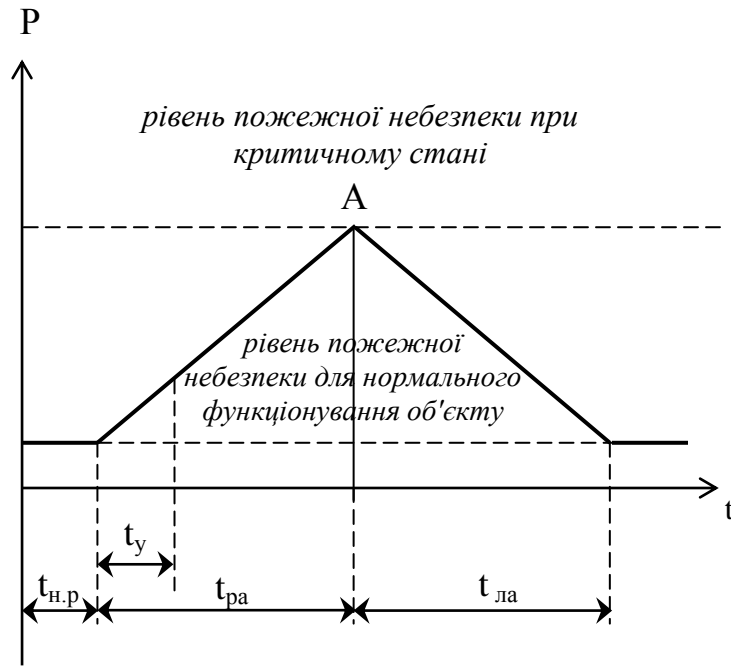


Рисунок 2 — Характеристики пожежної небезпеки об'єкту

- t_y — час погіршення стану об'єкту;
- $t_{ра}$ — час розвитку аварії;
- $T_{ла}$ — час ліквідування аварії;
- A — точка критичного стану об'єкту.

Імовірність виникнення найбільш небезпечної ситуації може бути представлена функціоналом, який враховує множину критеріальних параметрів:

$$D_i = \max \begin{cases} f_1(P_1; P_2, \dots, P_n) \\ \dots \\ f_m(P_1; P_2, \dots, P_n) \end{cases} \quad (1)$$

- де D_i — імовірність появи найбільш небезпечної ситуації;
- $f_i, i=1 \div m$ — імовірність появи i -ої небезпечної ситуації;
- $P_j, j=1 \div n$ — імовірність появи j -ого параметра небезпеки.

Наприклад, загальну небезпеку появи пожежонебезпечної ситуації можна представити функціоналом:

$$P_{\epsilon} = f_{\epsilon}(P_{MB}; P_{MT}; P_{MBM}; P_{MC}; P_{YK}; P_{YO}; P_{\Phi I}; P_{TH}; P_{CE}; P_{ШП}), \quad (2)$$

- де P_{MB} — імовірність виділення метану в небезпечних концентраціях з вугілля, що видобувається;
- P_{MT} — імовірність виділення метану з вугілля, що транспортується, вздовж лінії вибою;
- P_{MBM} — імовірність виділення метану з вмщувальних порід;
- P_{MC} — імовірність виділення метану із суфлярного виділення;
- P_{YK} — імовірність ушкодження кабелів;
- P_{YO} — імовірність порушення вибухонепроникних оболонок;

- $P_{\phi I}$ — імовірність функціонального іскріння;
- P_{TH} — імовірність теплового нагрівання;
- P_{CE} — імовірність статичної електрики;
- P_{III} — імовірність зниження швидкості повітря, що приводить до недостатньої швидкості розрідження метану до безпечної концентрації.

Враховуючи імовірносний характер виникнення небезпечної ситуації, необхідно контролювати параметри безпеки не в одній чи двох точках об'єкта контролю, а здійснювати спостереження за цими параметрами в багатьох точках, тобто для рішення проблеми безаварійного функціонування технологічного об'єкту необхідно встановити достатню кількість датчиків на ділянці контролю.

Для системи контролю небезпечної ситуації необхідно побудувати операційну модель згладжування і прогнозування часових рядів на основі інформації, що надходить від об'єкта.

Для випадку розподілених у просторі джерел інформації застосовують часовий ряд спостережень параметрів контрольованого об'єкту: $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ (рисунок 3).

