ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1987

Seria: GÓRNICTWO z. 156 Nr kol. 1025

Kazimierz MIŚKIEWICZ
Antoni WOJACZEK

BADANIA REZYSTANCJI IZOLACJI TELEKOMUNIKACYJNYCH KABLI GÓRNICZYCH

Streszczenie. Prawidłowa praca kopalnianych systemów łączności oraz systemów kontroli parametrów bezpieczeństwa kopalni zależy od stanu dołowej sieci telekomunikacyjnej. Rezystancja izolacji należy do najważniejszych parametrów dołowych linii telekomunikacyjnych.

Zmierzono rezystancję ponad 2000 torów w dołowych sieciach telekomunikacyjnych ośmiu polskich kopalń węgla kamiennego. Pomiary były wykonane iskrobezpiecznym megaomomierzem IMC-1 o zakresie pomiarowym 0,01 MΩ do 100 MΩ. wyniki pomiarów zostały poddane analizie statystycznej. Wartość średnia rezystancji izolacji jest równa 29,6 MΩ, a odchylenie standardowe 32,4 MΩ. Zbadano zgodność empirycznego rozkładu rezystancji izolacji z uogólnionym rozkładem gamma za pomocą testu chi-kwadrat. Wyniki testu są większe od wartości krytycznych rozkładu chi-kwadrat dla poziomu istotności 0,05. Rozkład wartości rezystancji izolacji jest rozkładem o nieregularnym przebiegu zbliżonym do rozkładu wykładniczego.

Empiryczny rozkład wartości rezystancji izolacji pozwolił na określenie dopuszczalnej minimalnej wartości rezystancji izolacji toru w dołowej sieci telekomunikacyjnej. W projekcie normy branżowej zaproponowano wartość 1 MΩ, jako dopuszczalną wartość rezystancji izolacji torów w dołowych sieciach telekomunikacyjnych.

1. WSTĘP

Aktualnie stosowane systemy kontroli parametrów bezpieczeństwa kopalń, zdalnego sterowania, telekontroli itp., jak również kopalniana łączność telefoniczna wykorzystują telekomunikacyjne kable górnicze do transmisji sygnałów elektrycznych. Brak normalizacji w dziedzinie określenia charakterystycznych parametrów dołowych torów telekomunikacyjnych, dopuszczalnych poziomów sygnałów użytecznych i zakłóceń elektromagnetycznych stał się przyczyną braku kompatybilności elektromagnetycznej przewodowych systemów telekomunikacyjnych prowadzonych we wspólnym kablu telekomunikacyjnym. Fakt ten spowodował, iż poszczególne systemy teletransmisyjne w kopalniach (np. metanometria, sejsmometria, telefonia itp.) posiadają odrębne sieci kablowe w celu ograniczenia wzajemnego szkodliwego oddziaływania zakłócającego. Wynikiem tego jest mała efektywność wykorzystania torów macierzystych w kopalnianych sieciach kablowych, a co się z tym wiąże duże zapotrzebowanie resortu górnictwa na telekomunikacyjne kable górnicze.

Jednym z podstawowych parametrów elektrycznych dołowych sieci telekomunikacyjnych jest rezystancja izolacji. Jak wykazują badania [1], rezystancja izolacji kopalnianych torów kablowych może mieć duży wpływ na jakość łączności telefonicznej, poprawność pracy systemów teletransmisyjnych i wartość napięcia zakłóceń w torze. Z tego powodu w warunkach ruchowych pomiar rezystancji izolacji jest wykonywany bardzo często. Dla ogólnej charakterystyki jakości dołowych torów teletransmisyjnych w IEiAG przeprowadzono kompleksowe badania rezystancji izolacji dołowych sieci kablowych siedmiu kopalń węgla kamiennego wraz z ich analizą statystyczną.

