

Roman KONIECZNY

Instytut Transportu Kolejowego
Politechniki Śląskiej

CHARAKTERYSTYKA PARAMETRÓW SIECI TRAKCYJNEJ I ODBIERAKA PRĄDU

Streszczenie. W artykule zestawiono charakterystyki najważniejszych parametrów sieci trakcyjnej i odbieraka prądu. Znajomość tych charakterystyk jest niezbędna dla symulacji współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną realizowanej przy użyciu komputerów.

Wprowadzenie

Badania współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną przeprowadzane są w chwili obecnej przez różne zarządy kolejowe przy użyciu dwóch zasadniczych metod:

- 1) pomiarów poligonowych, wykonywanych przy użyciu wagonu pomiarowego, na wybranych odcinkach linii lub odcinkach doświadczalnych,
- 2) symulacji komputerowej, realizowanej na bazie modelu matematycznego współpracy 1 lub kilku odbieraków prądu z siecią trakcyjną.

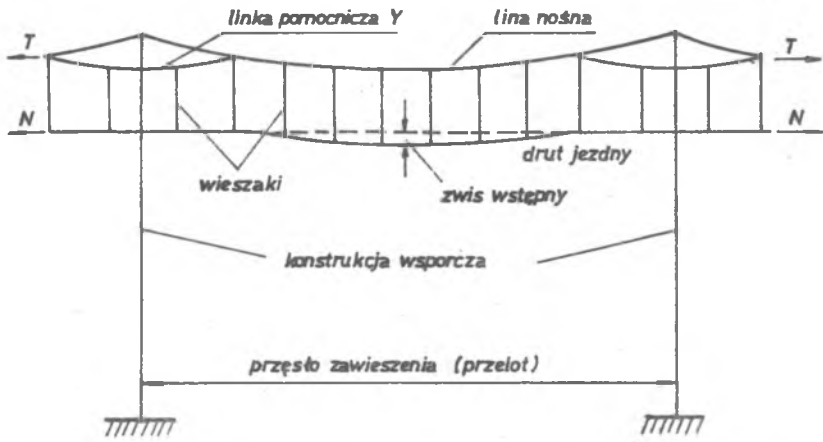
Dla rozpatrzenia zagadnienia współpracy odbieraka z siecią przy użyciu symulacji komputerowej (w odróżnieniu od pomiarów poligonowych) wymagana jest bardzo dokładna znajomość charakterystyk parametrów obwodu układów drgających.

Jeżeli przyjąć, że model matematyczny jest przybliżeniem "pierwszego rodzaju" w stosunku do rzeczywistości, to wszelkie uproszczenia charakterystyk parametrów, a także pomijanie czynników dodatkowych i zakłóceń będą już przybliżeniem "drugiego rodzaju". Wszystkie te uproszczenia stać się mogą przyczyną rozbieżności wyników uzyskanych drogą obliczeń teoretycznych, przy użyciu komputera, z rezultatami praktycznymi - otrzymanymi na drodze pomiarów poligonowych [14].

Poniżej zestawiono najważniejsze charakterystyki parametrów sieci trakcyjnej i odbieraka prądu. Znajomość tych charakterystyk jest niezbędna do realizacji obliczeń symulacyjnych.

2. Parametry sieci trakcyjnej

Na rys. 1 pokazano zasadnicze elementy sieci trakcyjnej. Bez względu na rodzaj konstrukcji dynamiczne własności sieci trakcyjnej są scharakteryzowane przez następujący zbiór parametrów:



Rys. 1. Zasadnicze elementy sieci trakcyjnej

$$Q_B = \{ k_B, m_B, W_B, b_B, \omega_B, L, p, f, v_p \} \quad (1)$$

gdzie:

- $k_B(x)$ - sztywność sieci w kierunku pionowym,
- $m_B(x)$ - masa zastępcza,
- $W_B(x)$ - siła tarcia suchego,
- $b_B(x)$ - współczynnik tarcia lepkiego,
- ω_B - częstość drgań własnych,
- L - długość przęsła,
- p - profil (pochylenie) drutu jezdny,
- f - zwis wstępny drutu jezdny,
- v_p - prędkość propagacji fali.

W tabeli 1 zamieszczono zestawienie parametrów sieci trakcyjnych stosowanych w Polsce.

Tabela 1

Parametry sieci trakcyjnych stosowanych w Polsce [19]

TS	Jednostka	CuCd 70-2C i Fe 70-2C	C95-2C	C120-2C	Y_p C95-2C	Y_p C120-2C	2C120-2C
L	m	72	72	72	66	66	70
s	m	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$
dY	m	0	0	0	9,8	9,6	21,0
c	m	4	4	4	4	4	4
kz	-	(R y s u n e k 2)					
k_s	N/m	(R y s u n e k 2)					
m_j	kg/m	2,4;2,326	2,625	2,85	2,625	2,85	3,92
H	N	2x5300	2x6380	2x7180	2x9800	2x9800	2x9540
T	N	15900	12700	13700	12200	14300	15900
Y	N	0	0	0	3430	3430	15900
k_{max}	N/m	3930	7020	5450	4270	4900	4460
k_{min}	N/m	1440	1400	1560	1780	2000	2880
\bar{k}_s	N/m	2685	4210	3505	3625	3450	3670
ϵ_k	%	46,2	63,7	57,7	41,0	42,0	21,0
f_s	Hz	0,667	0,645	0,648	0,745	0,744	0,850
v_k	km/h	179	167	168	177	177	215
v_p	km/h	359	345	348	385	382	416
v_{max}	km/h	110	110	110	160	160	250

Oznaczenia:

- TS - typ sieci trakcyjnej; L - długość przęsła zawieszenia;
 z - odsuw (zygzakowanie); c - odległość między wieszakami;
 dY - długość liny pomocniczej (uelastyczniającej) Y;
 kz - konstrukcja zawieszenia; k_s - sztywność sieci trakcyjnej;
 m_j - masa jednostkowa sieci; f_s - częstotl. drgań własnych;
 H, T, Y - naciągi: drutów jezdnych, liny nośnej, liny pomocniczej;
 k_{max} , k_{min} , \bar{k}_s - sztywności: maksymalna, minimalna, średnia;

V_k, V_p, V_{max} - prędkości: krytyczna, propagacji fal, konstrukcyjna;
 ϵ_k - współczynnik nierówności sztywności.

2.1. Sztywność sieci trakcyjnej

Sztywność sieci trakcyjnej określona jest następującym wzorem ogólnym:

$$k_s = \frac{F_{sx}}{\Delta h_{sx}} \quad (2)$$

gdzie:

F_{sx} - siła działająca na sieć w punkcie x ;

Δh_{sx} - uniesienie sieci w punkcie x na wskutek działania siły F_{sx} w warunkach ustalonych.

Autorzy niektórych publikacji używają również określenia "elastyczność sieci trakcyjnej". Elastyczność jest odwrotnością sztywności.

