

FLORIAN KRASUCKI

O NIEZAWODNOŚCI UKŁADU ELEKTROENERGETYCZNEGO KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie. Omówiono wymagania i podkreślono znaczenie ciągłości zasilania elektrycznego współczesnej kopalni, uwzględniając kategorię jej odbiorników; podano zasady określania niezawodności strukturalnej układu. Analizowano przyczyny i skutki uszkodzeń urządzeń podziemnych oraz przedstawiono ogólne wyniki badań zawodności elektroenergetycznych sieci oddziaływowych, z uwzględnieniem ich wpływu na zdolność wydobywczą.

1. Wstęp

Układ elektroenergetyczny, obejmujący wszystkie urządzenia do wytwarzania, przesyłania, rozdzielania i przetwarzania energii elektrycznej - poczynając od prądnicy, a kończąc na odbiornikach energii, jest częścią ogólnego układu energetycznego kopalni.

Podstawowym zadaniem układu elektroenergetycznego jest dostarczanie energii elektrycznej o wymaganej jakości. Ważniejszym, pomocniczym ogniwem systemu elektroenergetycznego jest układ informacyjny; pomaga on zwiększyć niezawodność pracy układu elektroenergetycznego i jakość dostarczanej energii.

Jeżeli w układzie elektroenergetycznym pominiemy urządzenia elektryczne wewnątrz elektrowni oraz odbiorniki u odbiorców otrzymamy układ sieciowy, zwany siecią elektroenergetyczną. W praktyce posługujemy się zawężonym pojęciem sieci, przez którą rozumiemy zespół urządzeń do przetwarzania, przesyłania i rozdzielania energii na pewnym określonym terenie - na przykład w kopalni (sieć kopalniana).

Układ zasilający energią elektryczną odbiorniki kopalniane składa się z wielu elementów. Bardzo często uszkodzenie tylko jednego z nich może doprowadzić do przerwania zasilania wielu odbiorników. Dłuższe przerwy mają wpływ nie tylko na wyniki gospodarcze kopalni, lecz często decydują o bezpieczeństwie załogi i kopalni. W tym świetle niezawodność sieci elektro-

energetycznej, której stan ma aktualnie decydujący wpływ na wszystkie praktycznie procesy i techniczno-organizacyjne ogniwa współczesnej kopalni, nabiera szczególnego, nadrzędnego znaczenia.

Wymagania z zakresu niezawodności poszczególnych elementów układu elektroenergetycznego będą stale wzrastać. Wynika to chociażby z następujących przyczyn:

- zwiększającej się złożoności układu i urządzeń,
- pogarszających się warunków eksploatacyjnych i zwiększonych narażeń środowiskowych,
- zwiększanie się ważności i zakresu funkcji realizowanych przez system i jego elementy.

Wiadomo także, że funkcjonowanie dowolnego systemu zależy nie tylko od niezawodności jego elementów, lecz również od struktury połączeń tych elementów.

2. Zasady określania niezawodności układu elektroenergetycznego

Głównymi urządzeniami tworzącymi układ elektroenergetyczny są:

- linie przesyłowe, służące do przesyłania energii na miejsce użytkowania i do rozdziału energii w terenie,
- łączniki, służące do sterowania przepływem energii w czasie oraz ochrony innych urządzeń w stanach zakłóceńowych,
- transformatory zmieniające wartości napięcia i natężenia prądu,
- przekształtniki służące do prostowania, przekształcania i kształtowania czasowego przebiegu napięcia lub prądu,
- dławiki, izolatory oraz osprzęt sieciowy i urządzenia ochronne,
- urządzenia pomocnicze, takie jak: czujniki, przekaźniki, przyrządy pomiarowe i kontrolne oraz aparatura sterowania, łączności, sygnalizacji i automatyki.

Każde z tych wielu urządzeń, użytkowane w rzeczywistych warunkach środowiskowych i w określonym czasie, posiada ograniczoną trwałość i niezawodność. Wartości liczbowe miar tych wielkości otrzymuje się z badań statystycznych urządzeń eksploatowanych, bądź z badań laboratoryjnych w warunkach symulowanych. Dla urządzeń górniczych nie są one jeszcze dostatecznie znane.

