Seria: ELEKTRYKA z.28

Nr kol. 275

ALEKSANDER SZENDZIELORZ

Katedra Elektroenergetyki

ANALIZA PRZECIĄŻALNOŚCI ELEKTROENERGETYCZNYCH KABLI UŁOŻONYCH W ZIEMI W ZALEŻNOŚCI OD STRUKTURY DOBOWEGO GRAFIKU OBCIĄŻENIA

> Strejzczenie. W pracy przeprowadzono konfrontację metod obliczeniowych do wyznaczenia przeciążalności kabli ułożonych w ziemi w zależności od struktury dobowych grafików obciążenia. Na konkretnym przykładzie, popartym dwoma wielodobowymi seriami pomiarowymi, wykazano wady istniejących metod oraz podano nową metodę analityczno-pomiarową, która pozwala wyznaczyć przeciążalność dopuszczalną każdego kabla ułożonego w ziemi z akzylędnieniem syntetycznego wpływu wszystkich limitujących czynników.

Jadnym z podstawowych kryteriów służących do doberu przekroju kabli, jak również do oceny jakości pracy kabli będących w eksploatacji - jest kryterium obciążalności prądowej.Kryterium to zdefiniowane jest w komentarzach do przepisów PN-55/F pt. "Obciążalność robocza przewciów elektroenergatycznych", jako nejwiększe obciążenie, jakie można dopuścić przez czas nieograniczony, bez przekroczenia dopuszczalnego dłujotrwale orzyrostu temperatury, przy czym postęp pagrzewania uważa się zwykle za niedostrzegalny, jeżeli zaobserwowany przyrost temperatury zwiększa się w ciągu jednej godziny o mniej niż 1°C. Zakłada się przy tym w normie przebieg obciążenia tego typu, że terperatura graniczna dopuszczalna długotrwale osiągana bywa co najwyżej przez ok. 100 godzin w skali roku.

Wynika stąd, że przebieg obciążenia nie jest w obowiązującej normie dokładnie określony. W projekcie nowelizacji tejże normy zdefiniowano jednoznacznie obciążalność dopuszczalną długotrwałą jako prąd o stałym natężeniu, płynący w żyłach kabla w czasie dostatecznie długim (rzędu kilku miesięcy), a nie wywołujący w żyłach temperatury wyższej od dopuszczalnej długotrwale, przy czym pominięto tutaj zjawisko migracji wilgoci. Występuje ono często właśnie wtedy, gdy obciążenie kabla ułożonego w ziemi jest bliskie obciążalności dopuszczalnej a dobowy grafik obciążenia odznacza się stopniem wypełnienia oliskim jedności.

Za takim sformułowaniem definicji przemawia również zaobterwowana w ost tnim dziesiątku lat tendencja do wyrównywania grafików obciążenia, zmierzająca do maksymalnego wykorzystania zdoluości przesyłowych urządzeń.

Tak sprecyzowana obciążalność prądowa kabli zakopanych bezpośrednio w ziemi charakteryzuje ich maksymalne, długotrwałe przelotowości prądowe. W kraju, poza nielicznymi przypadkami szczególnymi stosunkowo rzadko spotyka się dobowy, wyrównany przebieg obciążenia, odpowiadający tego typu definicji.

Totaż w świetle powyższych rozważań, szczególnego znaczenia nabiera potrzeba ustalenia metody, która pozwoliłaby wyznaczyć w każdym konkretnym przypadku eksploatacyjnym dopuszczalną przeciążalność prądową kabla, rozumianą "ako prąd zmieniający się cyklicznie-dobowo, wg określonego grafiku obciążenia, któremu towarzyszy przebieg temperatury żył kabli nie przekraczający temperatury dopuszczalnej uługotrwale – żadnym miejscu trasy. Potrzeba przeciążania kabli ułożonych bezpośrednio ziemi powyżej wartości ustalcuych przez projekt nowelizacji normy zachodzi poza tym często na skutek sto-Junkowo dużej awaryjności sieci kablowej. Ponadto możliwość przeciążenia kabla w stosunku do obciążalności dopuszczalnej długotrwałej, dostosowana do zadarego dobowego grafiku obciążenia stwarza warunki do oszczędniejszego wymiarowania przekroju żył, lub też efektywniejszego wykorzystania zdciności przesyłowych kabli istniejących.

