ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1981

Seria: ELEKTRYKA z. 76 Nr kol. 689

Kurt ŻMUDA

Instytut Elektroenergetyki
i Sterowania Układów

Politechniki Śląskiej

KASKADOWE USZKODZENIA SŁUPÓW STALOWYCH W LINIACH WYSOKIEGO NAPIĘCIA

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań statystycznych uszkodzeń słupów stalowych w liniach 110 i 220 kV za okres 15 lat. Podano wartości prawdopodobieństwa rozprzestrzeniania się uszkodzeń słupów przelotowych wewnątrz sekcji odciągowych linii. Rozpatrzono pod względem technicznym i ekonomicznym sposoby ograniczenia liczby i rozmiarów awarii kaskadowych słupów. Podano praktyczne wnioski.

1. WSTĘP

Uszkodzenia słupów w liniach wysokiego napięcia stanowią najbardziej dotkliwe w skutkach przypadki awarii. Mają one zwykle charakter kaskadowy, tj. uszkodzenie (złamanie, skręcenie lub przewrócenie) jednego ze słupów powoduje uszkodzenie następnych, ze względu na występujące wtedy duże obciążenia zakłóceniowe. Przebieg awarii kaskadowych oraz ich ostateczne rozmiary w poszczególnych przypadkach mogą być różne z uwagi na wpływ wielu losowych czynników. Istnieją jednak również czynniki determinacyjne, takie jak rozwiązanie konstrukcyjne linii, rozmieszczenie słupów różnego typu w linii oraz niektóre zasady obliczania słupów, które w znacznym stopniu wpływają na liczbę i rozmiary kaskadowych awarii słupów. Analiza zaistniałych awarii w powiązaniu z odpowiednimi analizami techniczno-ekonomicznymi powinna więc pozwolić na zweryfikowanie niektórych aktualnych zasad projektowania linii.

2. BADANIA STATYSTYCZNE USZKODZEŃ SŁUPÓW STALOWYCH

W krajowych liniach wysokiego napięcia ($U_n \geq 110$ kV) w praktyce stosowane są następujące typy słupów: przelotowe (P), przelotowo-skrzyżowaniowe (PS), narożne (N) oraz odporowo-narożne (ON). Zasady obliczania tych słupów na różne kombinacje obciążeń są określone w normie PN-75/E-05100. Zgodnie z normą słupy przelotowe oraz narożne nie są obliczane na obciążenie awaryjne spowodowane zerwaniem przewodu (obliczeniu takiemu podlegają słupy przelotowo-skrzyżowaniowe oraz odporowo-narożne), nie ogranicza się rów-

nież długości sekcji odciągowych w linii. Norma nie przewiduje także obliczania słupów na obciążenie kombinowane oblodzeniowo-wiatrowe.

Awarie, w których wystąpiły uszkodzenia słupów, można podzielić na dwie grupy:

a) awarie pierwotne słupów, w czasie których jako pierwszy element uszkodzeniu ulega słup na wskutek działania obciążeń zewnętrznych (wiatr, oblodzenie itp.),

b) awarie wtórne słupów, w czasie których słupy ulegają uszkodzeniu na wskutek działania obciążeń zakłóceniowych, spowodowanych zerwaniem przewodu roboczego lub odgromowego albo zerwaniem zawieszenia odciągowego przewodu.

W latach 1963÷1977 w krajowych liniach 110 i 220 kV 40% awarii słupowych stanowiły awarie pierwotne, zaś 60% awarie wtórne [1].

W analizowanym zbiorze awarii stwierdzono tylko po jednym przypadku uszkodzenia pierwotnego i wtórnego słupów odporowo-narożnych. Pozostałe awarie dotyczyły wyłącznie słupów przelotowych, dla których wynikające ze statystyki wskaźniki uszkodzeń podano w tabl. 1. Ryzyko uszkodzenia pierwotnego pojedynczego słupa obliczono jako iloraz liczby awarii pierwotnych oraz średniej liczby słupów przelotowych na 100 km linii. Ryzyko uszkodzenia wtórnego obliczono podobnie, przy czym uwzględniono, że przeciętnie w 56% przypadków wtórnych awarii słupów w liniach 110 kV uszkodzeniu ulegają słupy z obu stron miejsca zerwania przewodu (traktowano to jako dwa uszkodzenia wtórne); dla linii 220 kV wskaźnik ten wynosi ok. 70%. Ryzyko uszkodzenia wtórnego rozdzielono przy tym na:

- ryzyko uszkodzenia trzona słupa,
- ryzyko uszkodzenia tylko wysięgników lub wieżyczek odgromowych.

