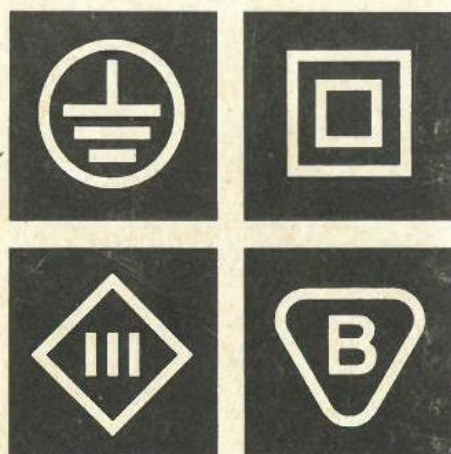


INSTYTUT ENERGOELEKTRYKI POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
ODDZIAŁ WROCŁAWSKI STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH
POLSKI KOMITET OCHRONY PRZED ZAGROŻENIAMI ELEKTRYCZNYMI

X MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA NAUKOWO - TECHNICZNA

OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA
W URZĄDZENIACH ELEKTRYCZNYCH



1945 - 1995
50 LAT WYDZIAŁU ELEKTRYCZNEGO POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

50 LAT ODDZIAŁU WROCŁAWSKIEGO SEP

WROCŁAW 1995

INSTYTUT ENERGOELEKTRYKI POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
ODDZIAŁ WROCŁAWSKI STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH
POLSKI KOMITET OCHRONY PRZED ZAGROŻENIAMI ELEKTRYCZNYMI

**X MIĘDZYNARODOWA
KONFERENCJA NAUKOWO - TECHNICZNA**

**OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA
W URZĄDZENIACH ELEKTRYCZNYCH**

WROCŁAW 1995

1945 - 1995
50 LAT WYDZIAŁU ELEKTRYCZNEGO POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

50 LAT ODDZIAŁU WROCŁAWSKIEGO SEP

Opracowanie redakcyjne materiałów konferencyjnych:
dr inż. JAN MASNY

Tłumaczenie referatów zagranicznych:
dr inż. JAN MASNY
PIOTR MASNY

Opracowanie komputerowe materiałów konferencyjnych:
mgr JAROSŁAW HENKIE
mgr inż. ADAM JAKUBOWSKI
PIOTR MASNY

Rysunki: Jarosław Szwar

Institucje organizujące konferencję:

INSTYTUT ENERGOELEKTRYKI POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
50-370 Wrocław
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
tel. 202-655

STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH
ODDZIAŁ WROCŁAWSKI
50-020 Wrocław
ul. J. Piłsudskiego 74
tel. 366-41

Sprzedaż materiałów konferencyjnych prowadzi:
Instytut Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej

Druk: Drukarnia Oficyny Wydawniczej PWr. Zam. 501/95 – 400+17 egz.

KOMITET ORGANIZACYJNY KONFERENCJI

PREZYDIUM

Przewodniczący - prof. dr hab. inż. ZDZISŁAW TERESIAK
Politechnika Wroclawska, Instytut Energoelektryki

Wiceprzewodniczący - dr inż. ZBIGNIEW LUBCZYŃSKI
Oddział Wroclawski Stowarzyszenia Elektryków Polskich

członkowie prezydium

Prof. dr hab. inż. MARIAN SOBIERAJSKI
Dyrektor Instytutu Energoelektryki Politechniki Wroclawskiej

Prof. dr hab. inż. BOHDAN SYNAL
Dziekan Wydziału Elektrycznego Politechniki Wroclawskiej

Mgr inż. MARIAN WÓJCIK
Przewodniczący Polskiego Komitetu Ochrony przed Zagroženiami
Elektrycznymi SEP

sekretariat

Sekretarz naukowy - dr inż. JAN MASNY
Instytut Energoelektryki Politechniki Wroclawskiej

Sekretarz organizacyjny - inż. KRZYSZTOF NOWICKI
Oddział Wroclawski Stowarzyszenia Elektryków Polskich

CZŁONKOWIE HONOROWI KOMITETU

Prof. Dr. - Ing. habil. SIEGFRIED ALTMANN
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur
Leipzig, NIEMCY