Dla pojedynczej sieci łańcuchowej (np. C95-2C) sztywność określona jest następującą zależnością:

$$k_s(x) = \frac{L(T + N)}{x(L - x)} \quad (3)$$

gdzie:

L - długość przęsła;

T - naciąg liny nośnej;

N - naciąg drutu jezdniego;

x - odległość od podpory w przęsle zawieszenia.

Dla sieci wielokrotnych postać wzorów jest bardziej skomplikowana. Przykładowo, dla sieci z linką pomocniczą typu Y przęsło zawieszenia dzieli się na trzy odcinki obejmujące: A - zasięg linki pomocniczej, B - strefę pierwszego prostego wieszaka, C - środkową część przęsła [9]. Sztywność sieci na poszczególnych odcinkach określona jest odrębnymi wzorami.

Dla zachowania równomiernego unoszenia sieci, niezbędnego dla prawidłowej współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną, zmiany sztywności wzdłuż przęsła zawieszenia powinny być jak najmniejsze. W obliczeniach posłużyć się można współczynnikiem nierównomierności sztywności

wyrażonym wzorem:

$$\varepsilon_{k\%} = \frac{k_{\max} - k_{\min}}{k_{\max} + k_{\min}} 100 \% \quad (4)$$

gdzie:

k_{\max} - sztywność maksymalna (występuje w punkcie wsporczym lub w jego pobliżu);

k_{\min} - sztywność minimalna (występuje w środku przęsła).

Dla dużych prędkości jazdy wartość $\varepsilon_{k\%}$ nie powinna przekraczać 30% [8,16]. Celem zmniejszenia wartości współczynnika $\varepsilon_{k\%}$ stosuje się następujące podstawowe rozwiązania:

- zwiększenie naciągów liny nośnej i drutów jezdnych;
- zmniejszenie długości przęsła zawieszenia;
- uelastycznienie punktu podwieszenia sieci - przez zastosowanie linki pomocniczej typu Y;
- uelastycznienie wieższaków wzdłuż przęsła - przez zastosowanie sieci wielokrotnych z tzw. linkami pośrednimi;
- uelastycznienie kilku wieższaków w pobliżu punktów wsporczych - przez zastosowanie odpowiednich elementów sprężystych w postaci resorów lub wieższaków w kształcie trójkąta.

Oprócz ww. rozwiązań podstawowych istnieje szereg układów mieszanych. Zmniejszenie długości przęsła nie jest rozwiązaniem ekonomicznym, natomiast zwiększenie naciągów jest ograniczone wytrzymałością materiałów.

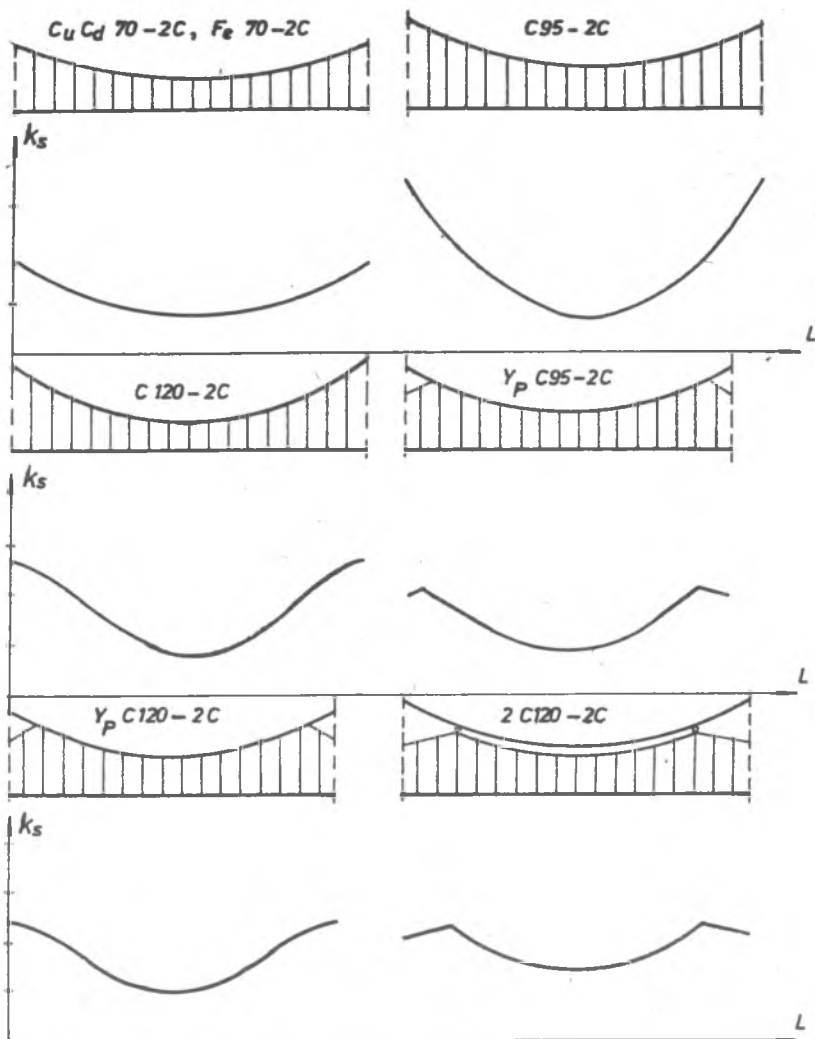
Reasumując: sztywność sieci trakcyjnej jest funkcją odległości wzdłuż przęsła zawieszenia. Dla oceny jakości współpracy odbieraka prądu z siecią przy użyciu symulacji komputerowej korzysta się często z charakterystyk sztywności wyznaczonych drogą pomiarów poligonowych. Dane przedstawione są w postaci tabelarycznej, względnie dokonuje się aproksymacji, przyjmując sinusoidalny rozkład sztywności wzdłuż przęsła zawieszenia.

Charakterystyki sztywności sieci trakcyjnych stosowanych w Polsce podano na rys. 2. Do obliczeń symulacyjnych najczęściej stosowany jest wzór:

$$k_s(x) = K_s \left(1 + \varepsilon_k \cos \frac{2\pi}{L} x \right) \quad (4^a)$$

2.2. Masa zastępcza sieci trakcyjnej

Pojęcie "masy zastępczej" można zdefiniować następująco: masa zastępcza sieci trakcyjnej jest to fikcyjna masa, zredukowana do punktu



Skala wykresu: dla k_s 1mm = 200 N/m
dla L 1mm = 1m

Rys. 2. Charakterystyki sztywności sieci trakcyjnych stosowanych w Polsce [19]

styku z odbierakiem prądu, której działanie na ślizgacz odbieraka jest identyczne jak rozłożonych przestrzennie mas rzeczywistych [7, 17].

Publikacje omawiające sposoby określenia wielkości masy zastępczej podzielić można na dwie zasadnicze grupy:

- w pierwszej: masa zastępcza rozpatrywana jest stosownie do długości uniesionej przez odbierak części sieci trakcyjnej;
- w drugiej: masę zastępczą określa się z warunku dynamicznej równowagi układu, opartej na przyrównaniu częstotliwości drgań swobodnych układu z jednym stopniem swobody z częstotliwością drgań układu z nieskończonej dużą liczbą stopni swobody, jakim jest w rzeczywistości sieć trakcyjna.

