

С.И. ДЖАНШИЕВ

В.Н. КОСТИН

Narodowy Uniwersytet Zasobów Mineralnych-Surowcowych "Gornyj", Rosja

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Россия

# Ochrona przekaźnikowa i automatyka jako podsystem automatycznego układu sterowania [ASU] zasilaniem elektrycznym kopalni węgla kamiennego

## Релейная защита и автоматика как подсистема АСУ электроснабжением угольной шахты

*Artykuł omawia opracowaną selektywną ochronę bez opóźnienia przed zwarciami w sieci kablowej podziemnej części kopalni węglowej oraz algorytmy scentralizowanej automatyki jako podsystem ASU sterowania zasilaniem elektrycznym kopalni węglowej.*

*Разработаны селективная без выдержки времени защита от коротких замыканий в кабельной сети подземной части угольной шахты и алгоритмы централизованной автоматике как подсистема АСУ электроснабжением угольной шахты.*

### 1. WPROWADZENIE

---

Dla kopalń węglowych, zagrożonych wybuchem pyłu i gazu, zgodnie z Zasadami bezpieczeństwa [1] na liniach 3-10 kV, odchodzących od centralnej podstacji podziemnej (CPP), i podziemnych punktach rozdzielczych (RPP), ochrona przed prądami zwarcia (KZ) powinna być natychmiastowa (bez opóźnienia). Oprócz tego, we wszystkich przypadkach odłączenia sieci przez zabezpieczenia dopuszczalne jest zastosowanie automatycznego powtórnego włączenia (APW) o jednorazowym działaniu, jak również zastosowanie urządzeń automatycznego uruchomienia rezerwy (AWR) pod warunkiem zastosowania urządzeń z blokadami przed podaniem napięcia na linie i instalacje elektryczne w przypadku uszkodzenia ich izolacji w wyniku KZ.

W przypadku zastosowania tradycyjnych autonomicznych cyfrowych urządzeń ochrony przekaźnikowej, mianowicie zabezpieczeń nadprądowych (MTZ), odłączenie KZ w schemacie zasilania elektrycznego będzie następować natychmiastowo i nie-

### 1. ВВЕДЕНИЕ

---

Для угольных шахт, опасных по пыли и газу, в соответствии с Правилами безопасности [1] на линиях 3-10 кВ, отходящих от центральной подземной подстанции (ЦПП) и распределительных подземных пунктах (РПП), защита от токов короткого замыкания (КЗ) должна быть мгновенного действия (без выдержки времени). Кроме того, во всех случаях отключения сети защитами допускается применение автоматического повторного включения (АПВ) однократного действия, а также применение устройств автоматического включения резерва (АВР) при условии применения аппаратуры с блокировками против подачи напряжения на линии и электроустановки при повреждении их изоляции в результате КЗ.

В случае применения традиционных автономных цифровых устройств релейной защиты, а именно максимальных токовых защит (МТЗ), отключение КЗ в схеме электроснабжения будет происходить мгновенно и неселективно, т. е.

selektywnie, tzn. będą odłączane wszystkie wyłączniki siłowe na trasie przepływu prądu KZ z CPP do miejsca uszkodzenia. Uzgodnienie zabezpieczeń czasowych jest niedopuszczalne zgodnie z wymogami [1], a uzgodnienie zabezpieczeń prądowych niemożliwe w związku z niedużymi długościami (setki metrów) linii kablowych w sieciach kopalnianych.

Tym samym, w przypadku KZ w schemacie zasilania elektrycznego podziemnej części kopalni węgla kamiennego, działanie tradycyjnych autonomicznych zabezpieczeń nadprądowych doprowadzi do masowego odłączenia odbiorników, co znacznie obniży niezawodność zasilania elektrycznego. Przywrócenie schematu przy pomocy operacyjnych przełączeń w układzie zasilania elektrycznego przedłuży czas przestoju technologicznego urządzeń górniczych.

## 2. DOSTAWA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W ASPEKTCIE POPRAWY NIEZAWODNOŚCI

W celu zwiększenia niezawodności dostaw energii elektrycznej i ograniczenia przestojów technologicznych urządzeń górniczych, proponowany jest system dwukanałowego zabezpieczenia przekąźnikowego oraz scentralizowanej automatyki jako podsystem zautomatyzowanego systemu zarządzania zasilaniem kopalni (ASU ES).

Dwukanałowa ochrona składa się z:

1. zabezpieczenia logicznego (LZ) jako podstawowego,
2. zabezpieczenia nadprądowego (MTZ) jako rezerwowego.

Zabezpieczenie podstawowe – to MTZ o natychmiastowym działaniu, którego selektywność zapewniona jest przy pomocy sygnałów blokujących, przekazywanych pomiędzy RPP i CPP przy pomocy kanałów łączności.

Zabezpieczenie rezerwowe – to MTZ o natychmiastowym działaniu, wykonujące nieselektywne odłączenie wyłącznika, przez który przechodzi prąd KZ. Poprawa nieselektywnej pracy tego zabezpieczenia proponowana jest w drodze scentralizowanego automatycznego albo zautomatyzowanego (przy udziale dyspozytora) powtórnego włączenia (CAPW).

W schematach z rezerwowaniem, po odłączeniu KZ przy pomocy zabezpieczenia przekąźnikowego w szeregu przypadków należy wykonać scentralizowane automatyczne lub zautomatyzowane wprowadzenie zasilania rezerwowego (CAWR). Oba zabezpieczenia i scentralizowana automatyka wymagają utworzenia kanałów przekazu danych o stanie wyłączników, działania zabezpieczeń i przekazania poleceń na komutację wyłączników. Dla współczesnych

будут отключаться все силовые выключатели на пути протекания тока КЗ от ЦПП до места повреждения. Согласование защит по времени недопустимо в соответствии с требованиями [1], а согласование защит по току невозможно вследствие небольших длин (сотни метров) кабельных линий в шахтных сетях.

Таким образом, при КЗ в схеме электроснабжения подземной части угольной шахты действие традиционных автономных максимальных токовых защит приведет к массовому отключению потребителей, что существенно снижает надежность электроснабжения. Восстановление схемы оперативными переключениями в системе электроснабжения увеличивает время простоя технологического шахтного оборудования.