SPIS REFERATÓW SESJI PLENARNEJ

	str.
1. MASNY J.: Współczesne problemy bezpieczeństwa elektrycznego. Referat generalny.....	13
2. MARKOV M.S.: Electric current and electromagnetic field effects on soft tissues.....	27
3. JABŁOŃSKI W.: Działanie prądu elektrycznego na człowieka - pierwsze doświadczenia i tragiczne wypadki.....	43
4. KORNILUK W.: Impedancja ciała człowieka.....	52
5. GIERLOTKA S., KRASUCKI F.: Wpływ mikroklimatu podziemi kopalń na wartość impedancji ciała człowieka.....	59
6. MASNY J., KUDŁA R.: Technika bezpieczeństwa elektrycznego.....	66
7. KORNILUK W., SOBOLEWSKI R.: Modelowanie matematyczne bezpieczeństwa porażeniowego systemu urządzenie elektryczne - człowiek. Zagadnienia ogólne.....	75
8. ZABUSOW W.W., UŁANOWSKI L.M.: Socjalno - psychologiczne i fizjologiczne aspekty bezpieczeństwa elektrycznego w ekstremalnych warunkach środowiskowych.....	83
9. ZABUSOW W.W.: Kompleksowa ocena warunków bezpiecznej eksploatacji urządzeń elektrycznych z uwzględnieniem klimatyczno - geograficznej specyfiki regionu.....	89
10. Nowe propozycje robocze Austriackiego Narodowego Komitetu IEC w sprawie bezpieczeństwa w instalacjach elektrycznych.....	95
11. MÖRXX A.: Nowe ustalenia w dziedzinie elektrofizjologii i ich wpływ na bezpieczeństwo użytkowania urządzeń elektrycznych niskiego napięcia.....	107
12. WÓJCIK M.: Normalizacja krajowa, europejska i międzynarodowa w technice bezpieczeństwa pracy.....	115
13. WIADEREK B., BOCZKOWSKI A.: Porządek normalizacyjny w Polsce w zakresie ochrony przeciwporażeniowej.....	121
14. GAŚSOWSKI H.: Normalizacja krajowa w technice bezpieczeństwa elektrycznego.....	125
15. GÓRSKI S.: Przewidywane skutki wdrożenia znowelizowanych przepisów ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu do 1 kV.....	131

16. CHALIN J.: Komputeryzacja szkolenia i egzaminowania pracowników w zakresie bezpieczeństwa elektrycznego.....	138
17. NIKOLSKIJ O., TRIEMASOW O.: Główne kierunki prac w dziedzinie bezpieczeństwa elektrycznego w Rosji.....	144
18. BIEGELMEIER G.: List do Narodowych Komitetów IEC.....	153
19. TERESIAK Z.: Napięcia względem ziemi w ocenie zagrożenia porażeniem elektrycznym.....	156
20. DANIELSKI L., OSIŃSKI S.: Dezintegracja sieci uziomów naturalnych.....	166
21. DANIELSKI L., JABŁOŃSKI W.: Uziomy fundamentowe sztuczne...	172
22. LEJDY B.: Wpływ prądu elektrycznego na wytrzymałość mechaniczną otuliny betonowej prętów zbrojeniowych naturalnych uziomów fundamentowych.....	180
23. JABŁOŃSKI W.: Problemy projektowania uziemień i połączeń wyrównawczych w instalacjach elektrycznych.....	187
24. MARKIEWICZ H.: Niektóre nowe zastosowania i wyniki badań urządzeń różnicowoprądowych.....	196
25. POPOW W.M.: Kształtowanie sygnału kontrolnego w zabezpieczeniach przeciwporażeniowych.....	206
26. SZCZUCKIJ W.I., NIEMCEW G.A.: Problemy konstrukcji zabezpieczeń upływowych z samokontrolą funkcjonowania.....	212
27. KOZŁOWSKI J.: Ochrona przeciwporażeniowa w sieciach wiejskich pracujących w układach TT.....	218
28. SOSZNIKOW A., SKOPA A.: Metoda zmniejszania zagrożenia pożarowego przy zwarcjach w instalacjach elektrycznych.....	226
29. ANDERSON E., KORNILUK W.: Zagrożenie porażeniowe przy zwarcjach z ziemią w sieciach średnich napięć.....	232
30. SIDOROW A., SITCZICHIN J., OKRAINSKAJA I.: Logiczno - probabilistyczne modelowanie powstawania wypadków porażień elektrycznych w sieciach z izolowanym punktem neutralnym.....	240
31. SIKORSKI J., TELUK T.: Ochrona przeciwporażeniowa monterów sieci kablowych.....	246
32. LEJDY B.: Wypadek porażenia elektrycznego na linii napowietrznej 20 kV.....	255
33. TERESIAK Z., SZUBA M.: Pola elektromagnetyczne sieci i urządzeń elektroenergetycznych w środowisku naturalnym człowieka.....	261