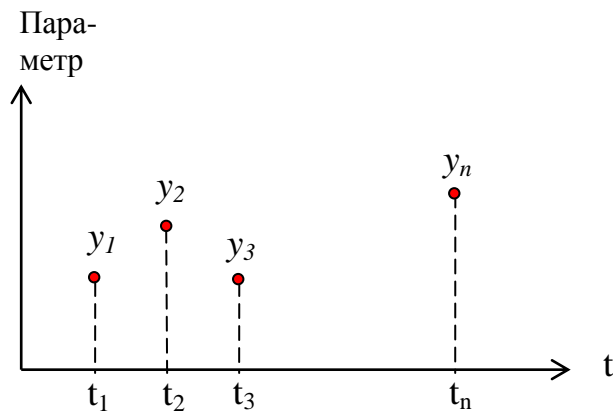


Рисунок 3 — Часовий ряд спостережень параметрів контрольованого об'єкту

У цьому випадку виникають дві задачі:

- а) задача виділення трендів;
- б) задача прогнозування.

Задача виділення трендів [3]

Для поточного ряду одержуваної інформації робиться припущення:

$$y(t) = f(t) + \xi(t), \tag{3}$$

де $f(t)$ — деяка детермінована функція;

$\xi(t)$ — випадкове відхилення цієї функції при кожному вимірі.

Для визначення $f(t)$ — задачі виділення трендів — можливо сформулювати закони розкладання функції

$$f(t) = \varphi_0(t) + \varphi_1(t) + \varphi_2(t), \tag{4}$$

де $\varphi_0(t)$ — тенденція зміни функції;

$\varphi_1(t)$ — деякі довгострокові цикли контрольованого процесу;

$\varphi_2(t)$ — короточасні цикли контрольованого процесу.

Часовий ряд для контролю параметра пожежонебезпеки по точках одержання інформації.

Система працює в реальному масштабі часу, тобто постійно надходять нові дані від точок одержання інформації. При цьому система добре функціонує при наявності архівної інформації, у випадку, коли є обмежена кількість джерел інформації — n .

У випадку, коли є n точок контрольованого параметра, вирішувана задача зводиться до задачі апроксимації і виконується в два етапи: завдання структури $f(t)$ та оцінка параметрів.

Задача є нетривіальною й у кожному конкретному випадку необхідно використовувати свій підхід для її розв'язання.

При наявності інформації про фізику процесу, що протікає, можна однозначно задати $f(t)$. При відсутності апріорної інформації про фізику процесів, що протікають, $f(t)$, звичайно, задають у виді полінома:

$$f(t) = \sum_{i=0}^n a_i \cdot t^i \quad (5)$$

де a_i — кількісна норма участі i -го виміру в загальному процесі виміру;
 t — час виміру.

Для рішення задачі задаються набором функцій:

- а) поліном ступеня не більше N ;
- б) експоненціальний закон;
- в) тригонометричні функції.

Допускаються лінійні комбінації цих функцій. З безлічі функцій необхідно знайти найкращу, просту, котра забезпечує задовільну точність наближення.

Задачу визначення параметрів можна записати у виді:

$$f(t) \sim y(t) = \sum_{i=1}^N b_i \cdot \varphi_i(t), \quad (6)$$

де $\varphi_i(t)$ — i -та функція;
 b_i — i -тий невідомий коефіцієнт.

Необхідно знайти такі b_i , щоб значення $f(t)$ добре наближалось до точки спостереження. Як міру наближення візьмемо:

$$\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (7)$$

де y_i — поточне значення;
 \hat{y}_i — прогнозне значення по $f(t)$.

Найчастіше використовують метод найменших квадратів: [6]

$$\psi(b) = \min_{b_i} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2. \quad (8)$$

Функція $\psi(b)$ завжди є опуклою, тобто завжди має \min :

$$\frac{d\psi}{db_i} = 0 \text{ при } i = 1 \div N, \quad (9)$$

що відповідає умові \min , коли

$$\sum_{j=1}^N \left[y_j - \sum_{i=1}^N b_i \cdot \varphi_i(t_j) \right]^2, \tag{10}$$

$$\frac{d\psi}{db_k} = \sum_{j=1}^N [y_j - \sum_{i=1}^N b_i \cdot \varphi_i(t_j)] \cdot \varphi_k(t_j) = 0, \quad k = 1 \div N. \tag{11}$$

Рішення системи рівнянь (10) і (11) визначають b_1, \dots, b_N , які мінімізують $\sum_{j=1}^N (\dots)^2$.

Якщо число точок контролю більше, ніж ступінь полінома ($N < n$), то залишкова дисперсія дорівнює $\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - N}$.

Якщо крок зняття вимірів $\Delta t = const$, то використовують різницьві методи:

$$U_i^{(1)} = y_i - y_{i-1} \quad (\text{перша різниця}), \tag{12}$$

$$U_i^{(2)} = U_i^{(1)} - U_{i-1}^{(1)} \quad (\text{друга різниця}), \tag{13}$$

.....

