ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: GÓRNICTWO z. 133 Nr kol. 834

Winicjusz BORON

Centrum Naukowo-Produkcyjne EMAG
w Katowicach

KLASYFIKACJA ORAZ OCENA SKUTECZNOŚCI DZIAŁANIA ŚRODKÓW OCHRONY ZIEMNOZWARCIOWEJ W KOPALNIANYCH SIECIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH

Streszczenie. W artykule dokonano klasyfikacji stosowanych w górnictwie środków ochrony ziemnozwarciowej. Przeprowadzono analizę działania środków ochronnych oraz zaproponowano sposób liczbowej oceny skuteczności ich działania w zależności od napięcia znamionowego sieci. Analizę oraz ocenę skuteczności przeprowadzono z punktu widzenia ograniczenia zagrożenia rażeniowego, pożarowego i wybuchowego.

1. WSTĘP

Podstawowym sposobem ograniczania w podziemiach kopalń zagrożenia rażeniowego, pożarowego i wybuchowego, wynikającego z eksploatacji sieci elektroenergetycznych, jest stosowanie odpowiednich środków ochrony ziemnozwarciowej. Środki te powinny przede wszystkim minimalizować skutki uszkodzeń izolacji żył roboczych kabli i przewodów oponowych. Za szczególnie istotne, jak wynika z praktyki ruchu górniczego, uznać przy tym należy zmniejszenie prawdopodobieństwa wydostania się napięcia roboczego na zewnątrz oraz powstania wewnątrz kabla lub przewodu oponowego zwarcia międzyprzewodowego.

Środki ochrony ziemnozwarciowej stosowane w górnictwie różnią się budową i związaną z tym skutecznością działania. Zasadniczym celem niniejszego opracowania jest próba dokonania klasyfikacji omawianych środków oraz podanie sposobu oceny skuteczności ich działania.

2. STRUKTURA ŚRODKÓW OCHRONY ZIEMNOZWARCIOWEJ

Stosowane środki ochrony ziemnozwarciowej w ogólnym przypadku składają się z dwu następujących podstawowych elementów:

- kabel lub przewód oponowy o odpowiedniej konstrukcji,
- urządzenie kontrolno-ochronne działające na wyłączenie.

Wypadkowa skuteczność działania środków ochronnych zależy więc ściśle od współpracy obydwu elementów składowych.

Z punktu widzenia ochrony ziemnozwarciowej kable i przewody oponowe stosowane w podziemiach kopalń można podzielić na następujące grupy:

A - przewody oponowe nieekranowane oraz kable nieopencerzone bez powłoki metalowej,

B - kable nieopancerzone w powłoce metalowej, kable opancerzone oraz przewody oponowe z ekranem ogólnym,

C - kable i przewody oponowe z uziemionymi ekranami indywidualnymi żył roboczych,

D - kable i przewody oponowe z dwoma ekranami: ekranami indywidualnymi uziemionymi oraz ogólnym izolowanym od ziemi.

Urządzenia kontrolno-ochronne stanowią system zabezpieczeń o różnym stopniu działania ochronnego. Można tu wyróżnić następujące cztery grupy:

I - zabezpieczenia nadmiarowo-prądowe (ZNP).

II - ZNP i zabezpieczenia ziemnozwarciowe (ZZ) lub upływowe (ZU).

III - ZNP, ZZ lub ZU oraz układ kontroli stanu powłoki wewnętrznej i osłony zewnętrznej kabla lub przewodu oponowego (ZOZ).

Z teoretycznego punktu widzenia rozpatrywać można skuteczność działania struktur stanowiących kombinację wszystkich grup kabli i przewodów oponowych oraz urządzeń kontrolno-ochronnych (AI, AII, AIII, BI, BII, BIII, CI, CII, CIII, DI, DII, DIII). W praktyce analizę znacznie upraszcza przyjęcie założenia, że dla danej grupy A, B, C, D, zastosowane zostanie tylko takie urządzenie z grup I-III, które umożliwia realizację założonej funkcji ochronnej. Przyjęcie powyższego założenia zmniejsza liczbę struktur możliwych do stosowania do następujących kombinacji: AI, BI, AII, BII, CII, DIII.