34. SZUBA M., WANDZEL B.: Problematyka oddziaływania pól elektromagnetycznych częstotliwości 50 Hz w zagadnieniach procedury lokalizacyjnej inwestycji elektroenergetycznych.....	272
35. DURNAŚ M., SZWED P.: Zagrożenie dla ludzi wynikające z pracy w obiektach zlokalizowanych bezpośrednio pod liniami WN.....	280
36. DOLIN P., KOROBKOW N.: Niekorzystne czynniki przy prowadzeniu prac pod napięciem na liniach przesyłowych prądu przemiennego najwyższych napięć.....	284
37. DOLIN P., NACZAŁOW A.: Szkodliwe czynniki oddziałujące na człowieka przy pracach pod napięciem na napowietrznych liniach przesyłowych prądu stałego najwyższych napięć.....	289
38. MASNY J.: Ogólny model matematyczny procesów diagnostycznych systemów bezpieczeństwa elektrycznego.....	294
39. SAZYKIN W.: Zautomatyzowany system ekspertowy rozwijających się uszkodzeń eksploatowanych urządzeń elektroenergetycznych...	301
40. REJMER M., WINCENCIK K.: Wyznaczanie impedancji pętli zwarciowej przy wykorzystaniu przebiegu nieustalonego prądu zwarciowego.....	306
41. MARKIEWICZ H.: Badanie skuteczności działania ochrony przeciwporażeniowej z urządzeniami różnicowoprądowymi.....	313
42. DANIELSKI L., ZACIRKA R.: Badania ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach z wyłącznikami różnicowoprądowymi.....	323
43. SIDOROW A., SITCZICHIN J., GŁOTOWA N., ZACHAROWA J.: Automatyczna kontrola parametrów uziemienia.....	330
44. SIKORSKI J., SZPAK S.: Problemy związane z oceną zagrożenia porażeniowego w obszarach układów uziomowych WN, na podstawie pomiarów metodą techniczną.....	336
45. UTEGUŁOW B.B., AJMAGANOWA G.: Wyznaczanie prądu jednofazowego zwarcia z ziemią w niesymetrycznych sieciach o napięciu powyżej 1000 V.....	343
46. SIDOROW A., BIENDJAK N., DUBOWOJ A.: Ciągła kontrola parametrów izolacji w sieciach o napięciu $6 \div 35$ kV.....	347
47. UTEGUŁOW B.B., AJMAGANOWA G.: Metoda wyznaczania parametrów izolacji w niesymetrycznych sieciach o napięciu powyżej 1000 V.....	353
48. PAPUŻYŃSKI W. Zmodyfikowany optyczny wskaźnik wysokiego napięcia.....	357

49.	KRASUCKI F.: Opór izolacji doziemnej sieci jako kryterium bezpieczeństwa rażenia elektrycznego przy podwyższonym napięciu zasilania maszyn górniczych.....	361
50.	GAWOR P., CHOLEWA A.: Podstawy obliczeniowej metody oceny zagrożenia porażeniowego w rozległych sieciach IT.....	368
51.	GAWOR P.: Napięcia dotykowe przy rażeniach od urządzeń trakcji elektrycznej w kopalniach.....	375
52.	MIERZEJEWSKI L.: Rozwiązania ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej urządzeń sieci trakcyjnej 3 kV prądu stałego...	382
53.	SZELAĞ A.: Uszynienia i uziemienia konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej prądu stałego - badania symulacyjne.....	389
54.	BERKAN W., PYTLAK A., ŚWIĄTEK H.: Ochrona przeciwporażeniowa w układach energoelektronicznych.....	398
55.	BERKAN W., PYTLAK A., ŚWIĄTEK H.: Ochrona przeciwporażeniowa w przekształtnikach do nagrzewania indukcyjnego metali w zakresie częstotliwości 10 kHz.....	404
56.	SZCZUCKIJ W.I., BABOKIN G.I., ŁAZARIEW A.: Badania funkcjonowania urządzeń ochronnych w sieciach z przekształtnikami energoelektronicznymi.....	410
57.	SZCZUCKIJ W.I., BABOKIN G.I., KUNICKIJ W.G.: Badania prototypowego urządzenia do kontroli stanu izolacji sieci prądu przemiennego o zmiennej częstotliwości.....	416
58.	HRYNKIEWICZ J., ŻEŁUDZIEWICZ R.: Ochrona przeciwporażeniowa i lokalizacja miejsc uszkodzeń w elektrycznych sieciach okrętowych.....	424
59.	GRZECZKA G., IDZIKOWSKI J., STANISŁAWSKI W.: Wybrane zagadnienia ochrony przeciwporażeniowej na okrętach Marynarki Wojennej RP.....	432
60.	SIWODIEDOW W.G.: Automatyczna ochrona spawaczy przed porażeniem prądem elektrycznym.....	440
61.	BAGAJEW A.I., KULIKOWA L.W.: Główne aspekty bezpieczeństwa elektrycznego przy eksploatacji urządzeń elektrotechnologicznych w rolnictwie.....	446
62.	DROBJAZKO O.: Zautomatyzowane projektowanie systemów bezpieczeństwa elektrycznego w obiektach rolniczych.....	452

SPIS REFERATÓW SESJI PLAKATOWEJ

63. BURĄKOW A.A.: O wyborze prognostycznych czynników dla przewidzenia śmiertelnych elektrotraum
64. SKLIŃSKI R.: Badania rozptyłu prądów w sieci uziomów długich urządzeń elektroenergetycznych SN, podczas zwarć doziemnych w układach 110 kV
65. SMOLEŃ A.: Wybrane zagadnienia ochrony przeciwporażeniowej
66. WENDORFF A.: Ocena krakowskiej sieci kablowej 15 kV o izolowanym punkcie neutralnym

Prof. dr t.n. inż. PIOTR DOLIN
Inż. NIKOŁAJ KOROBKOW
Moskowskij energietycznyj institut
ROSJA