2. ZASADY I WYNIKI POMIARÓW REZYSTANCJI IZOLACJI DOŁOWYCH SIECI TELEKOMUNIKACYJNYCH

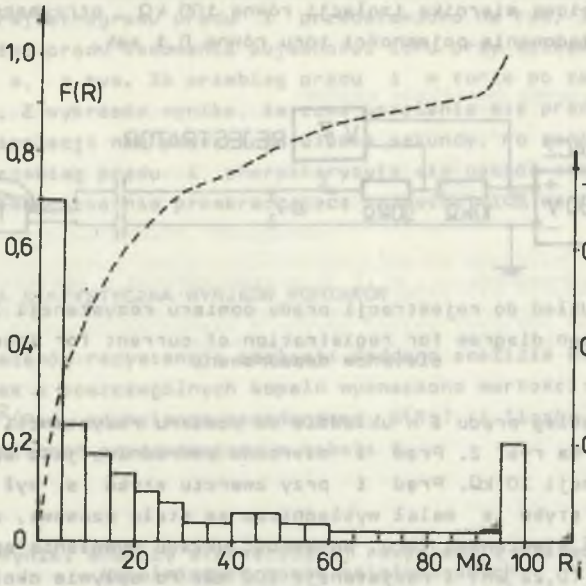
Według BN-78/8984-18 [4], pomiar rezystancji izolacji należy wykonać przyrządem o dokładności co najmniej 10%, a odczyt wartości rezystancji należy dokonać po 60 sek od chwili przyłączenia napięcia pomiarowego do toru. Rezystancja izolacji jednej żyły toru abonenckiego względem drugiej żyły połączonej z ziemią powinna wynosić co najmniej 5 MΩ [3].

Powyższe wymagania dotyczą sieci telefonicznej powszechnego użytku. Dla sieci telekomunikacyjnych dołowych nie istnieje dotychczas norma precyzująca metodę pomiaru i dopuszczalną wartość rezystancji izolacji symetrycznego toru przewodowego.

W wielu kopalniach, a w szczególności w kopalniach metanowych, tory symetryczne w dołowych sieciach telekomunikacyjnych są częścią obwodów iskrobezpiecznych. Pomiary rezystancji izolacji w takich sieciach można wykonać tylko miernikiem iskrobezpiecznym.

Po uruchomieniu produkcji iskrobezpiecznych cyfrowych mierników izolacji IMC-1, o zakresie pomiarowym od 10 kΩ do 100 MΩ, można było przeprowadzić kompleksowe badania izolacji torów kablowych i na tej podstawie ocenić stan dołowych sieci telekomunikacyjnych. Pomiary przeprowadzono z powierzchni z reguły w centrali telefonicznej na zaciskach liniowych torów abonenckich. W czasie pomiarów tor odłączony był od centrali, a wolna żyła badanej pary była uziemiona. Histogram rezystancji izolacji Ri opracowany dla około 2000 pomiarów kopalnianych torów teletransmisyjnych z siedmiu kopalń węgla kamiennego, wraz z wykresem dystrybuanty doświadczalnej tego rozkładu F(R), przedstawiono na rys. 1.

Analiza wyników badań wskazuje, iż od 16% do 51% torów z poszczególnych kopalń cechuje rezystancja izolacji mniejsza od 5 MΩ [2]. Tabela 1 przedstawia rozkład gęstości empirycznej wyników pomiarów rezystancji izolacji, ze szczególnym uwzględnieniem przedziału do 5 MΩ; wynika z niej, że około 18% torów cechuje się rezystancją izolacji mniejszą od 1 MΩ, tj. od minimalnej wartości przyjętej w opracowanym projekcie normy branżowej na parametry elektryczne kopalnianych torów telekomunikacyjnych.



Rys. 1. Histogram rezystancji izolacji Ri wraz z wykresem dystrybuanty doświadczalnej F(R)

Fig. 1. The bar chart of the insulation resistance Ri and diagram of the empirical cumulative distribution function

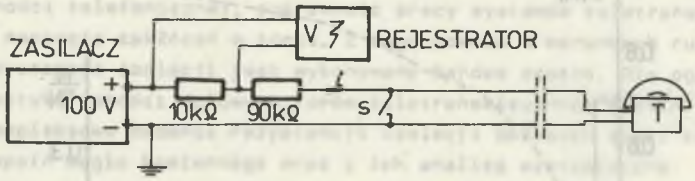
Tabela 1

Rozkład częstości empirycznej wyników pomiarów rezystancji izolacji kopalnianych torów telefonicznych (w %)

Nr kopalni	N	> 55 MΩ	55÷5 MΩ	5÷2,5 MΩ	2,5÷1 MΩ	1÷0,5 MΩ	0,5÷0,1 MΩ	<0,1 MΩ
1	734	11,2	57,8	6,5	6,4	5,4	8,6	4,1
2	280	20,4	51,4	4,6	10,1	3,6	7,8	1,8
3	154	28,4	22,1	6,5	14,3	9,8	11,1	7,8
4	298	28,6	34,1	12,8	10,1	4,7	7,4	2,3
5	248	21,3	29,4	4,5	5,4	8,9	18,1	12,5
6	209	18,2	66,0	4,8	5,3	1,4	4,3	0,0
7	188	5,3	65,4	9,6	10,6	4,3	3,7	1,1
∑1-7	2111	19,1	46,6	7,0	8,9	5,4	8,8	4,2