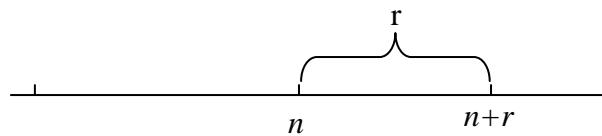
$$U_i^{(k-1)} = U_i^{(k-1)} - U_{i-1}^{(k-1)} \quad (\dots \text{різниця}). \tag{14}$$

Якщо з деякого k різниці приблизно рівні, тобто $U_i^{(1)} \approx U_j^{(k)}$, то поліном буде порядку k .

Задача прогнозування [1], [3]

$$y(t) = a_0 + a_i \cdot t + \xi(t). \tag{15}$$

Введемо величину \hat{y} , яка прогнозує значення y , яке відстоїть на r кроків від останнього спостереження значення часового ряду.



Тоді помилка — міра точності $D[\Delta y]$ — буде дорівнювати:

$$\Delta y = y_{t+1} - \hat{y}_{t+1}. \tag{16}$$

Дисперсія прогнозу для лінійної моделі може бути визначена:

$$\sigma_{\hat{y}} = \hat{\sigma} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(t_r - \bar{t})^2}{\sum_{r=1}^n (t - \bar{t})^2}} = \hat{\sigma} A, \tag{17}$$

- де t_r — момент часу t , для якого прогнозується значення вимірюваної величини;
 \bar{t} — середина інтервалу тимчасового ряду;
 A — показник, що характеризує вимірюваний параметр.

Дисперсія прогнозу є $f(n, t_r)$. Якщо вона нормально розподілена, можна скористатися розподілом Стюдента для деякого рівняння значимості α , тоді можна побудувати довірчий інтервал для прогнозованого значення:

$$\hat{y}_r \pm \underbrace{t_{n-1} \cdot \frac{\alpha}{r} \sigma_{\hat{y}}}_B, \quad (18)$$

де B — довірчий інтервал залежності типу «складний відсоток».

Залежність $y = y_0(1+c)^t$ приводимо до виду:

$$y_t = y_0 \cdot e^{\alpha t}, \quad y_t = y_0 \cdot 10^{\beta t}, \quad (19)$$

де α, β — показники росту функції.

Якщо $\alpha, \beta > 0$, то залежність збільшується.

Метод найменших квадратів не можна застосовувати, тому що залежність β — нелінійна. Необхідно прологарифмувати вираз. [4]

$$\lg y_t = \lg y_0 + \beta t, \quad (20)$$

$$\underbrace{\lg y_t}_{Z(t)} = \underbrace{\lg y_0}_{a_0} + \underbrace{\alpha_1 t}_{a_1}. \quad (21)$$

Тоді одержимо рівняння:

$$Z(t) = a_0 + a_1 t. \quad (22)$$

Ця модель відома і для неї можна застосувати метод найменших квадратів (19).

Висновки:

1. Доведено актуальність задачі моніторингу пожежонебезпеки технологічних ділянок вугільних шахт.
2. Запропоновано математичну модель прогнозу розвитку передаварійної ситуації на основі комплексного функціоналу оцінки факторів ситуації.
3. Представлені математичні методи оцінки і прогнозу пожежонебезпеки по окремих факторах; запропоновано підходи до розв'язання задачі виділення оціночних трендів і вибору функцій оцінки прогнозу.

Література

1. Yar, M., Chatfield, C., 1990. Prediction intervals for the Holt-Winters Forecasting Procedure. International Journal of Forecasting 6, 127–137.
2. Winters P.R. (1960) "Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages", Mgmt. Sci., 6, 324.
3. Koehler A.B., Snyder, R.D., Ord, J.K., 2001. Forecasting Models and Prediction Intervals for the Multiplicative Holt-Winters Method. International Journal of Forecasting 17, 269–286.
4. Хальд А. Математична статистика з технічними додатками. — М.: И.Л. 1956.
5. ДНАОП 1.130-1.01-2001 "Правила безпеки в вугільних шахтах". — Київ, 2000. — 495 с.
6. Покрасс В.Л., Гершун О.С., Танкеєв П.А. Про теоретичні передумови визначення погрішності фактичної метановості виїмкових ділянок для цілей порівняльного аналізу з розрахунковими методами. — У сб. «Удосконалювання техніки і технології очисних робіт на тонких положистих і похилих шарах». — Донецьк, 1975. — №60. — стор. 161.
7. Танкеєв П.А., Баличев А.Д. Про вибір моделі процесу концентрування метану у вихідній струмені ділянки. «Вугілля України». — 1980. — №1. — стор. 40.
8. ДНАОП 1.130-1.01-2001 "Правила безпеки в вугільних шахтах". — Київ, 2000. — 495 с.