NIEKORZYSTNE CZYNNIKI PRZY PROWADZENIU PRAC POD NAPIĘCIEM NA LINIACH PRZESYŁOWYCH PRĄDU PRZEMIENNEGO NAJWYŻSZYCH NAPIĘĆ *)

Napowietrzne linie przesyłowe najwyższych napięć (750 kV i wyższych) charakteryzują się dużą zdolnością przesyłową, pozwalającą na przesyłanie bardzo dużych ilości energii na wielkie odległości. Obejmując większość terytoriów Rosji, linie te są wykorzystywane jako linie międzysystemowe i transkontynentalne połączenia energetyczne, umożliwiające rozwiązanie wielu problemów eksploatacyjnych, związanych głównie z nierównomiernością rozkładu obciążeń w czasie. Cechą charakterystyczną linii najwyższych napięć jest brak rezerwowych połączeń o dostatecznej zdolności przesyłowej. W związku z tym, podstawowym wymaganiem stawianym tym liniom jest duża niezawodność i ciągłość pracy.

Niezawodności linii napowietrznych nie można zapewnić bez prowadzenia koniecznych prac konserwacyjnych i remontowych. Jednakże duże zakresy tych prac, związane z konstrukcyjną złożonością węzłów sieci elektroenergetycznych najwyższych napięć, a także z wielką liczbą elementów konstrukcyjnych wynikającą z dużej długości linii napowietrznych, wymagałaby dużej liczby wyłączeń zasilania, co zmniejszałoby niezawodność pracy całego systemu elektroenergetycznego Rosji.

Jedynym sposobem, pozwalającym wyeliminować naturalną sprzeczność między zastrzonymi wymaganiami dotyczącymi niezawodności i ciągłości pracy linii napowietrznych najwyższych napięć a potrzebą zwiększania czasu wyłączeń tych linii z powodu remontów i konserwacji, jest szerokie stosowanie nowoczesnych technologii prac pod napięciem, włącznie z pracami prowadzonymi przez personel w bezpośredniej styczności z częściami wiodącymi prąd. Wdrożenie technologii prac remontowych pod napięciem wymaga zapewnienia należytej ochrony przeciwporażeniowej oraz

*) Przekład z jęz. rosyjskiego - dr inż. Jan Masny

ochrony przed szkodliwym oddziaływaniem czynników związanych z występowaniem bardzo wysokich napięć i z przepływem dużych prądów w przewodach linii. Przy pracach pod napięciem na liniach napowietrznych najwyższych napięć występują następujące czynniki niekorzystnie oddziałujące na człowieka :

- a) pole elektryczne i magnetyczne o częstotliwości sieciowej (50 Hz),
- b) przepływający przez człowieka prąd przesunięcia, uwarunkowany istnieniem sprzężeń pojemnościowym ciała człowieka z ziemią,
- c) prądy impulsowe przepływające przez ciało człowieka przy dotykaniu przewodu linii oraz przy dotykaniu elementów osprzętu technologicznego,
- d) środowisko gazowe w otoczeniu przewodów linii (obecność aerojonów, ozonu i tlenków azotu) oraz szумы akustyczne i pola elektromagnetyczne wielkiej częstotliwości, związane z wyładowaniami koronowymi.

Ze względu na warunki oddziaływania na człowieka, spośród wymienionych czynników najlepiej zbadane są następujące : pole elektryczne częstotliwości sieciowej, prądy przesunięcia, prądy impulsowe i wyładowania elektryczne.

Jako czynnik szkodliwy, pole elektryczne występowało już wcześniej, przy opanowywaniu technologii prac pod napięciem na liniach napowietrznych niższych napięć. W liniach napowietrznych o napięciach 220 kV i wyższych, natężenie pola elektrycznego przy powierzchni przewodów zawiera się w granicach $1500 \div 2500$ kV/m. Takie natężenie pola elektrycznego wielokrotnie przekracza dopuszczalną dla człowieka wartość 5 kV/m [1]. Zastosowanie specjalnego ekranującego kompletu odzieży roboczej zapewnia zmniejszenie natężenia pola elektrycznego do wartości mniejszej od granicznej dopuszczalnej. Ekranujący komplet odzieży chroni człowieka także przed szkodliwym oddziaływaniem prądów przesunięcia, prądów impulsowych i wyładowań elektrycznych.

Przy wykonywaniu prac pod napięciem, w pobliżu lub w styczności z częściami wiodącymi prąd, człowiek jest narażony także na oddziaływanie pola magnetycznego częstotliwości sieciowej. Z obliczeń wynika, że największe wartości natężenia pola magnetycznego mogą wynosić $5 \div 6$ kA/m i występują przy powierzchni przewodów, przez które przepływają prądy robocze. Większe wartości natężenia pola magnetycznego występują w przypadkach zwarc.

