A.G. MNUKHIN
I.V. IORDANOW
Ukraińska Narodowa Akademia Nauk

Zwiększenie bezpieczeństwa wykorzystania energii elektrycznej w kopalniach węgla

W pracy przedstawiono możliwości skonstruowania urządzenia wyłączeniowego o bardzo dużej prędkości działania. Urządzenie przeznaczone jest do pracy w niebezpiecznych kopalniach węgla, w których występują zagrożenia gazowe i pyłowe. Efektem wdrożenia urządzenia będzie zmniejszenie liczby wypadków i awarii w zakładach przemysłu węglowego.

słowa kluczowe: energia elektryczna, zasilanie energią elektryczną, kopalnia, wybuch, wyłączanie, ognisko zapalne, zwarcie, stacja magnetyczna.

1. WSTĘP

Zapewnienie bezpieczeństwa stosowania energii elektrycznej w systemach zasilania dedykowanych dla przemysłu wydobywczego, w którym występują zagrożenia związane z wybuchem gazów lub pyłu [13], tradycyjnie na całym świecie opiera się na realizacji następujących dwóch kierunków technicznych: okresowe wykonanie czynności przeglądowych (remontowych) w celu utrzymania w stanie prawidłowym wszystkich urządzeń elektrotechnicznych (szczególna uwagę zwraca się na izolację elektryczną urządzeń) oraz odłączenie uszkodzonego odcinka sieci w jak najkrótszym czasie. Koncepcja ta odpowiada problemowi związanemu z zapewnieniem bezpieczeństwa w sieciach elektroenergetycznych ogólnego przeznaczenia. W przypadku zakładów produkcyjnych zagrożonych wybuchem – zwłaszcza kopalń – jest jednak niewystarczająca. Po pierwsze, wskutek przyczyn obiektywnych (m.in. mobilności sprzętu górniczego, wysokiej wilgotności i stopnia zapylenia środowiska, złożoności obsługi sprzętu elektrotechnicznego) na razie nie udaje się osiągnąć wysokiej jakości stabilnego i bezpiecznego funkcjonowania systemów zasilania energią elektryczną w kopalniach. Po drugie, odłączenie uszkodzonego elementu przy użyciu przyrządu łączeniowego w wykonaniu tradycyjnym (napowietrznego, gazowego, próżniowego), z uwzględnieniem czasu zadziałania zabezpieczenia prądowego następuje w ciągu 200 ms [1], w tym czasie w przypadku zagazowania atmosfery w punkcie awaryjnym nieuchronnie nastąpi eksplozja ze wszystkimi wynikającymi stąd konsekwencjami [10]. W związku z tym czas bezpiecznego odłączenia energii elektrycznej z odcinka awaryjnego z odpowiednim współczynnikiem niezawodności będzie wynosił nie więcej niż 300-400 mikrosekund [3]. Z tego powodu konieczne jest opracowanie nowych urządzeń umożliwiających bezpieczne wyłączenie energii elektrycznej w krótkim czasie.

Celem podjętych badań było zwiększenie bezpieczeństwa systemów zasilania energią elektryczną kopalń węgla wszystkich kategorii ze względu na zawartości substancji gazowych lub pyłowych. Uzyskano to realizując następujące zadania:

- Skonstruowano wybuchowe urządzenie wyłączające o bardzo dużej prędkości działania (czas wyłączenia do 100 mikrosekund).
- Skonstruowano nowy trójfazowy przyrząd łączeniowy.
- Przedstawiono koncepcję stacji magnetycznej nowej generacji.

2. DEFINICJA PROBLEMU

Przy wysokich wymaganiach dotyczących szybkości działania urządzenia wyłączającego, zabezpieczenie przed wybuchem w przypadku wystąpienia ogniska zapalnego w środowisku, gdzie występuje mieszanina metanowo-powietrzna, w zasadzie nie jest

możliwe do wykonania. Zabiegi organizacyjne i techniczne realizowane w przemyśle górniczym na całym świecie, pozwalają jedynie zmniejszyć prawdopodobieństwo zbiegnięcia się wydarzeń „zagazowania" i „powstania źródła zapłonu".

Tworzenie i praktyczna realizacja koncepcji, która pozwala zapewnić bezpieczne korzystanie z energii elektrycznej bezpośrednio w środowiskach zagrożonych wybuchem, w tym w kopalniach gazowych, jest aktualnym problemem naukowym i gospodarczym.