## 2. ПОСТАВКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В АСПЕКТЕ УЛУЧШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Для повышения надежности электроснабжения потребителей и сокращения времени простоя технологического шахтного оборудования предлагается система двухканальной релейной защиты и централизованной автоматики как подсистема автоматизированной системы управления электроснабжением шахты (АСУ ЭС).

Двухканальная защита включает:

1. логическую защиту (ЛЗ) как основную;
2. максимальную токовую защиту (МТЗ) как резервную.

Основная защита – это МТЗ мгновенного действия, селективность которой обеспечивается с помощью блокировочных сигналов, передаваемых между РПП и ЦПП по каналам связи.

Резервная защита – это МТЗ мгновенного действия, осуществляющая неселективное отключение выключателя, по которому протекает ток КЗ. Исправление неселективной работы этой защиты предлагается путем централизованного автоматического или автоматизированного (с участием диспетчера) повторного включения (ЦАПВ).

В схемах с резервированием после отключения КЗ релейной защитой в ряде случаев должен осуществляться централизованный автоматический или автоматизированный ввод резервного питания (ЦАВР).

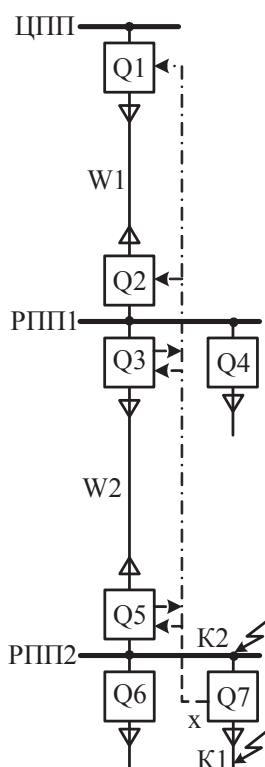
Обе защиты и централизованная автоматика требуют создания каналов для передачи данных о состоянии выключателей, срабатывании защит и для передачи команд на коммутации выключателей. Для современных систем управления техно-

systemów zarządzania procesami technologicznymi takie wyposażenie zostało opracowane i jest szeroko stosowane. W szczególności, dla podsystemu zarządzania zasilaniem energetycznym kopalni ASODU "Energo" [2] wykorzystuje się urządzenia do tworzenia kanałów w celu wykonania sieci przesyłu danych z użyciem *IndustrialEthernet*, interfejsu RS485 lub linii modemowej na bazie przewodu optycznego lub miedzianego.

Rozważymy zastosowanie proponowanych rozwiązań dla odcinka schematu zasilania energetycznego, wskazanego na rys. 1 i zawierającego szyny CPP oraz dwie RPP, połączone liniami kablowymi *W*.

логическими процессами такое оборудование разработано и широко применяется. В частности, для подсистемы управления энергоснабжением шахт АСОДУ «Энерго» [2] используется каналобразующее оборудование для создания сети передачи данных с использованием *IndustrialEthernet*, RS485-интерфейса, или модемной линии на базе оптического или медного кабеля.

Рассмотрим применение предлагаемых решений для участка схемы электроснабжения, приведенного на рис. 1 и включающего шины ЦПП и двух РПП, соединенных кабельными линиями *W*.



Rys. 1. Schemat odcinka sieci  
 Рис. 1. Схема участка сети

**2.1. Zabezpieczenie przekąźnikowe**

W celu odłączenia KZ zasadne jest wykorzystanie funkcji logicznego zabezpieczenia szyn (LZSz), realizowaną we wszystkich współczesnych mikroprocesorowych zabezpieczeniach i szeroko stosowaną w urządzeniach rozdzielczych podstacji.

Zasada działania LZSz jest następująca. Na wyłącznikach urządzenia rozdzielającego zabezpieczenie prądowe wykonywane jest przy pomocy dwóch kompletów:

- pierwszy „szybki” komplet, z opóźnieniem 0,15-0,2 s, działa, jeśli przez zabezpieczenie przepływa prąd KZ i nie ma sygnału blokującego,

**2.1. Релейная защита**

Для отключения КЗ целесообразно использовать функцию логической защиты шин (ЛЗШ), реализуемую во всех современных микропроцессорных защитах и широко используемую в распределительных устройствах подстанций.

Принцип действия ЛЗШ заключается в следующем. На выключателях распределительного устройства токовую защиту выполняют двумя комплектами:

- первый «быстрый» комплект, имеющий выдержку времени 0,15-0,2 с, срабатывает, если через защиту протекает ток КЗ и нет блокирующего сигнала;

– други „wolny” komplet działa ze zwykłym selektywnym opóźnieniem, rezerwując pierwsze zabezpieczenie.

W urządzeniach rozdzielających podstacji sygnał blokujący przekazywany jest z zabezpieczeń odchodzących linii do kompletu zabezpieczenia wyłącznika wprowadzającego przy pomocy ogólnej szyny blokady, umieszczonej wzdłuż wszystkich komórek odchodzących linii.

Stosownie do schematu rys. 1 przy uszkodzeniu odchodzącej linii (punkt  $K1$ ) działa „szybki” komplet zabezpieczenia tej linii, odłączający wyłącznik  $Q7$ . Zabezpieczenie na wejściu blokowane jest sygnałem  $x$  (linia punktowa na rys. 1), a drugi „wolny” komplet tego zabezpieczenia ze zwykłym selektywnym opóźnieniem rezerwuje zabezpieczenie linii odchodzącej.

Jeśli uszkodzone są szyny (punkt  $K2$  na rys. 1), brak jest blokującego sygnału ze strony linii odchodzących. W tym przypadku działa „szybki” komplet zabezpieczenia na wejściu, odłączając wyłącznik  $Q5$ . Drugi „wolny” komplet tego zabezpieczenia ze zwykłym selektywnym opóźnieniem rezerwuje zabezpieczenia wejścia.