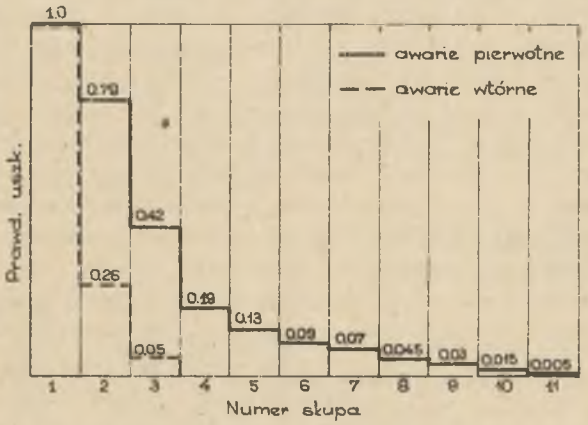
Tablica 1

Wskaźniki uszkodzeń słupów przelotowych linii 110 i 220 kV za okres 1963 ÷ 1977 r. [1]

Wskaźnik uszkodzeń	Ozn.	Jedn.	Linie 110 kV	Linie 220 kV
Liczba awarii słupowych		1/100 km.a	0,047	0,038
W tym:				
- awarie pierwotne		-"-	0,018	0,018
- awarie wtórne		-"-	0,029	0,020
Ryzyko uszkodzenia pierwotnego słupa	R_{p1}	1/a	$5,7.10^{-5}$	$8,6.10^{-5}$
Ryzyko uszkodzenia wtórn. trzona słupa	R_{p2}	1/a	$10,4.10^{-5}$	$10,2.10^{-5}$
Ryzyko uszkodzenia wtórnego wysięgników i wieżyczek odgromowych	R'_{p2}	1/a	$4,0.10^{-5}$	$6,0.10^{-5}$

Podstawową przyczyną uszkodzeń pierwotnych słupów jest wiatr (78% przypadków), natomiast uszkodzeń wtórnych upalenie lub zerwanie przewodu na wskutek upadku drzew na linie (45% przypadków).

Rozprzestrzenianie się awarii słupowych pierwotnych i wtórnych wewnątrz sekcji odciągowej charakteryzują wykresy podane na rys. 1, otrzymano ze szczegółowej analizy 21 awarii pierwotnych i 29 awarii wtórnych słupów w krajowych liniach 110 i 220 kV. Jako miarę rozprzestrzeniania się awarii przyjęto prawdopodobieństwo uszkodzenia kolejnych słupów przelotowych, położonych coraz dalej od pierwszego uszkodzonego słupa. Na rys. 1 nr 1 oznacza pierwszy uszkodzony słup, nr 2 słupy przyległe itd. Ponieważ w przypadku awarii pierwotnych zwykle nie wiadomo, który ze słupów uległ uszkodzeniu jako pierwszy, przy wyznaczaniu wartości prawdopodobieństwa zastosowano specjalną technikę obliczeń, traktując miejsce zapoczątkowania awarii jako losowe (z odpowiednim prawdopodobieństwem).



Rys. 1. Prawdopodobieństwo rozprzestrzeniania się uszkodzeń słupów przelotowych wewnątrz sekcji odciągowej podczas awarii słupowych pierwotnych i wtórnych

Z wykresów wynika, że w przypadku awarii pierwotnych uszkodzeniu ulega zwykle większa liczba słupów niż w przypadku awarii wtórnych. Ma to związek z występowaniem w czasie awarii pierwotnych dużych obciążeń zewnętrznych (najczęściej wiatrowych), poza tym uszkodzenia słupów są zwykle znacznie poważniejsze.

Podany na rys. 1 wykres dla awarii słupowych wtórnych dotyczy przypadku uszkodzenia wtórnego trzona słupa. W przypadku uszkodzenia wtórnego wysięgnika słupa zakłócenie z reguły nie rozprzestrzenia się dalej.

