

dr n.t. MNUCHIN A. R.  
inż. LICHWAN A. P.  
(MakNII, Ukraina)

# Określenie parametrów działania urządzeń wyprzedzającej kontroli izolacji w sieciach o napięciu 3,0 (3,3) kV

*Przedstawiono teoretyczne obliczenia eksperymentalne dotyczące stwierdzenia technicznych wymagań urządzeń wyprzedzającej kontroli oporu izolacji w górniczych sieciach o napięciu 3,0 (3,3) kV, które pozwolą zapobiegać powstawaniu awaryjnych sytuacji w sieciach danej klasy napięcia.*

## 1. WPROWADZENIE

---

W branży górniczej występuje wzrost energochłonności górniczych maszyn i kompleksów urządzeń, jak również związany z tym rozwój i komplikacja systemu zasilania elektrycznego. Wymaga to przejścia na wyższy poziom roboczego napięcia w wydobywczych i przygotowawczych przodkach, przy czym górniczy sprzęt elektrotechniczny nadal jest używany w niekorzystnych warunkach eksploatacyjnych. Dzieje się tak z powodu ograniczenia wolnej przestrzeni w miejscach jego instalowania, obecności wilgoci i kropeł wody, przewodzącego pyłu i łatwopalnych materiałów, a także innych negatywnych czynników.

Elektryczna izolacja zabezpiecza zarówno pewność i wytrzymałość elektrycznego wyposażenia, jak i bezpieczne zastosowanie energii elektrycznej w kopalniach. Jednocześnie, statystyczne dane o awaryjności kopalnianego sprzętu elektrotechnicznego pokazują, że izolacja jest najsłabszym ogniwem w zakresie gwarancji bezpieczeństwa systemów podziemnego zasilania elektrycznego. Na przykład, z powodu uszkodzenia izolacji elektrycznej ulega awarii 40÷60% rozruszników magnetycznych i 85÷93% silników elektrycznych [1]. Dlatego badanie zmian właściwości elektrycznej izolacji i ujawnienie przyczyn jej obniżenia w procesie wydobywania stanowią jeden z podstawowych problemów przy wprowadzeniu w węglowych przedsiębiorstwach Ukrainy sprzętu elektrotechnicznego o nominalnym napięciu 3,0 (3,3) kV.

## 2. ISTOTA I ZAKRES BADAŃ

---

Efektywna kontrola oporu izolacji sprzętu elektroenergetycznego o wskazanym napięciu przed podaniem napięcia pozwoli efektywnie zapobiegać powstawaniu awaryjnych sytuacji w górniczych sieciach elektrycznych, co podniesie tym samym ogólny poziom ich ochrony względem pożaru i elektrobezpieczeństwa. Należy przy tym dodać, że izolacja elektrycznych sieci praktycznie nie jest stale kontrolowana przez pracowników służb elektromechanicznych kopalń węgla. W wielu kopalniach nie istnieją nawet tak elementarne środki kontroli, jak megaomomierze. Opór izolacji mierzony jest z niedostateczną precyzją, co nie pozwala technicznie na poprawne eksploatowanie urządzeń elektroenergetycznych. Urządzenia do kontroli izolacji, które obecnie stosuje się w górniczych sieciach (blokujący przekaźnik upływu – BRU), nie ujawniają uszkodzeń izolacji we wczesnym stadium i nie uprzedzają o powstawaniu niebezpiecznych zjawisk.

Celem przeprowadzonej pracy było ustanowienie technicznych wymagań dot. parametrów urządzeń wyprzedzającej kontroli oporu izolacji w sieciach 3,0 (3,3) kV, opierając się na właściwościach izolacji górniczego sprzętu elektrotechnicznego, zgodnie z którymi możliwe będzie skuteczne zapobieganie podawania napięcia na wychodzące przyłączenia, mające uszkodzoną izolację. Podstawowy sposób, będący podstawą budowy istniejących schematów BRU w górniczych magnetycznych rozrusznikach, automatycznych wyłącznikach lub wysokonapięciowych urządzeniach rozdzielczych