Jednak wykorzystywanie funkcji LZSz autonomicznie wewnątrz każdego RPP kopalnianej sieci magistralowej nie zapewnia blokowania odłączenia wyłączników innych RPP. Na przykład, przy KZ w punkcie  $K1$  (rys. 1) nastąpi odłączenie wyłączników  $Q1$  i  $Q3$ , a odbiorniki RPP1 i RPP2 pozostaną bez zasilania. W celu zapobieżenia odłączenia tych wyłączników należy utworzyć *dotatkowe kanały* przekazywania blokującego sygnału  $x$  do zabezpieczeń na wyłącznikach  $Q1$  i  $Q3$  (linia punktowo-przerywana na rys. 1), tzn. rozszerzyć funkcje autonomicznej LZSz do logicznego zabezpieczenia sieci.

Zabezpieczenie rezerwowe działa przy uszkodzeniu podstawowego zabezpieczenia lub wykorzystywane jest jako podstawowe zabezpieczenie w przypadku braku kanałów łączności pomiędzy RPP i CPP. Jednak bezpośrednio wykorzystanie tutaj drugiego „wolnego” kompletu LZSz ze zwykłym selektywnym opóźnieniem jest sprzeczne z wymogami [1]. Dlatego zabezpieczenie rezerwowe powinno działać bez opóźnienia.

W szczególności, przy braku kanałów łączności pomiędzy RPP i CPP oraz KZ w punkcie  $K1$  (rys. 1) nastąpi natychmiastowe odłączenie wyłączników  $Q7$ ,  $Q5$ ,  $Q3$ ,  $Q2$  i  $Q1$ . Zabezpieczenie minimalnego napięcia w przypadku jego zniknięcia odłączy pozostałe wyłączniki schematu. Wszystkie odbiorniki RPP1 i RPP2 pozostaną bez zasilania. Przy KZ w punkcie  $K2$  (rys. 1) nastąpi natychmiastowe odłączenie wyłączników  $Q5$ ,  $Q3$ ,  $Q2$  i  $Q1$ . Zabezpieczenie minimalnego napięcia odłączy pozostałe wyłączniki. Jak i w pierwszym przypadku, wszystkie odbiorniki RPP1 i RPP2 pozostaną bez napięcia.

– второй «медленный» комплект работает с обычной селективной выдержкой времени, резервируя первую защиту.

В распределительных устройствах подстанций блокирующий сигнал передается от защит отходящих линий к комплекту защиты вводного выключателя с помощью общей шинки блокировки, расположенной вдоль всех ячеек отходящих линий.

Применительно к схеме рис. 1 при повреждении отходящей линии (точка  $K1$ ) сработает «быстрый» комплект защиты этой линии, отключая выключатель  $Q7$ . Защита на вводе блокируется сигналом  $x$  (пунктирная линия на рис. 1), а второй «медленный» комплект этой защиты с обычной селективной выдержкой времени резервирует защиту отходящей линии.

Если повреждены шины (точка  $K2$  на рис. 1), блокирующий сигнал со стороны отходящих линий отсутствует. В этом случае срабатывает «быстрый» комплект защиты на вводе, отключая выключатель  $Q5$ . Второй «медленный» комплект этой защиты с обычной селективной выдержкой времени резервирует защиту ввода.

Однако, использование функции LZШ автономно внутри каждого РПП шахтной магистральной сети не обеспечит блокировку отключения выключателей других РПП. Так, например, при КЗ в точке  $K1$  (рис. 1) произойдет отключение выключателей  $Q1$  и  $Q3$  и потребители РПП1 и РПП2 останутся без питания. Для предотвращения отключения этих выключателей следует создать *дополнительные каналы* передачи блокирующего сигнала  $x$  к защитам на выключателях  $Q1$  и  $Q3$  (штрихпунктирная линия на рис. 1), т. е. расширить функции автономной LZШ до логической защиты сети.

Резервная защита работает при отказе основной или используется как основная защита при отсутствии каналов связи между РПП и ЦПП. Однако непосредственное использование здесь второго «медленного» комплекта LZШ с обычной селективной выдержкой времени противоречит требованиям [1]. Поэтому и резервная защита должна работать без выдержки времени.

В частности, при отсутствии каналов связи между РПП и ЦПП и КЗ в точке  $K1$  (рис. 1) произойдет мгновенное отключение выключателей  $Q7$ ,  $Q5$ ,  $Q3$ ,  $Q2$  и  $Q1$ . Защита минимального напряжения по факту его исчезновения отключит остальные выключатели схемы. Все потребители РПП1 и РПП2 останутся без питания. При КЗ в точке  $K2$  (рис. 1) произойдет мгновенное отключение выключателей  $Q5$ ,  $Q3$ ,  $Q2$  и  $Q1$ . Защита минимального напряжения отключит остальные выключатели. Как и в первом случае, все потребители РПП1 и РПП2 останутся без питания.



Odtworzenie schematu po KZ należy realizować przy pomocy CAPW i CAWR, algorytmy pracy których będą rozpatrzone poniżej.

Tym sposobem, dla niezawodnego, szybkiego i selektywnego odłączenia KZ i zmniejszenia czasu przestoju technologicznego urządzeń górniczych celowe jest zastosowanie dwukanałowego zabezpieczenia przekątnikowego z prawidłowo zorganizowanym oddziaływaniem. Pokażemy na przykładzie odcinka sieci (rys. 1) warianty takiego oddziaływania.

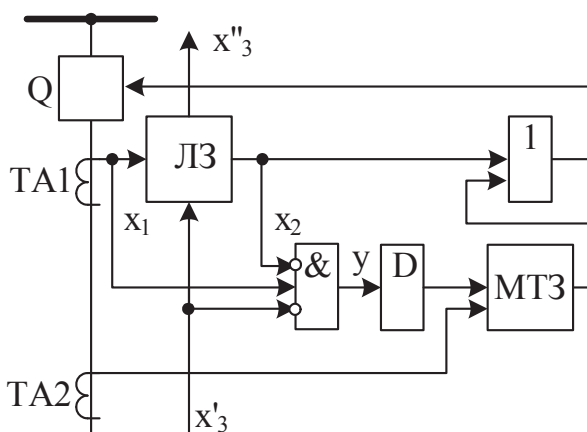
Na wszystkich wyłącznikach schematu instalowane są po dwa komplety zabezpieczeń: LZ i MTZ, a pomiędzy CPP, RPP1 i RPP2 układane są kanały przekazu sygnału blokującego  $x$  (punktowa-przerywana linia na rys. 1).