W pracy tej podjęto próbę opracowania metody pomiarowo-analitycznej, pozwalającej wyznaczyć przeciążalność prądową każdego kabla ułożonego w ziewi, uwzględniając przy tym funkcjonalną zależność tego prądu od struktury dobowego grafiku obciążenia i od wszystkich limitujących go czynników.

Istnieje szereg czynnibów, wywierających wpływ na przesiążalność prądową kabla, a mianowicie:

- 1) temperatura dopuszczalna długotrwale dla danego typu izolacji,
- 2) wymiary geometryczne kabla,
- 3) własności cieplne części skladowych kabla,
- 4) oporność elektryczna właściwa materiału przewodzącego żył,
- 5) głębokość ułożenia kabla,
- niejednorodna budowa i struktura gruntu do głętokości ok.
 4 r.,
- 7) niejednorodny stopień zgęszczenia gruntu do glębokości ok.
 4 m.
- 8) niejednorodny i nie ustalczy czasowo stopień zaviigocenia gruntu, zależny dodatkowo od: warunków atmosie.ycznych, poziomu wody gruntowej, stopnia podnoszenia wody gruntowej, pory roku, porowatcści, kapilerności i wodoprzegaszczalneści gruntu,
- rozkład naturalny temperatury w ziemi i jego umi now ciągu roku,

59

- 10) pokrycie powierzchni ziemi nad kahlem,
- 11) czas osiadania gruntu po ułożeniu kabla,
- zeležność parametrów cieplnych kabla i gruntu od temperatury,
- zmienność porametrów cieplnych gruntu od jego stopnia zawilgocenia,
- 14) różne własności cieplne i konstrukcyjne kabli będących od szeregu lat w eksploatacji.

Stan i zakres poznania niektórych z wymienionych zjawisk zachodzących w ziemi wokół kabla jest w obecnym stadium zaawansowania prac badawczych w skali światowej jeszcze niedostasteczny. Fonadto analiza matematyczna powyższego problemu oparta tylko na cząstkowych pomiarach niektórych wielkości bez pomieru kompleksowego w naturalnych warunkach terenowych jest niecelowa i nieuzasadniona ekonomicznie.

Dlatego też jedyną skuteczną metodą, pozwalającą stosunkowo dokładnie wyznaczyć przeciążalność prądową dopuszczalną każdego kabla zakopanego bezpośrednio w ziemi jest metoda bezpośredniego pomiaru popartego analizą natematyczną.

Charakterystyka pomiarów

Metodę wyznaczania rzeczywistej przeciążalności prądowej kabli ułożonych bezpośrednio w ziemi, oparto na dwóch vielodobowych seriach pomiarowych.

Pomiary przeprowadzono dla kabla 6 kV, typu AKFtA c przekroju 3x95 mn², zakopanego w charakterystycznym dla ZEOFd typie gruntu piaszczysto-gliniastym, mokrym, na terenie stacji 110/30 kV w Sośnicy.

Pierwsza seria pomiarowa trwała 28 dni, w okresie 17.VI. do 15.VII.1966 r. i odznaczała się grafikiem obciążenia dobowego

60

dla średniodobowego obciążenia (LF) = 0,79 i średniodobowych strat mocy czynnej (lf) = 0,64 (rys. 1).





Rys. 2

52

Drugą serię pomiarową przeprowadzono w dniach od 19.IX. do 3.X.1966 r (14 dób) przy założeniu innego grafiku obciążenia dobowego, a mianowicie: dla średniodobowego obciążenia (LF) = 0,276 i średniodobowych strat mocy czynnej (1f) = 0,22 (rys. 2).

Czerwcowa seria pomiarowa odpowiadała średniemu zawilgoceniu ziemi, wynikającemu z średnich opadów atmosferycznych poprzedzających pomiar, natomiast serię wrześniową przeprowadzono dla stosunkowo suchego gruntu (po okresie parotygodniowej suszy).

