

Моделювання імовірності відмови автоматичного газового захисту шахти

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2024.110>

Володимир Ільчук

Національний університет водного господарства та
природокористування
м. Рівне, Україна
v.v.ilchuk@nuwm.edu.ua

Владислав Глушук

Національний університет водного господарства та
природокористування
м. Рівне, Україна
hlushchuk_ak21@nuwm.edu.ua

Анотація – Розроблено імовірнісну математичну модель, з використанням логіко-імовірнісного методу та дерева відмов, автоматичного газового захисту шахти, що дозволяє оцінити імовірність виникнення події «вибух» в гірничій виробі. Необхідність удосконалення захисту при стаціонарних і нестационарних процесах метаноутворення підтверджується перевищенням фактичної імовірності вибуху нормованого значення на два порядки.

Ключові слова – автоматичний газовий захист; імовірність відмови; вентиляція; надійність спрацювання; вибух газу; автоматичне знеструмлення

I. АКТУАЛЬНІСТЬ ПИТАННЯ

Аерогазова обстановка дільниці шахти суттєвим чином визначає інтенсивність гірничих робіт та безпеку експлуатації обладнання. Підвищення метановиділення може спричинити вибух [1]. Для зниження імовірності вибухів використовується апаратура автоматичного газового захисту (АГЗ), наприклад УТАС, КАГІ. До складу таких апаратів входять давачі метану, які розташовуються у визначених точках забою. В разі перевищення допустимої концентрації забезпечується автоматичне захисне відключення напруги живлення. Відомо про підвищення точності роботи АГЗ за рахунок застосування штучного інтелекту [2]. Однак, в разі виходу давачів з ладу ефективність захисту суттєво знижується. Зокрема, у ході розслідування причин аварій на шахтах України [3], встановлено, що в більшості випадків контроль метану здійснювався незадовільно. До цього призводили: несправності давачів, електрообладнання, іскріння тощо. Тому актуальним є питання оцінювання надійності елементів апаратури АГЗ.

Мета – підвищення надійності функціонування АГЗ шахти в разі стаціонарного виділення метану та раптових викидів за рахунок моделювання імовірності відмови.

II. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження імовірності відмови елементів АГЗ використовується логіко-імовірнісний метод. Математична модель АГЗ будується за допомогою методу дерева відмов. Виділяється один або декілька непрацездатних станів АГЗ, які можуть

мати небезпечні наслідки. Позначимо відмову системи захисту, яка може становити небезпеку, тобто перехід АГЗ в один з таких станів, головною подією. Остання виникає як результат некоректних дій персоналу, відмов елементів захисту тощо. Умови, які призводять до виникнення небезпечної відмови системи, зображуються у вигляді дерева відмов, що є логічною схемою. Для формування системи диференціальних рівнянь відносно імовірностей переходів, яка описує граф станів системи, використовується правило Колмогорова.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Структуру події «вибух» ілюструє дерево на рис. 1. Вибух трапляється при співпадінні трьох подій: наявність вибухонебезпечної концентрації метану, виникнення джерела займання (іскри або дуги) та відмова АГЗ. Займання метаноповітряної суміші виникає при достатній потужності джерела займання. Відмови АГЗ виникають в разі відмови одного з елементів, зокрема – давача, лінії зв'язку, пристрою захисного відключення, сигналізації тощо. Формально подію B «вибух» можна виразити логічним виразом:

$$B = C \wedge I \wedge \bar{A}, \quad (1)$$

де C – змінна, що відповідає небезпечній концентрації метану; I – виникненню джерела займання; \bar{A} – відмові АГЗ.

Автоматичний газовий захист можна розглядати як відновлювану систему з послідовно з'єднаними елементами, у якій наявна профілактика та відсутнє резервування. Елементи пристрою прийняті послідовно з'єднаними, оскільки від працездатного стану одного з елементів залежить працездатний стан всієї системи.

На графі, рис. 2, E_1 позначає працездатний стан автоматичного газового захисту, E_{0i} – аварійний простій через відмову i -го елемента і його відновлення, E_{2j} – стан планового простою j -го елемента для проведення профілактичних робіт, λ, μ – показники інтенсивності відмов та відновлення, відповідно; $k \leq n$. Індекс 1 – давач метану, 2 – лінія зв'язку, 3 – аналізатор метану, 4 – схема захисного відключення та сигналізації. Відповідно до (1),