Wspomniany komplet odzieży ekranującej nie chroni człowieka przed oddziaływaniem pola magnetycznego. Naskórek i skóra właściwa także nie osłabiają oddziaływania pola magnetycznego na wewnętrzne organy

człowieka. Oddziaływanie to jest związane przede wszystkim z przepływem indukowanych w ciele człowieka prądów wirowych. Według danych Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), jako progową wartość charakteryzującą szkodliwość pola magnetycznego można przyjmować gęstość prądów wirowych $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, co odpowiada natężeniu pola magnetycznego $3,4 \text{ kA}/\text{m}$. Dane te są nieco rozbieżne z wymaganiami obowiązującej w Rosji normy sanitarnej [2], która określa graniczne dopuszczalne wartości parametrów charakteryzujących pola magnetyczne o częstotliwości 50 Hz. Rozbieżność tę tłumaczy przede wszystkim fakt, że norma była opracowywana z punktu widzenia oddziaływania pola magnetycznego 50 Hz, wytwarzanego przez elektryczne urządzenia spawalnicze, które charakteryzują się pracą przerywaną.

Pole magnetyczne, oddziaływujące na człowieka przy pracach na linii napowietrznej pod napięciem, jest niejednorodne. Zniekształcenia pola są wprowadzane przez elementy konstrukcyjne linii, sprzęt technologiczny stosowany do prac pod napięciem oraz szereg innych czynników. Wartości prądów wirowych w ciele człowieka, indukowanych przez pole magnetyczne, zależą od położenia ciała człowieka względem przewodów linii napowietrznej. Przedstawione czynniki powodują wzrost indukcji magnetycznej i prądów wirowych w niektórych miejscach ciała człowieka, w porównaniu z wartościami wyznaczonymi przy założeniu jednorodności pola.

Pod wpływem wyładowania koronowego, w pobliżu przewodów zachodzi jonizacja molekuł powietrza. Powstają dodatnio i ujemnie naładowane cząsteczki nazywane aerojonami. W związku z cykliczną zmianą polaryzacji przewodów, aerojony nie nadążają z dyfundowaniem do otaczającego linię środowiska. W linii napowietrznej prądu stałego ruch aerojonów w przestrzeni jest ukierunkowany i tworzy się prąd jonowy. Wartość prądu jonowego silnie zależy od warunków pogodowych, które mają także wpływ na intensywność ulotu oraz na koncentrację aerojonów w przestrzeni.

Biologiczne oddziaływanie aerojonów zbadano dostatecznie dokładnie, ale tylko w związku z ich obecnością na poziomie ziemi, pod liniami prądu stałego. Przy wykonywaniu prac remontowych na przewodach linii napowietrznych znajdujących się pod napięciem, człowiek znajduje się w strefie maksymalnej koncentracji aerojonów. Przedostając się do organizmu przez drogi oddechowe, aerojony wykazują szkodliwe oddziaływanie na zdrowie człowieka. Można przyjąć, że ekran twarzy, wchodzący w skład opisanego uprzednio kompletu odzieży ekranującej i mający - jak cały komplet - potencjał identyczny z potencjałem przewodu, spełnia rolę filtra aerojonów.

Jednakże, nie ma obecnie eksperymentalnych danych, dotyczących koncentracji aerojonów w pobliżu przewodów linii. Nie ma też danych charakteryzujących skuteczność odzieży ekranującej.

Pod wpływem wyładowania koronowego, w powietrzu tworzy się mieszanina oksydantów, składająca się głównie z ozonu (90 ÷ 95 %) i tlenków azotu (5 ÷ 10 %). W literaturze można znaleźć dostatecznie dużo danych pomiarowych dotyczących koncentracji ozonu i tlenków azotu na poziomie ziemi, w pobliżu linii napowietrznej. Całkowicie brakuje natomiast informacji o ich oddziaływaniu na zdrowie człowieka wykonującego prace na linii napowietrznej pod napięciem, tj. w obszarze największej koncentracji tych gazów. Na poziomie ziemi pod linią napowietrzną 765 kV, koncentracja ozonu zawiera się w przedziale od 0 do 10,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [5].

Ulot z przewodów generuje także pola elektromagnetyczne wielkiej częstotliwości oraz szumy akustyczne. Spektrum częstotliwości tych pól obejmuje częstotliwości od dziesiątych części do setek megaherców. Jak wykazały badania medyczne, najbardziej wrażliwy na oddziaływania pól elektromagnetycznych wielkiej częstotliwości jest centralny system nerwowy, układ sercowo - naczyniowy oraz system immunologiczny.

Do dzisiaj pola wielkiej częstotliwości w pobliżu przewodów linii napowietrznych nie były badane z punktu widzenia szkodliwości oddziaływań na człowieka. Nie była też analizowana - z tego punktu widzenia - ochrona personelu wykonującego prace pod napięciem.

Wykonywane w wielu krajach pomiary hałasu związanego z pracą linii napowietrznych wykazały, że przy powierzchni ziemi poziom hałasu jest mniejszy od wartości granicznej dopuszczalnej 80 dB. W związku z tym, nigdy nie rozważano wpływu hałasu na personel obsługujący linię napowietrzną, chociaż nawet przy dobrej pogodzie jest on znaczny i może być powodem skarg zamieszkałej w pobliżu ludności. Na liniach napowietrznych najwyższych napięć, poziom hałasu w pobliżu przewodu w dobrych warunkach pogodowych sięga 100 ÷ 120 dB, a więc przekracza wartość graniczną dopuszczalną.

