ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: GÓRNICTWO z. 133 Nr kol. 834

Piotr GAWOR

Instytut Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

OCENA STANU SIECI SZYNOWEJ TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ DOŁOWEJ JAKO PRZYCZYNY PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH

Streszczenie. Przedstawiono teoretyczne podstawy możliwości ilościowej oceny stanu sieci szynowej trakcji elektrycznej dołowej jako przyczyny prądów błądzących. Podano sposób postępowania umożliwiający określenie współczynnika upływu oraz sumarycznej wartości prądów błądzących na podstawie dwukrotnego pomiaru spadku napięcia w sieci szynowej.

1. WSTĘP

Czynnikiem, który w decydujący sposób wpływa na wartość powstających prądów błądzących jest stan sieci szynowej trakcji elektrycznej przewodowej. W szczególnym stopniu stwierdzenie to jest słuszne w warunkach trakcji elektrycznej dołowej, gdzie występuje szereg czynników działających destrukcyjnie na stan torowiska i szyn jezdnych. Należą do nich:

- deformacja spągu w wyniku ciśnienia górotworu,
- zanieczyszczenie torowiska węglem i skałą płonną,
- zawilgocenie lub nawet zawodnienie spągu,
- wykolejenia wozów powodujące mechaniczne uszkodzenia elementów sieci szynowej (najczęściej zrywanie łączników podłużnych).

Przeglądy sieci szynowej przeprowadzone w kilku kopalniach [3] wykazały bardzo zróżnicowany ich stan, co wiąże się tak z lokalnymi warunkami, jak i z różnym poziomem dbałości o utrzymywanie torów trakcji elektrycznej. Wybrane wyniki przeglądów przedstawiono w tablicy 1.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami [4] stan sieci szynowej powinien być systematycznie kontrolowany (przeglądy tygodniowe i rewizje miesięczne oraz kwartalne); zauważone braki powinny być uzupełniane, a stan niewłaściwy poprawiany. Dane zebrane w tablicy 1 świadczą o różnym podejściu do obowiązku kontrolowania stanu sieci szynowej.

Niezależnie jednak od subiektywnego czynnika organizacyjnego powstaje problem ilościowej oceny stanu sieci szynowej jako przyczyny prądów błądzących. Przeglądy i rewizja dają obraz jakościowy i nie wiążą ogólnie pojętego stanu sieci szynowej z ilościową oceną powstających prądów błą-

Tablica 1

Wybrane wyniki przeglądów stanu sieci szynowej trakcji elektrycznej dołowej

Długość kontrolowanej linii trakcji elektr. dołowej	Kopalnia A			Kopalnie B		
	2000 m	1.400 m	1.900 m	3.200 m	1.250 m	1.940 m
Łączniki podłużne						
- dobre	61,6%	98,7%	19,8%	77,0%	24,2%	78,7%
- uszkodzone	0,5%	1,3%	0,5%	22,7%	22,3%	-
- brakujące	-	-	-	-	22,8%	7,8%
- niedostępne	37,9%	-	79,7%	0,3%	30,7%	13,5%
Stan podtorza						
- suche	-	tak	-	-	32%	55%
- zawilgocone	tak	-	tak	tak	66%	35%
- woda stojąca	2%	-	-	-	2%	10%

dzących. Celowe wydaje się być opracowanie takiej metody badania sieci szynowej, która umożliwiłaby ocenę ilościową czy to powstających prądów błądzących, czy też stopnia pogorszenia się stanu sieci szynowej w stosunku do stanu początkowego (np. w chwili oddania linii do użytku). Jest to tym bardziej istotne, że samo określenie "stan sieci szynowej" jest nieścisłe i poddaje się tylko ocenie subiektywnej. Próba zatem ilościowego opisu i oceny owego "stanu" przyczynić się może do usprawnienia działań zmierzających do ograniczenia powstawania prądów błędzących.

2. PARAMETRY CHARAKTERYZUJĄCE SIEĆ SZYNOWĄ

Zgodnie z powszechnie przyjmowanym przy analizie powstawania prądów błądzących założeniem [5] sieć szynową zastępuje się przewodnikiem o jednostajnie rozłożonych parametrach:

- rezystancją podłużną r_s wyrażaną w Ω/km, uwzględniającą rezystancję szyn i złącz podłużnych,
- rezystancją przejścia r_p wyrażaną w Ω.km, uwzględniającą rezystancję pomiędzy szynami i ziemią odniesienia.