вибух виникає в разі співпадіння у часі подій C, I, \bar{A} , тому імовірність вибуху становить:

$$P_B = P_C \cdot P_I \cdot P_{\bar{A}}. \quad (2)$$

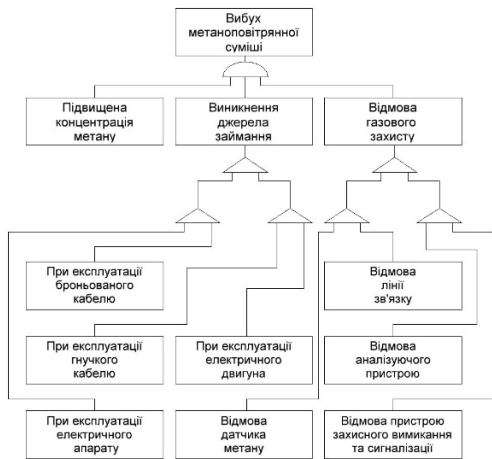


Рис. 1. Дерево відмов, що призводять до вибуху метаноповітряної суміші

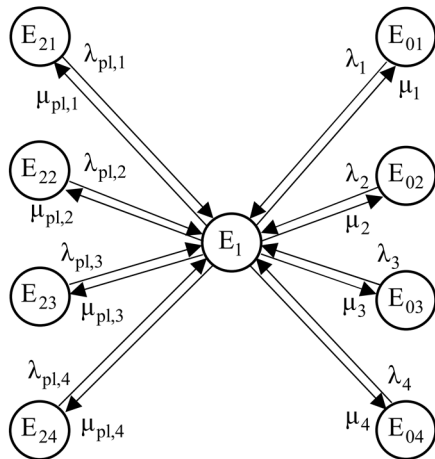


Рис. 2. Граф стану АГЗ

Прийmemo припущення $P_C=1$, що дозволяє змодельовати найгірший розвиток подій. Якщо прийняти припущення, що захисні пристрої (захист від витоків струму на землю або захист від коротких замикань) є абсолютно безвідмовними, то це не перешкоджає виникненню іскри від електрообладнання та кабелів, тому $P_I \geq 0,036$. Під станом \bar{A} розуміється непрацездатний стан автоматичного газового захисту. Останній може мати місце як при відмові окремих його компонентів, так і під час проведення профілактики. Стани системи (рис. 1) становлять повну групу подій, тому:

$$P_{\bar{A}} = 1 - P_I. \quad (3)$$

Система рівнянь, що описує імовірності переходу АГЗ між стійкими станами, має вигляд:

$$\begin{cases} dP_1(t)/dt = -\left(\sum_{j=1}^k \lambda_{p1,j} + \sum_{i=1}^n \lambda_i\right) P_1(t) + \\ + \sum_{j=1}^k \mu_{p1,j} P_{2j}(t) + \sum_{i=1}^n \mu_i P_{0i}(t); \\ dP_{21}(t)/dt = \lambda_{p1,1} P_1(t) - \mu_{p1,1} P_{21}(t); \\ \dots \\ dP_{24}(t)/dt = \lambda_{p1,4} P_1(t) - \mu_{p1,4} P_{21}(t); \\ dP_{01}(t)/dt = \lambda_1 P_1(t) - \mu_1 P_{01}(t); \\ \dots \\ dP_{04}(t)/dt = \lambda_4 P_1(t) - \mu_4 P_{01}(t). \end{cases} \quad (4)$$

Рівняння (4) були розв'язані чисельними методами для часового періоду 1 рік. В результаті одержано залежність імовірності вибуху метану від часу. Така величина за 30 діб досягає сталого значення $P_B=6,6 \cdot 10^{-4}$, рис. 3.

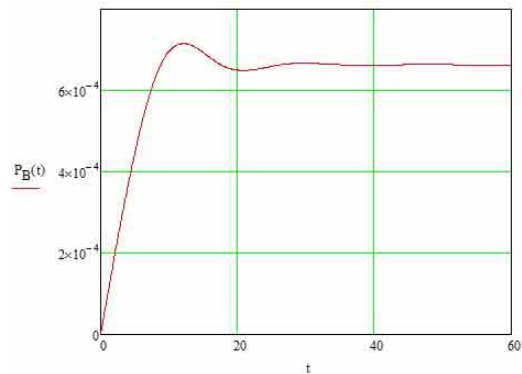


Рис. 3. Залежність імовірності вибуху P_B від часу t , діб

IV. ВИСНОВКИ ТА НАПРЯМОК ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Згідно з результатами моделювання, імовірність вибуху метано-повітряної суміші під час ведення гірничих робіт $6,6 \cdot 10^{-4}$ є більшою на 2 порядки допустимої імовірності події «вибух», причому остання згідно з ДСТУ EN 60079-0:2017 не має перевищувати 10^{-6} . Це підтверджує доцільність удосконалення АГЗ шахти. В ході подальших досліджень передбачається обґрунтувати структуру та параметри АГЗ з підвищеною надійністю функціонування.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Kundu, S., Zanganeh, J., Moghtaderi, B. (2016). A review on understanding explosions from methane-air mixture. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 40, 507–523. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.02.004>.
- [2] You, M., Li, S., Li, D., Xu, S. (2021). Applications of artificial intelligence for coal mine gas risk assessment. Safety Science, 143. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105420>.
- [3] Крупка, Я.А., Зав'ялова, О.Л., Костенко, В.К., Костенко, Т.В. (2022). Використання спеціальних знань при розслідуванні вибухів газопилових сумішей у вугільних шахтах. Криміналістика і судова експертиза, 67, 507–518. doi: <https://doi.org/10.33994/kndisc.2022.67.51>