W artykule [17] podano następujący wzór na obliczenie masy zastępczej sieci trakcyjnej w dowolnym punkcie przęsła zawieszenia:

$$m_g(x) = 0,09 \cdot \sqrt{\frac{(T + \varphi N) \cdot j_N \cdot (F_{st} + F_a)}{k_s(x)}} \quad (5)$$

gdzie:

T, N - naciągi: liny nośnej i drutu jezdnego;

F_{st}, F_a - siły: statyczna odbieraka i składowa aerodynamiczna;

j_N - masa jednostkowa drutu jezdnego;

$k_s(x)$ - sztywność sieci trakcyjnej;

φ - współczynnik konstrukcyjny sieci trakcyjnej;

$$\varphi = \frac{(L - 2a)^2}{L^2} \quad (6)$$

L - długość przęsła zawieszenia;

a - odległość pierwszego wieszaka od podpory (dla sieci typu Y).

We wzorze (5) współczynnik 0,09 dobrany został doświadczalnie. Na podstawie wzoru (5) można stwierdzić, że masa zastępcza osiąga wartość maksymalną w środku przęsła a minimalną pod podporą.

L. Pascucci [3, 7] analizując zmienność wartości elastyczności i masy zastępczej sieci wzdłuż przęsła, zwrócił uwagę na fakt, że są one w stosunku do siebie odwrotnie proporcjonalne, a ich iloczyn jest wartością stałą dla dowolnego punktu wzdłuż przęsła:

$$e_g(x) \cdot m_g(x) = \text{const} \quad (7)$$

Stała we wzorze (7) równa jest odwrotności kwadratu częstości drgań własnych sieci trakcyjnej. Można zatem napisać:

$$m_g(x) = \frac{k_g(x)}{\omega_g^2} \quad (8)$$

gdzie:

ω_g - częstość drgań własnych sieci trakcyjnej.

Ze wzoru (8) wynika, że masa zastępcza osiąga wartość maksymalną pod podporą, a minimalną w środku przęsła.

W pracy [9] omówiono wyniki badań poligonowych przeprowadzonych w ZSRR w celu określenia masy zastępczej sieci M - 120+2MF - 100.

Na ich podstawie sformułowano empiryczną zależność:

$$m_g = 10 \cdot n \cdot j_M + 22 \quad (9)$$

z której wynika, że masa zastępcza sieci trakcyjnej jest stała wzdłuż przęsła, a wielkość jej uzależniona jest tylko od j_M - jednostkowej masy drutu jezdnego w [kg/m] oraz od n - ilości drutów jezdnych.

Wnioski wynikające ze wzorów (5), (8) i (9) są sprzeczne. W pracy [12] wykazano, że metoda redukcji masy sieci trakcyjnej według kryterium identyczności częstości drgań własnych jest najbardziej efektywna. Na odnotowanie w tym miejscu również zasługuje wzór Niblera, zacytowany w pracy [7]:

$$m_g = \frac{L \cdot m_1}{\pi} \quad (9^*)$$

2.3. Siła tarcia suchego

Wartość siły tarcia suchego w układzie: sieć trakcyjna - odbierak prądu, występującej na skutek istnienia tarcia w węzłach wsporczych sieci, linie nośnej oraz przegubach odbieraka, można wyliczyć z następującej zależności [5]:

* Zagadnienie to wymaga jeszcze dalszych badań zarówno poligonowych jak i symulacyjnych. Należy dodać, że wzory (8), (9) i (9*) nie mogą być użyte w przypadku wykorzystania modeli wielomasowych sieci trakcyjnej, jak np. ST3 i ST4 [14].

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{a_2 F_1 - a_1 F_2}{a_2 - a_1} \quad (10)$$

gdzie:

F_1, F_2 - siły wymuszające (z generatora drgań);

a_1, a_2 - maksymalne amplitudy przemieszczeń pionowych sieci w danym punkcie - odpowiadające siłom F_1 i F_2 .

Wartość siły tarcia suchego w sieci trakcyjnej można obliczyć przez odjęcie od sumarycznego tarcia wartości tarcia suchego występującego w przegubach odbieraka prądu. Wyniki pomiarów dokonanych w kilku punktach sieci trakcyjnej ilustruje tabela 2.

Tabela 2

Siła tarcia suchego według [5]

T [N] naciąg liny nośnej	L [m] długość przęsła	W - siła tarcia suchego [N] 2N = 20000 N (naciąg drutów jezdnych)				
		pod podporą	5 m od podpory	10 m od podpory	15 m od podpory	w środku przęsła
12000	65	37,8	49,1	29,5	28,1	16,2
	70	37,6	47,5	28,1	27,1	12,2
	75	37,5	46,1	26,9	26,1	11,1
15000	65	40,2	53,5	34,9	32,3	25,9
	70	40,0	52,1	33,3	31,1	20,2
	75	39,7	50,9	31,5	30,0	17,5
18000	65	42,3	58,5	40,0	37,5	30,5
	70	42,1	57,5	39,0	36,7	25,5
	75	42,0	56,5	37,8	35,2	22,5

Siłę tarcia suchego w sieci trakcyjnej najczęściej aproksymuje się wzorem [14] :

$$W_s(x) = \bar{W}_s \left(1 + \varepsilon_w \cos \frac{2\pi}{L} x \right) \quad (10^*)$$

gdzie:

\bar{W}_s - wartość średnia siły tarcia suchego w przęśle zawieszenia,

ε_w - współczynnik nierównomierności rozkładu siły tarcia suchego.

2.4. Współczynnik tarcia lepkiego

Współczynnik tarcia lepkiego określany jest siłami sprężystości oporu wewnętrznego lub niedoskonałą sprężystością materiału. Powstawanie tych sił spowodowane jest energią wydatkowaną na pokonanie tarcia międzymolekularnego w samym materiale z chwilą jego deformacji lub tarcia w tłumikach, jakie stosowane są w sieciach trakcyjnych. Przyjmuje się, że siły te są proporcjonalne do szybkości zmian odkształceń wywołanych drganiami i wyrażone mogą być wzorem ogólnym:

$$R = b \cdot \dot{f} \quad (11)$$

gdzie:

R - siła oporu tarcia lepkiego;

b - współczynnik tarcia lepkiego;

\dot{f} - prędkość pionowego przemieszczania się układu.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki badań poligonowych współczynnika tarcia lepkiego sieci trakcyjnej. Wyznaczony on był na podstawie zależności [4, 5] :

$$b_s = 2 \cdot m_s \cdot d \cdot f_s \cdot \left(1 - \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot F}\right) \quad (12)$$

gdzie:

m_s - masa zastępcza sieci trakcyjnej;

f_s - częstotliwość drgań własnych sieci trakcyjnej;

W - siła tarcia suchego;

F - siła wymuszająca (z generatora drgań);

d - logarytmiczny dekrement tłumienia:

$$d = \frac{2}{n} \cdot \ln \left| \frac{a_0}{a_n} \right| \quad (13)$$

a_0, a_n - amplitudy drgań (początkowa i po n okresach).