Wiadomo [4-6], że wcześniejsze próby utworzenia przyrządu łączeniowego o szybkim działaniu, które opierały się na wykorzystaniu tradycyjnych rodzajów materiałów wybuchowych, na przykład trotylu (zasada „śruby wybuchowej"), okazały się nieskuteczne, gdyż: nie jest możliwe przestrzeganie zasad bezpiecznego stosowania (przechowywania) materiałów wybuchowych w warunkach szeroko pojętej eksploatacji przemysłowe.

Obecnie, zarówno w przemyśle górniczym [2,7], jak i w innych gałęziach przemysłu [8,9], rozpowszechniły się nowe, bezpieczne i ekologicznie czyste technologie, których podstawą jest uzyskanie efektu elektrohydraulicznego. Realizacja tych ekologicznie czystych procesów w różnych gałęziach przemysłu pozwoliła podejść do problemu utworzenia całego zespołu elektrycznych urządzeń przeciwwybuchowych (zabezpieczających przed wybuchem).

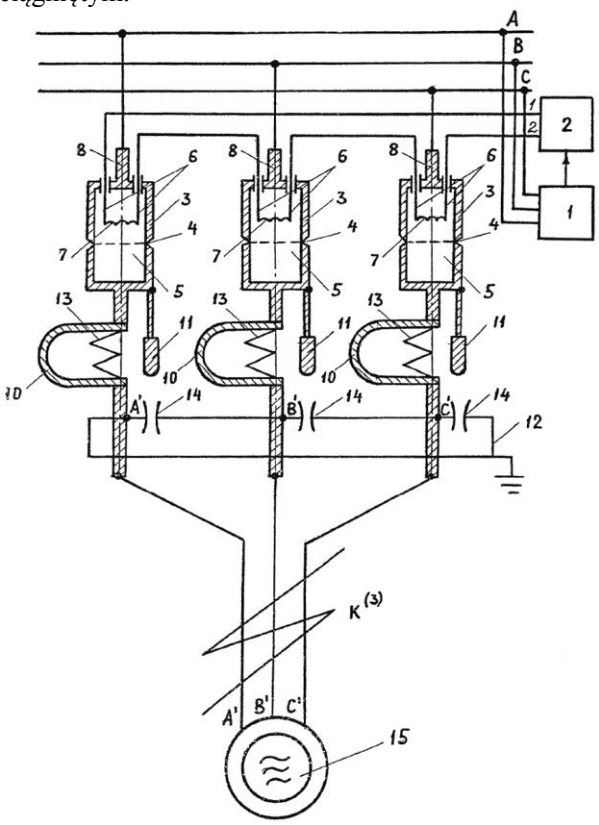
3. WYKORZYSTANIE ELEMENTÓW ELEKTROHYDRAULICZNYCH W CELU ZWIĘKSZENIA BEZPIECZEŃSTWA WYKORZYSTANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W KOPALNIACH

Zrealizowane prace konstrukcyjne wykonano w następującej kolejności. Głównym elementem umożliwiającym realizację założonych celów jest urządzenie oddzielające (zawór odcinający, zamykający [11], który w następnej kolejności będzie połączony w synchroniczny układ trójfazowy (o synchronicznym zadziałaniu), który posiada równocześnie działający trójfazowy mechaniczny układ zmniejszający napięcie generowane przez obciążenie, jeżeli tym obciążeniem jest silnik elektryczny (rys. 1) [12].

Urządzenie łączeniowe składa się z zespołu szybkiego zabezpieczenia nadmiarowo-prądowego 1 podłączonego do sieci trójfazowej, generatora prądów udarowych instalacji elektrohydraulicznej 2 połączonego z bezpiecznikami 3, wykonanymi w postaci drążonych obudów z podtoczeniem pierścieniowym 4, wypełnionych cieczą dielektryczną 5.