Przy KZ, na przykład, w punkcie  $K1$  (rys. 1) prąd awaryjny będzie przechodzić przez wyłączniki  $Q1, Q2, Q3, Q5$  i  $Q7$ . Blokujący sygnał  $x$  nie powinien pozwolić odłączyć się wyłącznikom  $Q1, Q2, Q3$  i  $Q5$ . A zatem, przy KZ w punkcie  $K1$  (rys. 1) logiczne zabezpieczenie odłączy tylko jeden wyłącznik  $Q7$ .

Przy KZ na szynach RPP2 (punkt  $K2$  na rys. 1) logiczne zabezpieczenie powinno odłączyć wyłącznik  $Q5$  i dać sygnał blokujący  $x$  na wyłączniki  $Q1, Q2$  i  $Q3$ .

W przypadku uszkodzenia logicznego zabezpieczenia w którymś z wyłączników powinno zadziałać rezerwowe MTZ i odłączyć ten wyłącznik bez opóźnienia.

Podana logika działania zabezpieczeń na wyłączniku  $Q$  realizowana jest schematem, podanym na rys. 2, gdzie przyjęte zostały następujące oznaczenia: LZ – zabezpieczenie logiczne (podstawowe), MTZ – zabezpieczenie nadprądowe (rezerwowe),  $x_1$  – sygnał prądu KZ podłączenia,  $x_2$  – sygnał odłączenia podłączenia,  $x'_3$  – sygnał blokady, przychodzący z zabezpieczeń, znajdujących się niżej,  $x''_3$  – sygnał blokady, posyłany do zabezpieczeń, znajdujących się wyżej, & i 1 – logiczne elementy (funktor koniunkcji i funktor dysjunkcji),  $y$  – wyjściowy sygnał elementu logicznego I,  $TA1$  i  $TA2$  – transformatory prądu,  $D$  – opóźnienie sygnału, wymagane do odstrojenia od czasu uruchomienia zabezpieczeń logicznych.



Восстановление схемы после КЗ следует реализовать с помощью ЦАПВ и ЦАВР, алгоритмы работы которых будут рассмотрены ниже.

Таким образом, для надежного, быстрого и селективного отключения КЗ и уменьшения времени простоя технологического шахтного оборудования целесообразно применение двухканальной релейной защиты с правильно организованным их взаимодействием. Покажем на примере участка сети (рис. 1) варианты такого взаимодействия.

На всех выключателях схемы устанавливаются по два комплекта защит: ЛЗ и МТЗ, а между ЦПП, РПП1 и РПП2 прокладываются каналы передачи блокирующего сигнала  $x$  (штрихпунктирная линия на рис. 1).

При КЗ, например, в точке  $K1$  (рис. 1) аварийный ток будет протекать через выключатели  $Q1, Q2, Q3, Q5$  и  $Q7$ . Блокирующий сигнал  $x$  не должен позволить отключиться выключателям  $Q1, Q2, Q3$  и  $Q5$ . Следовательно, при КЗ в точке  $K1$  (рис. 1) логической защитой отключится только один выключатель  $Q7$ .

При КЗ на шинах РПП2 (точка  $K2$  на рис. 1) логическая защита должна отключить выключатель  $Q5$  и дать блокирующий сигнал  $x$  на выключатели  $Q1, Q2$  и  $Q3$ .

В случае отказа логической защиты на каком-либо выключателе должна сработать резервная МТЗ и отключить этот выключатель без выдержки времени.

Указанная логика работы защит на выключателе  $Q$  реализуется схемой, приведенной на рис. 2, где приняты следующие обозначения: ЛЗ – логическая защита (основная); МТЗ – максимальная токовая защита (резервная);  $x_1$  – сигнал тока КЗ присоединения;  $x_2$  – сигнал отключения присоединения;  $x'_3$  – сигнал блокировки, приходящий от защит, расположенных ниже;  $x''_3$  – сигнал блокировки, посылаемый защитам, расположенным выше; & и 1 – логические элементы (конъюнктор и дизъюнктор);  $y$  – выходной сигнал конъюнктора;  $TA1$  и  $TA2$  – трансформаторы тока;  $D$  – задержка сигнала, требуемая для отстройки от времени срабатывания логических защит.

Rys. 2. Schemat zasadniczy zabezpieczenia dwukanałowego

Рис. 2. Принципиальная схема двухканальной защиты

W celu podwyższenia niezawodności komplety LZ i MTZ powinny otrzymać sygnały z różnych transformatorów prądu.

Podstawowy kanał zabezpieczenia (LZ) zapewnia selektywne odłączenie wyłącznika  $Q$  bez opóźnienia. Rezerwowy kanał zabezpieczenia (MTZ) zapewnia bez opóźnienia odłączenie wyłącznika  $Q$  przy uszkodzeniu podstawowego kanału zabezpieczenia.

Logika uruchomienia MTZ opisywana jest wyrażeniem Boole'a

$$y = x_1 \bar{x}_2 \bar{x}'_3. \quad (1)$$

Wyjściowy sygnał elementu logicznego I  $y$  przez opóźnienie D trafia na wejście bloku MTZ i jest sygnałem uruchomienia tego zabezpieczenia. Uruchomienie i działanie MTZ nastąpi przy wyjściowym sygnale elementu logicznego I  $y = 1$ .

Z tabeli prawdziwości (tab. 1), sporządzonej dla wyrażenia (1), widać, że jakakolwiek kombinacja wejściowych sygnałów (1, 2, 3, 4, 6, 7, 8), oprócz kombinacji 5, nie zapewnia uruchomienia MTZ. We wszystkich przypadkach, oprócz 5, zadziała LZ. Uszkodzenie LZ charakteryzuje się stanem 5, w którym jest sygnał prądu KZ ( $x_1 = 1$ ), brak jest sygnału blokady ( $x'_3 = 0$ ), brak jest sygnału uruchomienia LZ ( $x_2 = 0$ ). Przy tym wyjściowy sygnał elementu logicznego I  $y = 1$  właśnie uruchamia MTZ.