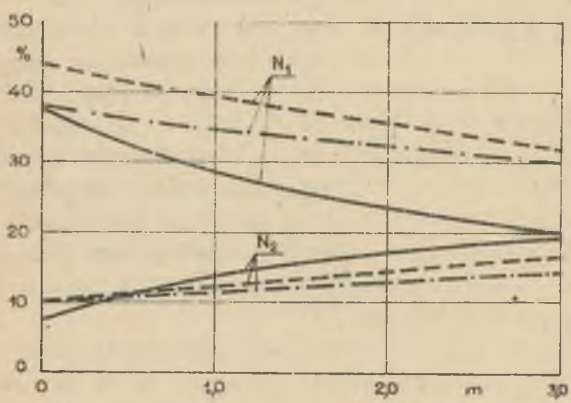
3. ANALIZA MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA LICZBY I ROZMIARÓW AWARII SŁUPOWYCH

Z danych statystycznych wynika, że prawie wszystkie awarie związane są ze słupami przelotowymi. Ograniczenie liczby i rozmiarów awarii słupowych możliwe jest więc głównie poprzez:

a) zmianę zasad obliczania słupów przelotowych na różne obciążenia i ich kombinacje,

b) zastosowanie uchwytów przelotowych wyślizgowych,
c) zastosowanie wysięgników wahliwych lub o zmniejszonej wytrzymałości na obciążenie wzdłużne,
d) ograniczenie długości sekcji odciągowych.

Zmiana zasad obliczania słupów przelotowych wiąże się przede wszystkim z ustaleniem prawidłowych wartości obciążeń wiatrowych dla linii różnych napięć. Zagadnienie to rozpatrzono w artykule [2]. Kombinowane obciążenie oblodzeniowo-wiatrowe nie zostało jeszcze dostatecznie zbadane, nie tylko w kraju. Awarie powodowane tym obciążeniem występują rzadko (w Polsce w grudniu 1966 r. i październiku 1974 r.), lecz obejmują znaczne rejony. Na ogół sądzi się, że wprowadzenie do krajowej normy obowiązku obliczania słupów przelotowych na obciążenie kombinowane byłoby w sumie nieopłacalne. Podobny pogląd panuje w odniesieniu do obciążenia zakłóceniowego spowodowanego zerwaniem przewodu, zwłaszcza w związku z istnieniem innych, tańszych sposobów ograniczenia liczby uszkodzeń wtórnych słupów przelotowych.



Rys. 2. Obciążenie statyczne wysięgników na pierwszym (N_1) i drugim (N_2) słupie - w przypadku zerwania przewodu - w funkcji odkształcenia wysięgnika na pierwszym słupie. Strefa klimatyczna nizinna, temperatura + 10°C

——— - linia 110 kV, przewody AFL-6 240 mm²
- - - - linia 220 kV, przewody AFL-8 525 mm²
—.— - linia 400 kV, przewody 2 x AFL-8 525 mm²

Jednym z nich jest zastosowanie uchwytów przelotowych wyślizgowych. W związku z dużą (nadmierną) liczbą zerwań przewodów przez upadające drzewa, uchwyty te powinny być stosowane w pierwszej kolejności na odcinkach leśnych linii.

Następna możliwość wiąże się z odnotowanym wyżej nierozprzestrzenianiem się zakłócenia w przypadku uszkodzenia tylko wysięgnika słupa. Na rys. 2 podano wykresy sił statycznych (naciągu przewodu) działających na pierwszy (N_1) i drugi słup (N_2) - licząc od miejsca zerwania przewodu - w funkcji wielkości odkształcenia (wygięcia wzdłuż linii) wysięgnika na pierwszym słupie. Obliczenia wykonano dla średniej temperatury otoczenia (+10°C), zaś wyniki podano w % naciągu obliczeniowego przewodu. W miarę wzrostu odkształcenia wysięgnika siła N_2 rośnie, lecz w granicach możliwych odkształceń wysięgnika nie przekracza ok. 20%, tj. nie przekracza samoistnej wytrzymałości słupów przelotowych na obciążenie zakłóceniowe spowodowane zerwaniem przewodu. Z powyższego można wnioskować, że jednym ze sposobów ogra-

niczenia rozmiarów awarii spowodowanych zerwaniem przewodu jest zastosowanie wysięgników o kontrolowanej wytrzymałości, mniejszej od samoistnej wytrzymałości trzonów słupów.