3. ANALIZA SKUTECZNOŚCI DZIAŁANIA ŚRODKÓW OCHRONNYCH

Jak już wspomniano uprzednio, skuteczność działania środków ochronnych należy rozpatrywać z punktu widzenia ograniczania zagrożenia rażeniowego, pożarowego i wybuchowego. W ogólnym przypadku skuteczność te zależy od przyjętej struktury środków ochronnych oraz od napięcia znamionowego chronionej sieci. Należy przy tym wyraźnie zaznaczyć, że skuteczność działania struktur może być dla poszczególnych typów zagrożeń różna.

W kablu lub przewodzie oponowym pracującym w układzie 3-fazowym z izolowanym punktem gwiazdowym transformatora zasilającego można wyróżnić dwa zdarzenia awaryjne powodujące powstanie stanu zagrożenia. Są to:

Z_1 - zdarzenie polegające na wyrzucie łuku elektrycznego na zewnątrz wskutek zaistnienia zwarcia międzyprzewodowego,

Z_2 - zdarzenie polegające na powstaniu iskry elektrycznej (ew. łuku) lub rażenia wskutek wydostania się napięcia roboczego jednej fazy na zewnątrz kabla lub przewodu oponowego.

Zdarzenie Z_1 zawsze jest przyczyną powstania bezpośredniego zagrożenia pożarowego i wybuchowego, niezależnie od wartości napięcia znamionowego sieci. Natomiast zdarzenie Z_2 powoduje w sieciach do 1 kV powstanie głównie zagrożenia rażeniowego i wybuchowego, a w sieciach 6 kV dodatkowo ze względu na wartości prądów zwarcia z ziemią - zagrożenia pożarowego.

Skuteczność działania poszczególnych środków ochronnych należy więc rozpatrywać przede wszystkim z punktu widzenia ograniczenia skutków względnie wyeliminowania możliwości powstania omówionych zdarzeń awaryjnych Z_1 i Z_2.

Struktura AI

Każde zwarcie międzyprzewodowe jest przyczyną wyrzutu łuku elektrycznego na zewnątrz kabla lub przewodu oponowego (powstanie zdarzenia Z_1). Wynika to z faktu, że najmniejsze wartości czasu trwania przepływu prądu zwarciowego, przy których należy już liczyć się z możliwością wydostania się łuku elektrycznego lub iskier na zewnątrz, są z zasady wielokrotnie mniejsze od wartości czasów wyłączenia zwarcia przez zabezpieczenia nadmiarowo-prądowe.

Uszkodzenie izolacji pojedynczej żyły roboczej (np. wbicie drutu strzałowego w żyłę) z zasady jest przyczyną powstania zdarzenia Z_2.

Struktura BI

W zakresie prawdopodobieństwa powstania zdarzenia Z_1 skuteczność działania środka ochronnego o tej strukturze jest równie mała jak w przypadku AI. Prawdopodobieństwo powstania zdarzenie Z_2 jest mniejsze (w stosunku do AI) wskutek stosowania w sieciach górniczych systemu uziemiających przewodów ochronnych połączonego bezpośrednio z powłoką metalową lub pancerzem kabli względnie z ekranem ogólnym przewodu oponowego. Stwierdzenie to dotyczy jednak wyłącznie zagrożenia rażeniowego i pożarowego w sieciach do 1 kV; w sieciach 6 kV zagrożenia te są w zasadzie identyczne jak w AI. Również zagrożenie wybuchowe zarówno w sieciach do 1 kV, jak i 6 kV nie ulega praktycznie żadnemu zmniejszeniu.

Struktura AII

W przypadku tym zostają ograniczone przede wszystkim skutki zdarzenia Z_2 dla sieci do 1 kV z punktu widzenia zagrożenia rażeniowego oraz pożarowego. Wynika to z faktu, że w sieciach do 1 kV prądy zwarcia z ziemią są stosunkowo małe, a czas ich przepływu jest ograniczony przez zadziała-

nie zabezpieczeń upływowych lub ziemnozwarciowych. W mniejszym stopniu stwierdzenie to dotyczy sieci 6 kV.