Każdy bezpiecznik zainstalowany w dowolnej z trzech faz sieci posiada parę elektrod 6. Elektrody umieszczone są w obudowie, końce tych elektrod są połączone przewodem elektrycznym 7. Drugie końce elektrod znajdujące się poza obudową są połączone szeregowo i podłączone do wyjść *1* i *2* generatora 2. Zacisk sztywny 8 każdego bezpiecznika jest podłączony do sieci zasilającej prądu przemiennego, tzn. do faz *A, B, C*, lub prądu stałego (wtedy wymagane są jedynie dwa bezpieczniki). Zacisk sztywny 9 stykający się z obudową bezpiecznika 3 jest wykonany z dwóch części, połączonych ze sobą elastycznym przewodem 10. Zacisk ten podłączony jest do sieci chronionej: punkty A^1, B^1 i C^1. Dolna część wszystkich komór 3 jest wyposażona w zwierniki 11 o styku ślizgowym (nożowym), które zapewniają połączenie obwodu 12 ziemnozwarciowego i jego zamocowanie sprężynami 13 za pomocą pary stacjonarnych styków 14.

Rysunek 1 przedstawia również silnik elektryczny 15 i punkt alarmowy $K^{(3)}$. Sprężyny 13, które łączą z pominięciem elastycznego przewodu 10 dwie części zacisku sztywnego 9, znajdują się w stanie rozciągniętym.



Rys. 1. Schemat zasadniczy urządzenia zabezpieczającego

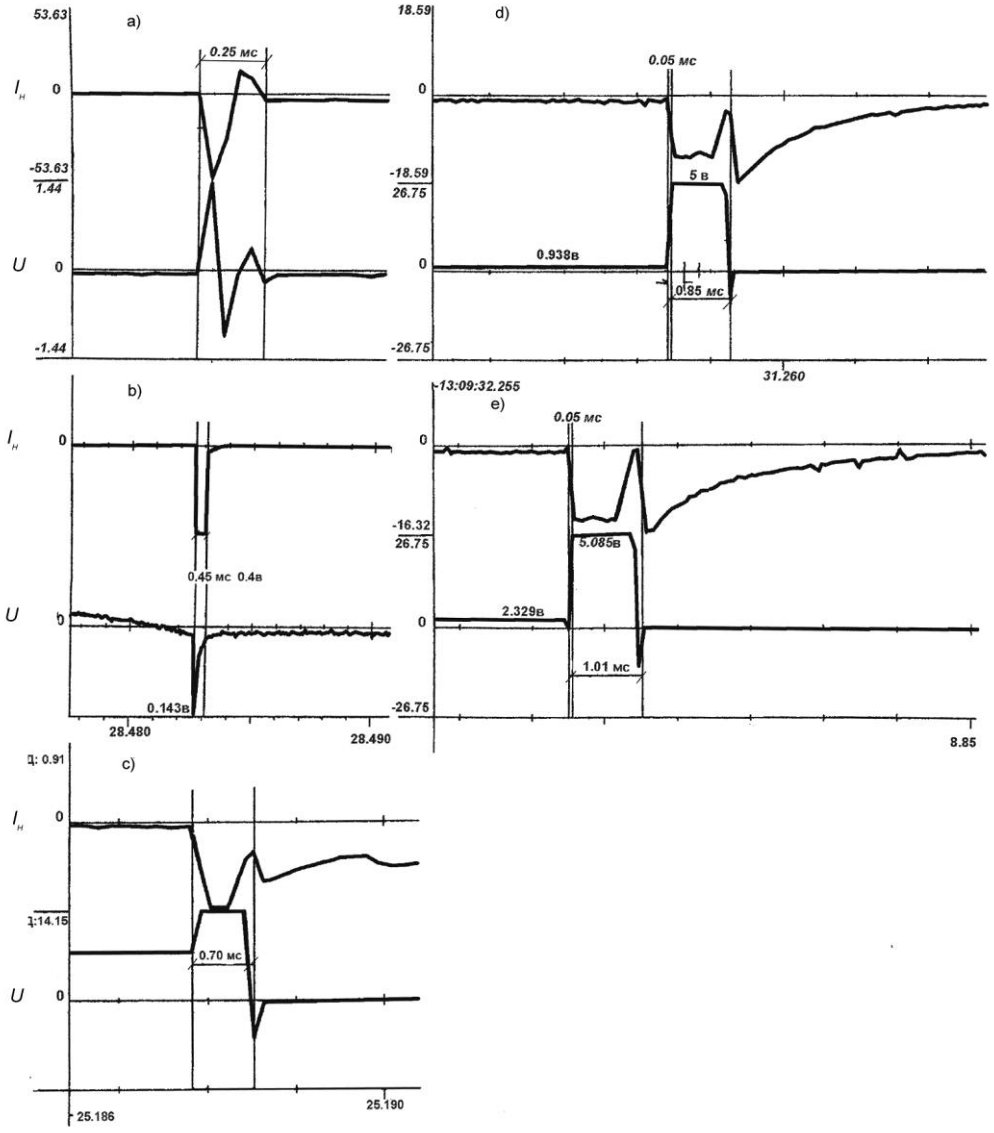
W przypadku powstania zwarcia w sieci chronionej (punkt $K^{(3)}$) wzrasta prąd w sieci zasilającej A, B, C, wskutek czego włącza się szybko działające zabezpieczenie 1, które wysyła impuls uruchamiający do generatora 2. Generator wysyła impuls prądowy do połączonych szeregowo przewodów 7, umieszczonych w cieczy dielektrycznej wewnątrz bezpieczników 3.