Для повышения надежности комплекты ЛЗ и МТЗ должны получать сигналы от разных трансформаторов тока.

Основной канал защиты (ЛЗ) обеспечивает селективное отключение выключателя  $Q$  без выдержки времени. Резервный канал защиты (МТЗ) обеспечивает без выдержки времени отключение выключателя  $Q$  при отказе основного канала защиты.

Логика запуска МТЗ описывается булевым выражением

Выходной сигнал конъюнктора  $y$  через задержку D поступает на вход блока МТЗ и является сигналом запуска этой защиты. Запуск и срабатывание МТЗ будет при выходном сигнале конъюнктора  $y=1$ .

Из таблицы истинности (табл. 1), составленной для выражения (1), видно, что любое сочетание входных сигналов (1, 2, 3, 4, 6, 7, 8) кроме сочетания 5, не обеспечивает запуск МТЗ. Во всех случаях кроме случая 5 будет работать ЛЗ. Отказ ЛЗ характеризуется состоянием 5, в котором есть сигнал тока КЗ ( $x_1=1$ ), сигнал блокировки отсутствует ( $x'_3=0$ ), сигнал срабатывания ЛЗ отсутствует ( $x_2=0$ ). При этом выходной сигнал конъюнктора  $y=1$  и осуществляет запуск МТЗ.

Таблица 1

Nr stanu № состояния	1	2	3	4	5	6	7	8
$x_1$	0	0	0	0	1	1	1	1
$x_2$	0	0	1	1	0	0	1	1
$x'_3$	0	1	0	1	0	1	0	1
$y$	0	0	0	0	1	0	0	0

## 2.2. Uniwersalny system przedstawienia schematu elektrycznego

Prawidłowa praca układu zabezpieczenia i automatyki jest możliwa tylko przy adekwatnym przedstawieniu topologii wyjściowego schematu sieci. Takie przedstawienie powinno być uniwersalne, a jednocześnie musi dokładnie odzwierciedlać strukturę sieci.

W celu uzyskania adekwatnego przedstawienia należy wszystkie wyłączniki podzielić na strukturalne i zasilające. Wyłączniki strukturalne określają strukturę schematu - połączenia pomiędzy CPP i RPP. To są główne wyłączniki linii pomiędzy CPP i RPP i wyłączniki wejścia do RPP.

Wyłączniki zasilające pokazują przyłączenia poszczególnych odbiorników do szyn CPP i RPP.

## 2.2. Универсальная система представления электрической схемы

Правильная работа системы защиты и автоматики возможна только при адекватном представлении топологии исходной схемы сети. Такое представление должно быть универсальным, и в то же время точно отражающим структуру сети.

Для получения адекватного представления следует все выключатели разделить на структурные и фидерные. Структурные выключатели определяют структуру схемы – связи между ЦПП и РПП. Это головные выключатели линий между ЦПП и РПП и выключатели ввода в РПП.

Фидерные выключатели показывают присоединения отдельных потребителей к шинам ЦПП и РПП.

Stosownie do rys. 1, strukturalnymi wyłącznikami będą  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_5$ , a zasilającymi –  $Q_4, Q_6, Q_7$ .

Oprócz tego, wszystkie wyłączniki powinny być dzielone wg poziomu podłączenia (CPP, RPP1, RPP2 ...).

### 2.3. Algorytm CAPW

Automatyka powtórnego włączenia jest szeroko stosowana w systemach zasilania elektrycznego w celu podwyższenia niezawodności zasilania. Dla kopalnianej sieci kablowej, posiadającej swoją specyfikę, powtarzane włączenie wyłączników należy wykorzystywać do poprawienia nieselektywnego odłączenia KZ przy pomocy zabezpieczenia przekąźnikowego.

Jak stwierdzono wyżej, w przypadku KZ w schemacie zasilania elektrycznego podziemnej części kopalni węglowej, działanie tradycyjnych autonomicznych zabezpieczeń nadprądowych doprowadzi do masowego odłączenia odbiorników, co znacznie obniża niezawodność zasilania elektrycznego. Przywrócenie schematu przy pomocy operacyjnych przełączeń w układzie zasilania elektrycznego przedłuża czas przestoju technologicznego urządzeń górniczych.

W celu skrócenia czasu przestoju technologicznego urządzeń górniczych wszystkie przełączenia powinny być wykonywane centralnie ze zautomatyzowanego miejsca pracy (ARM) dyspozytora energii, jak to przewidziano, na przykład, w podsystemie sterowania zasilaniem energią kopalń ASODU "Energo" [2], w którym na ekranie głównego komputera dyspozytora ARM pokazywany jest stan wszystkich wyłączników, wchodzących w skład CPP i RPP, oraz kontrola działania zabezpieczeń.

Włączenie wyłączników może nastąpić zdalnie przez dyspozytora lub, za zgodą dyspozytora, automatycznie wg ustalonego algorytmu. W ostatnim przypadku realizowana jest funkcja CAPW, ale z blokadą włączenia wyłączników uszkodzonego elementu systemu zasilania energią.

Należy zauważyć, że powtarzane włączenie może okazać się niedopuszczalne dla niektórych odbiorników kopalni węglowej. W szczególności, uruchomienie przenośnika z obciążoną częścią napędową powoduje zwiększenie sił inercji, przeciążenie łańcuchów ciągnących i napędu. Szczególnie jest to ważne w przypadku długich przenośników, które mogą zacząć się ślizgać i grożą pojawieniem się wahadłowego procesu przejściowego schodzącego fragmentu taśmy. W takich przypadkach wymagana jest blokada odpowiedniego wyłącznika przed włączeniem i wstępne przygotowanie przenośnika do uruchomienia.

Przemienительно к рис. 1 структурными выключателями будут  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_5$ , а фидерными –  $Q_4, Q_6, Q_7$ .