Niezawodność sieci kopalnianej, traktowaną jako zdolność dostarczania energii elektrycznej odbiornikom w kopalni rozważa się w danym przedziale czasu $t_1 - t_2$. Interesuje nas przede wszystkim drugi okres całkowitego czasu użytkowania urządzenia, tzn. okres normalnej eksploatacji (już po okresie "rozruchu", a przed okresem przyspieszonego zużycia naturalnego), w którym uszkodzenia mają charakter przypadkowy co do chwili i przyczyn. Dla tego okresu stosować można tzw. uproszczone prawo wykładnicze

niezawodności, zakładając stałą intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$. W praktyce posługujemy się częstością $f(t)$ występowania zakłóceń danego elementu sieci, określanej statystycznie jako liczba uszkodzeń przypadająca na jednostkę czasu oraz na przykład na 100 sztuk elementów lub 100 km długości linii.

Sieć złożona z n elementów może znaleźć się w 2^n liczbie stanów. W większości wypadków sieć kopalnianą można traktować jako układ o szeregowo połączonych elementach niezależnych. W układzie takim prawdopodobieństwo ciągłości dostawy energii R równe jest iloczynowi niezawodności cząstkowych R_i poszczególnych elementów układu:

$$R = \prod_{i=1}^n R_i \quad (1)$$

Wtedy prawdopodobieństwo przerwy w dostawie energii wyrazić można (w układzie złożonym z elementów o małej zawadności Q_i) wzorem:

$$Q = 1 - \prod_{i=1}^n R_i \approx \sum_{i=1}^n Q_i \quad (2)$$

Z uwagi na charakter odbiorników i wymaganą ciągłość pracy kopalni ważne są zarówno liczby przerw, na przykład w dostawie energii, jak i czas ich trwania. W ocenie pomocną jest znajomość średniej wartości czasu trwania przerwy t_p , spowodowanej uszkodzeniem danego elementu sieci. Łączny czas trwania przerwy T_p , na przykład w okresie miesiąca lub roku, spowodowanej uszkodzeniem i -tego elementu sieci o częstości uszkodzeń f_i oblicza się następująco:

$$T_{pi} = t_{pi} f_i$$

Biorąc pod uwagę, że sieć składa się z n niezależnych elementów, spodziewany czas przerwy wyniesie

$$T_{pi} = \sum_{i=1}^n t_{pi} f_i$$

Średni oczekiwany czas poprawnej pracy między dwoma uszkodzeniami t_{sr} można obliczyć jako odwrotność częstości uszkodzeń, czyli

$$t_{sr} = \frac{1}{f}$$

Natomiast prawdopodobieństwo pracy bezzakłóceniowej R oraz prawdopodobieństwo powstania uszkodzenia Q w okresie pracy sieci T można wyznaczyć jako

$$R = \frac{T - T_p}{T}, \quad Q = \frac{T_p}{T}$$

3. Wymagana pewność zasilania kopalń

Jak już wspomniano najpoważniejszym zadaniem zespołu urządzeń wchodzących w skład układu zasilania kopalni i jej głównych odbiorników jest zapewnienie dostawy energii w sposób bezpieczny i dostatecznie niezawodny - ograniczający do minimum zagrożenia życia i zdrowia ludzkiego oraz bez przerw powodujących duże straty w produkcji. Przykładowo można podać, że tylko straty materialne wynikające z przerw w zasilaniu kopalni wynoszą około 20 zł na 1 kWh niedostarczonej energii elektrycznej.

Niespodziewane przerwy w dostawie energii elektrycznej do odbiorników powodowane zakłóceniami w pracy sieci, powinny być krótkotrwałe i obejmować jak najmniejszą liczbę odbiorników.

