

Badania rezerw zasilania poprzez racjonalne rozmieszczenie pociągów na odcinku

Przeprowadzono badanie czynników określających wielkość strat mocy w sieci trakcyjnej. Następnie określono zależności pomiędzy wielkością strat mocy w sieci trakcyjnej a liczbą pociągów i ich dyslokacją na odcinkach międzypodstacyjnych.

W.F. Maksimczuk

Sluzba Energetyki Kolei Ukrainy

Walery G. Kuzniecov, K.A. Kałasznikov, T.I. Kiriluk

Narodowy Dniepropietrowski Uniwersytet Transportu Kolejowego im. W. Łazoriana

Zadanie zmniejszenia strat energii elektrycznej jest częścią problemu zasilania w przedsiębiorstwach kolejowych. W celu rozwiązania tego problemu konieczne jest badanie czynników określających wielkość strat mocy w sieci trakcyjnej. W realnych warunkach eksploatacji można do nich zaliczyć: wahania masy pociągów, a w następstwie – energii zużytej przez zestawy zespołone, wahania napięcia na pantografach lokomotyw elektrycznych, zmiany warunków pogodowych, sposób prowadzenia pociągu przez maszynistę, organizację ruchu i – jako skutek – zmianę liczby pociągów znajdujących się jednocześnie na odcinkach międzypodstacyjnych i odległości pomiędzy nimi.

Celem artykułu jest zbadanie czynników określających wielkość strat mocy w sieci trakcyjnej oraz zależności strat mocy w sieci trakcyjnej od liczby pociągów, dyslokacji i odległości pomiędzy pociągami na odcinkach międzypodstacyjnych (OM).

Analiza literatury

Aby wypełnić wymagania organizacji procesu przewozowego i podwyższenia wskaźników pracy eksploatacyjnej kolei, przepuszczenie pociągów należy realizować jak najszybciej, przy czym należy wziąć pod uwagę ograniczenia prędkości, możliwości podstacji trakcyjnych i straty energii na przemieszcze-

nie pociągu po wybranym odcinku.

W ogólnym przypadku równanie ruchu pociągu ma formę [1]:

$$\frac{ds}{dt} = v - 1$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\zeta}{1 + \gamma} (u(s) - w_z - (s))$$

Gdzie: $u(s)$ – tryb pracy (pozycja nastawnika maszynisty);

$$u(s) = \begin{cases} f_k(v) \\ 0 \\ -b_k(v) \end{cases}$$

V – prędkość ruchu;

t – czas;

z – wymierny współczynnik, będący przyspieszeniem pociągu, kiedy na każdą jednostkę jego masy oddziałuje pojedyncza siła przyspieszenia;

$f_k(v)$ – jednostkowa styczna siła pociągową;

w_0 – podstawowy jednostkowy opór ruchu pociągu;

i – opór powierzchni i profilu drogi;

g – współczynnik inercji mas obrotowych;

$-b_k(v)$ – jednostkowa siła hamująca.

Wartość parametru zarządzającego powinna odpowiadać ograniczeniom:

– w trybie rozruchu:

$$0 < u \leq f_{km}(v)$$

gdzie: $f_{km}(v)$ – maksymalna wartość jednostkowej siły zasilania, określona ograniczeniami charakterystyki zasilania przy prędkości ruchu v ;

– w trybie hamowania:

$$-b_{km} \leq u(s) < 0$$

gdzie: b_{km} – maksymalna wartość jednostkowej siły hamowania, która może być realizowana przy prędkości ruchu v .

W konsekwencji otrzymujemy zadanie optymalizacji przy zadanych warunkach:

- profil drogi $i(s)$;
- typ lokomotywy elektrycznej;
- masa składu;
- typ wagonów i obciążenia osi na szynę.

należy znaleźć takie $u(s)$, spełniające (4), (5), żeby rozwiązanie systemu (3) $v(s)$ odpowiadało ograniczeniom:

$$\underline{v}(s) < v(s) \leq \bar{v}(s)$$

gdzie $\underline{v}(s)$ i $\bar{v}(s)$ – minimalna i maksymalna dopuszczalna wartość prędkości ruchu $v(s)$.

