

Wiktor CZURSINOW

Katedra Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa
Politechniki Śląskiej

OCENA BEZPIECZEŃSTWA POZAROWEGO PRZEWODU OPONOWEGO ZASILAJĄCEGO SILNIK KOMBAINU ŚCIANOWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono ocenę bezpieczeństwa przeciwpożarowego przewodu oponowego zasilającego kombajn. Proponowana metoda pozwala na realną ocenę bezpieczeństwa przeciwpożarowego systemu zasilania elektrycznego, na określenie przedsięwzięcia w zakresie zwiększenia bezpieczeństwa przeciwpożarowego i wybranie optymalnych okresów badań środków zabezpieczających.

THE ESTIMATION OF THE FIRE SAFETY OF A MINING FLEXIBLE CABLE FEEDING A SHEARER MOTOR

Summary. The paper presents an estimation of fire safety of the mining flexible cable feeding the shearer motor. The presented method allows to calculate a real fire safety estimation of the supply system and to determine some actions for an increase of fire safety and allows to choose the optimal maintenance of the protection equipment.

РАСЧЕТ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ КАБЕЛЯ ПИТАЮЩЕГО ДВИГАТЕЛЬ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА

Резюме. В статье представлен расчет пожаробезопасности кабеля, питающего двигатель комбайна. Предложенная методика позволяет дать реальную оценку пожаробезопасности системы электроснабжения, определить мероприятия по повышению пожаробезопасности и выбрать оптимальные сроки профилактики средств защиты.

W czasie eksploatacji urządzeń elektrycznych w oddziałach kopalń węgla kamiennego najbardziej narażonym na uszkodzenie elementem są przewody oponowe. Górnicze przewody oponowe i ich osprzęt mogą być przyczyną około 40% przerw w zasilaniu maszyn górniczych [1]. Najbardziej narażone na uszkodzenia są przewody oponowe kombajnowe i wiertarkowe. Ich przeciętna trwałość wynosi od 0,8 (przewody wiertarkowe) do 1,2 roku (przewody kombajnowe). Mogą one także często być przyczyną rażeń prądem elektrycznym - około 24% wszystkich przypadków [2]. Głównymi przyczynami uszkodzeń przewodu oponowego prowadzonego przez ścianę i chodnik odstawowy są zdarzenia o charakterze losowym i antropogenne, takie jak: ruchy górotworu oraz zawały, wyrzuty gazów i skał, pożary kopalniane, awaryjny wzrost dopływu wody, wykolejenia wozów, ciągnięcie, zgniatanie oraz przecięcia przewodów maszynami urabiającymi itp. [2]. Wszystkie wymienione przyczyny uszkodzeń przewodu oponowego ostatecznie doprowadzają do zwarcia międzyfazowego lub zwarcia fazy z ziemią. Zwarcia i doziemienia mogą doprowadzić do pożaru w wyrobisku.

Jedną z głównych przyczyn powstania pożaru od przewodów oponowych jest losowy zbieg następujących dwóch rodzajów zdarzeń: zwarcie w przewodzie oponowym oraz niedziałanie zabezpieczeń zwarciovych - "grupowego" wyłącznika samoczynnego, wyłącznika w stacji transformatorowej oraz wyłącznika w rozdzielnicy 6 kV (zabezpieczenie nadprądowe po stronie 6 kV powinno rezerwować zabezpieczenia w wyłączniku "grupowym" oraz w stacji transformatorowej) - rys. 1.

Przyjmując założenie, że łącznik manewrowy (LM) silnika kombajnu nie jest dostosowany do wyłączenia zwarć, w ocenie bezpieczeństwa przeciwpożarowego przewodu oponowego można go nie uwzględniać.

Przy zbiegu wymienionych zdarzeń występuje niewyłączone zwarcie, które istnieje tak długo, dopóki nie stopią się żyły przewodu oponowego. Praktycznie we wszystkich wypadkach doprowadzi to do pożaru w wyrobisku. Są to zdarzenia losowe, którym praktycznie nie można zapobiec, można je natomiast starać się ograniczyć, wykorzystując przy tym probabilistyczne metody oceny zagrożeń [3]. W niniejszej ocenie zastosowano metodę oceny z wykorzystaniem teorii procesów Markowa.