Кроме того, все выключатели должны делиться по уровню присоединения (ЦПП, РПП1, РПП2 ...).

### 2.3. Алгоритм ЦАПВ

Автоматика повторного включения широко используется в системах электроснабжения для повышения надежности электроснабжения. Для шахтной кабельной сети, имеющей свою специфику, повторное включение выключателей следует использовать для исправления неселективного отключения КЗ релейной защитой.

Как было отмечено выше, при КЗ в схеме электроснабжения подземной части угольной шахты действие традиционных автономных максимальных токовых защит приведет к массовому отключению потребителей, что существенно снижает надежность электроснабжения. Восстановление схемы оперативными переключениями в системе электроснабжения увеличивает время простоя технологического шахтного оборудования.

Для сокращения времени простоя технологического шахтного оборудования все переключения должны осуществляться централизованно с автоматизированного рабочего места (АРМ) энергодиспетчера, как это предусматривается, например, в подсистеме управления энергоснабжением шахт АСОДУ «Энерго» [2], в которой на экране главного компьютера АРМ-диспетчера отображается состояние всех выключателей, входящих в состав ЦПП и РПП, и контроль срабатывания защит.

Включение выключателей может осуществляться дистанционно диспетчером или, с согласия диспетчера, автоматически по заданному алгоритму. В последнем случае реализуются функции ЦАПВ, однако, с блокировкой включения выключателей поврежденного элемента системы электроснабжения.

Следует отметить, что повторное включение может оказаться недопустимым для некоторых потребителей угольной шахты. В частности, пуск конвейера с загруженной ходовой частью влечет за собой увеличение инерционных усилий, перегрузку тяговых цепей и привода. Особенно это важно для конвейеров большой протяженности, у которых существует опасность пробуксовки и опасность возникновения колебательного переходного процесса сбегающей ветви ленты. В таких случаях требуется блокировка соответствующего выключателя от включения и предварительная подготовка конвейера к пуску.

Алгоритм одтворення схемату по його розпадзі в выніку ад'яднення КЗ пры помочы комплектаў МТЗ можа быць апісаны праз матрыцу сыгналаў забеспячэння на выключатках ( $x_i = 0$  – забеспячэнне не задзіаляла,  $x_i = 1$  – забеспячэнне задзіаляла). В агульным кшталце, матрыца та зывае  $m$  слупкаў і  $n$  лініі, гдзе  $m$  – лічба выключнікаў в абводзіе CPP до пункта КЗ,  $n$  – лічба станова поля сыгналаў ад забеспячэння пражкажнікавых.

Можалявасць сентралізаванага АПВ аценяна яст пры помочы сыгналу  $y$  ( $y = 1$  – АПВ яст допусжаляне,  $y = 0$  – АПВ яст недопусжаляне), атрыманым вг выражэння Буоля

$$y = x_1 x_2 x_3 \dots x_m \vee \bar{x}_1 x_2 x_3 \dots x_m \vee x_1 \bar{x}_2 x_3 \dots x_m \vee x_1 x_2 \bar{x}_3 \dots x_m \vee \dots \vee x_1 x_2 x_3 \dots \bar{x}_m. \quad (2)$$

Выражэнне (2) уважляда можалявасць ашкяджэння дзіаляння аднаго жакаго забеспячэння. Пры  $y=1$  выконываны яст САПВ – сентраліне влячжаляя ся вшыстка структурнае выключнакі, апроч адатнаго выключніка  $Q_m$ . З выражэння (2) выніка, жа тылко пры ашкяджэнні забеспячэння наближэй мясца КЗ настая "ніепельны" САПВ.

Со тычы ся выключнікаў засіляячых, ад'ядчонных з поводу знікнєня нап'єня на шынгах РПП, іх влячжєня настая рўнїєнь сентралїне з уважляднїнем характєра канкрєтних адбїорнїкаў электрычных.

В сєлу выжаїнєня powyжшєго, розпатрымы схемату сєцї о нап'єнїу 3-10 кВ (рыс. 3), в ктorej рєалїзованє ся функцїє аўтономїчных МТЗ і САПВ. Жрўдламі засіляня ся рўзне сєкцїє шын CPP (CPP1 і CPP2), з ктorej засіляне ся тры РПП. Выключнакі  $Q_{13}$  на РПП3 яст нормальне ад'ядчонны. Структура схемату окрєдлаєня яст праз выключнакі  $Q_1, Q_3, Q_5, Q_7, Q_9, Q_{13}, Q_{10}, Q_{14}, Q_6, Q_4, Q_2$ . Позосталє выключнакі ся засіляячє.

Пры КЗ за выключнакіем засіляячым (пункт К1) ад'ядчжа ся без опўжнєня выключнакі  $Q_{14}, Q_6, Q_4, Q_2$ . Сыгналы, пражходжачє з забеспячєня тых выключнікаў твораля настаяячє матрыцу сыгналаў забеспячєня (таб. 2).

Алгоритм востановлєня схємы после єє распада в рєзультає отключєня КЗ комплектамі МТЗ можа быць апісан матрыцєю сыгналаў зашїт на выключатєлях ( $x_i=0$  – зашїта не срабotalа,  $x_i=1$  – зашїта срабotalа). В абуем вїдє єта матрыца сoderжїт  $m$  столбцов і  $n$  строк, гдзе  $m$  – чїсло выключатєлєв в сєпї от ЦПП до точкї КЗ,  $n$  – чїсло состоянїй поля сыгналаў от рєлєйных зашїт.

Возможность сентралїзованнаго АПВ оцєнявєтєя сыгналом  $y$  ( $y=1$  – АПВ допустїмо,  $y=0$  – АПВ недопустїмо), получаємым по буєвоєму выражєнїю

Выражєня (2) учїтываєт возможнїй откяд в срабатованїи адной какаго-то зашїтї. Пры  $y=1$  выполняєтєя САПВ – сентралїзованно влячжаляютєя все структурнає выключатєлє за ісключєнїем послєднєго выключатєлє  $Q_m$ . Из выражєня (2) слєдуєт, что толькo пры откядє зашїтї, ближаїшєй к мєсту КЗ, будєт осущєствлятєя «неполноє» САПВ.