Tabela 3

Współczynnik tarcia lepkiego według [5]

T [N] naciąg liny nośnej	L [m] długość przesza	b_g - współczynnik tarcia lepkiego [Ns/m]				
		2N = 20000 N (naciąg drutów jezdnych)				
		pod podporą	5 m od podpory	10 m od podpory	15 m od podpory	w środku przesza
12000	65	2,24	1,88	2,50	3,10	5,50
	70	2,34	3,30	3,50	5,50	11,10
	75	3,60	3,80	4,90	5,80	7,47
15000	65	4,32	3,10	3,00	4,00	6,20
	70	3,68	3,50	4,30	6,00	11,00
	75	4,20	4,20	5,00	6,00	8,00
18000	65	8,60	5,60	4,70	5,60	9,55
	70	4,50	4,20	5,60	7,50	11,90
	75	4,60	4,80	5,50	6,00	8,10

2.5. Częstość drgań własnych

Częstość drgań własnych (swobodnych) sieci trakcyjnej określa-
na jest najczęściej jako częstość pierwszej harmonicznej i przedstawiana
zależnością [6] :

$$\omega_B = 2\pi \cdot \frac{\alpha}{L} \sqrt{\frac{T + N}{m_j}} \quad (14)$$

gdzie:

- ω_B - częstość drgań własnych sieci trakcyjnej;
- T - sumaryczny naciąg lin nośnych;
- N - sumaryczny naciąg drutów jezdnych;
- m_j - sumaryczna masa sieci trakcyjnej na jednostkę długości;
- α - współczynnik uwzględniający konstrukcję sieci trakcyjnej;
 - $\alpha = 0,435$ (sieć z linką pomocniczą typu Y);
 - $\alpha = 0,500$ (sieć prosta).

W tabeli 4 przedstawiono wyniki pomiarów częstotliwości drgań własnych sieci trakcyjnych stosowanych na PKP.

Znając częstotliwość drgań własnych sieci trakcyjnych można obliczyć prędkość krytyczną z następującego wzoru [8] :

$$V_k = 3.6 \cdot L \cdot f_g \quad (15)$$

Dla prędkości krytycznej, częstotliwość wymuszeń wywołanych przez odbierak prądu jest równa częstotliwości drgań własnych sieci trakcyjnej. Stwarza to warunki powstania parametrycznego rezonansu, charakteryzującego się nadmierną amplitudą drgań sieci trakcyjnej.

Tabela 4

Częstotliwość drgań własnych sieci trakcyjnej według [6]

Długość prześła L [m]	Naciąg liny nośnej T [N]	Naciąg drutów jezdnych 2N [N]	Częstotliwość drgań własnych f_g [1/s]	Prędkość krytyczna V_k [km/h]
65	12000	15000	0,628	147
		20000	0,665	155
	15000	15000	0,636	149
		20000	0,688	161
	18000	15000	0,686	160
		20000	0,732	171
70	12000	15000	0,581	146
		20000	0,630	159
	15000	15000	0,606	153
		20000	0,650	164
	18000	15000	0,627	158
		20000	0,675	170
75	12000	15000	0,565	152
		20000	0,615	166
	15000	15000	0,584	158
		20000	0,636	172
	18000	15000	0,625	169
		20000	0,670	181

2.6. Długość przęsła

O długości przęsła zawieszenia sieci trakcyjnej dycydują dwa zasadnicze czynniki:

- odporność sieci na poprzeczne działanie wiatru;
- założony współczynnik nierównomierności sztywności sieci $\varepsilon_{k\%}$.

Maksymalne wychylenie drutu jezdnego od osi toru nie powinno przekraczać wartości połowy długości części roboczej ślizgacza odbieraka prądu. Wychylenie to określają wzory szczegółowe podane w literaturze [9, 15].

Dla dużych prędkości jazdy współczynnik $\varepsilon_{k\%}$ nie powinien przekraczać 30% [8, 16]. Na podstawie wzorów zamieszczonych w literaturze [16] można obliczyć graniczną długość przęsła dla założonego $\varepsilon_{k\%}$. Najczęściej spotykane długości przęsła zawieszenia sieci trakcyjnej zawarte są w przedziale 60 - 80 m.

2.7. Profil sieci

Istnienie przeszkód na szlaku (budowli inżynierskich, tuneli, przejazdów przez tory, itp.) powoduje, że sieć trakcyjna zawieszana jest na różnym poziomie. Zakres wysokości położenia drutów jezdnych wynosi od 4.90 do 6.10 m.

Dla dużych prędkości jazdy zalecane jest stosowanie pochylenia drutu jezdnego (profil sieci) odpowiednio: do 160 km/h - 2,5%, do 200 km/h - 2.0%, ponad 200 km/h - 1,5%. [18].

2.8. Zwis drutu jezdnego

Celem poprawienia jakości współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną stosowany jest dodatni zwis wstępny (pokazany na rys. 1).

Zwis wstępny drutu jezdnego można opisać równaniem paraboli. Strzałka zwisu (f) wynosi zwykle od 3 do 5 cm.

2.9. Prędkość propagacji fali

Podczas współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną przed przesuwającym się punktem styku biegnie wzdłuż sieci fala wstępna. Zjawisko to ma istotny wpływ na jakość współpracy z siecią jednocześnie kilku odbieraków prądu.

Prędkość rozchodzenia się drgań w sieci (v_p) wzdłuż przęsła zawieszenia można obliczyć ze wzoru [6]:

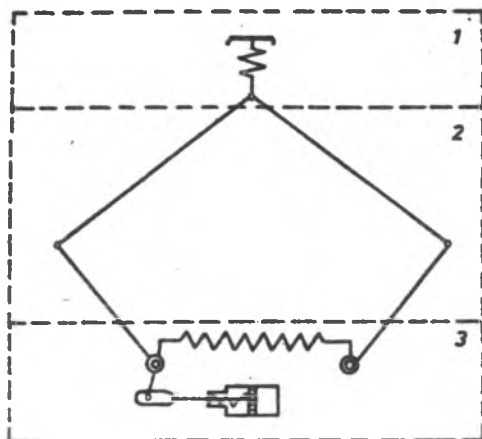
$$v_p = 3,6 \sqrt{\frac{T}{m_j} + E} \quad [\text{km/h}] \quad (16)$$

gdzie: T, N, m_j - jak w p.2.5.