Z aspektu zmiennych w przekroju roku własności cieplnych danego typu grunt" należy wnosić, że seria wrześniowa odpowiadała najgorszym, a tym samym limitowała przeciążalność kabla dla roku o przeciętnych opadach atmosferycznych.

Metoda współczynnika nagrzewania

Dla porównania nagrzewania się kabla przy obciążeniu zmiennym wg grafiku, z obciążeniem iługotrwałym korzysta się często z tzw. współczynnika nagrzewania, będącego stosunkiem maksymalnego przyrostu temperatury ponad temperaturę ziemi przy długotrwałym obciążeniu prądowym kabla wg zadanego grafiku, do przyrostu temperatury kabla przy długotrwałym niezmiennym obciążeniu równym maksymaluej wartości wg grafiku. Zakładając, że przyrost temperatury kabla nad temperaturą otaczającej ziemi jest promorcjonalny do kwadratu prądu można napisać związek

$$K_{t} = \frac{\Delta \vartheta_{m,Rr}}{\Delta \vartheta_{m,ust}}$$
(1)

w którym

LUm. 51

maksymalna wartość przyrostu temperat ry przy dobowym grafiku obciążenia dla no najmajej 60 dób grzania, Δη m,ust - przyrost temperatury obliczony w stanie ustalonym dla danego typu kabla i dla danych warunków jego ułożenia, przy obciążeniu prądem maksymalnym według grafiku, w stanie cieplnie ustalonym
 K. - współczynnik nagrzewania.

Autorzy Shanklin G.B., Buller F.H. [1] opracowali przybliżorą metodę wyznaczania współczynnika nagrzewania wg wzorów empirycznych, a także sposób obliczenia przyrostu temperatury kabla przy jego obciążeniu wg dobowego grafiku.

Na podstawie licznych badań i rozważań teoretycznych wykazano, że dla przemysłowego cnarakteru grafiku obciążenia oraz dla prostokątnego grafiku obciążenia, kiedy obciążenie w ciącu 12-16 godzin jest stałe i równe wartości maksymalnej, a w pozostałym czasie loby równe jest zeru – współczynnik nagrzewania można obliczyć z dostateczną dle praktyki dokładnością wg danych niżej wzorów:

dla obciążenia wg grafiku o charakterze przemysiowym

$$K_{+} = 0,43 + 0,57(1f)$$
 (2)

dla obciązenia wg prostokątnego charakieru grafiku

$$h_{t} = \frac{S_{k} + \sqrt{(1f).S_{z}}}{S_{k} + S_{z}}$$
 (3)

Weewzorach oznaczają:

(lf) - średni dobowy współczynnik strat mocy czynnej,
 - oporność cieplna kabla derech
 - oporność cieplna ziemi - " -.

W prektyce zachodni ozysto potrzeba, aby dla zadanego gratiku obciążenia (w procentach od wartości maksymelnej), do e.o typu kabla i znanych warunków jego ułożenia, określić największą wartość prądu, odpowiadającą szczytowi grafiku obciążenia, przy której osiągnięta zostanie dopuszczalna długotrwale temperatura kabla. W takim przypadku należy dla zadanych warunków ułożenia i typu kabla wyznaczyć prąd dopuszczalny długotrwale, przy obciążeniu niezmiennym, a następnie z wzorów empirycznych współczynnik nagrzewania. Stąd

$$J_{\rm m} = J_{\rm N} \sqrt{\frac{1}{K_{\rm t}}} \tag{4}$$

<u>Metoda współczynnika przyrostu temperatury</u> (wg Shanklina i Bullera [1])

Według tej metody przyrost temperatury żyły kabla zakopanego bezpośrednio w ziemi ponad temperaturę otoczenia, przy obciążeniach wg grafiku dobowego sinusoidalnego (większość odbiorców) lub prostokątnego przedstawia następująca zależność:

$$\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{q}_{N} \boldsymbol{K}_{p} (\boldsymbol{S}_{k} + \boldsymbol{S}_{z})$$
(5)

$$S_{z} = \frac{Q_{z}}{2\pi} \ln \frac{4h}{d_{k}}$$
(6)

 α_z - wypadkowa dyfuzyjność cieplna właściwa ziemi, w $\frac{2}{cm}$

W przypadku braku danych o cieplnej dyfuzyjności właściwej ziemi, zmieniającej się ekstremalnie w granicach (2÷12) 10⁻³ cm² (wg różnych autorów), można przyjąć wartość 2,75.10⁻³.