Ograniczenie długości sekcji odciągowych wiąże się ze zwiększeniem kosztu budowy linii oraz pewnym zmniejszeniem liczby uszkodzonych słupów. W oparciu o rachunek ekonomiczny można ustalić, czy rozwiązanie takie jest opłacalne. Jako kryterium przyjęto wielkość $\varkappa$, będącą stosunkiem przeciętnych kosztów strat związanych z uszkodzeniem pojedynczego słupa do kosztu słupa przelotowego. Zakładając, że całkowite koszty strat są proporcjonalne do liczby uszkodzonych słupów, krytyczna wartość $\varkappa$, przy której następuje zrównanie strat i zysków związanych z ograniczeniem długości sekcji odciągowych wynosi [1]:

$$\varkappa_{kr} = \frac{m(K_m - K_p)\,\Delta n_m}{(\Delta U_1 + \Delta U_2)\,K_p}, \tag{1}$$

gdzie:

K_m – koszt typowego słupa odporowo-narożnego (słupa mocnego),

K_p – koszt typowego słupa przelotowego,

Δn_m – zwiększenie liczby słupów mocnych na 100 km linii,

ΔU_1, ΔU_2 – oczekiwane zmniejszenie liczby uszkodzonych słupów w ciągu roku na 100 km linii, odpowiednio podczas awarii słupowych pierwotnych i wtórnych,

m – współczynnik kosztów stałych równy 0,14 dla linii 110÷400kV,

przy czym oczekiwaną liczbę uszkodzonych słupów przelotowych w ciągu roku na 100 km linii można obliczyć następująco:

$$U_1 = n_p\,R_{p1}\,u_1 = n_p\,R_{p1}\sum_k m_k\,u_{1k}, \tag{2}$$

$$U_2 = n_p\,R_{p2}\,u_2 = n_p\,R_{p2}\sum_k m_k\,u_{2k}, \tag{3}$$

gdzie:

n_p – średnia liczba słupów przelotowych na 100 km linii,

u_1, u_2 – średnia liczba uszkodzonych słupów w czasie awarii słupowej pierwotnej i wtórnej,

m_k – względna liczba słupów przelotowych (odniesiona do ogólnej liczby słupów przelotowych w linii) zawartych w sekcjach odciągowych o liczbie słupów przelotowych k,

u_{1k}, u_{2k} – średnia liczba uszkodzonych słupów w czasie awarii słupowej pierwotnej i wtórnej w sekcji odciągowej o liczbie słupów przelotowych k.

Wartości u_{1k} i u_{2k} można obliczyć w oparciu o wartości prawdopodobieństwa podane na rys. 1.

P r z y k ł a d - dla linii 1-torowej 220 kV na słupach serii H52:

a) koszt kompletnego słupa (wraz z fundamentem, izolacją i uziemieniem) typu P - 86,5 tys. zł,
b) koszt kompletnego słupa ON150+5 - 208,8 tys. zł,
c) zakłada się $R_{p1} = 5.10^{-5}$ 1/a, $R_{p2} = 10.10^{-5}$ 1/a,
d) pozostałe dane:

- dla linii rzeczywistych

$n_p = 194,1$ 1/100 km, $u_1 = 3,101$, $u_2 = 1,234$,

- dla linii z ograniczoną do ok. 3 km długością sekcji odciągowych

$n_p = 187,1$ 1/100 km, $u_1 = 2,801$, $u_2 = 1,219$.

Ze wzorów (2) i (3) otrzymuje się $\Delta U_1 = 3,89.10^{-3}$ 1/100 km. a oraz $\Delta U_2 = 1,14.10^{-3}$ 1/100 km.a, zaś ze wzoru (1) $\lambda_{kr} = 275$. Wartość λ_{kr} znacznie przekracza szacunkową wartość rzeczywistych względnych kosztów strat spowodowanych uszkodzeniem słupa w linii 1-torowej 220 kV, wynoszącą ok. 30.