Następnie podczas jednoczesnego przepalania się zwierających przewodów 7 następuje gwałtowny wzrost ciśnienia wewnątrz obudowy bezpieczników 3, wskutek czego następuje przerwanie na podtoczeniach 4. Dzięki nabytej energii kinetycznej dolna część bezpiecznika ze zwiernikiem 11, która jest połączona elastycznym przewodem 10 z przełączeniem, z dużą prędkością wchodzi do styków stacjonarnych 14 (bez drgań), tworząc obwód 12 uziemienia.

Utrzymanie zwierników 11 w stykach stacjonarnych 14 oraz zapewnienie niezawodnego styku odbywa się za pomocą sprężyny 13. Tak więc, prądy ewentualnego zasilania dodatkowego pochodzące od obracającego się silnika 15, wskutek zwierania uszkodzonego punktu są zablokowane przez obwód 12. Parametry (materiał, średnica, oporność) przewodów 7 są tak dobrane, że przewody spalają się prawie jednocześnie, zapewniając efekt elektrohydrauliczny w małym zakresie.

Zastosowanie proponowanego urządzenia do wyłączania ochronnego sieci elektrycznych obiektów produkcyjnych zagrożonych wybuchem pozwala nie tylko wykonać szybkie odłączenie uszkodzonego odcinka, ale również przeprowadzić jego zwieranie, zapewniając tym samym wyłączenie zasilania dodatkowego pochodzącego od obracającego się silnika elektrycznego

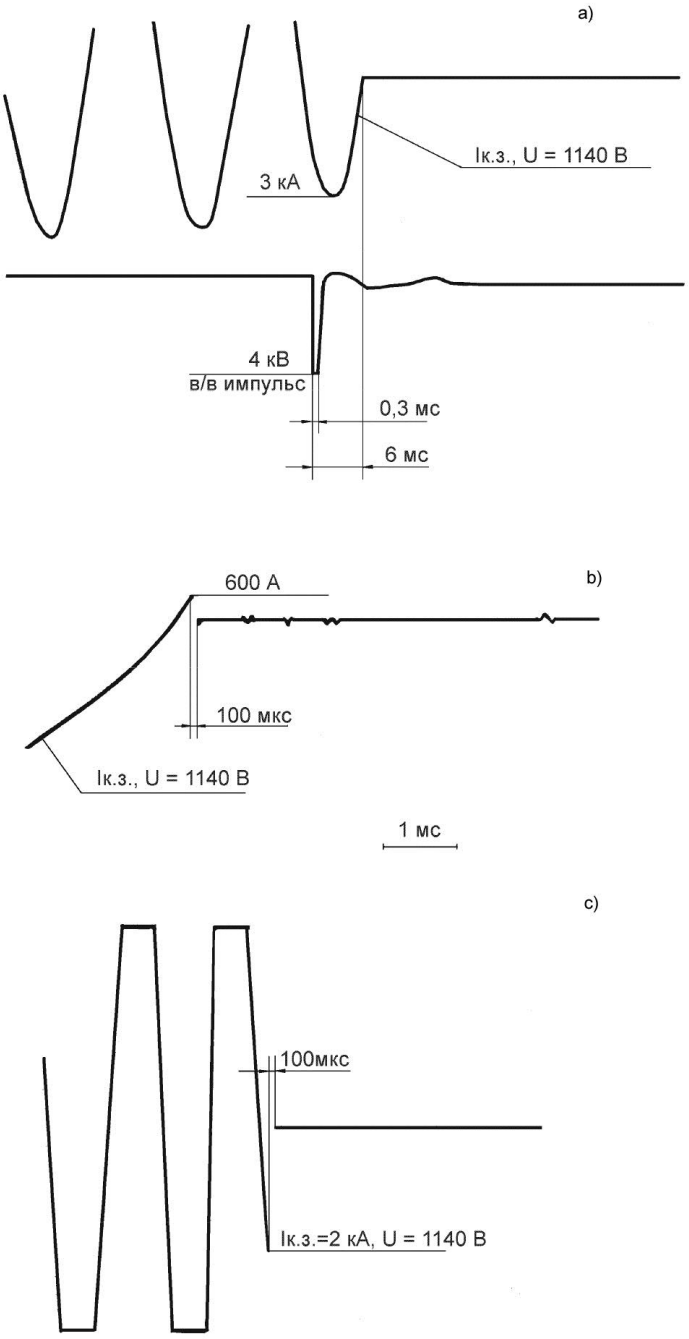
Oscylogramy wyłączenia prądów obciążeniowych za pomocą urządzenia jednofazowego pokazano na rysunku 2. Analizując niniejszy rysunek można ustalić, że czas wyłączania prądów obciążeniowych za pomocą elektrycznego urządzenia wybuchowego w każdym przypadku mieści się w zakresie milisekundowym (od 0,25 do 1,01 ms). Podczas stosowania tego urządzenia w celu zabezpieczenia sieci elektrycznej w trybie awaryjnym (wyłączanie prądów zwarciowych) czas wyłączania ochronnego nie przekracza 100 ms (Rys. 3).