Zależnie do rodzaju odbiorników kopalnianych przerwy w ich zasilaniu mogą spowodować:

- zagrożenie życia lub zdrowia ludzkiego,
- uszkodzenie maszyn i urządzeń produkcyjnych,
- znaczne straty gospodarcze w wyniku zatrzymania względnie ograniczenia produkcji.

Ze względu na wymaganą niezawodność zasilania odbiory można podzielić na trzy podstawowe kategorie. O zaliczeniu odbioru do określonej kategorii decyduje przede wszystkim kryterium bezpieczeństwa, a w następnej kolejności względy gospodarcze.

Kopalnie są odbiorami zaliczanymi do I kategorii zasilania. Każda kopalnia węgla kamiennego musi mieć co najmniej dwa zasilania z niezależnych źródeł energii. Zasilanie podstawowe pokrywa pełne zapotrzebowanie energii elektrycznej w kopalni. Zasilanie rezerwowe wystarcza do zasilania wszystkich odbiorników kategorii I oraz wybranych odbiorników kategorii II - razem co najmniej 70% pełnego zapotrzebowania energii w kopalni. W przypadkach zakłóceń i konieczności naprawy lub wymiany któregośkolwiek elementu układu, powinna istnieć możliwość pokrycia pełnego zapotrzebowania wspólnie przez zasilanie podstawowe i rezerwowe.

W kopalniach eksploatujących złoża zaliczane do kategorii czwartej zagrożenia metanowego konieczne jest trzecie niezależne, tzw. awaryjne źródło zasilania. Jego moc musi być dostateczna do zasilania: wentylatorów głównych, stacji odmetanowania oraz wybranej maszyny wyciągowej do wyjazdu załogi.

4. Niezawodność strukturalna układu zasilania kopalni

Wymagana pewność zasilania oraz dopuszczalny czas przerwy są różne dla różnych odbiorników. Przy obecnym poziomie techniki zapewnienie zupełnej pewności zasilania nie jest trudne, lecz kosztowne.

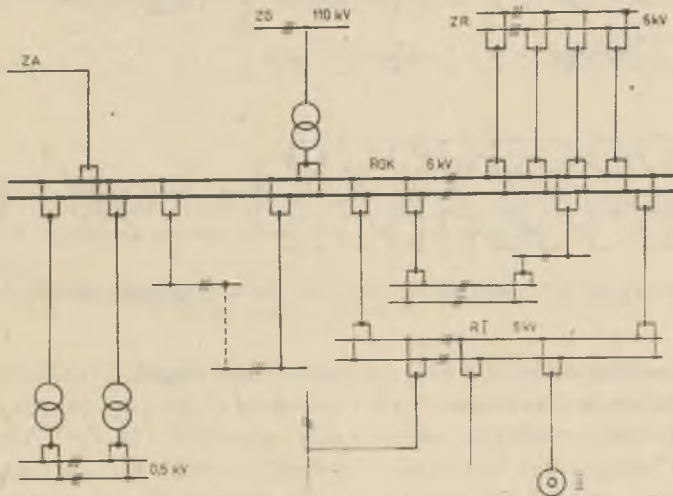
Zwiększenie pewności zasilania można uzyskać przez stosowanie:

- rezerwowych źródeł energii,
- równoległych urządzeń przesyłowych i odbiorczych,
- linii zamkniętych, tzn. linii zasilanych dwustronnie i okrężnych,
- doskonalszej aparatury rozdzielczej i zabezpieczającej; uproszczonego układu z ograniczoną liczbą elementów,
- automatyki sieciowej, głównie: SPZ-samoczynnego powtórnego załączania, oraz SZR - samoczynnego załączania rezerwy.

Należy zwrócić uwagę, że przerwa w produkcji kopalni ($t_e + \Delta t$) jest zwykle znacznie dłuższa niż przerwa w zasilaniu kopalni (t_e). Przyczyną są czynniki organizacyjne i bezpieczeństwa; dodatkowy czas (Δt) jest niezbędny choćby dla sprawdzenia oraz załączenia i rozruchu poszczególnych maszyn (zwykle $\Delta t < 30$ minut).