Metoda ta należy do uproszczonych, jednak stosunkowo dokładnie uwzględnia wpływ współczynnika strat na przeciążalność prądową kabli ułożonych bezpośrednio w ziemi. Według tej metody zależność ta przedstawia się następująco:

Metoda zredukowanej oporności cieplnej ziemi (wg Nehera) [2]

$$\Delta \vartheta = q_{N} \left[S_{k} + \frac{Q_{z}}{2\pi} \left\{ \ln \frac{D_{x}}{d_{k}} + (lf) \ln \frac{4h}{D_{x}} \right\} \right]$$
(7)

we wzorse oznaczają:

S_k - oporność cieplna, całkowita kabla, deg.cm, q_N - strumień ciepła dla obciążenia znamionowego kabla W/cm S_z - oporność cieplna właściwa ziewi deg.cm, d_k - średnica zewnętrzna kabla, D_x - średnica powyżej której należy uwzględnić współczyrnik strat, h - głębokość ułożenia kabla,

(1f) - współczynnik strat,

- $D_x = 12.5 \sqrt{\frac{\alpha c_z}{f}}$ dla sinusoidalnego obciążenia dobowego, cal, (8)
 - Oz dyfuzyjność termiczna właściwa ziemi, cal do kwadratu
 na godzinę.

$$D_x = 12 \sqrt{(1f)} \frac{cc_z}{f}$$
 dla prostokątnych cykli obciążenia.

Metoda graficzno-analityczna [1]

Proces nagrzewania się kabla ułożonego bezpośrednio w ziemi można "ozpatrywać, z wystarczającą dla praktyki dokłednością dzieląc części składowe kabla i otaczającej go ziemi na szereg stref o charakterystycznej oporności i pojemności cieplnej. Wtedy można całkowity przyrost temperatury żyły kabla w stosunku do oddalonej ziemi na głębokości zakopania kabla potraktować jako sumę przyrostów wg każdej strefy. Stosując więc zasadę superpozycji można napisać zalożność dla przyrostu temperatury żyły kabla jako funkcji czasu przy włączonym obciążeniu;

$$\Delta \vartheta_{z}' = \Delta \vartheta_{1} (1 - e^{-\frac{t}{c_{1}s_{1}}}) + \Delta \vartheta_{2} (1 - e^{-\frac{t}{c_{2}s_{2}}}) + \dots + \Delta \vartheta_{n} (1 - e^{-\frac{t}{c_{n}s_{n}}})$$
(9)

Po wyłączeniu obciążenia zmienność przyrostu temperatury ży?y kabla w funkcji czasu wyrazić mozma wzorem:

$$\Delta \vartheta_{z}^{"} = \Delta \vartheta_{1}^{"} \cdot e^{-\frac{t}{c_{1}s_{1}}} + \Delta \vartheta_{2}^{"} \cdot e^{-\frac{t}{c_{2}s_{2}}} + \dots + \Delta \vartheta_{n}^{"} \cdot e^{-\frac{t}{c_{n}s_{n}}}$$
(10)

66

We wzorach powyższych oznaczają:

Δϑ₁.Δϑ₂ Δϑ_n - przyrosty temperatur w strefach sieci cieplnej dla stanu cieplnie ustalonego w ^OC obliczone wg równania Fouriera

$$\Delta \vartheta_n = q.S_n \tag{11}$$

 $\Delta \vartheta_1^{"}, \Delta \vartheta_2^{"}, \Delta \vartheta_n^{"}$ - przyrosty temperatur dla wybranych stref sieci cieplnej odpowiadające chwili wyłączenia obciążenia ^oC,

Ilcczyn C_n S_n posiada wymiar czasu (godziny) i jest stałą czasową nagrzewania n-tej streły. Według metody graficzno-analitycznej dzieli się kabel i otaczającą go ziemię zwykle na sześć stref, z których dwie charakteryzują cieplne oporności i pojemność kabla, a cztery cieplne oporności i pojemności ziemi.