Rys. 2. Typowe oscylogramy wyłączania prądu zwarciowego w ciągu 250 mikrosekund (a), 450 mikrosekund (b), 700 mikrosekund (c), 850 mikrosekund (d) i 1010 mikrosekund (e)

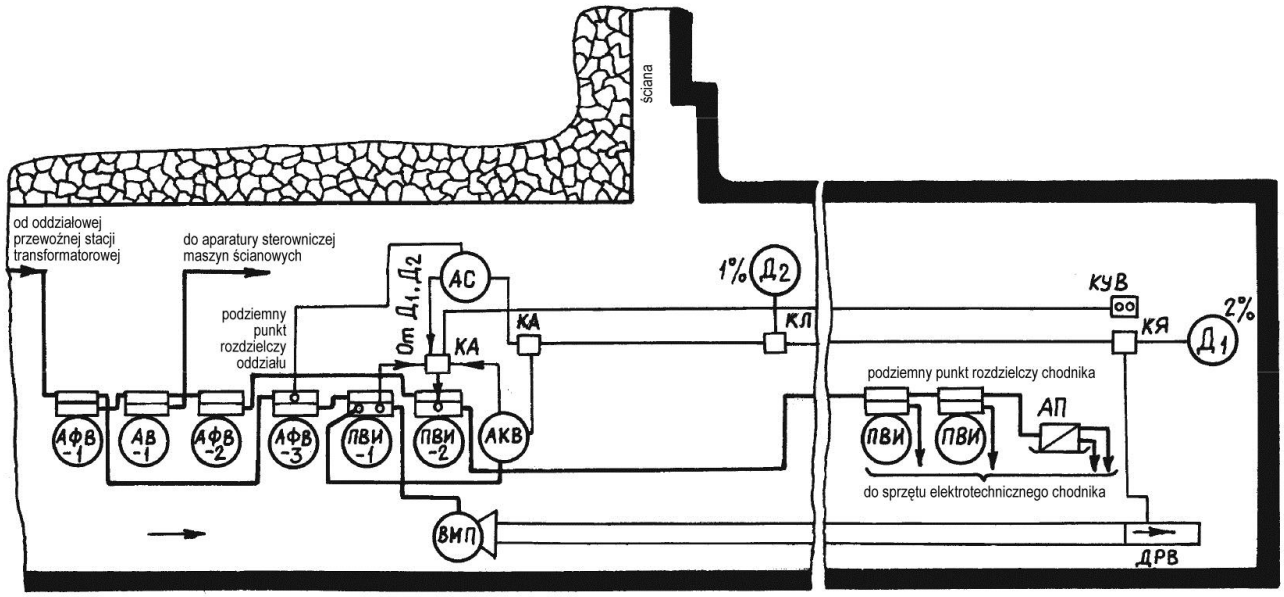
Prezentowane urządzenie można wykorzystać w większym systemie umożliwiającym awaryjne wyłączanie zagrożonych rejonów kopalni.