Każde losowe zdarzenie będziemy charakteryzować dwoma wielkościami:

\bar{t}_p - średni czas poprawnej pracy i t_a - czas trwania uszkodzenia.

Oznaczmy przez \bar{t}_{p1} i t_{a1} - odpowiednio średni czas między uszkodzeniami układu wyłączania zasilającego pola rozdzielczego 6 kV i czas trwania tego uszkodzenia; \bar{t}_{p2} i t_{a2} - odpowiednio średni czas między uszkodzeniami układu odłączania wyłącznika samoczynnego stacji transformatorowej i czas

trwania uszkodzenia; \bar{t}_{p3} i t_{a3} - odpowiednio średni czas między odmowami "grupowego" wyłącznika samoczynnego i czas trwania uszkodzenia; \bar{t}_{p4} i t_{a4} - odpowiednio średni czas między pojawieniem się zwarcia w przewodzie oponowym zasilającym silnik kombajnu i czas trwania zwarcia.

Prawdopodobieństwo (Q) wystąpienia pożaru w czasie t w wyniku zwarców w przewodzie oponowym można określić następująco [6]:

$$Q(t) \approx 1 - \exp\left(-\frac{t}{t_z}\right) \quad (1)$$

gdzie:

\bar{t}_z - średni czas między pojawieniem się pożarów od zwarców w przewodzie oponowym.

Wartość \bar{t}_z można określić z równości [4]:

$$\bar{t}_z = (I - R)^{-1} \xi$$

gdzie:

I - macierz jednostkowa;

R - macierz otrzymana z macierzy intensywności przejść za pomocą redukcji (wiersza z elementami 0,0,...,1, i odpowiedniej kolumny);

ξ - wektor kolumnowy, którego wszystkie elementy równe są 1;

$\bar{t}_z = [\bar{t}_z]_{i=1}^{2^{n-1}}$ - średni czas do chwili hipotetycznego pożaru, jeżeli w początkowym momencie układ znajdował się w stanie \bar{t}_{z1} , $i = 1, 2^{n-1}$;

n - liczba elementów będących w połączeniu.

W rozpatrywanym zdarzeniu macierz intensywności przejść P_4 można określić, korzystając z macierzy P , zamieszczonej np. w [5] dla $k = 4$, która przybiera postać (3):

$$P_4 = \begin{pmatrix} 1-c_1^{(4)}\lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_1 & 1-c_2^{(4)} & 0 & 0 & \lambda_3 & 0 & \lambda_2 & 0 & \lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_2 & 0 & 1-c_3^{(4)} & 0 & 0 & \lambda_3 & \lambda_1 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_3 & 0 & 0 & 1-c_4^{(4)} & \lambda_1 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_3 & 0 & \mu_1 & 1-c_5^{(4)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & 0 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_3 & \mu_2 & 0 & 1-c_6^{(4)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_2 & \mu_1 & 0 & 0 & 0 & 1-c_7^{(4)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & \lambda_3 & 0 & 0 \\ \mu_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1-c_8^{(4)} & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_1 & 1-c_9^{(4)} & 0 & 0 & \lambda_3 & 0 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_2 & 0 & 1-c_{10}^{(4)} & 0 & 0 & \lambda_3 & \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu_4 & 0 & 0 & 0 & \mu_3 & 0 & 0 & 1-c_{11}^{(4)} & \lambda_1 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_4 & 0 & 0 & 0 & \mu_3 & 0 & \mu_1 & 1-c_{12}^{(4)} & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_4 & 0 & 0 & 0 & \mu_3 & \mu_2 & 0 & 1-c_{13}^{(4)} & 0 & 0 & \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_4 & 0 & \mu_2 & \mu_1 & 0 & 0 & 0 & 1-c_{14}^{(4)} & 0 & \lambda_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_2 & \mu_1 & \mu_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1-c_{15}^{(4)} & \lambda_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

gdzie: $\lambda_1 = \frac{1}{t_{p1}}$; $\mu_1 = \frac{1}{t_{a1}}$; $\lambda_2 = \frac{1}{t_{p2}}$; $\mu_2 = \frac{1}{t_{a2}}$;
 $\lambda_3 = \frac{1}{t_{p3}}$; $\mu_3 = \frac{1}{t_{a3}}$; $\lambda_4 = \frac{1}{t_{p4}}$; $\mu_4 = \frac{1}{t_{a4}}$

λ i μ - odpowiednio intensywności uszkodzeń i napraw.