3. Parametry odbieraka prądu

Na rys. 3 pokazano sąsiednicze podukłady odbieraka prądu. Bez względu na rodzaj konstrukcji dynamiczne własności odbieraka prądu określone są przez następujący zbiór parametrów:

$$Q_0 = \{ M, F_{st}, F_a, k_{sl}, b_0, W_0 \} \quad (17)$$



Rys.3. Podstawowe podukłady odbieraka prądu:

- 1 - ślizgacz
- 2 - układ ramowy
- 3 - układ napędowy

gdzie:

M - masa zastępcza (zredukowana do punktu styku z drutem jezdny);

F_{st} - siła statyczna;

F_a - składowa aerodynamiczna;

k_{sl} - sztywność odsprężynowania ślizgacza;

b_0 - współczynnik tarcia lepkiego;

W_0 - siła tarcia suchego.

W tabeli 5 podano zestawienie parametrów niektórych zagranicznych odbieraków prądu, a w tabeli 6 - odbieraków krajowych.

Tabela 5

Charakterystyki niektórych zagranicznych odbieraków prądu [1]

Typ odbieraka - producent		F_{st} [N]	ΔF_{st} [N]	$2W_0$ [N]	F_{op} [N]	M [kg]
<u>Prąd stały</u>						
DŻ-5K	ZSRR	55-95	15	30	20	32,5
P-1	ZSRR	70-110	15	30	45	33,5
P-3	ZSRR	80-120	15	30	45	44,5
P-5	ZSRR	100-130	15	30	140	46,0
TSp-1M	ZSRR	80-110	6	23	210	24,5
9PP, 13 PP	CSSR	80-120	10	25	60	49,0
10PP	CSSR	80-120	10	25	60	43,0
AM14	Francja	-	-	4	-	57,0
AM1 8B	Francja	90-120	-	4	-	51,0
52FS	Włochy	70-90	-	20	-	33
13P	W. Brytania	60-85	5	20	80	47,0
PS17	Japonia	55	-	-	-	20,5
<u>Prąd przemienny</u>						
P-7A	ZSRR	55-85	10	20	80	33,5
TL-13U	ZSRR	60-90	10	20	120	33,5
2SLS	CSSR	65-105	20	20	140	30,7
SBS66	RFN	75-105	-	20	60	36,0
DBS54	RFN	64-72	6	3,5	-	24,5
M-7, MT	Francja	85-95	10	15	190	45,0
AM11	Francja	65-75	-	4	240	32,5
AM1 8U	Francja	50-90	-	4	180	32,5
AM-BR	W. Brytania	80-90	3	3	-	-
WVSS-54 (typ V)	Austria	45-65	10	15	80	31,5
PS-100 A	Japonia	45	-	-	-	14,5

Oznaczenia: F_{st} - siła statyczna w zakresie roboczym; ΔF_{st} - różnica między $F_{st,max}$ i $F_{st,min}$. przy ruchu w jedno stronę; $2W_0$ - podwójna siła tarcia suchego (wartość maksymalna); F_{op} - siła opuszczająca (wartość minimalna);

M - masa zastępcza (wartość średnia);

m_k - 22,5 - 27,5 w zależności od prędkości jazdy.

Tabela 6

Charakterystyki odbieraków prądu stosowanych w Polsce [12, 13]

Parametr	Jednostka	AKP-4E	AKP-4E zmodernizowany	GK prototyp
Napięcie znamionowe	kV	3	3	3
Prąd znamionowy	A	1000	1000	2400
Prędkość maksymalna	km/h	120	160	200
Masa zastępcza	kg	32,0	33,8	24,5
Masa ślizgacza	kg	14,0	12,2	10,5
Siła docisku statycznego	N	80	81	90
Podwójna siła tarcia suchego	N	20	20	16
Współczynnik tłumienia lepkiego	Ns/m	-	-	~50-150
Sztwywność odsprężynowania ślizgacza	N/m	~12000	4785	3340
Typ odsprężynowania ślizgacza	-	zależne	niezależne	niezależne
Zakres pracy odsprężynowania ślizgacza	mm	20	57	102
Liczba ślizgaczy	-	1	1	1
Wkładki odbierające prąd	-	Cu 99,9	Cu 99,9	Cu 99,9
Ilość wkładek	-	4	3	6
Dolne położenie robocze (od podstawy izolatorów)	cm	78	80	78
Górne położenie robocze	cm	228	180	228
Siła utrzymująca w stanie złożonym	N	-	217	220
Siła opuszczająca	N	-	> 150	> 150
Czas podnoszenia	s	15	15	~ 20
Czas opuszczania	s	6	6	~ 6

3.1. Masa zastępcza

Masa zastępcza odbieraka prądu jest to fikcyjna masa, zredukowana do punktu styku ślizgacza z drutem jezdny, której działanie na drut jezdny jest identyczne jak rozłożonych przestrzennie mas rzeczywistych. W przybliżeniu może być ona określona z następującej zależności [11] :

$$M = m_{sl} + \frac{3}{4} m_{rg} + \frac{1}{4} m_{rd} \quad (18.)$$

gdzie:

m_{sl} - masa ślizgacza;

m_{rg} - masa ram górnych;

m_{rd} - masa ram dolnych.

Masa ślizgacza uzależniona jest od wielkości maksymalnego prądu pobieranego z sieci trakcyjnej, masa ram natomiast - uzależniona jest od zakresu roboczego odbieraka prądu (tj. od różnicy między największą a najmniejszą wysokością pracy).

Wzory szczegółowe, uzależniające masę zastępczą od konfiguracji geometrycznej układu ramowego, podane są w pracy [1] .

3.2. Siła statyczna

Jednym z podstawowych sposobów zapewnienia prawidłowej współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną jest odpowiedni dobór wartości siły statycznego nacisku odbieraka na drut jezdny za pomocą specjalnego układu sprężyn. Statyczny nacisk ślizgacza na drut jezdny powinien być stały w całym zakresie pracy odbieraka.

Wartości siły statycznej odbieraka prądu są uzależnione m.in.: od liczby ślizgaczy, liczby wkładek w ślizgaczu, rodzaju wkładki ślizgacza (miedziana, z materiału spiekowego, węglowa typu A lub B), oraz od okresu (wiosenno-letni lub jesienno-zimowy).

Przykładowo: średnie wartości siły statycznej dla odbieraków prądu stosowanych w ZSRR wynoszą , w okresie wiosenno-letnim 70 - 80N (odbieraki jednoślizgaczowe) oraz 110 - 150 N (odbieraki dwuślizgaczowe). W okresie jesienno-zimowym wartości te są większe o ok. 10 - 15 N [1, 21] .

3.3. Składowa aerodynamiczna

Główną przyczyną powstawania pionowej siły unoszącej jest opór stawiany przepływającemu powietrzu przez ślizgacz. Siła aerodynamiczna wywołana oporem ślizgacza wynosi ok. 70% całkowitej siły aerodynamicznej działającej na odbierak prądu [11] . Przy szybkości 160 km/h składowa aerodynamiczna wynosi średnio 40-80 N (w zależności od typu odbieraka).

Zwykle w rozważaniach teoretycznych przyjmuje się, że składowa

aerodynamiczna (F_a) wyrażona jest następującym wzorem:

$$F_a = k_a \cdot v^2 \quad (19)$$

Współczynnik k_a zależy jest od kształtu ślizgacza oraz od ilości i sposobu ułożenia wkładek stykowych.