Typowy schemat zasilania energią elektryczną chodnika transportowego i rozmieszczenia na nim sprzętu elektrotechnicznego przedstawiono na rysunku 4. Z rysunku wynika, że grupa aparatury rozruchowej umieszczonej w podziemnym punkcie rozdzielczym oddziału może być z powodzeniem zastąpiona przez stację nowej generacji (Rys. 5), która wykorzystuje ekologicznie czyste urządzenia ochronne, skonstruowana na podstawie szybko działających elektrohydraulicznych bezpieczników wybuchowych (EGDP-1, EGDP-2, EGDP-3 i EGDP-4).

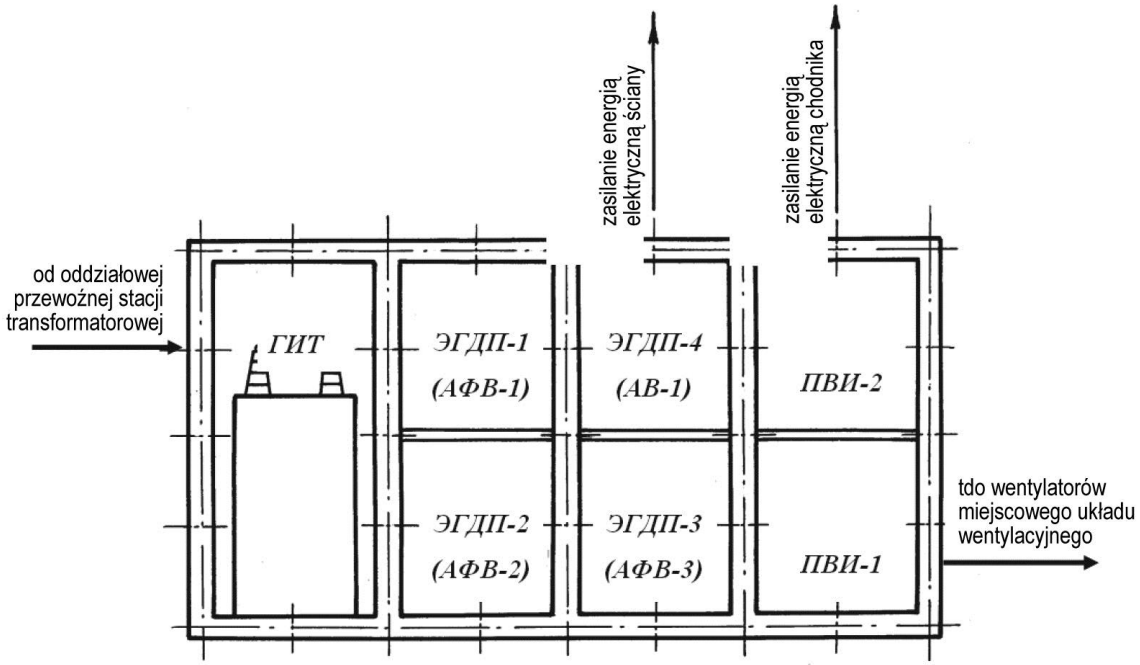


Rys. 3. Oscylogramy wyłączania prądów zwarciowych, których wartość wynosi 3 kA (a), 600 A (b) i 2 kA (c)

Włączając wspólny generator prądów impulsowych stacja powinna zapewniać niezależne działanie wszystkich czterech szybko działających urządzeń zabezpieczających, które pełnią funkcję automatycznych wyłączników AFW-1, AFW-2, AFW-3, AW-1



Rys. 4. Typowy schemat zasilania energią elektryczną chodnika transportowego i rozmieszczenia sprzętu elektrotechnicznego



Rys. 5. Stacja magnetyczna nowej generacji utworzona na podstawie szybko działających elektrohydraulicznych ogniw wybuchowych

4. WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych badań zostało skonstruowane urządzenie wybuchowe o bardzo dużej prędkości działania, wykonane na bazie elementów elektrohydraulicznych. Urządzenie to umożliwia wyłączenie uszkodzonego odcinka sieci zanim dojdzie do zapalenia otaczającego środowiska.