Rozpatrując przypadek obciążenia kabla zakopanego bezpośrednio w ziemi wg dowolnego grafiku obciążenia dobowego po-

sługujemy się krzywą zmian współczynnika obciążenia i krzywą zmian współczynnika strat, przy czym współczynnik obciążenia jest to stosunek obciążenia prądowego kabla w dowolnej chwili t do maksymalnej wartości prądu wg grafiku, zaś współczynnik strat jest to stosunek strat przy dowolnym obciążeniu w chwili t. do strat odpowiadających prądowi maksymalnemu. Każdy grafik obciążenia można ponadto scharakteryzować średniodobowym współczynnikiem obciążenia (LF), będącym stosunkiem średniodobowego obciążenia do maksymalnego oraz średniodobowym współczynikiem strat będącym stosunkiem średniodobowych strat do strat przy maksymalnym obciążeniu. W celu ustalenia krzywej nagrzewania i ochładzania żyły kabla przy zadanym grafiku obciążenia należy zastapić krzywa rzeczywista krzywa łamana tworząc szereg prostokątów, przy czym prostokąt leżący przy osi czasu odpowiada minimalnemu obciążeniu ciągłemu np. w ciągu doby. W dalszym ciągu, stosując metodę graficzno-analityczną, należy dla każdego cyklu prostokątnego określić przebieg $\Delta \psi = f(t)$ dla stanu nagrzewania i chłodzenia. Suma sum odpowiednich przyrostów temperatur, wg zasady superpozycji, tworzy wtedy przebieg krzywej $\Delta v = f(t)$ dla dowolnego czasu t.

W celu wyznaczenia współczynnika nagrzewania K za pomocą metody graficzno-analitycznej wyznacza się wpierw przyrost temperatury dla zadanego grafiku obciążenia $\Delta \vartheta$, przy takiej ilości cykli, które praktycznie odpowiadają stanowi cieplnemu quasi ustalonemu. Jako prąd dopuszczalny długotrwale przyjmuje się prąd równy szczytowemu wg grafiku (100%). Następnie należy wyznaczyć przyrost temperatury $\Delta \vartheta$ odpowiadający, długotrwałemu, dopuszczalnemu niezmiennemu obciążeniu, równemu maksymalnemu wg grafiku (100%). Dalej po obliczeniu współczynnika nagrzewania wg wzoru: 2

$$K_{t} = \frac{\Delta \vartheta}{\Delta \vartheta m} = \frac{J_{N}}{J_{m}^{2}}$$
(12)

można ustalić dopuszczalny prąd maksymalny przy obciążeniu wg grafiku, a mianowicie:

$$J_{m} = J_{N} \cdot \sqrt{\frac{1}{K_{t}}}$$
(13)

W celu sprawdzenia dokładności obliczenia prądu maksymalnego należy zmienić grafik obciążenia w każdym punkcie proporcjonalnie do $\sqrt{\frac{1}{k_t}}$, a następnie obliczyć przyrost temperatury żyły ponownie wg metody graficzno-analitycznej. Jeżeli przyrost temperatury żyły kabla przy pracy kabla wg zadanego grafiku obciążenia, przy prądzie maksymalnym będzie odpowiadać wielkości przyrostu temperatury dopuszczalnemu długotrwale, to wtedy zadanie polegające na obliczeniu prądu dopuszczalnego przy obciążeniu wg grafiku, rozwiązane zostało w zupełności. W przypadku dalszej niezgodności przyrostów temperatur należy powtórzyć proces korekcyjny.