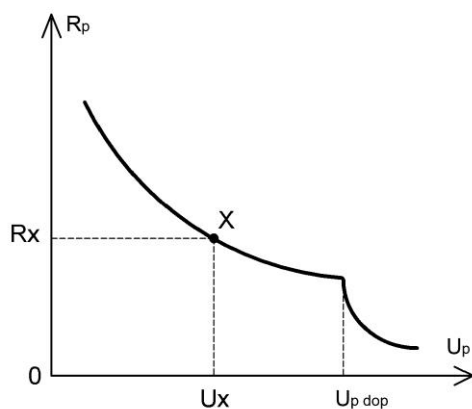
polega na kontroli izolacji wyłączonej sieci poprzez nałożenie pomiarowego (operatywnego) stałego prądu pomiędzy fazami sieci a uziemieniem.

Dla opracowania efektywnego sposobu wyprzedzającej kontroli oporu izolacji trzeba było przeprowadzić porównawczą analizę działań, które oddziałują na izolację stałym napięciem wysokonapięciowego urządzenia kontroli i zmiennym (siłowym) napięciem, podawanym na sprzęt elektrotechniczny bezpośrednio po wykonaniu testu.

Wytrzymałość izolacji na oddziaływania eksploatacyjne określana jest w rezultacie doświadczeń eksploatacyjnych i systematycznych obserwacji w działających sieciach, jak również drogą laboratoryjnych prób, imitujących eksploatacyjne oddziaływania. Elektryczną wytrzymałość izolacyjnych konstrukcji można charakteryzować prawdopodobieństwem kategorii przy oddziaływaniu napięcia o określonej amplitudzie i przebiegu w połączeniu z innymi oddziałującymi czynnikami (ciśnienie, wilgotność, temperatura itp.) Prawdopodobieństwo lub częstość kategorii I przy ustalonych warunkach prób wyjaśnia się stosunkiem liczby zaistniałych kategorii  $n$  do ogólnej liczby prób  $N$ :

$$\Psi = n/N \quad (1)$$

Do otrzymania zależności prawdopodobieństwa kategorii od amplitudy oddziałującego napięcia należy przeprowadzić wielokrotne próby przy kilku wielkościach. W praktyce należy znać elektryczną wytrzymałość izolacji przy roboczym napięciu o przemysłowej częstości i stałym napięciu urządzeń kontroli izolacji, przy czym dla urządzeń kontroli izolacji, posiadających niską moc źródła i ograniczony pomiar prądem, nie jest konieczne staranie się o pełne przebicie izolacji. Wykres zależności  $R_p=f(U_p)$  dla pewnego idealnego wzoru izolacyjnej konstrukcji jest przedstawiony na rysunku 1.



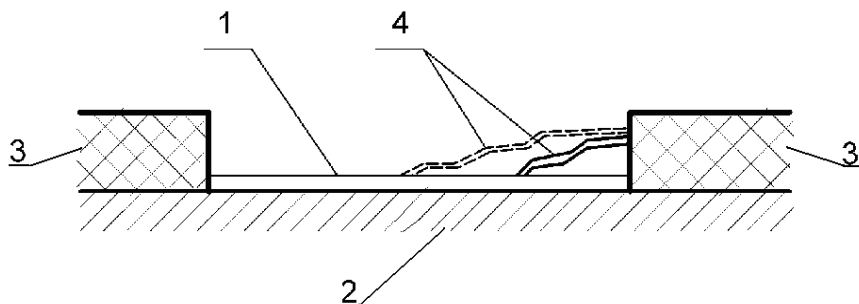
Rys. 1. Wykres zależności  $R_p=f(U_p)$  dla idealnego wzoru

Jak widać na rys. 1 wystarczy wybrać na charakterystyce  $R_p=f(U_p)$  taki punkt X o współrzędnych  $(U_x; R_x)$ , przy których przebicie dielektryku może jeszcze nie nastąpić. Jednak należy pamiętać, że przy zmniejszaniu napięcia testowego, zmierzony opór izolacji skupionego odpływu wciąż będzie wzrastać i przy pewnym  $U_p$  zrówna się bezpośrednio z rozdzielonym oporem izolacji całej sieci. Ta okoliczność doprowadzi do ciągłego fałszywego działania urządzenia BRU przy podanych parametrach, gdyż nawet przy nieobecności skupionego odpływu w sieci wartość jej własnego oporu roboczej izolacji będzie wystarczająca dla działania urządzenia BRU. Opierając się na doświadczeniach eksploatacyjnych i licznych obserwacjach w działających wysokonapięciowych sieciach, ustawienie działania urządzeń wyprzedzającej kontroli oporu izolacji nie może być większe od 360 k $\Omega$ .