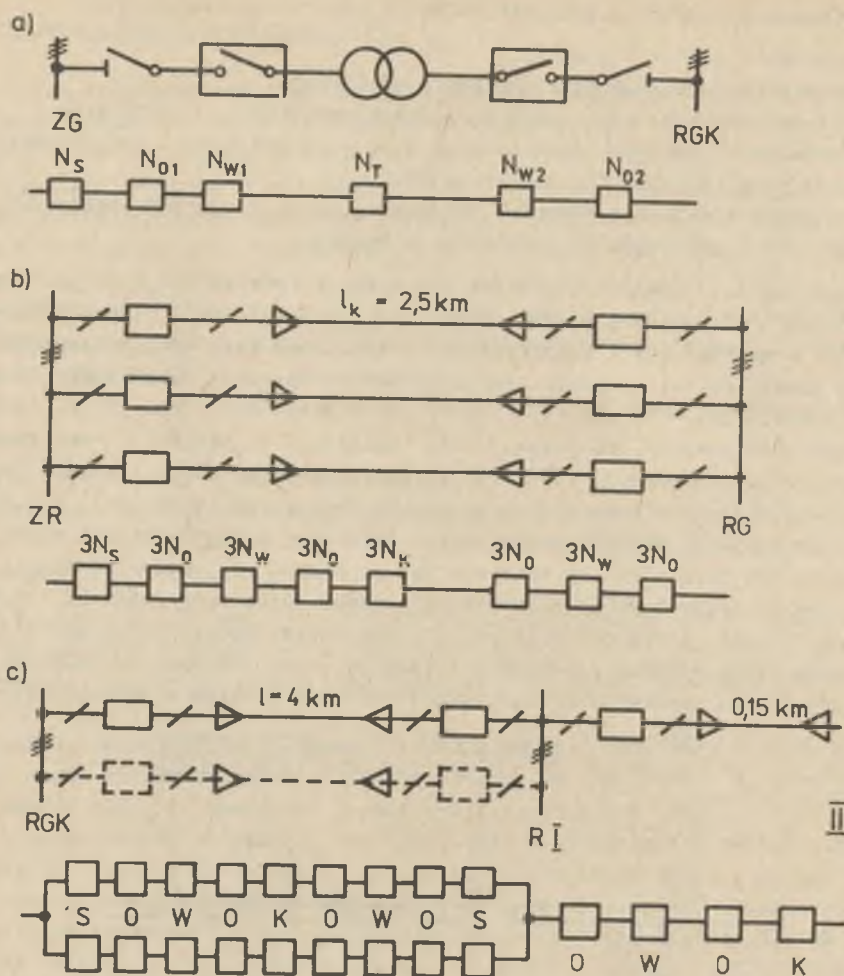
Wymieniono powyżej, że jedną z dróg zwiększenia pewności zasilania jest rezerwowanie pewnych elementów (równoległe połączenia) lub zmniejszenie liczby elementów połączonych szeregowo (uproszczenie układu). Ten stopień niezawodności układu wynika z jego struktury i zastosowanych elementów; może być więc oceniany wstępnie już na etapie projektowania sieci.

Do poszczególnych odbiorników energia elektryczna może dopływać odpowiednią "drogą", którą charakteryzuje pewną niezawodność, określaną głównie dwoma wielkościami: oczekiwaną liczbą wyłączeń w danym okresie czasu (np. roku) oraz średni czas naprawy (średni czas przerwy w zasilaniu).