Что касаєтєя фїдєрных выключатєлєв, отключєнных по факту ісчєзновєня нап'єня на шїнах РПП, то іх влячжєня осущєствляєтєя тажє сентралїзованно с учєтом характєра канкрєтних электрїпрїємнїков.

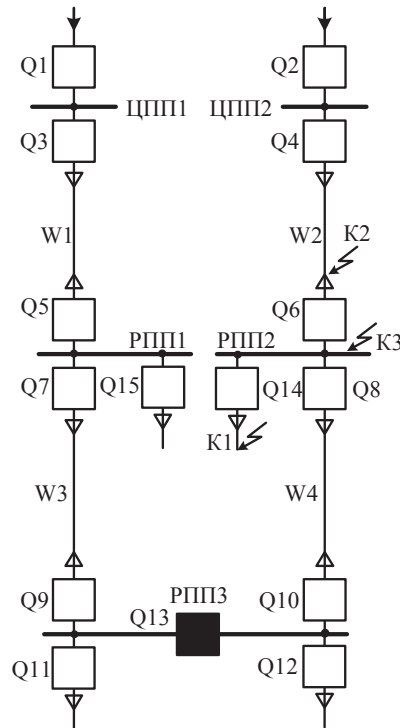
Для пояснєня вышєїзложєнного рассотрїм схєму сєтї нап'єнїєм 3-10 кВ (рыс. 3), в ктorej рєалїзуютєя функцїє аўтономнїх МТЗ і САПВ. Істочнїкамі пїтання служат разнє сєкцїє шїн ЦПП (ЦПП1 і ЦПП2), от ктorej пїтаютєя тры РПП. Выключатєль  $Q_{13}$  на РПП3 нормальне отключєн. Структура схємы окрєдлєтєя выключатєлямі  $Q_1, Q_3, Q_5, Q_7, Q_9, Q_{13}, Q_{10}, Q_{14}, Q_6, Q_4, Q_2$ . Осталєннє выключатєлє фїдєрнє.

Пры КЗ за фїдєрным выключатєлєм (точка К1) отключатєя без выдєржкї врємєнї выключатєлє  $Q_{14}, Q_6, Q_4, Q_2$ . Сыгналы, пражодящїє от зашїт на єтїх выключатєлях, образуют слєдующєю матрыцу сыгналаў зашїт (табл. 2).

Таблица 2

№	$Q_2(x_2)$	$Q_4(x_4)$	$Q_6(x_6)$	$Q_{14}(x_{14})$	$y$
1	1	1	1	1	1
2	0	1	1	1	1
3	1	0	1	1	1
4	1	1	0	1	1
5	1	1	1	0	1





Rys. 3. Schemat sieci  
Puc. 3. Схема сети

Jednostki w komórkach maczyzy oznaczają obecność sygnału zabezpieczenia, zera - brak sygnału. Linie maczyzy wskazują możliwe połączenia sygnałów przy obecności jednego błędu (usterka jednego zabezpieczenia).

Możliwość scentralizowanego APW oceniana jest przy pomocy sygnału  $y$  ( $y = 1$  – APW jest dopuszczalne,  $y = 0$  – APW jest niedopuszczalne), otrzymamy wg wyrażenia Boole'a

$$y = x_2 x_4 x_6 x_{14} \vee \bar{x}_2 x_4 x_6 x_{14} \vee x_2 \bar{x}_4 x_6 x_{14} \vee x_2 x_4 \bar{x}_6 x_{14} \vee x_2 x_4 x_6 \bar{x}_{14}. \quad (3)$$

Przy  $y = 1$  centralnie powinny wyłączać się wyłączniki Q2, Q4, Q6. Jednak w przypadku 5 (usterka zabezpieczenia wyłącznika Q14) zalecać się będzie włączenie tylko wyłączników Q2 i Q4.

### 2.4. Algorytm CAWR

Automatyka podłączenia rezerwowego zasilania jest szeroko stosowana w urządzeniach rozdzielczych podstacji przy zasilaniu istotnych odbiorników z dwóch lub więcej niezależnych źródeł zasilania.

Rozpatrzmy scentralizowane uruchomienie tej automatyki dla kopalnianej rozdzielczej sieci kablowej.

Algorytm pracy CAWR zależy od miejsca KZ w schemacie zasilania elektrycznego kopalni i miejsca wyłącznika, rozłączającego schemat, którego odbiorniki otrzymują zasilanie z dwóch źródeł. Zgodnie

Единицы в клетках матрицы означают наличие сигнала от защиты, нули – отсутствие сигнала. Строки матрицы показывают возможные сочетания сигналов при наличии одной ошибки (отказе одной защиты).

Возможность централизованного АПВ оценивается сигналом  $y$  ( $y=1$  – АПВ допустимо,  $y = 0$  – АПВ недопустимо), получаемым по булевому выражению

При  $y = 1$  централизованно должны включаться выключатели Q2, Q4, Q6. Однако в случае 5 (отказ защиты на выключателе Q14) будет рекомендовано включить только выключатели Q2 и Q4.

### 2.4. Алгоритм ЦАВР

Автоматика ввода резервного питания широко используется в распределительных устройствах подстанций при электроснабжении ответственных потребителей от двух и более независимых источников питания.

Рассмотрим централизованный запуск этой автоматки для шахтной распределительной кабельной сети.

Алгоритм работы ЦАВР зависит от места КЗ в схеме электроснабжения шахты и месторасполо-

z [1], zabronione jest w warunkach podziemnych stosowanie pierścieniowych systemów zasilania energią elektryczną.

CAWR powinien uruchamiać się po takich KZ, w wyniku odłączenia których nawet po APW część RPP zostaje bez zasilania, tzn. w przypadku KZ na liniach, związanych oddzielnym RPP lub w przypadku KZ na szynach RPP (np., punkty K2 i K3 na rys. 3).