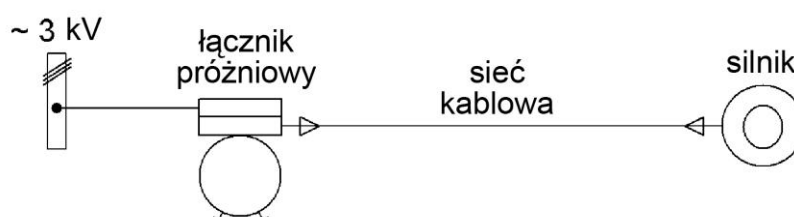
W wyposażeniu urządzeń elektrycznych dla górnictwa największe zainteresowanie wzbudza pytanie o rozwiązania dotyczące izolacji zwilżonych i zanieczyszczonych powierzchni izolatorów. Prąd na zanieczyszczonej i zwilżonej powierzchni izolatora może osiągać dziesiątki i setki miliamperów. Przy przepływie takich prądów rozgrzewa się przewodząca ją warstwa. Pod działaniem prądu upływu wilgoć z powierzchni izolatora stopniowo wyparowuje, przy czym powierzchnia izolatora o mniejszej średnicy wysycha szybciej. Podsuszanie poszczególnych miejsc na powierzchni o małej średnicy izolatora doprowadza do wykształcenia się pierścieniowej strefy o podwyższonej oporności. W rezultacie w tych miejscach zwiększa się spadek napięcia, co doprowadza do wytworzenia się łuku, bocznikującego część drogi upływu. Proces przemieszczenia kanału łuku wzdłuż przewodzącej powierzchni izolatora trwa aż do jego pełnego zamknięcia, co przedstawiono na rysunku 2.

Oprócz powierzchniowych ubytków, wymuszonych warunkami środowiskowymi w górnictwie sprzęcie elektrotechnicznym, w rezultacie zużycia się i starzenia izolacji, możliwe są następujące rodzaje przebicia dielektryków (przede wszystkim izolacji linii kablowych):

- przebicie elektryczne, powstające na skutek zmian w dielektryku lub jego przegrzanie kosztem wydzielanej się energii;
- przebicie cieplne, związane z rozgrzaniem się dielektryka wskutek wydzielanej w nim energii przy podłączeniu napięcia. Jeżeli przy wzroście temperatury wydzielana energia zwiększa się, to przy pewnym napięciu ciepło wydzielające się w dielektryku przekroczy poziom ciepła wydzielanego do otoczenia. To zjawisko doprowadza do ciągłego



Rys. 2. Proces przemieszczenia łuku wzdłuż przewodzącej powierzchni izolatora  
1 – wilgotna przewodząca warstwa, 2 – izolator, 3 – elektrody, 4 – kanał łuku



Rys. 3. Uproszczony jednoliniowy schemat sieci 3 kV

wzrostu temperatury dielektryka w czasie, a następnie do jego uszkodzenia;

- przebicie, związane z rozwojem częściowych ubytków, powstających w osłabionych miejscach dielektryka i jego uszkodzeniem.