Z przedstawionego opisu wynika, że przy pracach pod napięciem na napowietrznych liniach przesyłowych najwyższych napięć, występuje znacznie więcej czynników wykazujących szkodliwe oddziaływanie na zdrowie człowieka, niż na liniach niższych napięć. Wartości wielkości charakteryzujących szkodliwe czynniki na ogół przekraczają wartości uznawane dotychczas jako dopuszczalne. W związku z tym, istnieje celowość

przewodzenia dalszych badań warunków bezpiecznej pracy ludzi pod napięciem na liniach napowietrznych najwyższych napięć.

Współcześnie, ochronę człowieka przy pracach pod napięciem na liniach najwyższych napięć można zrealizować podejmując następujące działania :

- a) opracowanie indywidualnych środków ochrony,
- b) stworzenie korzystniejszych warunków pracy linii napowietrznych, w których zmniejszy się szkodliwość oddziaływań niekorzystnych czynników na personel eksploatacyjny,
- c) ograniczenie czasu przebywania ludzi w pobliżu przewodów linii elektroenergetycznej, w wyniku zmian technologii prowadzenia prac pod napięciem,
- d) opracowanie i produkcja sprzętu technologicznego zmniejszającego oddziaływanie szkodliwych czynników.

LITERATURA

1. GOST 12.1.002-84. Elektriczeskije polja promyszlennej czastoty. Dopustimyje urowni naprjażennosti i triebowanija k prowadieniju kontrolja na raboczich miestach.
2. Priedielnyje dopustimyje urowni magnitnych poliej czastoty 50 Hz. NII Gigieny truda i profzaboliewanij, Charkow 1986.
3. Rokotjan S. (red.) : Elektropieriedaczi swierchwysokogo naprjażenija. Eniergija, Moskwa 1976.
4. Szkarin J. (red.) : Wlijanije elektroustanowok wysokogo naprjażenija na okružajuszczuju sriedu. Eniergoatomizdat, Moskwa 1984.
5. Dolin P.: Osnowy tiechniki biezopasnosti w elektroustanowkach. Eniergoatomizdat, Moskwa 1984.

Prof. dr t.n. inż. PIOTR DOLIN
Inż. ALEKSANDR NACZAŁOW
Moskowskij eniergieticzieskij institut
ROSJA

SZKODLIWE CZYNNIKI ODDZIAŁYWUJĄCE NA CZŁOWIEKA PRZY PRACACH POD NAPIĘCIEM NA NAPOWIETRZNYCH LINIACH PRZESYŁOWYCH PRĄDU STAŁEGO NAJWYŻSZYCH NAPIĘĆ *)

W ostatnich latach w wielu krajach szerokie zastosowanie znalazł sposób przesyłu energii elektrycznej liniami napowietrznymi prądu stałego najwyższych napięć. W związku z budową w naszym kraju międzysystemowej linii napowietrznej prądu stałego o napięciu 1500 (750) kV, wynikła konieczność ekologicznego zabezpieczenia prac związanych z eksploatacją tej linii. Konieczna stała się także ocena szkodliwych czynników oddziaływujących na personel zatrudniony przy pracach na tej linii pod napięciem.

Jednym z głównych kierunków postępu naukowo-technicznego w dziedzinie sieci elektroenergetycznych jest wprowadzanie prac pod napięciem na liniach przesyłowych, pozwalające na znaczny wzrost efektywności pracy linii i zwiększenie pewności zasilania odbiorców. Efekty ekonomiczne związane ze stosowaniem prac pod napięciem znacznie rosną ze wzrostem napięcia linii przesyłowej. Z tego powodu, a także ze względu na podwyższone wymagania dotyczące niezawodnej i bezprzerwowej pracy międzysystemowej linii napowietrznej 1500 kV prądu stałego, wynika konieczność wdrożenia technologii wykonywania prac remontowych na tej linii pod napięciem.

Dotychczas stworzono kompleks niezbędnych urządzeń, izolacyjnych przyrządów i sprzętu oraz opracowano technologię wykonywania prac pod napięciem na linii napowietrznej 1500 kV prądu stałego. Zapewniają one bezpieczeństwo personelu przy przebiegach łączeniowych i atmosferycznych oraz pozwalają prowadzić prace remontowe bez ingerowania w układy zabezpieczeń i automatyki. Jednakże, problem stworzenia zdrowych warunków pracy pod napięciem, w szczególności dla personelu pracującego w styczności z potencjałem elektrycznym przewodu, dotychczas nie jest należyście rozwiązany.

*) Przekład z jęz. rosyjskiego - dr inż. Jan Masny

W ostatnich latach w Rosji, USA, Japonii, Kanadzie i w innych krajach zaczęto prowadzić badania oddziaływań linii napowietrznych prądu stałego najwyższych napięć na otaczające linię środowisko i na człowieka. Przy tym, w pierwszej kolejności, bada się czynniki oddziaływujące na człowieka znajdującego się na ziemi, a nie na człowieka pracującego pod napięciem i znajdującego się w pobliżu przewodu linii.