Obydwa parametry uwzględnić można za pomocą jednej wielkości zastępczej opisującej właśnie szeroko pojmowany stan sieci szynowej. Tą wielkością zastępczą może być współczynnik upływu

$$\gamma = \sqrt{\frac{r_s}{r_p}}\ \mathrm{km}^{-1} \qquad (1)$$

lub wskaźnik ogólniejszy $\alpha \cdot l$, tzn. iloczyn współczynnika upływu i długości linii.

Wartość współczynnika upływu nie jest zwykle znana, gdyż do jej określenia niezbędne byłyby kłopotliwe pomiary rezystancji przejścia szyn. W krajowym górnictwie nie były dotąd przeprowadzane takie pomiary, a wyniki pomiarów obcych [2] charakteryzują się dużą rozpiętością wartości (0,0015÷0,027 Ω.km) i uzależnione są od subiektywnie ocenianego stanu zawilgocenia torowiska (mokre - suche).

Wartość współczynnika upływu można określić pośrednio badając przykładowo spadek napięcia w sieci szynowej.

3. ROZKŁADY SPADKU NAPIĘCIA W SIECI SZYNOWEJ

Na skutek powstawania prądów błądzących wartość prądu w szynach nie jest jednakowa wzdłuż linii. W ślad za zmieniającym się prądem zmienia się również wartość spadku napięcia wzdłuż szyn. W przypadku sieci szynowej idealnej, w której współczynnik upływu α jest równy zero, rozkład spadku napięcia wzdłuż trasy byłby liniowy:

$$\Delta U(x) = I_o r_s x \tag{2}$$

W realnych natomiast sieciach szynowych rozkład spadku napięcia opisany będzie krzywą odbiegającą od linii prostej, wynikającą z wyrażenia:

$$\Delta U(x) = r_s \int_0^x I(x)dx, \tag{3}$$

w którym:

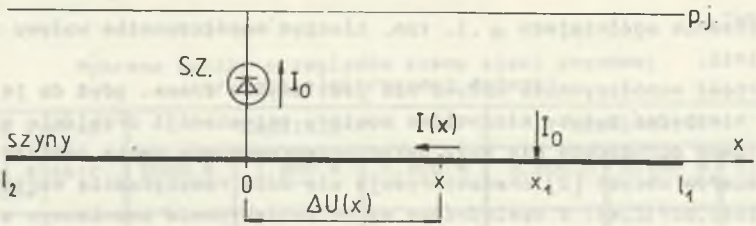
$I(x)$ - wartość prądu w szynach w punkcie o współrzędnej x,

$\Delta U(x)$ - spadek napięcia pomiędzy punktem przyłączenia stacji zasilającej i dowolnym punktem o współrzędnej x, położonym pomiędzy stacją i obciążającą lokomotywą.

Rozpatrzmy typowy dla trakcji elektrycznej dołowej przypadek zasilania sieci trakcyjnej obciążonej pojedynczą lokomotywą poruszającą się wzdłuż linii (rys. 1).

Wartość prądu w szynach w dowolnym punkcie o współrzędnej x położonym pomiędzy stacją zasilającą i lokomotywą wyrazić można za pomocą równania [1]:

$$I(x) = \frac{-I_o r_s}{sh\alpha(l_1+l_2)}\left[ch\alpha l_2 sh\alpha(l_1-x) + ch\alpha(l_1-x_1)sh\alpha(l_2+x)\right] \tag{4}$$



Rys. 1. Schemat sieci trakcji elektrycznej dołowej obciążonej prądem I_0 pojedynczej lokomotywy znajdującej się w punkcie x_1
S.Z. - stacja zasilająca

Wykonując zgodnie z wyrażeniem (3) całkowanie, otrzymamy wyrażenie opisujące spadek napięcia pomiędzy punktem zasilania i dowolnym punktem x:

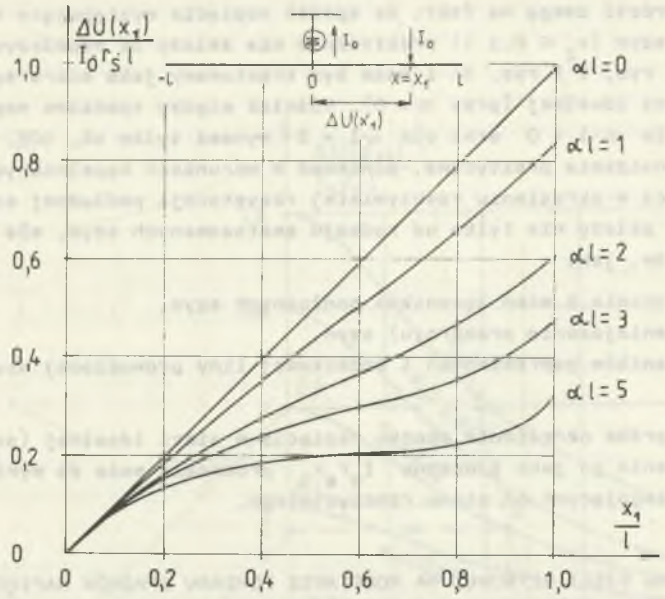
$$\Delta U(x) = \frac{-I_0 r_s}{\alpha . sh\alpha(l_1+l_2)} \left\{ ch\alpha(l_1-x_1)\left[ch\alpha(l_2+x) - ch\alpha l_2\right] - ch\alpha l_2\left[ch\alpha(l_1-x) - ch\alpha l_1\right]\right\} \tag{5}$$

Jednym z czynników decydujących o rozkładzie spadku napięcia jest położenie lokomotywy x_1. Zbadajmy zatem spadek napięcia od punktu zasilającego do punktu, w którym znajduje się lokomotywa. W tym celu w wyrażeniu (5) należy podstawić $x = x_1$. Otrzymamy wówczas:

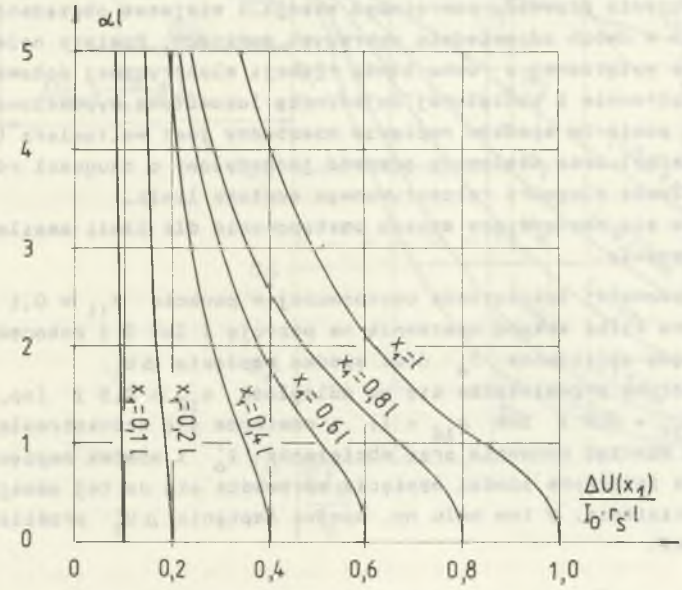
$$\Delta U(x_1) = \frac{-I_0 r_s l}{\alpha l sh\alpha(l_1+l_2)} \left\{ ch\alpha(l_1-x_1)\left[ch\alpha(l_2+x_1)-2ch\alpha l_2\right] + ch\alpha l_1\, ch\alpha l_2\right\} \tag{6}$$

Wykresy rozkładów spadków napięcia dla linii zasilanej w połowie długości ($l_1 = l_2 = l$) przedstawiono na rys. 2.

Jak widać z rysunku, rozkład spadku napięcia w istotny sposób zależy od wskaźnika $\alpha \cdot l$. A zatem miarą współczynnika upływu (przy określonej długości sieci l) może być przykładowo stosunek wartości spadku napięcia w szynach (rzeczywistego) do wartości spadku napięcia wyznaczonego przy założeniu idealnego odizolowania szyn od podtorza (tzn. przy $\alpha = 0$). Zależność wskaźnika $\alpha \cdot l$ od spadku napięcia występującego w szynach przy różnych położeniach lokomotywy x_1 (wyznaczających jednocześnie współrzędną punktu, do którego mierzy się spadek napięcia) przedstawiona jest na rys. 3. Z rysunku można wywnioskować, że analiza spadku napięcia w celu określenia współczynnika upływu jest efektywna tylko wówczas, gdy rozpatrywany jest dostatecznie długi odcinek linii. Praktycznie należy analizować (zmierzyć) spadek napięcia do lokomotywy obciążającej sieć w odległości równej co najmniej połowie długości strefy zasilania ($x_1 \geq 0{,}5\ l$, rys. 1, przy założeniu $l_1 = l_2 = l$). W przeciwnym przypadku uzyskana wartość współczynnika upływu może być obarczona znacznym błędem.