Wyboru wielkości napięcia wysokonapięciowego testowania w sieciach 3,0 (3,3) kV nie wolno dokonać, nie znając oddziaływania napięć, którym będzie podlegała izolacja wskazanego sprzętu elektrotechnicznego w procesie wydobywania, a mianowicie, trzeba badać łączeniowe przepięcia, które będą powstawać we wskazanych sieciach. Jak wiadomo [2] w sieciach kopalnianych możliwe są przejściowe procesy, wywołane nagłą zmianą jednego lub kilku parametrów systemu. Nagłe zmiany łączeniowe prądów i napięć najczęściej powstają w sieci przy czynnościach łączeniowych. Te szybko zachodzące przejściowe procesy są przyczyną powstawania łączeniowych przepięć o wysokiej częstotliwości. Dla projektowanego sprzętu elektrotechnicznego o nominalnym napięciu 3,0 (3,3) kV ten problem jest najbardziej aktualny, ponieważ alternatywy dla próżniowej aparatury łączeniowej po prostu brak. Zgodnie z [2] czas przejściowych procesów przy komutacji powietrznym elektromagnetycznym wyłącznikiem stanowi około 7,6–9,6 ms. Proces komutacji w komorze próżniowej można uważać za praktycznie bezłukowy, trwający 1–2 ms, przy czym interesujące będą te przejściowe procesy, które powstają w wysokonapięciowych sieciach po procesie

włączania, dlatego że właśnie on jest poprzedzony wyprzedzającą kontrolą oporu izolacji.

Najprostszy schemat sieci 3,0 (3,3) kV w chwili włączenia można przedstawić tak, jak na rysunku 3.

Ponieważ w realnej sieci nie da się przewidzieć momentu włączenia, a w systemach trójfazowych moment włączenia odpowiedni dla jednej fazy będzie nieodpowiedni dla innych, to zawsze trzeba będzie liczyć się z tym, że w czasie przejściowego procesu mogą powstać łączeniowe przepięcia, amplituda których może o kilka razy przekroczyć znamionową wartość napięcia. Wielkości wskazanych przepięć będą zależały od fazy włączenia i od własnych częstotliwości „łańcuchów”, które utworzyły się po włączeniu. Oprócz tego, duże znaczenie ma to, w jaki sposób jest ustawiony i wyregulowany kinematyczny schemat wyłącznika. Takie czynniki, jak niejednoczesne zamykanie się styków, odskok styków po włączeniu, niewyregulowane szczeliny itd. mogą w sposób istotny negatywnie wpłynąć na charakter procesu komutacji.

### 3. CHARAKTERYSTYKA PARAMETRÓW DZIAŁANIA URZĄDZENIA

Zgodnie z GOST 27863 poziom łączeniowych przepięć w wysokonapięciowych sieciach dla silników elektrycznych nie powinien przekraczać 3-krotnej

amplitudy fazowej wartości napięcia. Najbardziej efektywnym środkiem ochronnym górniczego sprzętu elektrotechnicznego przed łączeniowymi przepięciami zgodnie z [2], są nieliniowe ograniczniki przepięć, szeroko stosowane przez zakłady wytwarzające wysokonapięciowe urządzenia rozdzielcze. Poprawnie dobrane typy stosowanych ograniczników już w stadium opracowywania doświadczalnego wyposażenia łączeniowego o nominalnym napięciu 3,0 (3,3) kV mogą istotnie obniżyć poziom łączeniowych przepięć we wskazanych sieciach do wymogów GOST 27863.

W wyniku analizy 348 oscylogramów trójfazowego napięcia (1044 komutacji jednofazowych), otrzymanej przy certyfikacyjnych próbach wysokonapięciowych aparatów łączeniowych z wyłącznikami próżniowymi wyliczono, że oczekiwanie, co do poziomu przepięć łączeniowych, które mogą powstać w sieci 3,0 (3,3) kV w momencie włączenia równa się  $Mw(k) = 1,34$ , a w momencie wyłączenia –  $Mo(k) = 1,95$  odpowiednio do amplitudowego znaczenia fazowego napięcia, pod warunkiem, że ograniczniki przepięć łączeniowych we wskazanej sieci efektywnie będą ograniczać poziom przepięć łączeniowych do wymaganej w GOST 27863 wielkości  $k=3,0$ , a fazowa izolacja odchodzącej linii będzie poddana działaniu bodźców napięcia o amplitudzie nie większej niż:

$$U_{imp.} = \sqrt{2} \left( \frac{U_n}{\sqrt{3}} \right) k = 8,08 \text{ kV} \quad (2)$$

więc urządzenia wyprzedzająco lub okresowo kontrolujące opór izolacji, które poprawnie będą testować sieć przed jej włączeniem pod napięcie, powinny pracować przy napięciu:

$$U_p = \frac{k_y k_k}{k_i} U_{imp} \quad (3)$$

gdzie:

- $k_y$  – współczynnik wzmocnienia, równy stosunkowi napięć przebiecia izolacji przy stałym i zmiennym (znaczenie amplitudy) napięciu;
- $k_k$  – współczynnik komutatywności, uwzględniający zużycie się izolacji w procesie wydobywania;
- $k_i$  – współczynnik bodźca, równy :

$$k_i = \frac{U_{imp.}}{U_{50Hz}}, \quad (4)$$

gdzie:

- $U_{50Hz}$  – amplituda znaczenia zmiennego napięcia przebiecia (utrzymującego się w ciągu co najmniej 1 min.)

Zgodnie z [3] dla nowej izolacji ( $k_i=2,0$ ,  $k_k=0,8$ ), wielkość  $k_i$  zależy od rodzaju bodźca i od konstrukcji izolacji: dla standardowego bodźca 1,5/40  $\mu$ s,  $k_i=1,9-2,05$ , a dla piłowego bodźca  $k_i=2,0-2,2$ . Elektryczna wytrzymałość przy oddziaływaniu wewnętrznych przepięć jest o 15–20 % niższa niż elektryczna wytrzymałość przy oddziaływaniu atmosferycznych przepięć (standardowy bodziec 1,5/40  $\mu$ s) Dla izolacji  $k_i=1,7$ . W ten sposób zgodnie z formułą (3) znaczenie pomiarowego napięcia urządzeń kontroli oporu izolacji, pracujących przy stałym pomiarowym prądzie, w sieciach 3,0 (3,3) kV powinno wynosić  $U_p = 7,6$  kV.

Obliczona wartość będzie odpowiadać maksymalnym z możliwych przepięć w sieci 3,0 (3,3) kV. Oczywiście jest, że poddawanie izolacji działaniu najwyższego z możliwych dla niej napięć podczas każdego jej testu urządzeniami BRU mija się z celem, gdyż doprowadzi do szybkiego jej starzenia i zużycia. Zgodnie z [3] dopuszczalne starzenie kontrolne próbne napięcia powinno być wyjaśnione w oparciu o niskie wartości napięć przebiecia, przy których nie dojdzie jeszcze do częściowych uszkodzeń izolacji, które mogłyby obniżać okres jej eksploatacji przy kolejnym długotrwałym oddziaływaniu roboczego napięcia (na podstawie dopuszczalnej intensywności częstotliwościowych kategorii), z pewnym współczynnikiem zapasu.

Opierając się na tak postawionym warunku i rozważając to, że wyprzedzająca kontrola oporu izolacji poprzedza proces włączania próżniowego aparatu łączeniowego (najbardziej przewidywane prawdopodobieństwo  $Mw(k) = 1,34$  to jest 2,2 razy mniej, niż wymagane normą 3,0 wg GOST 27863), przyjmując wielkość współczynnika zapasu:  $k_z=2,2$ . W ten sposób napięcie kontroli urządzeń BRU powinno być nie

mniejsze niż:  $\frac{U_p}{k_z} = 3,45$  kV. Obliczona wartość jest

otrzymana z empirycznych współzależności i powinna zostać uściślona po otrzymaniu wyników przemysłowych prób doświadczalnych wzorców wskazanej aparatury.

Dla przeprowadzenia badań – po określeniu dokładnej wielkości nastawy zadziałania (minimalnego progu zadziałania) i zgodnie z przedstawionymi wyżej wymaganiami – zostało utworzone próbne stanowisko, którego dane techniczne przedstawiono w tabeli 1.