Jak wykazują badania [1], charakter zmienności $F_a = f(v)$ jest bardziej złożony, niż pokazuje to zależność (19). Wpływ składowej aerodynamicznej, ogólnie rzecz biorąc, jest korzystny dla współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną. W tabeli 7 podano charakterystyki aerodynamiczne niektórych odbieraków prądu.

Tabela 7

Charakterystyki aerodynamiczne niektórych odbieraków prądu 1

Typ odbieraka - producent		Składowa aerodynamiczna [N] w funkcji prędkości czołowego potoku powietrza [m/s]					
		10	20	30	40	50	60
<u>Prąd stały</u>							
TSp-1M	ZSRR	3	12	28	49	77	110
P-5	ZSRR	16	44	81	135	-	-
52 FS	Włochy	4	16	36	65	101	-
<u>Prąd przemienny</u>							
P-7	ZSRR	4	15	35	62	-	-
2SIS-1	CSRR	4	10	19	36	60	-
MT	Francja	5	16	37	71	110	-
AM11	Francja	4	13	29	50	78	115
AM18U	Francja	3	14	33	58	90	130
DBS54	RFA	2	9	18	34	57	-
WVSS-54 (typ V)	Austria	1	5	13	33	-	-
AM-BR	W. Brytania	1	4	10	18	-	-

3.4. Sztywność odsprężynowania ślizgacza

Duży wpływ na prawidłową współpracę odbieraka prądu z siecią trakcyjną ma sztywność odsprężynowania ślizgacza. Istnieją dwa warianty odsprężynowania ślizgacza:

- zależne (ugięcia sprężyn są zależne od siebie, równe i nie zależą od położenia drutu jezdnego na płaszczyźnie styku ślizgacza);
- niezależne (ugięcia sprężyn nie zależą od siebie).

Niekorzystny wpływ na jakość współpracy odbieraka z siecią mogą mieć drgania rezonansowe ram odbieraka. Sytuacja taka ma miejsce wówczas, gdy częstość pionowych drgań wymuszonych przez śliszacz jest taka sama albo jest krotnością częstości drgań własnych ram odbieraka.

Częstość drgań własnych ram odbieraka (w odniesieniu do śliszacza) określona jest wzorem [1]:

$$\omega_{wr} = \sqrt{\frac{k_{s1}}{m_r}} \quad (20)$$

gdzie:

k_{s1} - sztywność odsprężynowania śliszacza;

m_r - masa ram odbieraka (zredukowana do górnego węzła).

Częstość drgań wymuszonych przez śliszacz podczas ruchu odbieraka wzdłuż sieci trakcyjnej wynosi:

$$\omega = 2\pi \frac{v}{L} \quad (21)$$

Rezonans wystąpi, gdy:

$$\omega_{rez} = \frac{2\pi \cdot v_{rez}}{L} = \omega_{wr} \quad (22)$$

Najmniejsza prędkość rezonansowa wynosi:

$$v_{rez.min.} = \frac{\omega_{wr} \cdot L_{min}}{2\pi} \quad (23)$$

gdzie:

L_{min} - najmniejsza długość przęsła.

Aby nie dopuścić do powstania rezonansu pierwszej harmonicznej, wystarczy, żeby najmniejsza prędkość rezonansowa ($v_{rez.min}$) była większa o ok. 10 km/h od maksymalnej prędkości jazdy (v_{max}), tj. np. o 3 m/s; wtedy po podstawieniu (20) do (23) i przekształceniu postać wyrażenia określającego minimalną dopuszczalną wartość sztywności odsprężynowania śliszacza będzie następująca:

$$k_{s1 min} = \left[\frac{2\pi (v_{max} + 3)}{L_{min}} \right]^2 \cdot m_r \quad (24)$$

Aby nie dopuścić do powstania rezonansu drugiej harmonicznej, należy wartość $k_{s1 \text{ min}}$ wyliczoną ze wzoru (24), pomnożyć przez 4.

Wartość maksymalna sztywności odsprężynowania ślizgacza uzależniona jest od przyjętego zakresu roboczego sprężyn. Wartości sztywności odsprężynowania ślizgaczy odbieraków prądu stosowanych na PKP podano w tabeli 6.

3.5. Współczynnik tarcia lepkiego

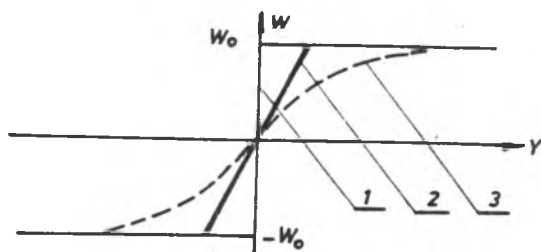
Siły tarcia lepkiego w podkładach odbieraka prądu są niewielkie. Do obliczeń teoretycznych zalecane jest przyjmowanie następujących średnich wartości współczynników tarcia lepkiego: 15 Ns/m - dla odbieraków typu "lekkiego" oraz 25 Ns/m - dla odbieraków typu "ciężkiego" [9].

Celem poprawy jakości współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną w zakresie prędkości rezonansowych stosuje się tłumiki hydrauliczne, włączane w podkłady odbieraka.

3.6. Siła tarcia suchego

Siła tarcia suchego w odbieraku prądu występuje na wskutek istnienia tarcia w przegubach i jest zależna od konstrukcji odbieraka. Zwykle w literaturze występuje pojęcie "podwójna siła tarcia", która jest różnicą pomiędzy siłą statyczną mierzoną przy podnoszeniu i opuszczaniu odbieraka.

W obliczeniach wykonywanych przy użyciu symulacji komputerowej siłę tę można odwzorować w trzech wariantach (rys. 4).



Rys.4 Sposoby odwzorowania siły tarcia suchego w odbieraku prądu

Wariant pierwszy opisany jest wzorem:

$$W = W_0 \cdot \text{sign}(v) \quad (25)$$

gdzie:

W - siła tarcia suchego;

$2W_0$ - podwójna siła tarcia suchego;

v - prędkość pionowa punktu styku odbieraka z siecią.

Wariant 2 jest wariantem pośrednim, opisanym wzorami:

$$\left. \begin{aligned} W &= W_0 \cdot \text{sign}(v) & \text{dla } |v| \geq \frac{1}{r} \\ W &= r \cdot v & \text{dla } |v| \leq \frac{1}{r} \end{aligned} \right\} \quad (26^*)$$

Wariant 3 opisany jest wzorem:

$$W = W_0 \cdot \text{th}(r \cdot f) \quad (26)$$

Według [20] wartość współczynnika r we wzorze (26*) jest stała i wynosi 10 s/m.

Wartość siły tarcia suchego w stosowanych odbierakach prądu podano w tabelach 5 i 6.

