

УДК 504.05

Дармофал Е. А., Адаменко М. І.

ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИМ ВПЛИВОМ ШАХТНИХ ВИКИДІВ НА ДОВКІЛЛЯ

Видобуток вугілля є важливим фактором забезпечення енергетичної стабільності Українського виробництва. Як один з енергоносіїв для металургії взагалі та ливарного виробництва зокрема, проблема видобутку та переробки вугілля до кінцевого продукту – палива для плавильних агрегатів ливарних цехів машинобудівних підприємств – складно переоцінити. Навіть елементарний тезис про те, що якість коксу як вторинного продукту переробки вугілля є чи не головним фактором отримання якісного чавуну при виплавці його в коксових чи коксогазових вагранках, дозволяє уявити стратегічну значимість якісних технологічних процесів вугледобування. Розширення цього тезису дозволяє констатувати той безперечний факт, що якість процесу вугледобування «закладається» як компонент якості усіх наступних технологічних процесів металургійного та ливарного виробництва, що використовуються як паливо продукти переробки вугілля. Але при цьому слід зауважити, що розробка вугільних шахт призводить до масштабного забруднення атмосферного повітря. Шахтна атмосфера – це суміш атмосферного повітря, дрібнодисперсного пилу і газів, що виділяються в шахті. В шахтній атмосфері можуть міститися й отруйні й вибухові речовини такі, як окис вуглецю, оксиди азоту, сірчистий ангідрид, сірководень, акролеїн, альдегіди, метан, водень, а також радіоактивні гази та пари води. Хімічний склад шахтної атмосфери залежить від геологічних умов, технології видобутку корисних копалин й типу устаткування, що використовується. Все це свідчить про актуальність теми статті.

Найбільш значний внесок має вугільна галузь, забруднюючий вплив якої найбільш широко представлений в Донецькому регіоні: палаючі породні відвали, шахтні котельні, вентиляційні стовбури, пункти навантаження вугілля та ін. Викиди в цілому складають 183,0 тис. т/рік, з цього обсягу 155,4 тис. т/рік припадає на викиди метану. Це, з одного боку, енергоносіє та цінна сировина для хімічної промисловості, а з іншого – дуже небезпечний та вибуховий руйнівник озонового шару планети, що приводить до глобального потепління клімату Землі. За даними інвентаризації викидів метану шахтами України, його обсяг прямо пропорційний масі видобутого вугілля і становить 17,5 кг/т. Більшість вугільних шахт (89 %) викидають в атмосферу метан вентиляційними системами з концентрацією у вихідних струменях шахт до 0,3 %. Лише на 4-х шахтах концентрація метану в вихідному струмені близька до допустимої («Вінницька» – до 0,7 %, «Світанок» – до 0,6 %, «Кіровська» – до 0,75 %, «ім. 60-річчя Великої Жовтневої соціалістичної революції» – до 0,7 %). Крім того, промислові котельні, що забезпечують гарячою водою і теплом шахтні об'єкти, використовують як паливо вугілля при згорянні 1 тонни якого в атмосферу виділяється 60 кг пилу, 50 кг сірчистого ангідриду, 8 кг окислів азоту та інших хімічних сполук, а також цілий набір радіонуклідів у вигляді радону-222, радію-226, торію-232 та ін. У результаті в промислових містах області рівень забруднення атмосфери протягом тривалого часу класифікується як «небезпечний» і «надзвичайно небезпечний».

Однією з найгостріших проблем є забруднення повітряного басейну. Значна частка викидів в атмосферу відбувається і за рахунок породних відвалів, що створюють осередки тепловиділення. З них в атмосферу (залежно від швидкості вітру) з 1 м² здувається від 1 до 50 мг/с пилу. Її вміст у повітрі навіть на відстані 500 м від відвалу перевищує санітарні норми (0,5–0,8 мг/м³). Було встановлено, що рівень захворюваності серед місцевого населення вище, а тривалість життя людей, що проживають в зоні впливу породних відвалів, нижче, ніж на інших територіях. А у виробничих умовах пил може призводити до розвитку різних небезпечних захворювань органів дихання, а деякі його види мають канцерогенні властивості.

Проблема забезпечення екологічної безпеки функціонування потенційно небезпечних підприємств шахтного комплексу України є однією з важливіших для вчених відповідних галузей. Ця проблема знайшла відображення у багатьох нормативних документах та законодавчих актах, широко обговорюється у науковій та науково-практичній літературі [1–4]. При цьому важливою і досить складною науковою задачею є створення надійних систем спостереження за викидами та забезпечення їх безаварійної роботи.

Метою роботи стало вирішення однієї з частин проблеми забезпечення екологічної безпеки функціонування потенційно небезпечних підприємств шахтного комплексу України. Зокрема ставилося завдання визначення складових елементів системи безперервної роботи автоматичної системи спостереження за викидами.