Stanowisko całkowicie odpowiada tym technicznym wymaganiom, które zostały wcześniej postawione dla urządzeń poprzedzającej kontroli oporu izolacji. Stanowisko ma dosyć szeroką skalę wyjściowego pomiarowego napięcia. Przy tym jego wysokonapięciowy węzeł jest zrealizowany z elementów o małej mocy i małym przepływie prądu, które

**Tabela 1**  
**Techniczne dane próbnego stanowiska**

Nazwa wskaźnika	Znaczenie
Napięcie zasilania stanowiska	220 V
Moc użytkowa biegu jałowego	$\leq 200$ VA
Rodzaj prądu pomiarowego	stały
Wyjściowe napięcie próbne	0–6000 V
Pomiarowy prąd przy k.z. na wyjściu stanowiska	$\leq 10$ mA
Temperatura, która zaistniała w komorze ciepłno-wilgotnościowej	$35 \pm 2^\circ\text{C}$
Względna wilgotność w komorze ciepłno-wilgotnościowej z kondensacją wilgoci	$98 \pm 2\%$

najczęściej spotyka się w istniejących schematach urządzeń BRU. Prócz tego, stanowisko pozwala przeprowadzać próby na kontrolnych wzorcach izolacyjnych konstrukcji w tych warunkach, które istnieją w szybach kopalnianych (wysoka temperatura i wilgotność).

Celem przeprowadzanych prób było znalezienie charakterystyk zależności zmierzonego znaczenia oporu izolacji kontrolnych wzorców od wyjściowego pomiarowego napięcia próbnego stanowiska  $R_p = f(U_p)$ . W charakterze kontrolnych wzorców wykorzystano różne izolacyjne konstrukcje: odcinki kabla różnych marek, przejściowe i oporowe izolatory z różnych materiałów (ceramika elektryczna, priemiks, kaprolaktam), izolacyjne ciągi dla napędów z wysokonapięciowych wyłączników i inne. Przy tym, dla wszystkich wzorców, które brały udział w eksperymentach, wstępnie nanoszono krytyczne uszkodzenia: mechaniczne (przekłucie, zacięcie) i elektryczne (elektryczne przebicie siłowym urządzeniem przebiciowym).

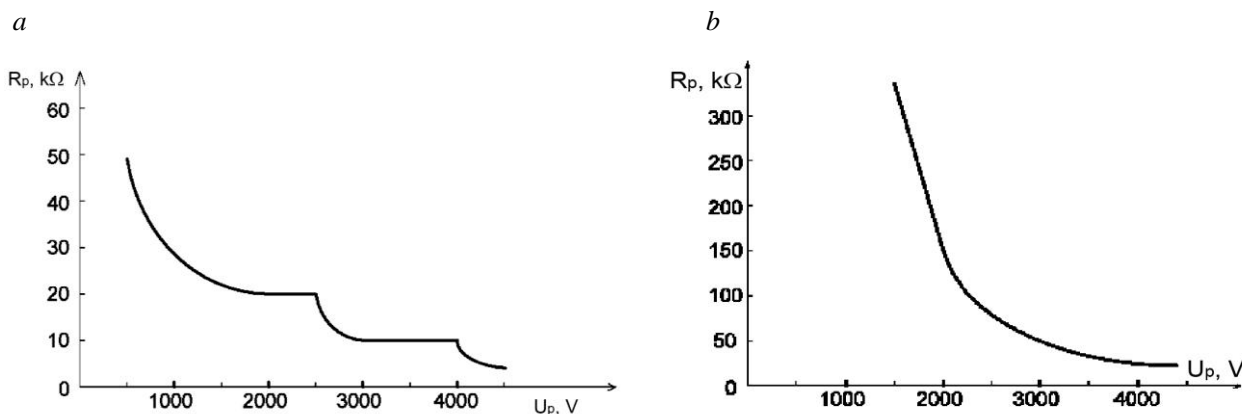
Kolejnym kryterium doboru wśród wszystkich kontrolnych wzorców był warunek, że przy oddziaływaniu zmiennego napięcia o częstotliwości 50 Hz, ich przebicie następuje przy napięciu 1,7-1,9 kV (fazowe

napięcie w sieciach 3,0 (3,3) kV). W ten sposób, podanie napięcia 3,0 (3,3) kV na wskazane wzorce na pewno doprowadzi do powstawania awaryjnej sytuacji w realnej sieci (zaistnieniu jednofazowego zamykania się na uziemienie). Zadaniem urządzenia wyprzedzającej kontroli oporu izolacji jest efektywne zablokowanie łączeniowego aparatu, na wyjściu którego są podobne uszkodzenia.