Czas odczytu wartości rezystancji izolacji musi uwzględniać ładowanie pojemności toru przez miernik. Przyjmując pojemność jednostkową toru w konfiguracji pomiaru rezystancji (jedna z żył toru uziemiona) równą 75 nF/km i maksymalną długość toru w kopalni równą 15 km otrzymuje się maksymalną wartość pojemności mierzonego toru rzędu 1μF. Przyjmując re-

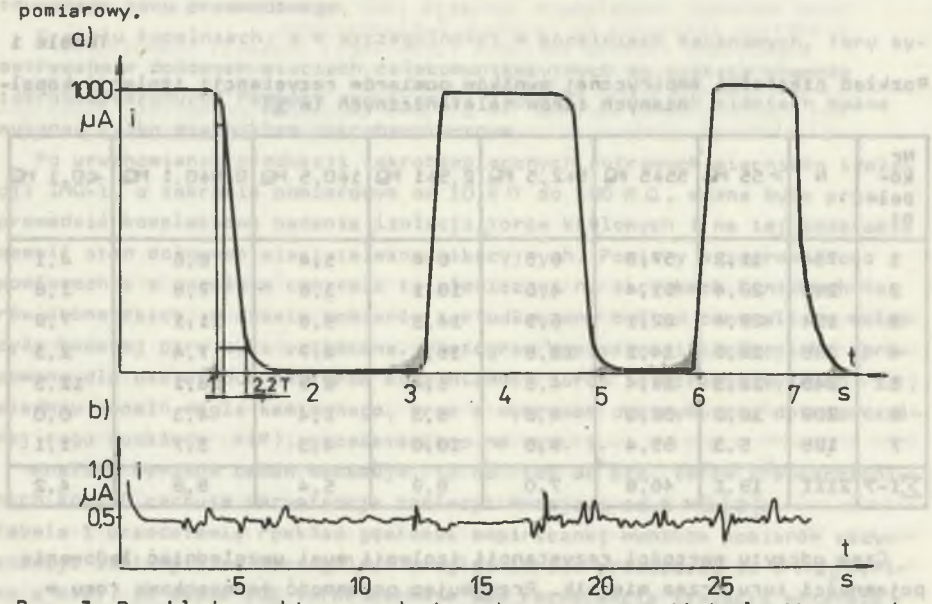
zystancję wyjściową miernika izolacji równą 100 kΩ , otrzymamy maksymalną stałą czasową ładowania pojemności toru równą 0,1 sek.



Rys. 2. Układ do rejestracji prądu pomiaru rezystancji izolacji

Fig. 2. Conection diagram for registration of current for insulation resistance measurement

Zbadano przebieg prądu i w układzie do pomiaru rezystancji izolacji przedstawionym na rys. 2. Prąd i mierzono pośrednio, jako spadek napięcia na rezystancji 10 kΩ. Prąd i przy zwarciu styku s był równy 1 mA, a po rozwarciu styku s malał wykładniczo ze stałą czasową, określoną przez pojemność mierzonego toru, pojemność układu wywołania aparatu telefonicznego T (0,22 μF) i rezystancję 100 kΩ. Po upływie około czterech stałych czasowych prąd i osiągał wartość ustaloną rzędu μA, a jego dalsza zmienność była wynikiem zjawisk wywołanych przepływem prądu przez mierzoną izolację oraz oddziaływaniem zakłóceń elektromagnetycznych na układ pomiarowy.



Rys. 3. Przykład przebiegu prądu i pomiaru rezystancji izolacji toru abonenckiego

Fig. 3. An example of current change for insulation resistance masurement

Przykład rejestrogramu prądu i przedstawiono na rys. 3. Rys. 3a przedstawia przebieg prądu ładowania pojemności toru przy kilkakrotnym rozwieraniu styku s, a rys. 3b przebieg prądu i w torze po zaniku prądu ładowania toru. Z wykresów wynika, że czas ustalania się prądu pomiarowego rezystancji izolacji nie przekracza ułamka sekundy. Po zaniku prądu ładowania toru przebieg prądu i charakteryzuje się naogół stałą wartością średnią i zmiennością nie przekraczającą zazwyczaj 10% wartości średniej.

3. ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW POMIARÓW

Wyniki pomiarów rezystancji izolacji poddano analizie statystycznej. Dla N próbek z poszczególnych kopalń wyznaczono wartości: średnią $\overline{Ri}$, wariancję $S^2(Ri)$, odchylenie standardowe S(Ri) i liczbę stopni swobody k. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Wyniki analizy statystycznej rezystancji izolacji kopalnianych torów telefonicznych

Kopalnia	1	2	3	4	5	6	7	1÷7
N	180	180	140	180	180	180	180	1220
$\overline{Ri}$, MΩ	23,0	25,9	23,9	28,1	28,6	34,2	17,6	26,9
$S^2(Ri)$, MΩ	659,9	721,5	1254,4	1312,2	1486,0	1056,0	423,7	1052
S(Ri), MΩ	25,7	26,9	35,4	36,2	38,5	32,5	20,6	32,4
K	24	23	15	21	17	26	24	
$\alpha(\Gamma)$	3,127	4,04	2,79	3,6	3,99	3,39	1,67	
$p(\Gamma)$	0,4	0,41	0,322	0,35	0,343	0,549	0,468	
$\lambda(\Gamma).10^{-9}$	0,68	2,02	2200	37,8	4,86	153,6	132200	
WT	41,5	61,0	72	473,3	285,5	111,7	42,1	
WK (dla P=0,95)	36,1	35,2	25,0	32,7	27,6	38,9	36,1	

W obliczeniach założono, że wartości rezystancji, nie mieszczące się w zakresie pomiarowym zastosowanego do badań miernika (0,01 do 100 MΩ), są równe odpowiednio 10 kΩ i 100 MΩ. Poszukiwanie funkcji gęstości oparto na uogólnionym rozkładzie gamma.

Przyjęto następujący opis uogólnionego rozkładu gamma:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leqslant 0 \\ \dfrac{\alpha . \lambda^{(p/\alpha)}}{\Gamma(p/\alpha)} . x^{p-1} . \exp(-\lambda . x^{\alpha}), & \text{dla } x \geqslant 0 \end{cases} \qquad (1)$$

gdzie:

$\alpha > 0$, $p > 0$, $\lambda > 0$

Γ - funkcja gamma określona wzorem:

$$\Gamma = \int_0^\infty x^{p-1} \exp(-x)dx. \tag{2}$$

Identyfikację parametrów α, p i λ przeprowadzono w następujący sposób: dla każdej próbki prostej wyliczono wartości estymatorów czterech momentów centralnych m_l (l = 1,2,3,4) według wzoru:

$$m_l = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} x_i^l, \tag{3}$$

gdzie:

N - liczność próbki,

x_i - kolejne realizacje (wyniki pomiarów).

Założono, że wartości estymatorów są równe ich wartościom oczekiwanym m_l, czyli równe wartościom momentów centralnych $m_l = m_l$. Korzystając z funkcji charakterystycznej uogólnionego rozkładu gamma można napisać

$$\bar{m} = \frac{\Gamma\left(\frac{l+p}{\alpha}\right)}{\lambda^{(l/p)}\,\Gamma(p/\alpha)}. \tag{4}$$

Porównując otrzymane z doświadczeń wartości momentów centralnych z momentami wyrażonymi według wzoru (4) dla określonych parametrów α, p, λ i, stosując kryterium minimum średniokwadratowego dla odległości między wartościami empirycznymi i teoretycznymi, wyznaczono wartości parametrów α, p, λ. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2. Korzystając z testu zgodności chi-kwadrat przeprowadzono porównanie rozkładu empirycznego z tak obliczonym rozkładem teoretycznym. Przedziały tworzono tak, by częstość empiryczna nie była mniejsza od 5. Wyniki testu - WT dla poszczególnych kopalń wraz z wartością krytyczną - WK testu chi-kwadrat określoną dla 95% przedziału ufności P przedstawiono w tabeli 2. Analiza obliczeń wskazuje, iż rozkład wartości rezystancji izolacji jest rozkładem o nieregularnym przebiegu, nie dającym się w pełni opisać znanymi funkcjami rozkładu.