Wiadomo, że na człowieka znajdującego się w pobliżu linii napowietrznych najwyższych napięć szkodliwie oddziałuje pole elektryczne i magnetyczne oraz czynniki związane z wyładowaniami koronowymi na przewodach linii. Do tych ostatnich należy promieniowanie elektromagnetyczne w szerokim pasmie częstotliwości, ozon, tlenki azotu, hałas (szum), jonizacja powietrza, a być może także promieniowanie rentgenowskie. Oprócz tego, na personel wykonujący prace pod napięciem oddziałują wyładowania elektryczne, powstające między ciałem człowieka a tkaniną specjalistycznej odzieży ekranującej, a także prądy impulsowe, powstające w chwili przenoszenia potencjału przewodu na odzież ekranującą i pomost roboczy.

Pomiary i badania wymienionych czynników w pobliżu przewodów linii napowietrznej są utrudnione ze względu na obecność silnego tła elektromagnetycznego, przy którym zastosowanie seryjnie produkowanych przyrządów pomiarowych staje się niemożliwe. W związku z tym, prowadzenie badań wymaga stworzenia odpowiedniej bazy metrologicznej. Z pewną wiarygodnością można także dokonać pośredniej oceny parametrów i stopnia oddziaływania szkodliwych czynników na człowieka.

Przy badaniach wymienionych szkodliwych czynników szczególną uwagę należy zwrócić na ocenę wpływu natężenia pola elektrycznego, koncentracji aerojonów i gęstości prądu jonowego. W związku z tym, celem pierwszych prac badawczych były pomiary parametrów wymienionych czynników i odpowiednie do uzyskanych wyników sprawdzanie ochronnych właściwości kompletów ekranującej odzieży specjalistycznej.

Aerojony wywołują trzy rodzaje niekorzystnych oddziaływań na organizm człowieka :

a) ładunek przestrzenny na ciele człowieka warunkuje przepływ przez niego prądu jonowego,

b) ładunek, gromadzący się na ciele człowieka w rezultacie osadzania się na nim aerojonów, wywołuje bolesne rozładowanie w chwili, gdy odizolowany uprzednio od ziemi człowiek styka się z uziemionymi konstrukcjami,

c) przy wdychaniu powietrza, zawarte w nim aerojony wnikają do organizmu człowieka, wywołując określone zmiany funkcjonalne.

Koncentracja aerojonów była mierzona na doświadczalnym odcinku linii napowietrznej 1500 kV prądu stałego, znajdującym się pod napięciem znamionowym. Pomiaru były przeprowadzane w różnych miejscach strefy robót pod napięciem, w tym także przy styczności człowieka z potencjałem przewodu. Pomiaru wykonywano aerojonometrem Ibrahimowa, przeznaczonym do wyznaczania koncentracji aerojonów i naładowanych elektrycznie aerozoli i zmodyfikowanym do stosowania w strefie robót pod napięciem. Pomiaru przeprowadzono przy temperaturze powietrza $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ i prędkości wiatru 3-5 m/s, wiejącego w kierunku prostopadłym do osi linii od strony przewodu o biegunowości dodatniej. Koncentracja aerojonów, zmierzona przy przewodzie o biegunowości ujemnej, wynosiła $5 \cdot 10^4\text{ cm}^{-3}$ dla jonów ujemnych i $7 \cdot 10^2\text{ cm}^{-3}$ dla jonów dodatnich. Koncentracje tych jonów przy przewodzie o biegunowości dodatniej wynosiły odpowiednio $2 \cdot 10^2\text{ cm}^{-3}$ i $2 \cdot 10^4\text{ cm}^{-3}$.

Należy stwierdzić, że na podstawie wyników jednej serii pomiarów nie można wysunąć ostatecznych wniosków dotyczących zmian koncentracji aerojonów w zależności od odległości od przewodów, warunków meteorologicznych i od parametrów elektrycznych środowiska. Konieczne jest prowadzenie dalszych wszechstronnych badań tego czynnika w warunkach rzeczywistych. Opracowany projekt sanitarno-higienicznych norm określa graniczną dopuszczalną koncentrację tylko lekkich aerojonów o ruchliwości powyżej $0,1\text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, równą $5 \cdot 10^4\text{ cm}^{-3}$.

Badania użyteczności seryjnie produkowanych kompletów odzieży specjalistycznej dla ochrony personelu wykonującego prace pod napięciem na linii napowietrznej 1500 kV prądu stałego, były przeprowadzane na doświadczalnym przęśle linii napowietrznej ultrawysokiego napięcia. Wyznaczano wskaźniki ekranowania ze względu na natężenie pola elektrycznego, prąd jonowy i koncentrację aerojonów lub ze względu na stopień zmniejszenia wymienionych parametrów, mierzonych dla człowieka w odzieży ekranującej i bez niej. Dla oceny skuteczności ekranującej odzieży specjalistycznej, wyznaczone na drodze eksperymentalnej wskaźniki ekranowania porównywano z najmniejszymi dopuszczalnymi wskaźnikami, które wyznaczano jako stosunki maksymalnych wartości wymienionych parametrów i ich granicznych dopuszczalnych wartości określonych w odpowiednich normach sanitarno-higienicznych. Przy tym wszystkie pomiary kompletu ekranującej odzieży były przeprowadzane na potencjale ziemi.