Rys. 2. Zależność względnego spadku napięcia w sieci szynowej pomiędzy punktem zasilania i punktem obciążenia od położenia obciążenia (x_1) przy różnych wskaźnikach $\alpha \cdot l$



Rys. 3. Zależność wskaźnika $\alpha \cdot l$ opisującego stan sieci szynowej od względnej wartości spadku napięcia w tej sieci

Należy zwrócić uwagę na fakt, że spadek napięcia występujący na krótkim odcinku szyn ($x_1 \leqslant 0{,}1\ l$) praktycznie nie zależy od współczynnika upływu (por. rys. 2 i rys. 3) i może być traktowany jako miara spadku napięcia w sieci idealnej (przy $\alpha = 0$). Różnica między spadkiem napięcia określonym dla $\alpha \cdot l = 0$ oraz dla $\alpha \cdot l = 5$ wynosi tylko ok. 10%. Fakt ten ma istotne znaczenie praktyczne, ponieważ w warunkach kopalnianych występują trudności w określeniu rzeczywistej rezystancji podłużnej szyn. Rezystancja ta zależy nie tylko od rodzaju zastosowanych szyn, ale i od takich czynników, jak:

- sposób wykonania i stan łączników podłużnych szyn,
- zużycie (zmniejszenie przekroju) szyn,
- wpływ łączników poprzecznych i dodatkowej liny prowadzonej wzdłuż torów.

Tak więc próba określenia spadku napięcia w sieci idealnej (przy $\alpha = 0$) przez obliczenie go jako iloczynu $I_o r_s x_1$ prowadzić może do wyników znacznie odbiegających od stanu rzeczywistego.

4. OCENA STANU SIECI SZYNOWEJ NA PODSTAWIE POMIARU SPADKÓW NAPIĘCIA W SZYNACH

Wartość współczynnika upływu α (lub wskaźnika $\alpha \cdot l$) wyznaczyć można na podstawie pomiarów spadków napięcia występujących w szynach pomiędzy punktem przyłączenia przewodu powrotnego stacji i miejscem obciążenia sieci usytuowanego w dwóch odpowiednio wybranych punktach. Pomiary należy przeprowadzić na wyłączonej z ruchu linii trakcji elektrycznej dołowej, zasilanej jednostronnie i obciążonej pojedynczą lokomotywą wyposażoną w amperomierz. Do pomiarów spadków napięcia niezbędny jest woltomierz (np. miernik uniwersalny) oraz izolowany przewód jednożyłowy o długości równej co najmniej połowie długości rozpatrywanego odcinka linii.