Для безперервної роботи автоматичної системи спостереження за викидами необхідно провести розрахунок кількості працівників, які мають її обслуговувати. Аналогічні задачі розглядаються у класичній теорії ймовірностей [5]. Розглянемо автоматичний пристрій спостереження за викидами, який за нормальних умов роботи не потребує втручання людини, однак будь-якої миті може вийти з ладу та потребувати обслуговування або заміни. Час, який необхідно витратити на це, будемо розглядати як випадкову величину з показовим розподілом. Іншими словами, пристрій спостереження за викидами (ПСВ) може бути охарактеризований двома постійними величинами η та μ , які будуть визначатися наступним чином. Якщо у момент t ПСВ працює, то ймовірність того, що він буде потребувати обслуговування раніше моменту $t+h$, дорівнює ηh плюс доданки, якими можна нехтувати в межі при $h \rightarrow 0$. Навпаки, якщо у момент t ПСВ обслуговується, то ймовірність того, що обслуговування закінчиться раніше, ніж в момент $t+h$, і ПСВ почне працювати, дорівнює $\mu h + o(h)$. Для надійного ПСВ η буде відносно мале, а μ відносно велике. Співвідношення η/μ , є коефіцієнтом обслуговування.

Припустимо, що є t ПСВ з однаковими параметрами η та μ , що обслуговуються одним працівником. Якщо ПСВ вийшов з ладу, він обслуговується негайно, якщо тільки працівник не ремонтує в цей час інший ПСВ. У цьому випадку утворюється черга. Ми говоритимемо, що система знаходиться у стані E_p , якщо не працюють p ПСВ. При $1 \leq p \leq t$ це буде означати, що один ПСВ обслуговується, а $p-1$ стоять в черзі; у стані E_0 всі ПСВ працюють, і працівник, який проводить обслуговування відпочиває. Всі t ПСВ припускаються такими, що працюють незалежно один від одного.

Перехід $E_p \rightarrow E_{p+1}$ виникає при наявності поломки одного з $t - p$ ПСВ, які працюють, тоді як перехід $E_p \rightarrow E_{p-1}$ здійснюється, якщо один з ПСВ, що розладнався, повернувся в робочий стан. Отже, ми маємо типовий процес розмноження і загибелі [6] з коефіцієнтами:

$$\begin{aligned} \eta_0 &= t\eta, \\ \eta_n &= (t - n)\eta, \\ \mu_0 &= 0, \\ \mu_n &= \mu, (0 < n < t) \end{aligned} \quad (1)$$

Розв'язавши задачу з даними умовами ми отримаємо необхідну кількість персоналу, який має обслуговувати ПСВ для безперервної роботи системи в цілому.

Враховуючи можливі певні труднощі діагностики контурів системи спостереження за викидами (надалі – системою) [7–9], а також те, що усунення відмови повинно виконуватись у найкоротший термін, в даній статті також запропоновано математичне обґрунтування оптимальних дій для ліквідації відмовлення в системі.

Ліквідація відмов одиничних елементів системи на об'єктах з підвищеним рівнем безпеки виконується в так званий, «блочний» спосіб. Елемент, який вийшов з ладу, не ремонтують, а підключають замість нього інший – працездатний. Але, навіть при такому спрощенні, процедура стає досить важкою при наявності великої кількості дублюючих елементів з різним ступенем досяжності та різною ймовірністю відмови.

Таким чином, при виявленні відмови вузла системи, який включає n елементів, виникає задача про виявлення саме того елемента, який привів до відмови, з мінімальними витратами часу. У систему можуть входити елементи різних типів: відкритого розміщення, з утрудненою досяжністю та важко досяжні.

Для розв'язання поставленої задачі необхідно для кожного i -го елемента вузла системи ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) знати величини наступних двох основних параметрів; витрати часу t_i на його заміну та ймовірність P_i його відмови.

Величини зазначених двох параметрів залежать від цілого ряду факторів: від конструкції елемента, ступеня його зносу, матеріалів й таке інше.

На перший погляд здається очевидним, що вибір елемента, з якого необхідно починати обстеження, визначається зіставленням відносин t_i/t_j з P_i/P_j ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$). Однак, як буде показано нижче, такий спрощений підхід припустимий тільки для випадку, коли всі $P_i \ll 1$.

Методику вибору елемента, який доцільно обстежувати першим, у даній статті буде продемонстровано на прикладі з двома елементами.

Виникнення відмови елемента вузла системи назвемо подією A . З простих міркувань випливає, що подія A є сумою трьох подій

$$A = C_1 + C_2 + C_3. \quad (2)$$

Події C_k ($k = 1, 2, 3$), які входять з рівняння (2), можна записати у вигляді

$$C_1 = B_1 \bar{B}_2, \quad (3)$$

відмова першого елемента (подія B_1) і відсутність відмови другого елемента (подія \bar{B}_2).

$$C_2 = \bar{B}_1 B_2, \quad (4)$$

відсутність відмови першого елемента (подія \bar{B}_1) і наявність відмови другого елемента (подія B_2);

$$C_3 = B_1 B_2, \quad (5)$$

наявність відмови обох елементів.