Struktura BII

Prawdopodobieństwo wydostania się napięcia roboczego na zewnątrz kabla lub przewodu oponowego jest zdarzeniem mało prawdopodobnym, przy założeniu że powłoki metalowe lub pancerze w kablach względnie ekrany ogólne w przewodach oponowych są uziemione. Każde uszkodzenie izolacji pojedynczej żyły roboczej połączone z wydostaniem się napięcia roboczego na zewnątrz jest natychmiast wyłączone przez zabezpieczenie upływowe lub ziemnozwarciowe. Środki ochronne o tej strukturze charakteryzują się wysoką skutecznością w zakresie ograniczenia zagrożenia rażeniowego w sieciach do 1 kV oraz średnią w zakresie zagrożeń pozostałych. Jedynie zagrożenie wybuchowe w sieciach do 1 kV i 6 kV pozostaje nadal na stosunkowo wysokim poziomie.

Struktura CII

Środki ochronne oparte na strukturze CII zapewniają pełną realizację idei "wyprzedzającego wyłączenia". Wyeliminowana zostaje praktycznie możliwość wydostania się napięcia roboczego na zewnątrz oraz powstanie zwarcia międzyfazowego wewnątrz kabla lub przewodu oponowego. Zdarzenia Z_1 i Z_2 są zdarzeniami bardzo mało prawdopodobnymi. W sieciach do 1 kV praktycznie zlikwidowane, a w sieciach 6 kV wyraźnie zmniejszone zostaje zagrożenie rażeniowe i pożarowe. Poprawa następuje również w zakresie zmniejszenia zagrożenia wybuchowego, chociaż w dalszym ciągu pozostaje ono (zwłaszcza w sieciach 6 kV) na stosunkowo wysokim poziomie.

Struktura DIII

Przypadek ten, zachowując wszystkie cechy przypadku CII, dodatkowo wprowadza kontrolę stanu osłony zewnętrznej oraz powłoki wewnętrznej kabli lub przewodów oponowych. W przypadku uszkodzenia ww. elementów następuje automatyczne wyłączenie napięcia. Zdarzenia Z_1 i Z_2 (w szczególności wywołane najczęściej występującymi w praktyce górniczej uszkodzeniami takimi, jak zgniecenie lub zmiażdżenie) uznać można za zdarzenia niemożliwe. Środki ochronne o tej strukturze charakteryzują się bardzo wysoką skutecznością w zakresie wszystkich zagrożeń, niezależnie od napięcia znamionowego sieci i umożliwiają przez to osiągnięcie najwyższego (możliwego przy obecnym stanie techniki) bezpieczeństwa eksploatacji.

Na podstawie przeprowadzonych wyżej rozważań i dokonaniu analizy zestawiono tablicę 1, w której ujęto syntetycznie skuteczność działania przyjętych środków ochronnych dla poszczególnych typów zagrożeń w zależności od napięcia znamionowego sieci.

Tablica 1

Skuteczność działania środków ochronnych

Rodzaj zagrożenia / Napięcie znamionowe sieci	Struktura środków ochronnych	Skuteczność działania					
		AI	BI	AII	BII	CII	DIII
Rażeniowe	do 1 kV	1	1,5	3	4	5	5
	6 kV	1	1	2	3	4	5
Pożarowe	do 1 kV	1	1,5	3	3	5	5
	6 kV	1	1	2	3	4	5
Wybuchowe	do 1 kV	1	1	2	2	4	5
	6 kV	1	1	2	2	3	5
Skuteczność wypadkowa	do 1 kV	3	4	8	9	14	15
	6 kV	3	3	6	8	11	15

Dla oceny skuteczności działania stosowanych środków ochronnych przyjęto skalę 5-punktową. Wartości liczbowe skuteczności są wartościami umownymi wg następującej zasady:

Skuteczność działania:	liczba punktów:
bardzo mała	1
niska	2
średnia	3
duża	4
bardzo duża	5

Tablicę utworzono przy przyjęciu następujących ważniejszych założeń:

1. Ocena skuteczności działania środków ochronnych dotyczy wyłącznie kabli i przewodów oponowych; w tablicy nie uwzględniono miejsc łączeń, wprowadzeń do urządzeń elektrycznych oraz innych elementów sieci kopalnianych.