4. Czynniki dodatkowe

Przez czynniki dodatkowe rozumiano w pracy [14] grupę zjawisk towarzyszących współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną, nie uwzględnionych w zbiorach Q_B i Q_0 . Czynniki dodatkowe nie są ściśle związane z dokładnością modelu matematycznego, jednak pominięcie ich może być przyczyną rozbieżności wyników obliczeń symulacyjnych z pomiarami poligonowymi.

Czynniki dodatkowe mogą być przedstawione za pomocą następującego zbioru:

$$Q_d = \left\{ F_{ed}, F_{ov}, F_{wt}, F_{roz}, F_{usz}, F_o, F_{sz}, \dots \right\} \quad (27)$$

gdzie:

F_{ed} - siła elektrodynamiczna;

F_{ov} - składnik uwzględniający zjawiska falowe;

F_{wt} - składnik uwzględniający działanie wiatru;

F_{roz} - składnik uwzględniający rozregulowanie parametrów sieci trakcyjnej lub odbieraka prądu;

F_{usz} - składnik uwzględniający częściowe uszkodzenie sieci trakcyjnej lub odbieraka prądu;

F_o - składnik uwzględniający drgania pudła pojazdu trakcyjnego;

F_{sz} - składnik uwzględniający przypadki szczególne.

4.1. Siła elektrodynamiczna

W układzie "odbierak prądu - sieć trakcyjna" można wyodrębnić następujące siły pochodzenia elektrodynamicznego: siłę oddziaływania między prądem płynącym w drucie jezdny a blachą stalową ślizgacza, siłę oddziaływania między prądem płynącym w drucie jezdny i w miedzianych nakładkach ślizgacza, siłę oddziaływania między prądem płynącym w drucie jezdny i w ramionach ruchomych odbieraka. Z wymienionych powyżej tylko siła elektrodynamicznego oddziaływania między prądem płynącym w drucie jezdny a stalową blachą ślizgacza może mieć pewien wpływ na dynamikę współpracy odbieraka z siecią. Wartości tej siły, której działanie powoduje przycią-

ganie odbieraka do drutu jezdneho, w zależności od grubości nakładek miedzianych ślizgacza odbieraka prądu podano w tabeli 8.

Tabela 8

Wartości siły oddziaływania elektrodynamicznego między drutem jezdnyim a ślizgaczem [10]

Prąd [A]	Siła elektrodynamiczna [N]					
	Grubość nakładki [mm]					
	1	2	3	4	5	4
200	0,63	0,31	0,21	0,15	0,13	
400	2,51	1,25	0,83	0,62	0,50	2,70
600	5,65	2,82	1,88	1,41	1,13	
800	10,02	5,01	3,40	2,50	2,04	
1000	15,70	7,85	5,22	3,97	3,14	4,00
1200	22,60	11,30	7,51	5,65	4,52	
1400	30,80	15,40	10,26	7,70	6,16	
1600	40,20	20,10	13,40	10,50	8,05	7,50
1800	50,90	25,45	16,50	12,72	10,20	
2000	62,80	31,40	20,90	16,70	12,58	11,70
2500	98,00	49,00	32,60	24,50	19,60	
3000	141,10	70,55	70,03	35,27	28,30	
	Wartości obliczone					Wartości zmierzone

4.2. Zjawiska falowe

Poruszający się z określoną prędkością odbierak prądu napotyka na sieć trakcyjną wprawioną w ruch drgający. Spowodowane jest to przesuwaniem się "fali wstępnej" w odległości kilku do kilkunastu metrów przed odbierakiem. Zjawisko to, choć łatwo zauważalne gołym okiem, nie jest omówione szerzej w dostępnej literaturze.

Rozważenie zjawiska rozchodzenia się drgań ma znaczenie przy ocenie jakości współpracy kilku odbieraków prądu z siecią trakcyjną. Należy również w tym miejscu zasignalizować możliwość odbijania się fal biegnących wzdłuż sieci od kotwienia względnie od elementów podwieszenia przewodów.

4.3. Działanie wiatru

Bardzo często w naszej strefie klimatycznej sieć narażona jest na działanie wiatru. Problem ten jest omówiony w literaturze [15].

Częstotliwości drgań sieci wynoszą najczęściej 0,65 - 1,0 Hz (dla całej długości prześła zawieszenia) oraz 2,5 - 4,0 Hz (dla odcinków międzywieszakowych). Amplitudy drgań wynoszą od kilku do kilkunastu centymetrów (a nawet kilkudziesięciu - w przypadkach krytycznych). Drgania te nie mają zdeterminowanego charakteru.

4.4. Uszkodzenia i rozstrojenia

Na jakość współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną mogą mieć również wpływ częściowe uszkodzenia obu układów (np. zerwanie wiszaka lub uszkodzenie odsprężynowania ślizgacza), a także - co jest przypadkiem częstszym - rozstrojenia, czyli niedotrzymanie nominalnych charakterystyk parametrów.

Przykładowo, według [2] rzeczywiste naciągi liny nośnej i drutu jezdnego nie są jednakowe na poszczególnych odcinkach naprężenia sieci trakcyjnej i znacznie przekraczają wartości dopuszczalnych odchyłań.

4.5. Drgania lokomotywy

Według [9] amplitudy drgań pudła lokomotywy wynoszą 2 - 3 cm, a częstości drgań 8,7 - 10,7 rad/s. Do obliczeń teoretycznych zalecany jest wzór [20] :

$$F_0 = k_0 \cdot y_{em} \cdot \omega_e^2 \cdot \cos(\omega_e t) \quad (28)$$

gdzie:

F_0 - siła oddziaływania pudła lokomotywy na układ ramowy odbieraka prądu [N] ;

k_0 - współczynnik konstrukcyjny zależny od typu odbieraka (przyjmowany 7 dla odbieraków "ciężkich" oraz 5 dla odbieraków "lekkich" [Ns^2m^{-1}]);

y_{em} - amplituda drgań pudła lokomotywy [m] ;

ω_e - częstość drgań pudła lokomotywy [1/s] .

4.6. Przypadki szczególne

W grupie tej należy wyróżnić następujące sytuacje: przejazd pociągu przez rozjazd, przejazd przez prześło naprężenia, mijanie pociągów, inne czynniki (np. oblodzenie sieci).

Należy tutaj indywidualnie rozpatrywać specyfikę danego przypadku, np. przejazd przez rozjazd cechować może inny charakter drgań lokomotywy, niż to podano we wzorze (28), inna też będzie charakterystyka sztywności sieci niż w prześle zawieszenia.

5. Uwagi końcowe

Przedstawione w rozdziałach 2-4 parametry sieci trakcyjnej, odbieraka prądu oraz czynniki dodatkowe połączyć można w jeden zbiór Q_{we} - danych wejściowych do modelu matematycznego współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną. Wyjściem z modelu będzie zbiór Q_{wy} - danych wyjściowych, na który składać się mogą następujące elementy: F_k - siła stykowa, y - przemieszczenie pionowe punktu styku, t_{od} - czas przerw stykowych, oraz J - współczynnik jakości współpracy. Model matematyczny, bez względu na klasę, którą reprezentuje, będzie zawsze w rozumieniu informatycznym narzędziem przetwarzania danych (zbioru Q_{we} na zbiór Q_{wy}).