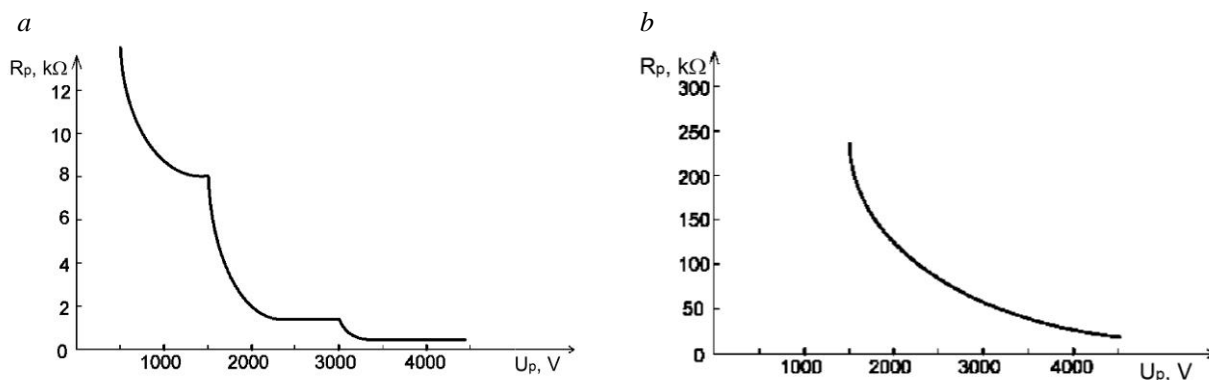
Na rysunku 4 i 5 przedstawiono charakterystyczne zależności  $R_p = f(U_p)$  dla różnych typów kontrolnych wzorców przy różnych warunkach klimatycznych.

Jak widać na przedstawionych zależnościach, przy mechanicznych uszkodzeniach kontrolnych wzorców i przy wzroście wartości pomiarowego napięcia, opory izolacji zmieniają się w sposób skokowy. We wszystkich przypadkach w skali pomiarowego napięcia od 0 do 4500 V występowały dwa charakterystyczne przejścia z jednego poziomu wartości oporu izolacji do innego. Dla wzorców, które zostały poddane elektrycznemu przebiciu, opór izolacji zmieniał się płynnie według prawa podobnego do ekwipotentcjnego. Przy tym należy zaznaczyć, że wartość oporu izolacji dla wzorców, sprawdzanych w komorze ciepłno-wilgotnościowej, nie była wielkością stałą, i z biegiem czasu, pod działaniem pomiarowego napięcia stanowiska, wciąż wzrastała.

Zgodnie z [4] zgromadzoną „wodę” w dielektryku można traktować jako domieszkę, która pod działaniem stałego prądu podlega dysocjacji, tworząc przy tym dodatkowe jony – nośniki prądu, w rezultacie czego gęstość prądu upływu wzrasta. W wilgotnej izolacji w stałym elektrycznym polu wraz z procesem polaryzacji przebiega także proces elektroocyszczania, a towarzyszy mu przenoszenie się zdysocjowanych jonów do anody lub katody w zależności od ładunku jonu. Z czasem koncentracja zdysocjowanych jonów w jednostce objętości dielektryku zmniejsza się na tyle, że następuje powolne spadanie



Rys. 4. Charakterystyczne zależności  $R_p = f(U_p)$  dla różnych typów kontrolnych wzorców  
a – mechaniczne przebicie odcinka kabla BЭББIIIe; b – elektryczne przebicie izolacyjnego ciągu



Rys. 5. Charakterystyczne zależności  $R_p = f(U_p)$  dla różnych typów kontrolnych wzorów.  
 a – mechaniczne przebicie odcinka kabla KГЭIII przy  $t=35\pm 2^\circ Z$  i względnej wilgotności  $98\pm 2\%$  z kondensacją wilgoci; b – elektryczne przebicie odcinka kabla KГЭIII

natężenia prądu, przechodzącego przez dielektryk, do ustalonego poziomu. Dielektryki mogą utrzymywać i inne domieszki, lecz proces elektroczyszczenia zawsze doprowadza z czasem do spadania natężenia prądu, jeżeli nie zachodzą przy tym inne procesy, niszczące elektrody lub sam dielektryk. Stałe napięcie powoduje także suszenie izolacji w wyniku przepływu pomiarowego prądu do odpływu, lecz jest to proces mało znaczący. Jeżeli dielektryk posiada porowatość, to jest w nim możliwe elektroosmowe przenoszenie roztworu wodnego.