Rys. 1. Szkic układu zasilania kopalni (przykład)

ZG - zasilanie główne, ZR - zasilanie rezerwowe, ZA - zasilanie awaryjne



Rys. 2. Schematy ideowe zasilania oraz ich modele niezawodnościowe (przykłady)

Znając przeciętne wartości miar niezawodności danych elementów obliczyć można wypadkową niezawodność (lub zawodność) projektowanego układu zasilania. Wartości wskaźników określające zawodność (Q, N, λ) poszczególnych urządzeń połączonych szeregowo w układzie dodaje się, natomiast urządzeń połączonych równolegle - mnoży się. Im większa jest oczekiwana liczba w ten sposób obliczonych wyłączeń tym mniej pewny jest ten sposób zasilania. Na przykład do niedawna stosowano jako typowy tzw. układ H (bezszybowy) składający się z dwóch transformatorów (10 - 16 MVA) i dwóch linii zasilających (110 kV). Jeden transformator pokrywał moc zapotrzebowaną kopalni, natomiast drugi był rezerwowym; ewentualny niedobór mocy był

uzupełniany z zasilania rezerwowego - np. z sąsiedniej kopalni. Jest to układ oszczędny i zapewniający małą moc zwarciovą w sieci kopalnianej.

Zwiększenie wydobycia spowodowało wzrost mocy zapotrzebowanej i konieczność zmiany układu zasilania kopalni - trzy lub cztery transformatory w układzie szynowym.

Rozpatrzymy dla przykładu układ zasilania jednej z kopalń, którego uproszczony schemat ideowy przedstawiono na rys. 1. Obliczymy przybliżoną, spodziewaną liczbę wyłączeń N w okresie jednego roku zasilania szyn rozdzielnic głównej kopalni (RGK) i niektórych odbiorników (rys. 2) - przyjmując z literatury [6] przeciętne, statystyczne częstości występowania zakłóceń (przypadające na 100 sztuk urządzeń lub 100 km linii) dla poszczególnych głównych urządzeń (transformatora-T, wyłącznika-W, odłącznika-O, kabla-K, szyn zbiorczych-S).

a) Zasilanie główne rozdzielnic kopalnianej (rys. 2a).

$$N_G = (N_S + 2N_W + 2N_O + N_T) 10^{-2} = 5 \cdot 10^{-2} + (3,5+3)10^{-2} + (1+0,5) 10^{-2} + 25 \cdot 10^{-2} = 0,4 a^{-1}$$

b) Zasilanie rezerwowe (trzy linie kablowe - rys. 2b).

$$N_R = 3(N_S + 2N_W + 4N_O + 1_K N_K) 10^{-2} = 3(0,05 + 2 \cdot 0,03 + 4 \cdot 0,005 + 2,5 \cdot 0,1) = 3 \cdot 0,38 = 1,14 a^{-1}$$

c) Zasilanie odbiornika II (rys. 2c) - jedna z linii równoległych do rozdzielnic RI stanowi stuprocentową rezerwę.

$$N_{II} \approx (2N_S + 4N_O + 2N_W + 1_K N_K)(2N_S + 4N_O + 2N_W + 1_K N_K) \cdot 10^{-4} + (N_O + N_W + N_O + 1_K N_K) 10^{-2} = (2 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,005 + 2 \cdot 0,03 + 4 \cdot 0,1)^2 + (0,005 + 0,03 + 0,005 + 0,15 \cdot 0,1) = 0,58^2 + 0,055 = 0,391 a^{-1}$$

5. Przyczyny i skutki przerw w zasilaniu maszyn oddziaływanych

Podstawowym pojęciem teorii niezawodności jest pojęcie uszkodzenia obiektu. W warunkach górniczych rozumiemy je jako zdarzenie losowe, powodujące pełną lub częściową utratę przez urządzenie pewnych właściwości warunkujących jego poprawne działanie, zapewniające bezpieczną i wydajną pracę.

Uszkodzenie jest wynikiem oddziaływania na urządzenie funkcji wymuszającej w określonym czasie, przede wszystkim czynników środowiska górniczego, o takim nasileniu, że przekraczają one odporność względnie wytrzymałość urządzenia w ciągu tego czasu. Czynniki te występują zarówno w stanie roboczym urządzeń jak i w stanach jałowych. Są one trudno wyznaczalne z uwagi na ich stochastyczny oraz antropotechniczny charakter.

Uszkodzenia elektrycznych urządzeń górniczych mają duży wpływ na stan bezpieczeństwa załogi i ruchu górniczego. Praktycznie każde uszkodzenie wywołuje w kopalni stan zagrożenia, zwiększając prawdopodobieństwo występowania nieszczęśliwych wypadków.