4. ZAKOŃCZENIE

Przeprowadzone pomiary rezystancji izolacji pozwoliły na ustalenie dopuszczalnej wartości rezystancji izolacji w dołowych sieciach telekomunikacyjnych. Tak określona wartość dopuszczalna została uwzględniona w projekcie normy branżowej pt. "Kopalniane sieci teletechniczne. Parametry elektryczne linii kablowych. Wymagania.

Stosowanie miernika IMC-1 w warunkach kopalni wykazało, że przy rezystancji izolacji większej od kilku MΩ, otrzymuje się niepowtarzalne wyniki pomiarów. Zjawisko to wynika z wpływu napięć zakłóceń na proces przetwarzania analogowo-cyfrowego, przy obecności pojemności bocznikującej mierzoną rezystancję izolacji.

Producent miernika IMC-1 zaleca w przypadku pomiaru rezystancji izolacji długich torów telekomunikacyjnych czterokrotne wykonanie pomiaru, uzasadniając to koniecznością naładowania pojemności toru. W rzeczywistości, czas ładowania toru jest rzędu ułamka sekundy, a zakłócenia o małej amplitudzie wywołują bardzo duże uchyby pomiaru, co jest wywołane wpływem pojemności bocznikującej mierzonej rezystancji. Wielokrotne powtarzanie pomiarów nie powoduje osiągnięcia jakiejś ustalonej, powtarzalnej wartości rezystancji. Wrażliwość miernika IMC-1 na napięcie zakłóceń powoduje konieczność modernizacji układu przetwornika analogowo cyfrowego.

6. LITERATURA

[1] Černov V.A., Černova N.N.: Sachtnyje tielefonnyje linii svjazi i ich kompleksnoje ispolzovanije. Moskva, Izd. Niedra 1981.

[2] Wojaczek A.: Kompatybilność elektromagnetyczna łączności telefonicznej w technicznych warunkach środowiskowych podziemi kopalń. Praca doktorska. Politechnika Śląska 1986, (niepublikowana).

[3] BN-76/8984-17 Telekomunikacyjne sieci kablowe miejscowe. Ogólne wymagania i badania.

[4] BN-78/8984-18 Telekomunikacyjne linie kablowe dalekosiężne. Ogólne wymagania i badania.

Recenzent: Doc. dr inż. Witalij SKOROPACKI

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1987 r.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ШАХТНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Р е з ю м е

Правильная работа шахтных системов связи и системов контроля параметров безопастности шахты зависит от состояния шахтных линий связи. Сопротивление изоляции принадлежит к основным параметрам шахтных линий связи.

Было измерено сопротивление свыше 2000 пар в линиях связи в восьми польских угольных шахтах. Измерения были сделаны искробезопастным мегомметром ИМЦ-1 с пределом измерения 0,01 - 100 МОм. Результаты измерений были исследованы статистическими методами. Математическое ожидание сопротивления изоляции равно 29,6 МОм, а среднее стандартное отклонение равно 32,4 МОм.

Было исследовано совпадение эмпирического распределения сопротивления изоляции с обобщенным гамма распределением при помощи теста Хи-квадрат. Результаты теста были большие чем критическое значение теста Хи-квадрат для доверительного уровня 0,05. Распределение сопротивления изоляции является нерегулярным, сближонным к экспоненциальному распределению.

Эмпирические распределение сопротивления изоляции решило определить наименьшие значение сопротивления изоляции в подземной сети связи. В проекте стандарта предложено значение 1 МОм как наименьшие значение сопротивления изоляции в подземных сетях связи.

THE INVESTIGATION OF INSULATION RESISTANCE IN MINING COMMUNICATION LINES

S u m m a r y

Proper operation of mining communication and monitoring systems depends on the state of underground wire communication network. The insulation resistance belongs to most important electrical parameters of wire communication lines.

The resistance insulation of above 2000 lines in 8 polish coal deep mines has been measured. Measuring was done by the intrinsically safe insulation tester IMC-1 with measuring range from 0.01 to 100 MOhms. The results of measurements were tested by statistical methods. The average i insulation resistance is 29,6 MOhms, the standart deviation is 32,4 MOhms. As a model of the empirical distribution of the insulation resistance a generalized gamma distribution at first was accepted and tested by chi-square test. The results of test are greater than critical value of chi-square distribution on 0,05 significance level. The distribution of insulation resistance is an irregular one and is similar to exponential distribution. It allows to estimate the acceptable insulation resistance of wire lines in underground communication networks. The level of insulation resistance of underground communication lines equal to 1 MOhm was proposed in the draft of polish standart.