Analizą zebranych w trakcie eksperymentów statystycznych danych potwierdzono, że przy wielkości napięcia wysokonapięciowego testowania, co najmniej 3,5 kV, nastawa działania urządzeń poprzedzającej kontroli w sieciach 3,0 (3,3) kV powinna być, co najmniej wielkości:  $M(R_p^{3600}) = 192 \text{ k}\Omega$ .

#### 4. PODSUMOWANIE

Ogólnie rzecz biorąc, przeprowadzona naukowo-badawcza praca pozwala wysnuć następujące wnioski, które przedstawiono w formie opracowanych technicznych wymagań dla aparatów wyprzedzającej kontroli oporu izolacji:

1. Przy zastosowaniu sprzętu elektrotechnicznego o nominalnym napięciu 3,0 (3,3) kV w przodkach przygotowawczych i rejonach wydobywczych kopalni we wskazanych sieciach powinny być stosowane aparaty wyprzedzającej kontroli aktywnego oporu izolacji trzech faz sieci w stosunku do uziemienia, które powinny uniemożliwić włączenie wyłączzonego aparatu przy obniżonym oporze izolacji do wartości, równej oporowi działania aparatu.
2. Opór działania aparatów wyprzedzającej kontroli musi wynosić co najmniej 200  $k\Omega$ .
3. Opór działania nie powinien zmieniać się o więcej niż +25% od doprowadzonego poziomu przy warunkach:

– zmiany napięcia sieci od 0,85 do 1,1 nominalnego znaczenia;

– zmiany pojemności sieci od 0 do 1,0  $\mu F$  na fazę.

4. Kontrola oporu izolacji powinna być realizowana poprzez źródło stałego pomiarowego prądu. Przy tym do faz sieci zaleca się podłączać przeciwny biegun źródła pomiarowego prądu.
5. Napięcie biegu jałowego źródła pomiarowego prądu aparatu blokady powinno wynosić co najmniej 3500 V.
6. Tryb pracy aparatów co najmniej periodyczny. Aparaty powinny automatycznie realizować kontrolę oporu izolacji odpływu przed każdym włączeniem aparatu łączeniowego.
7. Aparaty blokady powinny być zaopatrzone w urządzenia służące do sprawdzenia ich sprawności i sygnalizację informującą o działaniu.

Prócz wyliczonych wymogów dot. aparatów wyprzedzających kontrolę oporu izolacji w sieciach o napięciu 3,0 (3,3) kV, należy również zaliczyć wymagania dot. ochrony elektrycznej izolacji od działania łączeniowych przepięć, tworzonych przez próżniowe wyłączniki (styczniki), a w aparaty łączeniowe powinny być wmontowane urządzenia ochrony przed przepięciami łączeniowymi.

#### Literatura

1. Kolosjuk W.P.: Technika bezpieczeństwa podczas eksploatacji kopalnianych urządzeń elektrycznych. - M.: Niedra, 1987, s. 407.
2. Mnuchin A. G., Koniewski B. I.: Zabezpieczenie kopalnianych sieci elektrycznych przed przeciążeniami komutacyjnymi. M.: Niedra, 1987, 143 s.
3. Technika wysokich napięć. Pod red. M. W. Kostienko. Podręcznik dla wyższych uczelni. M., «Szkoła Wyższa», 1973, s. 528.
4. Sobolew W. G.: Elektryczna izolacja kopalnianych urządzeń elektrycznych. M. Niedra, 1982. s.143.
5. NORMA 27863. Urządzenia zabezpieczające przed przeciążeniami komutacyjnymi w podziemnych sieciach elektrycznych kopalń węgla kamiennego.

Recenzent: doc. dr inż. Franciszek Szczucki