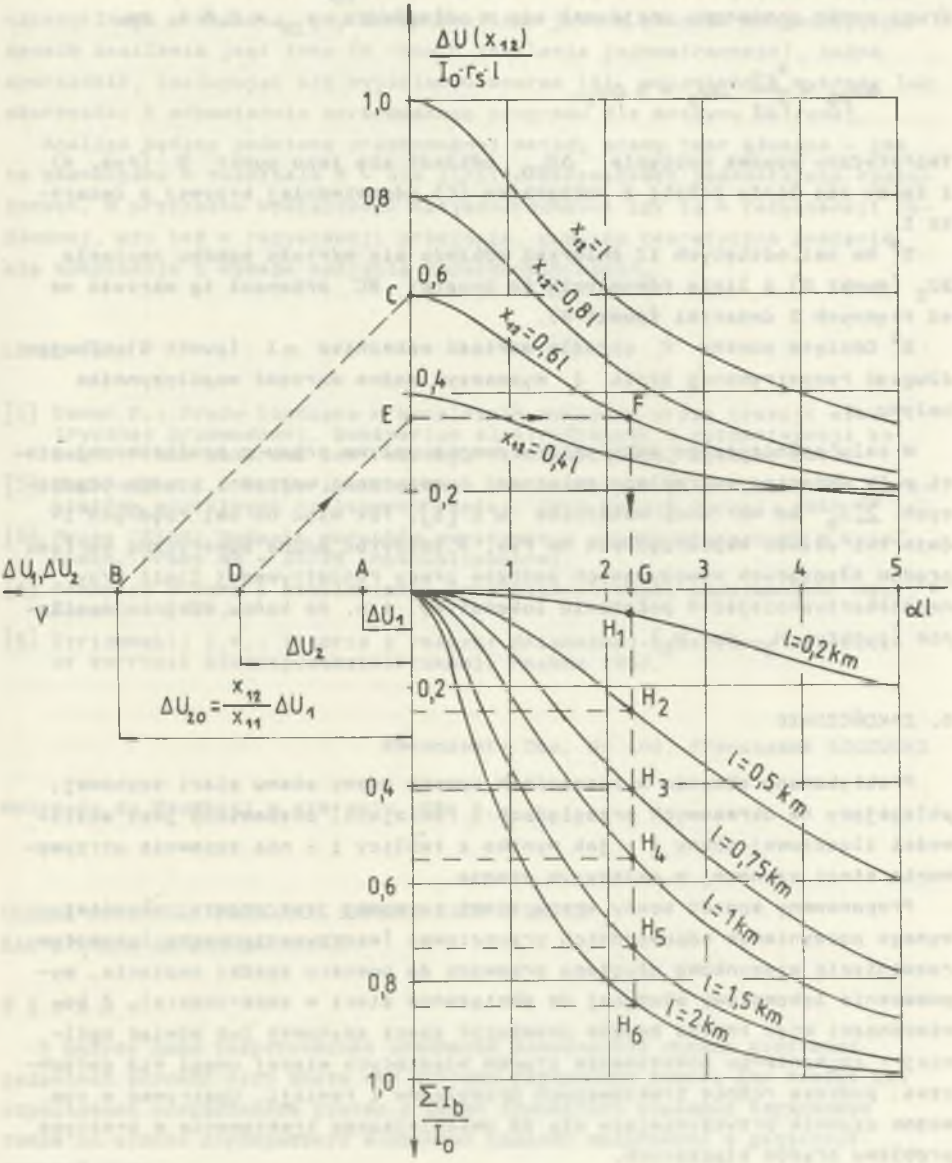
Proponuje się następujący sposób postępowania dla linii zasilanych w połowie długości:

1° W zahamowanej lokomotywie usytuowanej w punkcie $x_{11} = 0{,}1\ l$ należy włączyć na kilka sekund nastawnik na pozycję 1 lub 2 i dokonać odczytu wartości prądu obciążenia I_o oraz spadku napięcia ΔU_1.

2° Lokomotywę przemieszcza się na odległość $x_{12} \geqslant 0{,}5\ l$ (np. $x_{12} = 0{,}6\ l$, $x_{12} = 0{,}8\ l$ lub $x_{12} = l$) i powtarza się krótkotrwałe obciążenie sieci mierząc ponownie prąd obciążenia I'_o i spadek napięcia $\Delta U'_2$.

3° Obydwa zmierzone spadki napięcia sprowadza się do tej samej wartości prądu obciążenia. W tym celu np. spadek napięcia $\Delta U'_2$ przelicza się wg zależności:

$$\Delta U_2 = \Delta U'_2 \frac{I_o}{I'_o}$$



Rys. 4. Rysunek pomocniczy do określenia wartości współczynnika upływu i sumarycznej wartości prądów błądzących na podstawie pomiarów spadków napięcia w sieci szynowej

4° Na rys. 4 na osi odciętych II ćwiartki należy odłożyć wartość spadku napięcia ΔU_1 (punkt A). Na podstawie wartości spadku napięcia ΔU_1 (który traktowany jest jako miara spadku napięcia w sieci idealnej) ustala się teoretyczną wartość spadku napięcia ΔU_{20}. Jeżeli przykładowo drugi punkt pomiarowy znajdował się w odległości $x_{12} = 0{,}6\ l$, to:

$$\Delta U_{20} = \frac{x_{12}}{x_{11}} \Delta U_1 = 6\ \Delta U_1.$$

Teoretyczny spadek napięcia ΔU_{20} odkłada się jako punkt B (rys. 4) i łączy się linią prostą z początkiem (C) odpowiedniej krzywej z ćwiartki I.

5° Na osi odciętych II ćwiartki odkłada się wartość spadku napięcia ΔU_2 (punkt D) i linią równoległą do prostej BC przenosi tę wartość na oś rzędnych I ćwiartki (punkt E).

6° Odcięta punktu F określa wartość wskaźnika αl (punkt G). Znając długość rozpatrywanej linii l wyznaczyć można wartość współczynnika upływu α.