Metoda wyznaczania dopuszczalnej przeciążalności kabla ułożonego bezpośrednio w ziemi przy zadanym dobowym grafiku obciążenia, na podstawie pomierzonej krzywej nagrzewania, przy obciążeniu niezmiennym

Każda z czterech poprzednio opisanych metod służących do wyznaczenia przeciążalności prądowej konkretnego kabla ułożonego bezpośrednio w konkretnym typie ziemi, wymaga przede wszystkim znajomości parametrów cieplnych danego typu gruntu "widzianych z osi kabla". Ponieważ prawie każdy kabel pracuje wzdłuż swojej trasy w gruncie niejednorodnym uwarstwionym zarówno pionowo, tj. wzdłuż trasy kabla, jak i poziomo, tj. w głąb ziemi, a ponadto parametry cieplne gruntu zależą w dodatku od warunków atmosferycznych - istnieją bardzo poważne trudności w przyjęciu danych wyjściowych do metod obliczeniowych. Nawet pomiary cząstkowe tych parametr'w cieplnych, przeprowadzone wzdłuż trasy kabla up. metodą "sondy igłowej", nie stwarzają możliwości do dokładniejszego określenia przeciążalności i obciążal…ości prądowej żył kabla wz wyżej wymienionych metod.

Totež za metodę najbardziej efektyvną z aspektu technicznego i ekonomicznugo uznano metodę eksperymentalno-analityczną. Metoda ta opiera się na pomierzonej w warunkach naturalnych za leżności przyrostu temperatury żyły kabla w funkcji czasu przy zadanej z góry, niezmiennej w czasie wartości prądu przemienne go płynącego przez żyły kabla. Można wżedy wyznaczyć stosunkowo dokładnie parametry cieplne tej strefy gruntu wzdłuż trasy kabla, która limituje jego obciążalność. Ponadto, wg tejże metody można określić funkcję $\Delta \vartheta_{z}^{k} = f(t)$ dla typowych, prostokątnych, powtarzających się cyklicznie grafików obciążenia dobowego.

Rozpatrzmy dla przykładu następujący grafik dobowy obciążenia prądowego (rys. 3),



gdzie:

 $J_1 = k J_2$

8

t1>t2, k≤1,0

wtedy współczynnik obciążenie wynosi:

$$(LP) = \frac{J_2 t_2 + k J_2 t_1}{J_2} = t_2 + k t_1 \qquad (14)$$

a aspółczynnik strat

$$(1f) = \frac{J_2^2 t_2 + k^2 J_2^2 t_1}{J_2^2} = t_2 + k^2 t_1 \qquad (15)$$

Można założyć, że obciążenie J₁ trwa nieprzerwanie w ciągu wszystkich dni i stosując zasadę superpozycji pól cieplnych dla czasu dostatecznie długiego (np. powyżej trzech miesięcy) wyznaczyć przyrost temperatury żyły kable dla zadanego grafiku obciążenia dobowego, wg zależności:

$$\Delta v_{\dot{z}}^{\bullet} = \Delta v_{\upsilon 1}^{\bullet} + \Delta v_{2}^{\bullet} t_{2}$$
(16)

w którei

- A. p.zvrost temperatury żyły kobsa względen temperatury kzw. "ziemi oddalonej",
- Δυ przyrost temperatury żyły kabia dla cocusżenia J w stanie sicplnie ustalonym,

JASIO

$$\Delta v_{1u}^{t} = q(S_{k} + S_{z})$$
(57)

$$q = 3 J_1^2 R \vartheta$$
 (18)

 $\Delta \vartheta_2 t_2 - \text{przyrost temperatury żyły kabla ponad temperaturę } \vartheta_2 = \vartheta_2 + \vartheta_{1u}, \text{ po czasie } t_2,$

przy czym

$$\Delta v_{2,t_2}^{\lambda} = \Delta v_{p,t_2}^{\lambda} \cdot \frac{\Delta q}{q_p}$$
(19)