Takie same obliczenia wykonano dla pozostałych linii 110 ÷ 400 kV, przy założeniu ograniczenia długości sekcji odciągowych w liniach 110 kV do ok. 2 km oraz w liniach 220÷400 kV do ok. 3 km. Otrzymane wartości λ_{kr} od ok. 100 dla 1-torowej linii 110 kV do ok. 1000 dla 2-torowej linii 400 kV są znacznie większe od szacunkowych wartości λ dla poszczególnych linii. Ograniczenie długości sekcji odciągowych w warunkach polskich, przy określonym charakterze awarii słupowych, byłoby więc z ekonomicznego punktu widzenia niecelowe. Na odwrót, celowe jest zmniejszenie dużego udziału słupów odporowo-narożnych w budowanych liniach - aktualnie średni udział wynosi ok. 20%.

4. OPTYMALIZACJA RYZYKA USZKODZENIA WTÓRNEGO SŁUPÓW MOCNYCH

Ze statystyk awarii wynika, że słupy mocne (odporowo-narożne) stanowią niezwykle pewny element linii, na którym z prawdopodobieństwem praktycznie równym jedności następuje zatrzymanie się kaskadowych uszkodzeń słupów. Takie jest zresztą ich jedno z zadań - obok innych nie mniej ważnych - jakie spełniają w linii. Słupy mocne dla zapewnienia im odpowiedniej wytrzymałości na obciążenia zakłóceniowe są obliczane na obciążenie zastępcze w postaci 2/3 sumy jednostronnych naciągów obliczeniowych wszystkich przewodów, przy czym zgodnie z normą obciążenie to zaliczone jest do tzw. obciążeń normalnych, wobec czego elementy słupa są obliczane przy założeniu naprężenia dopuszczalnego normalnego w stali (177 MPa).

Postanowiono sprawdzić, czy aktualny wysoki stopień pewności pracy słupów mocnych dla obciążeń zakłóceniowych ma uzasadnienie w znacznym zmniejszeniu liczby uszkodzonych słupów, a więc w znacznym zmniejszeniu kosztów awaryjności linii. W tym celu rozpatrzono, jak wpływa zmiana współczynni-

ka bezpieczeństwa słupa (lub zmiana obciążeń projektowych) na koszt słupa i fundamentu oraz jednocześnie na ryzyko uszkodzenia wtórnego słupa. Wyznaczono w ten sposób optymalne wartości ryzyka uszkodzenia wtórnego słupów mocnych w liniach 110÷400 kV.

Szczegółową analizę tego zagadnienia przedstawiono w opracowaniu [1]. Z warunku minimalizacji kosztu rocznego, uwzględniającego koszt słupa i fundamentu oraz koszty awaryjności związane z uszkodzeniami wtórnymi słupów mocnych, uzyskano następujące końcowe równanie optymalizacyjne:

$$\frac{d\Delta u}{dp_{m2}} = \frac{m}{\varkappa K_p (P_1 + P_2)} \left(- \frac{dK_m}{dp_{m2}}\right), \qquad (4)$$

gdzie:

Δu - oczekiwana liczba uszkodzonych dodatkowo słupów (mocnych i przelotowych) na skutek uszkodzeń wtórnych słupów mocnych, odniesiona do pojedynczego przypadku dotarcia zakłócenia do słupa mocnego (tj. uszkodzenia sąsiedniego słupa),

p_{m2} - prawdopodobieństwo uszkodzenia słupa mocnego w przypadku dotarcia do niego zakłócenia,