Na podstawie wymienionego wyżej urządzenia został opracowany trójfazowy przyrząd łączeniowy nowej generacji. Wykonana praca umożliwiła stworzenie koncepcji przeciwwybuchowej stacji magnetycznej składającej się z nowych elementów. Koncepcja ta pozwala znaczącą poprawę bezpieczeństwa podziemnego systemu zasilania energią elektryczną kopalń węgla wszystkich kategorii.

Literatura

1. Akty normatywno-prawne dotyczące ochrony pracy (Ukraina) NPAOP (10.1-1.01-05). Zasady bezpieczeństwa w kopalniach węgla kamiennego 2005, str. 398. (1)
2. Kolesow O.A., Mnukhin A.G., Wajnsztejn L.A., Szewczenko B.D., Olchowiczenko W.A., Jemieljanienko V.I.: Badanie możliwości zwiększenia efektywności hydrodynamicznego oddziaływania na serię węglonośną poprzez zastosowanie efektu elektrohydraulicznego. Materiały konferencyjne V Konferencji Naukowo-Technicznej. Mikołajów [Nikołajew], 1992, str. 8-10.
3. Kołosiuk W.P., Tkaczuk S.P., Ichno S.A.: Bezpieczeństwo przeciwwybuchowe i pożarowe sprzętu górniczego. Osnowa 2000, str. 694.
4. Korolkow W.L., Dacenko W.A.: Szymkiewicz G.J. Stosowanie przełącznika wybuchowego w celu ograniczenia prądu. Elektronika przemysłowa 7, 1979, str. 33-35.
5. Korolkow W.L., Siwkow A.A.: Ograniczenie przepięć w przełączniku wybuchowym. EP - Urządzenia niskiego napięcia 1979.
6. Korolkow W.L., Dacenko W.A.: Ochrona sieci elektroenergetycznych przy użyciu przełącznika wybuchowego 0,4 kW. Wiadomości WUZow – Energetyka 11, 1977, str. 113-117.
7. Mnukhin A.G. Zastosowanie elektrohydraulicznych technologii w przemyśle węglowym podczas likwidacji kopalń. Materiały z seminarium międzynarodowego. Doświadczenie w likwidacji przedsiębiorstw nieperspektywicznych na Ukrainie, w Federacji Rosyjskiej i Republice Kazachstanu. Donieck 2002, str. 117-118.
8. Mnukhin A.G., Briuchanow A.M., Goroszko I.P., Panczenko N.I., Riedia W.N.: Zastosowanie technologii wyładowczo-impulsowej w celu przywrócenia zdolności przepustowej magistrali wodociągowej w dużych przedsiębiorstwach metalurgicznych. Metale i odlewy Ukrainy 6, 2003, str. 49-51.
9. Mnukhin A.G., Mnukhin W.A.: Urządzenie do oczyszczania wewnętrznych powierzchni rur wodociągowych w przedsiębiorstwach metalurgicznych. Zbiór prac naukowych Narodowego Uniwersytetu Górniczego 12, T.2, Dniepropietrowsk 2003, str. 203-205.
10. Mnukhin A.G., Briuchanow A.M., Mufiel L.A., Goroszko I.P., Iordanow I.W., Gromowoj N.A.: Urządzenie zabezpieczające przed prądem zwarciowym. Patent Ukrainy 29361. Biuletyn 1, 2008.
11. Mnukhin A.G., Briuchanow A.M., Mufiel L.A., Goroszko I.P., Iordanow I.W., Gromowoj N.A: Urządzenie służące do wyłączania ochronnego w obwodach elektrycznych obiektów produkcyjnych zagrożonych wybuchem. Patent Ukrainy 38871. Biuletyn 2, 2009.
12. Rozłowskij A.I., Naukowe podstawy techniki bezpieczeństwa przeciwwybuchowego podczas pracy z gazami i oparami palnymi. Chemia, 1972, str. 368.
13. Trenczek S.: Poziom potencjalnego niebezpieczeństwa w rejonach eksploatacyjnych kopalń. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 8, 2010, str. 30-38.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.