Niezależnie od uzasadnień i obliczeń najmniejszych dopuszczalnych wskaźników ekranowania, na wstępnym etapie badań wyznaczono w warunkach laboratoryjnych wskaźniki ekranowania ze względu na wymienione parametry dla próbek różnych tkanin, z których miały być wykonane komplety odzieży ekranującej.

Projekt sanitarno-higienicznych norm ustanawia graniczną dopuszczalną wartość natężenia pola elektrycznego 15 kV/m, bez ograniczenia czasu przebywania w nim, przy warunku, że przy tym gęstość prądu jonowego nie przekracza 20 nA/m². Odwrotnie, graniczna dopuszczalna wartość gęstości prądu jonowego w ciągu całego dnia roboczego nie powinna przekraczać 20 nA/m² pod warunkiem, że natężenie pola elektrycznego nie przekracza 15 kV/m. Obliczone przy tych warunkach najmniejsze dopuszczalne wskaźniki ekranowania powinny być mniejsze niż :

- a) 20 - ze względu na natężenie pola elektrycznego,
- b) 25 - ze względu na prąd jonowy,
- c) 5 - ze względu na koncentrację aerojonów.

W wyniku badania próbek tkanin ustalono, że w przypadku tkaniny uziemionej wskaźnik ekranowania ze względu na natężenie pola elektrycznego przekracza wartość dopuszczalną 32 ÷ 125 razy, a ze względu na prąd jonowy przekracza o 2 ÷ 4 rzędy wartość dopuszczalną. Wskaźnik ekranowania ze względu na koncentrację aerojonów w znacznym stopniu zależy od rodzaju tkaniny : dla tkaniny TEN-08 jest on o 3 rzędy większy od dopuszczalnego, dla tkaniny TEW-09 przekracza 10 ÷ 15 razy wartość dopuszczalną, natomiast dla tkaniny ekranującej twarz jest mniejszy od dopuszczalnego.

W związku z niedoskonałością przyrządów pomiarowych i swoistą zdolnością ochronną różnych rodzajów tkanin, pomiary skuteczności ekranowania kompletów odzieży ze względu na natężenie pola elektrycznego i koncentrację aerojonów nie mogą być przeprowadzane w warunkach polowych . W związku z tym, skuteczność ekranowania kompletu odzieży określa się na podstawie wskaźników ekranowania tkaniny, z której komplet został wykonany. Ze względu na prąd jonowy, komplet odzieży w całości ma wskaźnik ekranowania większy od dopuszczalnego, gdy kaptur jest nałożony na głowę i twarz jest osłonięta ekranem.

Wyniki badań świadczą o tym, że ekranujące komplety odzieży mogą być wykorzystywane przez personel do prac pod napięciem na potencjale ziemi przy następujących warunkach :

- a) komplet powinien być uziemiony za pośrednictwem wchodzącego w jego skład ekranującego obuwia,
- b) na głowę powinien być nałożony kaptur,
- c) na twarz powinien być opuszczony ekran, który należy wzmocnić przez naszytą na siatkę w okolicach ust i nosa kawałką tkaniny, z której wykonany jest komplet.

Analogiczne badania powinny być przeprowadzone w celu określenia możliwości stosowania istniejących ekranujących kompletów odzieży przy prowadzeniu prac pod napięciem na słupie i bezpośrednio w styczności z potencjałem przewodu linii napowietrznej prądu stałego.

Posiadane dane świadczą o tym, że badania i ocena biologicznego oddziaływania szkodliwych czynników występujących przy pracach pod napięciem w napowietrznych liniach prądu stałego o napięciu 1500 kV nie są zakończone i dostatecznie opracowane. Rozwiązanie istniejących problemów wymaga prowadzenia badań, których wyniki umożliwią stworzenie bezpiecznych i zdrowych warunków wydajnej pracy.

LITERATURA

1. GOST 12.1.045-84. SSBT. Elektrostatyčeskije polja. Dopustimyje urowni na raboczich miestach i tribowanija k prowadieniju kontrolja.
2. Szkarin J.: Wlijanije elektroustanowok vysokogo naprjaženija na okružajuszczuju sriedu. Energoatomizdat, Moskwa 1984.
3. Dopustimyje urowni naprjaženosti elektrostatyčeskich poliej i płotnosti ionnogo toka dlja piersonała podstancij i wozdusznych linij postojannogo toka ultrawysokogo naprjaženija. Nr 6032-91, NIC Goskomsanepidnadzor 1993.
4. Dolin P.: Osnovy tiechniki biezopasnosti. Energoatomizdat, Moskwa 1984.