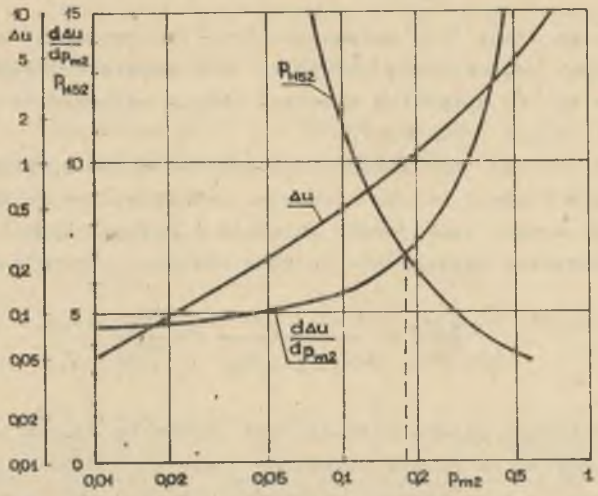
P_1, P_2 - prawdopodobieństwo roczne dotarcia zakłócenia do pojedynczego słupa mocnego, odpowiednio podczas awarii słupowych pierwotnych i wtórnych słupów przelotowych.

Prawdopodobieństwa P_1 i P_2 zależą od ryzyka uszkodzenia pierwotnego i wtórnego słupów przelotowych (pominięto ryzyko uszkodzenia pierwotnego słupów mocnych jako bardzo małe), konfiguracji sekcji odciągowych w linii oraz od prawdopodobieństwa rozprzestrzeniania się uszkodzeń w sekcji odciągowej, podanego na rys. 1.

Wielkość Δu zależy głównie od prawdopodobieństwa p_{m2} oraz od zachowania się słupów przelotowych następnej sekcji w przypadku złamania słupa mocnego. Z zaostrzeniem przyjęto, że złamaniu ulegają wtedy wszystkie słupy przelotowe tej sekcji, z uwagi na bardzo duże obciążenia zakłóceniowe, powstające w przypadku złamania słupa mocnego. Otrzymany przy założeniu typowej dla krajowej linii 110 ÷ 400 kV konfiguracji sekcji odciągowych wykres $\Delta u = f(p_{m2})$ podano na rys. 3.

Na rys. 3 podano także przykładowe rozwiązanie graficzne równania (4) dla linii 1-torowej 220 kV na słupach serii H52. Krzywa oznaczona symbolem P_{H52} przedstawia prawą stronę równania (4) dla tej linii. W obliczeniach m.in. przyjęto: $\varkappa = 30$, $P_1 = 1{,}7 \cdot 10^{-4}$ 1/a, $P_2 = 1{,}8 \cdot 10^{-4}$ 1/a [1]. Optymalna wartość p_{m2} wynosi ok. 0,18. Odpowiada jej optymalne roczne ryzyko uszkodzenia wtórnego słupa mocnego:

$$R_{m2} = p_{m2} (P_1 + P_2) = 6 \cdot 10^{-5} \text{ 1/a}. \qquad (5)$$



Rys. 3. Wykresy funkcji występujących w równaniu (4)

Analogiczne obliczenia wykonano dla pozostałych linii 110 ÷ 400 kV otrzymując optymalne wartości p_{m2} w granicach 0,10 ÷ 0,26. Optymalna wartość ryzyka R_{m2} dla poszczególnych linii jest bardzo zbliżona do optymalnej wartości ryzyka R_{p1} dla danej linii (wynoszącej w granicach od 5.10^{-5} do 1.10^{-5} dla linii 110 ÷ 400 kV [2]), tak że w praktyce można wymagać, aby $R_{m2}/R_{p1} = 1$. Wykonane przy tym założeniu obliczenia dotyczące wymaganego współczynnika bezpieczeństwa słupów mocnych wykazały, że istnieje możliwość zmiejszenia jego wartości z aktualnej ok. 1,6 na ok. 1,25. Można to uzyskać traktując obciążenie zastępcze w postaci 2/3 sumy naciągów obliczeniowych przewodów jako obciążenie zakłóceniowe w rozumieniu normy PN-75/E-05100, a więc przyjmując w obliczeniach statycznych słupów naprężenie dopuszczalne zwiększone w stali (226 MPa). Koszt całkowity słupa mocnego (wraz z fundamentem, izolacją i uziemieniem) ulega wtedy obniżeniu w granicach 5 ÷ 10%.