Aby zadanie miało charakter zamknięty, konieczne jest postawienie warunków granicznych:

$$\underline{v}(s)|_{s=s_0} \in V_n; v(s)|_{s=s_0} \in V_n$$

gdzie V_n i V_k – pewne interwały, spośród których powinny być wybrane prędkości na początku drogi $S = S_n$ i na końcu drogi $S = S_k$.

Kryterium optymalizacji jest minimalna wartość czasu przejazdu pociągu po odcinku drogi $[S_n, S_k]$.

Czas przejazdu pociągu określany jest z warunku:

$$t = \int_{S_H}^{S_K} \frac{ds}{v(s)}$$

Skąd wynika, że $v(s)$ powinna być maksymalna przy omówionych ograniczeniach.

Obecnie to zadanie jest dosyć dobrze zbadane i istnieją programy do jego realizacji. Badania wpływu parametrów eksploatacyjnych na wielkość strat mocy w sieci trakcyjnej z wykorzystaniem charakterystyk systemu zasilania zawierają prace z piśmiennictwa.

Wyliczenia trakcyjne dla dowolnego odcinka kolejowego pozwoliły uzyskać dwie zależności:

- prądy wykorzystane:

$$I(S), S \in [S_n, S_k]$$

- prędkość pociągu:

$$V(S), S \in [S_n, S_k]$$

gdzie: S – długość OM, km;

S_n, S_k – początkowe i końcowe współrzędne OM.

Zależności te obiektywnie charakteryzują wpływ danych technicznych taboru trakcyjnego i parametrów drogi na charakter zmian obciążeń. Jednak we wskazanych pracach nie były przeprowadzone badania zależności wielkości strat mocy w sieci trakcyjnej od dyslokacji pociągów i odległości między nimi na odcinku.

Materiał podstawowy

Przeprowadzono badania zależności wielkości strat mocy w sieci trakcyjnej od dyslokacji i odległości pociągów na zelektryfikowanej linii Kolcei Pridnieprovskej (rys. 1). Obliczenie strat mocy w sieci trakcyjnej przeprowadzone jest dla dwóch OM w kierunku parzystym i nieparzystym, gdzie obserwowane jest wzniesienie profilu drogi i OM można rozpatrywać jak „wąskie gardło” całego kierunku (limitującego przepustowość odcinków ze względu na warunki zasilania).

Dane źródłowe dla wyliczeń:

1) długość OM w kierunku parzystym – 17 km;

2) długość OM w kierunku nieparzystym – 18 km;

3) położenie pociągów;

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$$

4) prądy pobierane przez pociągi:

$$I(S), S \in [S_n, S_k]$$

5) prędkość pociągów;

$$V(S), S \in [S_n, S_k]$$

6) jednostkowy opór sieci trakcyjnej;

$$R = 0.07 \Omega/\text{km}$$

7) przekrój sieci trakcyjnej – 412 mm²;

8) schemat zasilania – dwustronny.

Straty mocy w sieci trakcyjnej określone we wzorze:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^m \Delta U_i(x) I_i(x)$$

gdzie: $\Delta U_i(x)$ – strata napięcia do pantografu i -tego pociągu w punkcie o współrzędnej x ;

$I_i(x)$ – prąd i -tego pociągu;

m – liczba pociągów.

Wyniki obliczeń zawiera tab. 1.

Zgodnie z przytoczonymi danymi minimalne straty dla dwóch pociągów na OM kierunku parzystego wynoszą 818 kW, a maksymalne – 2864 kW. Wariacja strat mocy w zależności od dyslokacji i odległości między pociągami osiąga 3,5 razy na OM kierunku parzystego.