Następstwem uszkodzeń urządzeń elektrycznych mogą być również bardzo poważne straty materialne. Straty związane bezpośrednio lub pośrednio z opisywanymi wyżej wypadkami są oczywiste, chociaż często nie w zupełności wymierne. Natomiast stosunkowo łatwo można ocenić spodziewane straty wynikające z przerw w dostawie energii do oddziału wydobywczego - spowodowane uszkodzeniami elektrycznych urządzeń oddziałowych.

Układ sieci oddziałowych z punktu widzenia pewności zasilania odbiorników w przodkach zmechanizowanych, w których maszyny górnicze są wzajemnie uzależnione organizacją pracy i procesów technologicznym, jest układem o szeregowo połączonych elementach. Uszkodzenie jednego elementu w takim układzie powoduje z reguły przerwę w zasilaniu wszystkich maszyn. Prawdopodobieństwo przzerwania toku produkcji górniczej jest więc zależne od liczby elementów oraz ich niezawodności - zgodnie z wzorami (1) i (2). Do oceny ekonomicznych skutków przerw w zasilaniu niezbędna jest znajomość spodziewanych częstości uszkodzeń i czasów przerw. Wartości te otrzymać można z badań statystycznych w odpowiedniej dużej liczbie przodków wydobywczych. Dotychczas jednak brak jest dostatecznie reprezentowanych wyników takich badań.

Do oceny wstępnej posłużmy się wynikami analizy statystycznej liczby uszkodzeń i spowodowanych przez nie przerw (powyżej 15 minut) w wydobywaniu 15 zelektryfikowanych ścian jednej z kopalń RZPW [5]. Dane do analizy przyjęto z okresu eksploatacji około jednego roku, w przedziałach czasu co 120 godzin (20 zmian roboczych).

W okresie czasu objętym analizą zarejestrowanych zostało 645 uszkodzeń, które spowodowały przerwę w zasilaniu trwającą łącznie 896 godzin. Względny podział tych uszkodzeń według rodzaju urządzeń jako przyczyn przerw w pracy ścian przedstawiono w tabeli 1.

Wynika z niej, że najbardziej zawodnymi elementami sieci oddziałowych były eksploatowane bezpośrednio w przodku przewody oponowe, które łącznie z ich złączami wtykowymi były przyczyną 50% czasu przerw w produkcji. Łączniki stycznikowe, a przede wszystkim ich obwody sterowania, były drugą główną przyczyną postojów ścian.

Obliczone (na poziomie ufności 0,9) średnie wartości częstości uszkodzeń poszczególnych głównych urządzeń oraz oczekiwany czas ich bezawaryjnej pracy podano w tabeli 2.

Tabela 1

Podział uszkodzeń i czasu przerw w przodkach ścianowych w jednej z kopalń węgla kamiennego

Lp.	Rodzaj urządzenia	Względna liczba uszkodzeń	Względny udział w przerwie %
1	Przewody oponowe	30,2	36,1
1a	w tym przewody sterownicze	8,7	7,1
1	Łączniki stycznikowe, w tym	45,5	33
2a	przełącznik kierunku obrotów	10,6	9,8
2b	obwody sterowania	28,2	16,1
3	Łączniki wtykowe	12,2	13,4
4	Stacje transformatorowe	1,6	1,5
5	Silniki	10,5	16

Tabela 2

Średnie wartości częstości uszkodzeń f_{sr} i oczekiwany czas pracy między uszkodzeniami t_{sr} głównych urządzeń sieci oddziałowej