Standardowy algorytm zasilania elektrycznego przy KZ w punkcie K2 (rys. 3): odłączenie doprowadzenia Q10 po zaniku napięcia na szynach i włączenie wyłącznika sekcyjnego Q13 – pozostawi odbiorców RPP2 bez zasilania. Dlatego algorytm CAWR należy zbudować analogicznie jak algorytm CAPW – włączenie wszystkich wyłączników, oprócz ostatniego przed miejsce uszkodzenia. Różnica będzie w kierunku włączenia wyłączników. Jeśli przy CAPW włączenie wyłączników strukturalnych następuje w kierunku od źródła zasilania (szyn CPP) do miejsca uszkodzenia, to przy CAWR kierunek włączenia powinien być od wyłącznika, normalnie rozpinającego schemat, do miejsca uszkodzenia.

Stosownie do schematu – rys. 3. – przy KZ w punkcie K2 po uruchomieniu zabezpieczenia przekątnikowego (odłączeniu wyłącznika Q4) w związku ze spadkiem napięcia odłączane są strukturalne wyłączniki Q6, Q8 i Q10. W tym przypadku należy centralnie włączyć wyłączniki Q13, Q10 i Q8 i nie wyłączać przełącznika Q6, najbliższy do miejsca uszkodzenia.

Przy KZ w punkcie KZ po odłączeniu wyłącznika Q6 należy centralnie włączyć wyłączniki Q13 i Q10 i nie włączać wyłącznika Q8.

Włączenie wyłączników zasilających, odłączonych w związku z zanikiem napięcia, należy włączać jak i w przypadku CAPW, z uwzględnieniem charakteru konkretnych odbiorników elektrycznych.

### 3. PODSUMOWANIE

---

Zaproponowany dwukanałowy system zabezpieczenia przed KZ podziemnej części systemu zasilania elektrycznego kopalni węglowej, składający się z zabezpieczenia logicznego i nadmiarowego oraz zapewniający selektywne wyłączenie bez opóźnień uszkodzonego elementu.

W celu skrócenia czasu przestoju technologicznego urządzeń górniczych z powodu usterek w układzie zasilania elektrycznego opracowane zostały algorytmy scentralizowanej automatyki, pozwalające na realizowanie funkcji automatycznego powtórnego

жания выключателя, размыкающего схему, потребители которой получают питание от двух источников. В соответствии с [1] запрещается для подземных условий применение кольцевых схем электроснабжения.

ЦАВР должен срабатывать после таких КЗ, в результате отключения которых даже после АПВ часть РПП остаются без питания, т.е. при КЗ на линиях, связывающих отдельные РПП или при КЗ на шинах РПП (например точки K2 и K3 на рис. 3).

Стандартный алгоритм ввода резервного питания при КЗ в точке K2 (рис. 3): отключение ввода Q10 по исчезновению напряжения на шинах и включение секционного выключателя Q13 – оставит потребителей РПП2 без питания. Поэтому алгоритм ЦАВР следует построить по аналогии с алгоритмом ЦАПВ – включение всех выключателей, кроме последнего перед местом повреждения. Отличие будет в направлении включения выключателей. Если при ЦАПВ включение структурных выключателей осуществляется в направлении от источника питания (шин ЦПП) к месту повреждения, то при ЦАВР направление включения должно осуществляться от выключателя, нормально размыкающего схему, к месту повреждения.

Применительно к схеме рис. 3 при КЗ в точке K2 после срабатывания релейной защиты (отключения выключателя Q4) по факту исчезновения напряжения отключаются структурные выключатели Q6, Q8 и Q10. В этом случае следует централизованно включить выключатели Q13, Q10 и Q8 и не включать выключатель Q6, ближайший к месту повреждения.

При КЗ в точке K3 после отключения выключателя Q6 следует централизованно включить выключатели Q13 и Q10 и не включать выключатель Q8.

Включение фидерных выключателей отключившихся по факту исчезновения напряжения следует включать как и при ЦАПВ с учетом характера конкретных электроприемников.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Предложена двухканальная система защиты от КЗ подземной части системы электроснабжения угольной шахты, включающая логическую и максимальную токовую защиты и обеспечивающая без выдержки времени селективное отключение поврежденного элемента.

włączenia i wprowadzenia rezerwy. Pokazano, że funkcje scentralizowanej automatyki realizowane są nawet w przypadku uszkodzenia jednego zabezpieczenia w schemacie zasilania elektrycznego kopalni.

#### Literatura

1. Zasady bezpieczeństwa w kopalniach węglowych. PB 05-618-03, 2004 r.
2. Spółka DEP. Automatyka górnicza. ASODU "Energo" [Zasoby elektroniczne] / Tryb dostępu: [http://www.dep.ru/page/gornavt\\_energo/](http://www.dep.ru/page/gornavt_energo/), swobodny. – Tytuł z ekranu.
3. Соловьев А.Л., Шабад М. А. Зabezpieczenie przekaźnikowe miejskich sieci elektrycznych 6 i 10 kV. SPb.: Politechnika, 2007.

С целью уменьшения времени простоя технологического шахтного оборудования из-за повреждений в системе электроснабжения разработаны алгоритмы централизованной автоматики, позволяющие реализовать функции автоматического повторного включения и ввода резерва. Показано, что функции централизованной автоматики реализуются даже при отказе одной защиты в схеме электроснабжения шахты.

#### Список литературы

1. Правила безопасности в угольных шахтах. PB 05-618-03, 2004 г.
2. Компания ДЕП. Горношахтная автоматика. АСОДУ «Энерго». [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.dep.ru/page/gornavt\\_energo/](http://www.dep.ru/page/gornavt_energo/), свободный. – Загл. с экрана.
3. Соловьев А. Л., Шабад М. А. Релейная защита городских электрических сетей 6 и 10 кВ. СПб.: Политехника, 2007.

### RELAY PROTECTION AND AUTOMATION AS A SUBSYSTEM OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM [ASU] OF ELECTRICAL POWER SUPPLY FOR A HARD COAL MINE

The paper presents the developed selective no-delay protection against short-circuit in the underground cable network, and algorithms of a centralized automation as a subsystem of the automatic control system ASU of electrical power supply for a hard coal mine.