 $\Delta v_{p,t_2}^{\lambda}$ - przyrost temperatury żyły kabla ponad temperaturę "ziemi oddalonej" po czasie t₂, zaczerpnięty z pomierzonej krzywej $\Delta v_{=}^{\lambda} f(t)$, przy prądzie niezmiennym J_p

$$q = q_2 - q_1 = 3 \left(J_2^2 R v_2^2 - k^2 J_2^2 R v_1^3 \right) = 3 J_2^2 \left(R v_2^3 - k^2 R v_1^3 \right)$$
(20)

$$R \vartheta_{2}^{*} = R_{20} \left[1 + (\vartheta_{2}^{*} - 20) \right]$$
$$R \vartheta_{1}^{*} = R_{20} \left[1 + (\vartheta_{1}^{*} - 20) \right]$$

$$\Delta v_{2}^{k}, t_{2} = \Delta v_{p}^{k}, t_{2}^{2}, \frac{J_{2}^{2} (R v_{2}^{k} - k^{2} R v_{1}^{k})}{J_{p}^{2} R p}$$
(21)

lub w postaci uproszczonej

$$\Delta v_2^{\dagger}, t_2 = \Delta v_p^{\dagger}, t_2 \cdot \frac{J_2^2 - J_1^2}{J_p^2}$$
 (22)

72

2

<u>Wnioski</u>

Rozpatrując problem dopuszczalnej przeciążalności prądowej elektroenergetycznych kabli ułożonych bezpośrednio w ziemi, z aspektu syntetycznego wpływu wszystkich limitujących ją czynników, a w szczególności z punktu widzenia kształtu powtarzającego się okresowo dobowego grafiku obciążenia, poddano krytycznej analizie szereg metod obliczeniowych. Wyniki tej analizy skonfrontowano z wynikami eksperymentalnymi (tablica 1), uzys-

T	a	b.	li	С	a	1

Seria pomiarowa			Metody	obliczenio	we	
		1	2	3	4	5
czerwiec	(1f)	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
	K _t	1,04	1,05	1,05	1,12	1,09
	I _{max} A	229	231 -	229	∠4 6	239
wrzesień	(lf)	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
	Kt	1,17	1,14	1,15	1,30	1,23
	I _{max} A	239	233	235	265	252

kanymi na podstawie dwóch wielodobowych serii pomiarowych (I seria w miesiącu czerwcu, II seria w miesiącu wrześniu), o różnych kształtach dobowych grafików obciążenia (1f)_{czerw.} =0,64 (1f)_{wrzes} = 0,22. Pomiary te przeprowadzono w przypadku kabla 6 kV, ty,u AKFLA, o przekroju 3x95 mm², zakopanego przepisowo w typowym gruncie pieszczysto-gliniastym. I aspetu teoretycznego uznano za najbardziej oipowiednią metodę graficznoanalityczną, ujmującą stosunkowo dokładnie czasowy przebieg nagrzowania się żyły kabla oraz unzględniającą prawie wszystkie najistotniejsze czynniki fizykalne mające wpływ na ten przebieg.

Jednakże każdo z wyżej opisanych metod, za wyjątkiem metody eksperymentalnej, pomimo ich mniejszej lub większej poprawności teoretycznej, staje się niedokładna w zastosowaniu do konkretnych warunków pracy i ułożenia kabla. Chogo np. obliczyć dopuszciolną obciążalność m.in. prądową konkretnego kabla zakopanego bezrośrednie w ziemi trzeba znać dokładnie parametry cieplne budow, kabla oraz parametry cieplre ziemi wzdłuż jego trasy - i do glebokości kilku metrów. Ze wzgledu na niejednorodna budowe każdego typu gruntu uzyskanie tych wielkości wypadkowych. wid.ianych z "osi kabla", posiada najistotnie sze znaczenie dla dokładności obliczeń. Niestety pomiary samuj oporności cieplnej własciwej gruntu za pomoca "metod igłowych" (krótkotrwałych). prowadzone wodłuż trasy kabla, są niewystarczające i pozwalają jelynie na uzyskanie wyników w pierwszym przybliżeniu. Reasumując można dysponować stosunkowo dokładną i poprawną metode obliczeniową, jednak poważre trudności natury technicznej i ekopomicznej, w uzyskaniu potrzebnych parametrów cieplnych, m.in. dla danego konkretnego typu gruntu - unierożliwiają – wyzrączenie dopuszczalnej przeciążalności prądowej kabla z wiekszą dokładrością.