Powyżej rozpatrzono tylko jeden z aspektów projektowania słupów mocnych - na obciążenie związane ze złamaniem sąsiedniego słupa. Oprócz tego słupy mocne muszą spełniać wymagania związane z obciążeniami występującymi w normalnych warunkach pracy oraz w czasie montażu linii. Jest to osobne zagadnienie, którego w artykule nie rozpatruje się. Słupy mocne często mają również za zadanie zwiększenie stopnia bezpieczeństwa linii przy skrzyżowaniach. Są one stosowane przy obostrzeniach 3 stopnia oraz niekiedy przy obostrzeniach 2 stopnia, choć w zasadzie wystarczają wtedy słupy przelotowo-skrzyżowaniowe. W przypadku sekcji z obostrzeniem 3 stopnia, ze względu na obniżenie naprężenia w przewodach wewnątrz sekcji, ryzyko uszkodzenia wtórnego słupów mocnych jest ok. 10 razy mniejsze w stosunku do normalnych sekcji. Nawet więc w przypadku postulowanego obniżenia współczyn-

nika bezpieczeństwa słupów mocnych prawdopodobieństwo p_{m2} było dostatecznie małe, rzędu 0,01 ÷ 0,03 (analogiczne prawdopodobieństwo dla słupów przelotowych wynosi, zgodnie z rys. 1, ok. 0,8). W przypadku odcinków linii z obostrzeniem 2 stopnia, na których krańcu lub krańcach zostaną postawione słupy mocne, stopień bezpieczeństwa linii również byłby dostateczny, wyższy niż w przypadku stosowania słupów przelotowo-skrzyżowaniowych.

5. WNIOSKI

1. Liczba uszkodzeń wtórnych słupów przelotowych na wskutek zerwań przewodów roboczych jest duża i należy dążyć do jej zmniejszenia bądź ograniczenia zakresu uszkodzeń. Z tego względu za bardzo celowe uważa się stosowanie uchwytów przelotowych wyślizgowych na odcinkach leśnych linii. Należy także rozpatrzeć możliwość takiego zwymiarowania wysięgników słupów, aby w przypadku zerwania przewodu bardziej narażony na złamanie był wysięgnik słupa a nie jego trzon.
2. Słupy odporowo-narożne powinne być stosowane tylko tam, gdzie jest to niezbędnie konieczne.
3. Słupy odporowo-narożne charakteryzują się dostateczną wytrzymałością z punktu widzenia kaskadowych uszkodzeń słupów jak i bezpieczeństwa linii na odcinkach z obostrzeniem 3 i 2 stopnia. Stwierdzona wstępnie możliwość pewnego obniżenia współczynnika bezpieczeństwa słupów mocnych dla obciążeń zakłóceniowych wymaga jeszcze wszechstronnego rozpatrzenia, m.in. z uwzględnieniem wpływu na pracę słupów mocnych w warunkach normalnych oraz w czasie budowy linii (stawiania słupów i naciągania przewodów).

LITERATURA

[1] Szymik F., Żmuda K., Macełko J.: Kaskadowe uszkodzenia słupów w liniach 110 ÷ 400 kV. Wnioski dotyczące zasad projektowania. Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej, Gliwice 1978 (praca nie publikowana, wykonana na zlecenie BSiPE Energoprojekt Kraków).

[2] Żmuda K.: Obciążenie wiatrowe w projektowaniu słupów linii wysokiego napięcia. Biuletyn Techniczny "Sieci Elektroenergetyczne", 1976 nr 1.

Wpłynęło do Redakcji dnia 15.VII.1980 r.

Recenzent:

Doc. dr hab. inż. Kazimierz Kinsner

КАСКАДНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ОПОР В ЛИНИЯХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ.

Р е з ю м е

Представлены результаты статистических исследований повреждений стальных опор в линиях 110 и 220 кВ за период 15 лет. Приводятся данные относительно вероятности распространения повреждений промежуточных опор внутри анкерованных участков линий. Рассмотрены в техническом и экономическом отношениях способы ограничения числа и размеров каскадных аварий опор. Представлены практические предложения.

CASCADE COLLAPSES OF STEEL TOWERS IN
OVERHEAD HIGH VOLTAGE TRANSMISSION LINES

S u m m a r y

The results of statistical researches of steel towers damages in 110 and 220 kV overhead transmission lines in the 15-year-period are presented. The paper contains the values of cascade collapses probability. The methods of the number and range limitations of tower cascade collapses are considered with technical and economical respect. The paper also contains the practical conclusions.