2. Każde zwarcie międzyprzewodowe wewnątrz kabli lub przewodów oponowych powoduje wyrzut łuku elektrycznego lub iskier na zewnątrz.

3. W sieci do 1 kV zdarzenie polegające na wydostaniu się napięcia roboczego na zewnątrz (np. wbicie drutu strzałowego) jest źródłem jedynie zagrożenia rażeniowego i wybuchowego nie powodując przy tym bezpośredniego zagrożenia pożarowego.

4. Urządzenie kontrolno-ochronne kontrolujące stan osłony zewnętrznej i powłoki wewnętrznej jest wykonane jako iskrobezpieczne.

5. Zwarcia z ziemią w sieciach 6 kV (nawet przy stosowaniu zabezpieczeń ziemnozwarciowych) mogą być przyczyną wyrzutu łuku elektrycznego lub iskier na zewnątrz.

6. System uziemiających przewodów ochronnych jest wykonany zgodnie z obowiązującymi przepisami.

W rubryce "Skuteczność wypadkowa" tablicy podano sumę punktów określającą wypadkową skuteczność środków ochronnych o danej strukturze dla wszystkich rozpatrywanych zagrożeń, przy różnych napięciach znamionowych sieci.

Na podstawie danych zawartych w tablicy sformułować można następujące ważniejsze wnioski i uwagi dotyczące skuteczności działania poszczególnych środków ochronnych:

1. W kopalnianych sieciach elektroenergetycznych konieczne jest stosowanie zabezpieczeń upływowych i ziemnozwarciowych. Wprowadzenie tego typu zabezpieczeń w sposób radykalny poprawia bezpieczeństwo eksploatacji (2÷3-krotnie większa skuteczność działania struktur AII i BII w stosunku do struktur AI i BI).

2. Stosowanie środków ochronnych o strukturze BII (w warunkach krajowych sprowadza się to praktycznie do układu, w którym stosowane są kable nieekranowane opancerzone współpracujące z zabezpieczeniem upływowym lub ziemnozwarciowym) jest bardziej uzasadnione względami bezpieczeństwa dla sieci 6 kV (skuteczność większa o ponad 30% w stosunku do układu AII) niż dla sieci do 1 kV (skuteczność większa jedynie o ok. 10%).

3. Stan bezpieczeństwa eksploatacji sieci ulega zdecydowanej poprawie przez wprowadzenie zasady stosowania kabli i przewodów oponowych z ekranami indywidualnymi żył roboczych współpracujących z zabezpieczeniami upływowymi lub ziemnozwarciowymi (struktura CII). W stosunku do środków o strukturze AII skuteczność jest większa o 75% dla sieci do 1 kV oraz o ponad 80% dla sieci 6 kV.

4. Największy możliwy do uzyskania przy obecnie będących do dyspozycji środkach technicznych stopień bezpieczeństwa eksploatacji stwarza stosowanie środków ochronnych o strukturze DIII. Zaznaczyć należy, że stosowanie tych środków jest uzasadnione wyłącznie dla sieci 6 kV (zwiększenie skuteczności w stosunku do CII o ok. 36%). Dla sieci do 1 kV zwiększenie skuteczności jest w zasadzie minimalne (ok. 7%). Jednocześnie podkreślenia wymaga fakt, że stosowanie środków o tej strukturze pociąga za sobą znaczne zwiększenie nakładów finansowych (duży koszt kabli z dwoma ekranami) oraz zwiększenie liczby wyłączeń awaryjnych nieuzasadnionych w sieciach do 1 kV względem bezpieczeństwa.