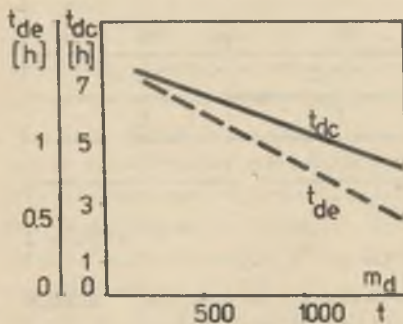
Rodzaj urządzenia	$f_{sr}, 10^{-4}h^{-1}$	t_{sr}, h
Przewody oponowe (dla 100 m)	5	2000
Przewody sterownicze (dla 100 m)	16	625
Łączniki wtykowe przewodów oponowych	3,1	3225
Silniki elektryczne	1,1	9174
Stacje transformatorowe	1,39	7194
Łączniki stycznikowe, w tym	6,3	1587
- przełącznik pko	1,17	8547
- obwód 13 V	2,27	4405
- obwód 42 V	1,83	5464
- obwód 500 V	1,03	9708

Biorąc pod uwagę rzeczywistą liczbę n głównych urządzeń (elementów) w przeciętnej sieci oddziałowej można by obliczyć, że spodziewany orientacyjny czas poprawnej jej pracy (między uszkodzeniami) wynosi:

$$t_{\text{śri}} = \frac{1}{\sum f_{\text{śri}} n_i} \approx \frac{1}{124 \cdot 10^{-4}} \approx 80 \text{ h}$$

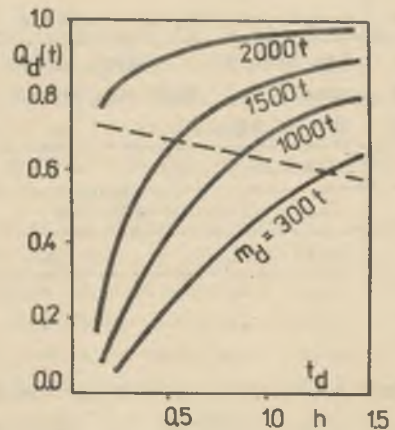
Jest to czas stosunkowo bardzo krótki, lecz niestety odpowiada rzeczywistości.

Przerwy w zasilaniu powodowane uszkodzeniami powodują określone straty - przede wszystkim przez zmniejszenie wydobywania oraz koszty napraw lub wymiany uszkodzonych urządzeń. Dla analizowanej kopalni obliczeniowa wartość węgla, który mógłby być wydobyty w tym okresie gdyby nie przerwy zasilania wynosi około 20 milionów złotych.



Rys. 3. Dopuszczalny dobowy czas przerwy w pracy ścian

(t_{dc} - całkowity, t_{de} - zasilania elektrycznego)



Rys. 4. Prawdopodobieństwo nieuzyskania planowego wydobywania dobowego w funkcji czasu przerwy pracy przodka ścianowego

Bardziej szczegółowe badanie przeprowadzone w ZSRR (w okresie 3 lat w 52 kopalniach) wykazały [8], że przerwy w produkcji ścian kompleksowo zmechanizowanych, spowodowane przerwami zasilania elektrycznego, wahają się od 2 minut do 6,4 godzin (wartość średnia - 1 godzina). Statystyczne opracowanie wyników pomiarów dało zależność korelacyjną dla dopuszczalnej wartości czasu t_d postoju ściany w ciągu doby, nie wykluczającego jeszcze możliwości (w danych warunkach) uzyskanie planowanego wydobywania dobowego m_d (rys. 3).

Prawdopodobieństwo Q_d niewykonania planu wydobywania dobowego przez taki oddział kompleksowo zmechanizowany [4,7], w funkcji czasu przerwy t_d i wartości planowanej produkcji m_d podano wykreślenie na rys. 4. Prosta wykreślona linią przerywaną odpowiada przypadkowi szczególnemu, gdy postój ścian jest powodowany tylko dopuszczalną przerwą w zasilaniu elektrycznym ($t_d = t_{de}$ - rys. 3).

5. Zakończenie

Niezawodność elektroenergetycznych sieci kopalnianych i urządzeń odbiorczych jest podstawą bezpiecznej, rytmicznej i wydajnej pracy współczesnej kopalni. Najważniejsze są kryteria bezpieczeństwa. Jednak słusznie zaczyna się zwracać uwagę również na koszty ruchu, które stają się jedną z funkcji kryterium wyboru. Rachunek ekonomiczny wykazuje na przykład że również dla odbiorników II kategorii należy przewidywać rezerwowe zasilanie.