Współczynniki macierzy $c_1^{(4)}, c_2^{(4)}, \dots, c_{15}^{(4)}$ określamy sumą elementów odpowiedniej linii: $c_1^{(4)} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4$, $c_2^{(4)} = \mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4$,
 $c_{15}^{(4)} = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \lambda_4$.

Czas t_a znajdowania się układu zabezpieczeń w uszkodzonym stanie można określić, korzystając z [6]:

$$t_a = t_{oj} - \bar{t}_p \left[1 - \exp\left(-\frac{t_{oj}}{\bar{t}_p}\right) \right] \quad (4)$$

W tych wypadkach, kiedy $t_{oj}/\bar{t}_p < 0,1 (j = 1,3)$, wzór (4) przyjmuje postać:

$$t_a \approx \frac{t_{oj}}{2\bar{t}_p} \quad (5)$$

gdzie:

t_{oj} - czas przeglądów profilaktycznych układu zabezpieczeń w polu rozdzielnicy.

W tych wypadkach, gdy $\bar{t}_{p1} \gg t_{a1}$, $\bar{t}_{p2} \gg t_{a2}$, $\bar{t}_{p3} \gg t_{a3}$, $\bar{t}_{p4} \gg t_{a4}$ i $t_{a1} \gg t_{a4}$, $t_{a2} \gg t_{a4}$, $t_{a3} \gg t_{a4}$, można skorzystać z układu równań (1) oraz macierzy (3) i wyznaczyć \bar{t}_z :

$$\bar{t}_z \approx \frac{\bar{t}_{p1} \bar{t}_{p2} \bar{t}_{p3} \bar{t}_{p4}}{t_{a1} t_{a2} t_{a3} t_{a4}} \quad (6)$$

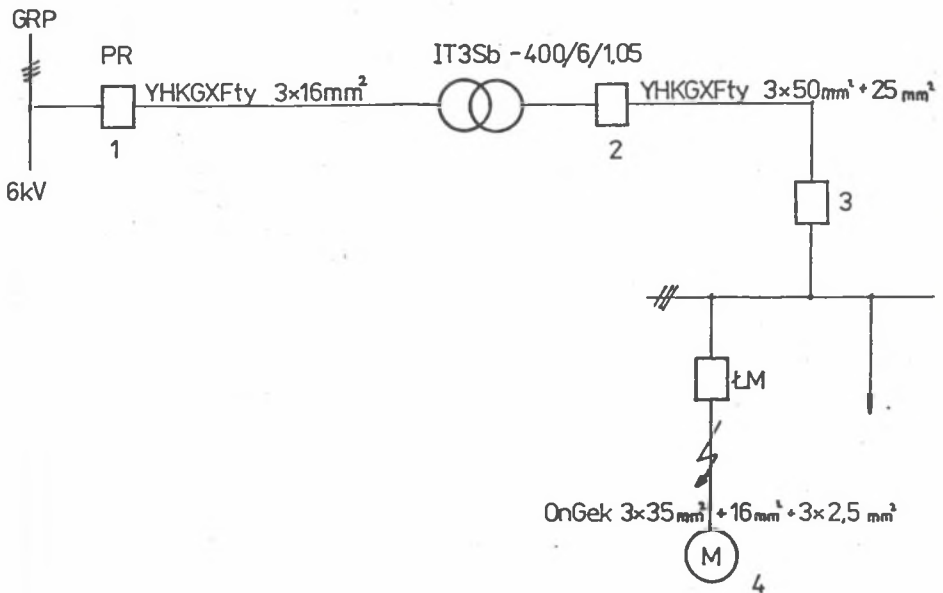
Przykład. Określić prawdopodobieństwo pożarów w ciągu roku od zwarć w przewodzie oponowym zasilającym silnik kombajnu (rys. 1), jeżeli znane są następujące dane [6]:

$$\begin{aligned} \bar{t}_{p1} &= 4970 \text{ h}; & \bar{t}_{p2} &= 6000 \text{ h}; & \bar{t}_{p3} &= 6000 \text{ h}; & \bar{t}_{p4} &= 177 \text{ h}; \\ t_{a4} &= 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ h}; & t_{o1} &= 2160 \text{ h}; & t_{o2} &= 6 \text{ h}; & t_{o3} &= 2160 \text{ h}. \end{aligned}$$