W celu pełniejszego scharakteryzowania upływu prądu z analizowanej sieci w IV ćwiartce wykreślono zależność sumarycznej wartości prądów błądzących $\sum I_b$ od wartości wskaźnika αl [1]. Tak więc na osi rzędnych IV ćwiartki układu współrzędnych na rys. 4 odczytać można sumaryczną wartość prądów błądzących wywoływanych podczas pracy rozpatrywanej linii przy najniekorzystniejszym położeniu lokomotywy, tzn. na końcu odcinka zasilania (punkty H_1 do H_6).

5. ZAKOŃCZENIE

Praktykowany obecnie w kopalniach sposób oceny stanu sieci szynowej, polegający na okresowych przeglądach i rewizjach, pozbawiony jest możliwości ilościowej oceny i - jak wynika z tablicy 1 - nie zapewnia utrzymywania sieci szynowej w należytym stanie.

Proponowany sposób oceny stanu sieci szynowej jest prosty, niemniej wymaga poczynienia odpowiednich przygotowań (wstrzymanie ruchu lokomotyw, rozwinięcie stosunkowo długiego przewodu do pomiaru spadku napięcia, wyposażenie lokomotywy służącej do obciążania sieci w amperomierz). Z konieczności więc trzeba będzie poświęcić sieci szynowej lub mówiąc ogólniej - zagadnieniu powstawania prądów błądzących więcej uwagi niż dotychczas, podczas różnie traktowanych przeglądów i rewizji. Upatrywać w tym można czynnik przyczyniający się do uważniejszego traktowania w praktyce problemu prądów błądzących.

Ilościowa ocena stanu sieci szynowej (konkretna wartość współczynnika upływu α lub sumarycznej wartości prądów błądzących $\sum I_b$) pozwoli na

śledzenie pogarszania się tego stanu w czasie. Przeprowadzając pomiary co pewien czas (np. w odstępach rocznych), łatwiej będzie można ustalić moment, w którym należy przeprowadzić remont sieci szynowej.

Przedstawione zależności ilościowe (rys. 2, rys. 3 i rys. 4) dotyczą szczególnego przypadku, gdy linia zasilana jest w połowie długości. Gdy sposób zasilania jest inny (w ramach zasilania jednostronnego), można sporządzić, posługując się wyjściowym wzorem (6), odpowiednie wykresy lub skorzystać z odpowiednio opracowanego programu dla maszyny cyfrowej.

Analiza będąca podstawą proponowanej metody oceny jest słuszna - jak to zaznaczono w rozdziale 2 - dla linii o parametrach jednostajnie rozłożonych. W przypadku występienia niejednorodności czy to w rezystancji podłużnej, czy też w rezystancji przejścia, analiza teoretyczna znacznie się komplikuje i wymaga podjęcia dodatkowych badań.

LITERATURA

[1] Gawor P.: Prądy błądzące w kopalniach wywołane pracą trakcji elektrycznej przewodowej. Seminarium elektryfikacji i automatyzacji kopalń. Praca zbiorowa pod redakcją F. Krasuckiego. Gliwice 1983.

[2] Oziernoj M.I.: Eksperimientalnoje issledowanije elektriczeskich parametrow szachtnych rielsowych cepiej. IWUZ Gornyj Żurnał, 1968 nr 1.

[3] Prace IEiAG: Badania warunków powstawania prądów błądzących w kopalniach. Praca NB - 33/79 (niepublikowana).

[4] Przepisy budowy i eksploatacji kopalnianych kolei podziemnych. MGiE, Katowice 1975.

[5] Striżewskij I.W.: Tieoria i rasczot drienażnoj i katodnoj zaszczity ot korrozii błużdajuszczimi tokami. Moskwa 1963.

Recenzent: Doc. dr inż. Franciszek SZCZUCKI

Wpłynęło do Redakcji w sierpniu 1984 r.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВОЙ ТЯГОВОЙ СЕТИ В ШАХТЕ
КАК ПРИЧИНЫ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

Р е з ю м е

В работе даны теоретические основания возможности оценки состояния рельсовой тяговой сети шахты как причины блуждающих токов. Дан способ для определения коэффициента утечки а также суммарного значения блуждающих токов на основе двухкратного измерения падения напряжения в рельсовой тяговой сети.

AN ASSESSMENT OF THE STATE OF RAIL NETWORK OF PIT ELECTRIC TRACTION AS THE CAUSE OF STRAY CURRENTS

S u m m a r y

The theoretical basis for the possibility of quantitative assessment of the state of rail network of pit electric traction as the cause of stray currents has been presented. A method of procedure which makes it possible to determine the current leak coefficient and the total value of stray currents on the basis of a repeated measurement of the voltage drop in the rail network has been given.