5. Z analizy danych zawartych w tablicy wynika, że skuteczność działania środków ochronnych o tej samej strukturze jest prawie zawsze (z wyjątkiem AI i DIII) większa dla sieci do 1 kV. Wynika z tego celowość stosowania w sieciach 6 kV środków ochronnych wyższego rzędu. Przykładowo: dla uzyskania w przybliżeniu tego samego stopnia bezpieczeństwa eksploa-

tacji (skuteczności działania środków ochronnych) w sieci do 1 kV i 6 kV wystarczające jest stosowanie w sieci do 1 kV przewodów z indywidualnymi ekranami żył roboczych oraz zabezpieczeń upływowych (struktura CII), natomiast w sieci 6 kV konieczne jest w tym przypadku zastosowanie przewodów z dwoma ekranami współpracujących z zabezpieczaniem ziemnozwarciowym oraz układem kontroli stanu osłony zewnętrznej i powłoki wewnętrznej (struktura DIII).

4. UWAGI KOŃCOWE

Dla osiągnięcia odpowiednio wysokiego stopnia bezpieczeństwa eksploatacji dołowych sieci elektroenergetycznych konieczne jest stosowanie odpowiednich środków ochronnych. Środki te powinny być dobierane do konkretnych warunków eksploatacji. Prócz względów bezpieczeństwa należy przy tym uwzględniać również wymagania pewności ruchowej oraz czynniki ekonomiczne, a w szczególności koszt kabli i przewodów oraz instalacji ochronnych. W ogólnym przypadku przy doborze środków należy kierować się (prócz skuteczności ich działania określonej w tablicy 1) następującymi czynnikami:

- kategoria zagrożenia metanowego pola,
- stopień niebezpieczeństwa wybuchu wyrobiska,
- napięcie znamionowe instalacji,
- stopień narażeń mechenicznych,
- inne czynniki wpływające na bezpieczeństwo eksploatacji (np. skuteczność przewietrzania, stopień wilgotności pomieszczeń itp.).

Konieczne jest przy tym przestrzeganie zasady różnicowania środków ochronnych w zależności od wyżej wymienionych czynników oraz określonej skuteczności ich działania.

Wymaga to każdorazowo przeprowadzenia analizy i optymalizacji doboru środków ochronnych do danych warunków środowiskowych i eksploatacyjnych, w których użytkowane będą kable i przewody oponowe.

LITERATURA

[1] Krasucki F.: Problemy niezawodności oraz bezpieczeństwa elektryfikacji i automatyzacji podziemi kopalń. Zeszyt Naukowy nr 328. Politechnika Śląska, Gliwice 1972.

[2] Boron W., Rabsztyn J., Wnuk A.: Górnicze kable i przewody oponowe. Naprawa i łączenie górniczych kabli i przewodów oponowych. Materiały szkoleniowe. ZO SITG, Katowice 1981.

[3] Boron W.: Zasady współpracy kabli ekranowanych z urządzeniami ochrony ziemnozwarciowej w kopalnianych sieciach elektroenergetycznych 6000 V. Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie nr 2/55, 1982.

[4] Boron W., Bożek W.: Zabezpieczenia elektroenergetycznych sieci kopalnianych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 1, 1980.

[5] Bożek W.: Rozwój zabezpieczeń elektroenergetycznych sieci kopalnianych. Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie nr 1/50, 1981.
[6] Cables pour l'equipment des mines. Wyd. firmy SILEC.
[7] D. Mc Allister: Electric cables handbook. Granada London 1982.
[8] Heinhold L.: Power cables and their application. Wyd. firmy SIEMENS.

Recenzent: Prof. Władysław GLUZIŃSKI

Wpłynęło do Redakcji we wrześniu 1984 r.

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВИОСТИ ДЕЙСТВИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В ШАХТНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Р е з ю м е

В работе проведена классификация применяемых в горном деле средств защиты от замыкания на землю. Дан анализ средств защиты а также предложен способ числовой оценки эффективности их действия в зависимости от номинального напряжения в сети. Анализ а также оценку эффективности проведено с точки зрения ограниченности угрозы поражения пожарного и взрывного.

THE CLASSIFICATION AND ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF EARTH SHORTING SAFETY MEASURES IN MINE POWER NETWORKS

S u m m a r y

A classification of earth shorting safety measures used in mining has been presented in the paper. An analysis of the effect of safety measures has been made and a method of numerical assessment of their effectiveness has been suggested, depending on the rated voltage of the network. The analysis and the assessment of effectiveness have been conducted from the point of view of reducing electrocution, fire and explosion hazards.