Wopen powyższego należy uznać matodę graficzno-eksperymentalną za najbardziej odpowiednią w danym przypadku. Za pomocą tej metody nożna w oparciu o przebilg krzywej nagrzewania dla c = const. 9 - jednostkiwa ilość niepła wydzielającego się w kablu) wyznaczyć krzywą nagrzewania dlu dowoinego dobowego grafiku obciążenia, Fowinno się przy tym zmrócić umagę na to, aby krzywa na rzewania lie q = const zustura pomiermona w okre-

<u>7+</u>

się sierpień-październik, gdyż wtedy - występują przeciętnie najgorsze cieplne war mki pracy kabla,

Porównanie wyników zestawionych w tablicy 1, otrzynanych na podstawie dokładnie pomierzonych parametrów cheplnych w.in. danego typu gruntu, prowadzi do wniosku, że istnieje stosunkowo duża różnica pomiędzy wartościami liczbowymi dla I max otrzymanymi wg metody 1,2 i 3, a wartościami wg metod 4 i 5. Należy to głównie przypisać niedokładności teoretycznej samych metod 1,2 i 3.

Porównując ze sobą wyniki obliczeniowe otrzymano wg metod 4 i 5, można stwierdzić, że rozbieżność między współ zynnikami przeciążenia dla serii pomiarowej czerwcowej wynosi tylko 2,5%, natomiast dla serii pomiarowej z września - odpowiednio ok. 5%. Ta stosunkowo duża różnica wynika głównie z niedokładności samej metody, która mimo żmudnych i pracochłonnych obliczeń, należy do metod uproszczonych (w schemacie cieplnym zastąpiono ziemię czterema elementami).

Należy przy tym podkreślić, że konfrontację metod przeprowadzono dla parametrów gruntu uzyskanych wg metody autora z stosunkowo dużą dokładnością. Gdyby przyjąć te parametry wg pomiarów za pomocą sondy igłewej, to wyniki obliczeń przeciążalności metodami 1-4 wykazywałyby większą rozbieżność w porównaniu z metodą analityczno-eksporymentalną.

Reasumując: Z aspektu technicznego 1 ekonomicznego, jak również z punktu widzenia dokładności wystarczającej dla praktyki eksploatacyjnej, nalezy metodę analityczno-eksperymentalną w zastosowaniu do wyznaczenia topuszczalnej przeciążolności prądowej kabli - tznać za najbardziej od,owiednią.

LITERATURA

- [1.] Shanklin G.B., Buller F.H.: Cyclic Loading of buried cable and pipe cable, TAIEE 1953, vol. 72, pt. III.
- [2] Neher J.H.: Procedures for calculating the temperature vise of pipe cable and buried cables for sinusoidal and rectangular loss cycles, TAIEE 1953, vol. 72, pt. III.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЕРЕГРУЗОК КАБЕЛЕЙ ПРОЛОЖЕННЫХ В ЗЕМЛЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СУТОЧНОГО ГРАФИКА НАГРУЗКИ

Резрме

В работе проведено сопоставление вычислительных методов определения перегрузок кабелей, проложенных в земле в зависимости от структуры суточных графиков нагрузки. На конкретном примере, потверждённом двумя многосуточными вычислительными Серинми вскрыто недостатки существуюдих методов, а также дано новый аналитично-измерительный метод, позволяющий определить допустимую перегрузку каждого кабеля, проложенного в земле, с учётом синтетического влияния всех лимитирующих факторов.

AN ANALYSIS OF THE OVER-CAPACITY OF BURIED CABLES DEPENDING ON THE STRUCTURE OF A TWENTY-FOUR HOUR LOAD DIAGRAM

Summary

The paper confronts the methods of determining the overcapacity of buried cables, depending on the structure of twenty-four hour load diagrams. The drawbacks of the existing methods have been displayed by means of an relevant example, supported by two series of measurements taken within periods of several days. At the same time a new analytical method of measurement has been given which makes possible to determine the admissible over-capacity of each buried cable, taking into account the synthetic influence of all the limiting factors.