W celu uporządkowania danych wejściowych, w oparciu o rozważania zawarte w rozdziałach 2-4, opracowano tabelę 9, w której zestawiono parametry sieci trakcyjnej, odbieraka prądu oraz niektóre czynniki dodatkowe, w standardowym zakresie zmian.

Przedstawiona w artykule problematyka jest jedynie wąskim wyinkiem szerokiego obszaru badań dotyczących dynamicznej współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną. Mimo niewątpliwych osiągnięć kolei zagranicznych (Francja, Japonia, ZSRR, Włochy, Wielka Brytania) w ostatnich latach, wiele zagadnień wymaga kontynuacji badań. Należą do nich m.in.:

- zjawiska falowe w sieci trakcyjnej;
- zakłócenia o charakterze stochastycznym;
- współpraca kilku odbieraków prądu z siecią trakcyjną;
- konstrukcja układu autoregulacji w odbieraku prądu;
- konstrukcja odbieraków wielostopniowych (piętrowych) ;
- kształtowanie na odpowiednim poziomie charakterystyk tłumienia oraz aerodynamicznych odbieraka prądu;
- ulepszenia materiałowe obu ww. układów.

Tabela 9

Zestawienie danych wejściowych do modelu matematycznego
(zasadnicze elementy wzoru Q_{we}) [14]

Lp.	Nazwa	Ozna- czenie	Jedno- stka	Standardowy zakres zmian
S i e ć t r a k c y j n a				
1.	Masa zastępcza	m_s	kg	15-150
2	Sztywność	k_s	N/m	1500-5500
3	Siła tarcia suchego	w_s	N	10-50
4	Współczynnik tarcia lepkiego	b_s	Ns/m	2-15
5	Częstość drgań własnych	ω_s	1/s	3,5-6,0
6	Długość przęsła	L	m	60-80
7	Profil sieci	p	%	0-2,5
8	Zwis wstępny	f	cm	0-7
O d b i e r a k p r ą d u				
9	Masa zastępcza	M	kg	14-57
10	Sztywność odsprężynowania ślizgacza	k_{sl}	N/m	3000-8000
11	Siła tarcia suchego	w_o	N	3-30
12	Współczynnik tarcia lepkiego	b_o	Ns/m	15-25
13	Siła statyczna	F_{st}	N	70-90 /1-śl./ 140-160/2-śl./
14	Składowa aerodynamiczna	F_a	N	0-130
C z y n n i k i d o d a t k o w e				
15	Siła elektrodynamiczna	F_{ed}	N	1-20
16	Działanie wiatru	y_{wt}	cm	0-8
17	Częstość i amplituda drgań pudła lokomotywy	ω_e y_e	1/s cm	8-11 0-3
18	Prędkość jazdy	V	km/h	0-250
19	Prąd pobierany przez lokomotywę	I	A	0-2000

L I T E R A T U R A

- [1] Bielajew I.A., Michejew W.P., Szijan W.A.: Tokosjom i tekoprije-mniki elektropodwiznogo sostawa. Wyd. "Transport" Moskwa 1976.
- [2] Boroński W., Żurek Z.: Pomiarы rzeczywistych naciągów w sieci trakcyjnej - Transport Kolejowy. I Sympozjum Katowice-Jaszowiec. Politechnika Śląska 1977.
- [3] Ebeling H.: Stromabnahme bei hohen Geschwindigkeiten - Probleme der Fahrleitungen und Stromabnehmer - Elektrische Bahnen nr 2,3/1969.
- [4] Z.Fidrych : Issledowanije wlijanija parametrow kontaktnoj pod-wieski na kaczestwo tokosjoma pri wysokich skorostiaoh dwiženija. Praca doktorska. MIIT, Moskwa 1971.
- [5] Fidrych Z.: Eksperymentalne określenie dynamicznych parametrow sieci trakcyjnej. Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny nr 6/1975.
- [6] Fidrych Z.: Częstotliwość i szybkość rozchodzenia się drgań w sieci trakcyjnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 46/1975.
- [7] Fidrych Z.: Sposoby określenia masy zastępczej sieci trakcyjnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 52/1977.
- [8] Figurzyński Z.: Sieć trakcyjna na liniach z dużymi prędkościami, Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny nr 9,10/1970.
- [9] Frajfeld A.W.: Projektowanie kontaktnej sieci. Wyd. Transport, Moskwa 1978.
- [10] Ginalski Z.: Elektrodynamiczne oddziaływanie pantografu i przewodu jezdnego sieci trakcyjnej. Wyd. SEP, SITK, DOKP Wrocław 1974
- [11] Grajner J.: Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne obieraków prądu. Trakcja i Wagony nr 5/1978.
- [12] Grajner J.: Drgania ruchomego układu dyskretnego współpracującego z układem ciągłym na przykładzie współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną. Praca doktorska. Politechnika Wrocławska 1979
- [13] Jarosz T.: Badania i wytyczne dla konstrukcji odbieraków prądu do dużych prędkości jazdy. Problemy Kolejnictwa nr 63/1976.
- [14] Konieczny R.: Ocena jakości współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną przy użyciu symulacji komputerowej. Praca doktorska, Politechnika Śląska 1981.
- [15] Markvard K.G., Własow I.I.: Kontaktnaja siet. Wyd. "Transport" Moskwa 1977.
- [16] Siemiński T.: Elastyczność statyczna sieci trakcyjnej. Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny nr 11/1970.
- [17] Siemiński T.: "Masa zastępcza" sieci trakcyjnej. Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny nr 11/1971.
- [18] Siemiński T.: Sieć trakcyjna i pantografy dla dużych szybkości. Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny nr 9, 10/1974.

- [19] Świderek S.: Postęp w budowie sieci trakcyjnej na PKP. Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny nr 12/1974.
- [20] Wołogin W.A. i in.: K wyboru optimalnych parametrów tokopriemnikow - WESTNIK WNII 2Tb. nr 8/1973.
- [21] Wołogin W.A., Rożkova N.A. : Opriedielenije racjonalnych nazatij tokopriemnikow. Wyd. "Transport" Moskwa 1976, wyпуск 558.

Recenzent:

Doc. dr inż. Jerzy Marcinkowski

THE CHARACTERISTIC OF OVERHEAD CONTACT SYSTEM AND CURRENT COLLECTOR

Summary

The paper presents the most important characteristics of parameters of the overhead contact system and current collector. The above is necessary for the simulation of collaboration between current collector and overhead contact system, which were applied with the use of computers.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ И ТОКОПРИЕМНИКА

Резюме

В статье оспоставлены характеристики важнейших параметров контактной подвески и токоприёмника. Знакомство этих характеристик является необходимым для симуляций взаимодействия токоприёмника и контактной подвески реализованной с применением вычислительных машин.