Prawdopodobieństwo pożaru w ciągu $t = 8760 \text{ h}$ określamy, korzystając ze wzorów (1) i (6):

$$Q(t) = 1 - \exp\left(-\frac{8760 \cdot 469,4 \cdot 0,003 \cdot 389}{4970 \cdot 6000 \cdot 6000 \cdot 177}\right) = 1,51 \cdot 10^{-7}$$

Analogiczny wynik otrzymano przy rozwiązaniu tego przykładu za pomocą komputera, korzystając ze wzorów (1), (4) i układu równań (3).



Rys. 1. Schemat ideowy zasilania energią elektryczną oddziału wydobywczego kopalni węgla kamiennego

1 - wysokonapięciowa rozdzielnica; 2 - wyłącznik samoczynny stacji transformatorowej; 3 - "grupowy" wyłącznik samoczynny; 4 - przewód oponowy zasilający silnik kombajnu

Fig. 1. Diagram of supply system of mining production section

1 - high voltage switchgear; 2 - switch pf the transformer station; 3 - group switch; 4 - mining flexible cable feeding the shearer motor

LITERATURA

1. Gawor P., Krasucki F., Czursinow W.: Wriemia eksploatacji szachtnych gibkich kabielej. Materiały międzynarodowej międwuzowskiej nauczno-praktyczeskoj konfierencjii "Nadieżnost i kaczestwo gornych maszyn i oborudowanija". MGI, Moskwa 1991.
2. Kiemieni Dż., Sieł Dż.: Koniecznyje cepi Markowa. Nauka, Moskwa 1970.

3. Kowalow A.P.: O pożarnej bezopasnosti szachtnych sistiem elektrosnabżeniya. Promyszlennaja eniergetika, 1991, N 9.
4. Kowalow A.P.: O problemach ocenki bezopasnosti elektrotiechniczeskich obiektow. Elektriczesstwo 1991, N 8.
5. Krasucki F.: Metody i kryteria oceny bezpieczeństwa elektryfikacji podziemi kopalń. Zeszyty Naukowe Pol. Śląskiej, Gliwice 1990 r., Górnictwo, zeszyt 184.
6. Krasucki F.: Zagrożenia elektryczne w górnictwie. Wydaw. "Śląsk", Katowice 1984,
7. Lejbow P.M., Borodkin A.F., Makarow M.I.: Nadieżnost szachtnogo elektrooborudowanija i sistiem elektrosnabżeniya. CNIEIugol, Moskwa 1974.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Ludger SZKLARSKI

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1992 r.

A b s t r a c t

The paper presents an evaluation of fire safety of a trailing cable used to supply a shearer. Trailing cables are the most exposed elements for damages as regards electrical equipment in mining workings. Mining trailing cables and their accessories can cause ca. 40% of breakdowns in the supply systems of mining workings. The trailing cables for shearers and drills are the elements most exposed to damages. Damages of trailing cables are random and caused mainly by personnel.

All damages of trailing cables result finally in interfacial short-circuiting or in earth short-circuiting. Short-circuiting can result in a fire development in a working. One of the main reasons of fire development caused by trailing cables is a coincidence of two random events: short-circuiting in a trailing cable and malfunction of the protecting devices. Coincidence of the above events results in duration of short-circuiting until cores of the wire are melted. Practically, it will be the cause of fire development in a working. These events are random, they cannot be predicted, however, they can be limited using probability methods of their evaluation.

The method of Markov processes has been applied in the paper to evaluate such events. The m.t.b.f \bar{t}_p and time of the damage repairing t_a have been used in calculations.

The presented method allows to evaluate practically fire safety of the electric supply system, to determine actions as regards upgrading fire safety and to choose optimal periods of protection device checking.