Podstawową zasadą ekonomicznego działania jest osiągnięcie zamierzonego wyniku (wydobycia) przy minimalizacji nakładów. Jednak należy pamiętać, że obecnie wydobycie jest ściśle związane z bezawaryjną pracą urządzeń elektrycznych oraz, że wszelka profilaktyka zmniejszająca prawdopodobieństwo uszkodzeń znacznie mniej kosztuje niż ich skutki. W zakresie profilaktycznego działania można by wymienić:

- 1) poprawę konstrukcji urządzeń oraz technologii ich wykonywania, między innymi przez stosowanie materiałów bardziej odpowiednich do warunków pracy oraz przez jakościową kontrolę międzyoperacyjną i końcową,
- 2) prawidłową konserwację i zgodną z przepisami eksploatację, a więc i odpowiednie szkolenie obsługi,
- 3) prowadzenie właściwych badań niezawodnościowych i planową wymianę urządzeń.

Działania w zakresie poprawy jakości urządzeń elektrycznych oraz warunków i sposobu ich użytkowania są niezbędne i muszą być kontynuowane z większym wysiłkiem niż dotychczas. Zagadnienie jest tym bardziej pilne, że aktualnie nadal występują dotkliwe braki w zakresie ilościowego zaspokojenia potrzeb górnictwa w podstawowe urządzenia i sprzęt elektryczny.

LITERATURA

- [1] Boczarow W.: Osnovy nadieżnosti elektrosnabżeniya gornych razrabotok. LGI, Leningrad 1968 r.
- [2] Bojarski W.: Przybliżona metoda optymalizacji przemysłowych sieci rozdzielczych z uwzględnieniem niezawodności. Przegląd Elektrotechniczny 1969, nr 11.
- [3] Krasucki F.: Problemy niezawodności oraz bezpieczeństwa elektryfikacji i automatyzacji podziemi kopalń węgla. ZN Polit. Śl., Gliwice 1972 r. Górnictwo z. 51.
- [4] Pałant G. Je., Naryżnyj W.A.: Ekspłuatacionnaja nadieżnost schiem elektrosnabżeniya oczystnyh zabojev. Ugol 1975, nr 5.
- [5] Pałczyński M.: Analiza awaryjności sieci i urządzeń elektrycznych w oddziałach wydobywczych. IEiAG, Polit. Śl., Gliwice 1974 r. (praca dyplomowa - niepublikowana).
- [6] Praca zbiorowa: Poradnik inżyniera elektryka. WNT, Warszawa 1975 r., tom IV, rozdz. 7.2.

- [7] Wasilczenko W.I.: O nadzieźności sistem elektrośnabźenija oczystnych zabojev. Ugol Ukrainy 1977, nr 3.
- [8] Wasilczenko W.I., Makarow M.I., Pawłowski A.A.: Prośtoj i potieri ugledobyczy wśledstwije nienadieźności elektrośnabźenija kompleksno - miechanizirowanych ław. Promyszlennaja Energiatika 1978, nr 10.

O NADEŻНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ШАХТЫ КАМЕННОГО УГЛЯ

Резюме

В статье рассматриваются требования и определяется значение постоянного электрического питания современной шахты, учитывая категории её потребителей: приводятся принципы определения надёжности структурной системы. Проведено анализ причин и последствий дефектов подземного оборудования, а также даются общие результаты исследований надёжности электроэнергетических сетей с учётом их влияния на эксплуатационную способность.

ON THE POWER SYSTEM RELIABILITY OF THE COALLIERY

Summary

The paper discusses the requirements and the importance of the continuous power supply for the coallierly with the account of consumer categories; Principles for determining structural system reliability are given. Reasons and consequences of failures of the underground devices are analysed. General results of research in power network reliability with account of their effect on the mining efficiency have also been presented.