Відповідно до теореми множення ймовірностей $P(AC_k)$ добуток будь-яких двох подій A і C_k маємо:

$$P(AC_k) = P(A) P(C_k/A) = P(C_k) P(A/C_k), \quad (6)$$

де $P(A)$ – ймовірність події A , а $P(C_k/A)$ ймовірність події C_k за умови, що подія A відбулася. Зі співвідношення (6) випливає, що шукані ймовірності

$$P(C_k/A) = \frac{P(C_k)P(A/C_k)}{P(A)}, \quad (7)$$

Відповідно до рівності (2)

$$P(AC_k) = I, \quad (8)$$

З огляду на те, що наявність відмови одного елемента не залежить від стану другого елемента, зі співвідношення (2) одержимо

$$P(A) = P_1(1 - P_2) + (1 - P_1) P_2 + P_1 P_2, \quad (9)$$

де $P_i = P(B_i)$ – відома ймовірність відмови i -го елемента.

Підставляючи (9) у (7), з огляду на (8) та визначення ймовірності добутку двох незалежних подій, одержимо три вираження необхідних для рішення поставленої задачі.

1. Ймовірність того, що виявлена відмова системи відбулася в зв'язку з нештатною ситуацією у першому елементному блоці:

$$P(C_1/A) = \frac{P_1(1 - P_2)}{P_1 + P_2 - P_1 P_2}. \quad (10)$$

2. Ймовірність того, що виявлена відмова системи обумовлена нештатною ситуацією у другому елементному блоці:

$$P(C_2/A) = \frac{P_2(1-P_1)}{P_1 + P_2 - P_1P_2}. \quad (11)$$

3. Ймовірність того, що виявлена відмова системи відбулася в зв'язку з відмовою в обох елементних блоках:

$$P(C_2/A) = \frac{P_1P_2}{P_1 + P_2 - P_1P_2}. \quad (12)$$

Оптимальна черговість обстеження елементів визначається зіставленням відносини:

$$\frac{P(C_1/A)}{P(C_2/A)} = \frac{P_1(1-P_2)}{P_2(1-P_1)}, \quad (13)$$

і відносини t_1/t_2 , при

$$\frac{P_1(1-P_2)}{P_2(1-P_1)} > \frac{t_1}{t_2} \quad (14)$$

впливає, що у першу чергу необхідно обстежувати перший блок. При

$$\frac{P_1(1-P_2)}{P_2(1-P_1)} < \frac{t_1}{t_2} \quad (15)$$

обстеження доцільно починати з другого блоку.

Якщо при обстеженні системи буде виявлена відмова елемента, то ймовірність того, що одночасно зазнає нештатної ситуації й інший елемент, дається вираженням (12). Виходячи з отриманого по формулі (12) чисельного значення та аналізу існуючого стану, варто прийняти одне з двох рішень. Перше, після усунення відмови одного елемента стежити за подальшим розвитком подій. Друге, починати обстежувати інші елементи.

Використовуючи поданий вище розрахунок можливо обслуговувати систему оптимально за критерієм витрат часу.

ВИСНОВКИ

Впровадження вищенаведеної методики дозволяє провести розрахунки кількості працівників, які мають обслуговувати автоматичну систему спостереження за викидами для її безперервної роботи та при обслуговуванні вибрати з ряду потенційно можливих відмов пріоритетний напрямок для їх ліквідації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Форрестер Дж. *Мировая динамика* / Дж. Форрестер. – М. : Наука, 1978.
2. *Аварии и катастрофы : предупреждение и ликвидация последствий*. Под ред. В. А. Котляревского, А. В. Забегаева – М., 1995–320с.
3. Бертокс П., Радд Д. *Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений* / П. Бертокс, Д. Радд – М. : Мир, 1980–260с.
4. Биченок М. М. *Основи інформатизації управління регіональною безпекою* / М. М. Биченок – К., РНБО, Інститут проблем національної безпеки, 2005 – 194 с.
5. Феллер В. *Введение в теорию вероятностей и ее приложения* / В. Феллер. – Том 1 – М. : «Мир», 1967 – 498 с.
6. Вентцель Е. С. *Теория вероятностей* / Е. С. Вентцель – М. : «Наука» 1964 – 576 с.
7. Александров С. Н. *Охрана труда в угольной промышленности* / С. Н. Александров, Ю. Ф. Булгаков, В. В. Яйло. – Донецк : ДонНТУ, 2002. – 520 с.
8. Яйло В.В. *Предотвращение внезапных выбросов угля и газа с использованием комплекса КГБ* / В. В. Яйло // *изв. вузов : горный журнал*. – Донецк : ДонНТУ, 1996. – 168 с.
9. Кравченко Н. М. *Новая компьютерная технология решения задач охраны труда и техники безопасности* / Н. М. Кравченко – Донецк : Уголь Украины, 2001. – 42 с.

Стаття надійшла до редакції 12.03.2014 р.