W pracy [9] zaproponowano wyrażenie w celu określenia strat mocy w sieci trakcyjnej dla przypadku jednoczesnego znajdowania się dwóch obciążeń na odcinku międzypodstacyjnym:

$$D P = I^2 \frac{r_{TM}}{2} + \left(\frac{I^2}{2}\right) \frac{r_{TM}}{2} = \frac{5}{8} I^2 r_{TM}$$

gdzie: P – kwadrat prądu zasilania;

r_{TM} – opór sieci trakcyjnej całego odcinka obliczeniowego.

Jeśli na odcinku są trzy pociągi (rys. 2), to wzór będzie wyglądał następująco:

$$DP = I^2 \frac{r_{TM}}{3} + \left(\frac{2I}{3}\right)^2 \frac{r_{TM}}{3} + \left(\frac{I}{3}\right)^2 \frac{r_{TM}}{3} = \frac{14}{27} I^2 r_{TM}$$

Prześledziwszy regularność, można przedstawić schemat obliczeniowy (rys. 3) i zapisać wyrażenie (12) w celu

określenia strat mocy dla pociągów na odcinku:

$$DP = I^2 \frac{r_{TM}}{n} + \left(I - \frac{I}{n}\right)^2 \frac{r_{TM}}{n} + \left(I - \frac{2I}{n}\right)^2 \frac{r_{TM}}{n} + \left(I - \frac{3I}{n}\right)^2 \frac{r_{TM}}{n} + \dots + \left(I - \frac{(k-1)I}{n}\right)^2 \frac{r_{TM}}{n} = \frac{r_{TM}}{n} I^2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{nI - (i-1)I}{n}\right)^2$$

gdzie:

n – liczba pociągów na odcinku obliczeniowym;

i – numer porządkowy pociągu.

Określmy zastępczy opór sieci trakcyjnej (r_{CKB}), który wykorzystywany jest do oceny strat energii elektrycznej. Dla rzeczywistego i zastępczego schematu odcinka międzypodstacyjnego straty mocy są takie same. Dlatego prawdziwe jest wyrażenie:

$$r_{CKB} I^2 = \frac{r_{TM}}{n} I^2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{nI - (i-1)I}{n}\right)^2$$

$$r_{CKB} = \frac{r_{TM}}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{(i-1)}{n}\right)^2$$

lub jeżeli weźmiemy pod uwagę, że:

$$r_{TM} = r_0 L$$

r_0 – odcinkowy opór sieci trakcyjnej, Ω/km ,

L – długość strefy obliczeniowej.

$$r_{CKB} = r_0 L \frac{\sum_{i=1}^n (n+1-i)^2}{n^3}$$

Postawione zadanie polega na określeniu sumy kwadratów n pierwszych liczb naturalnych, których liczbę określa się liczbą pociągów w strefie zasilania.

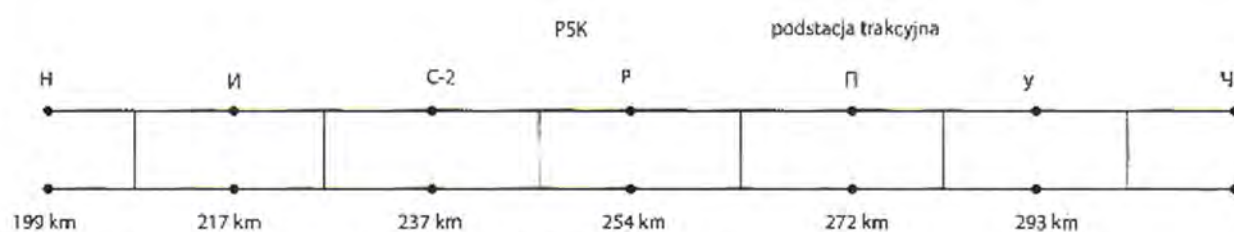
$$S = 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots = \sum_{i=1}^n i^2$$

Wykorzystując metodę współczynników nieokreślonych, określimy współczynniki wielomianu, tj.:

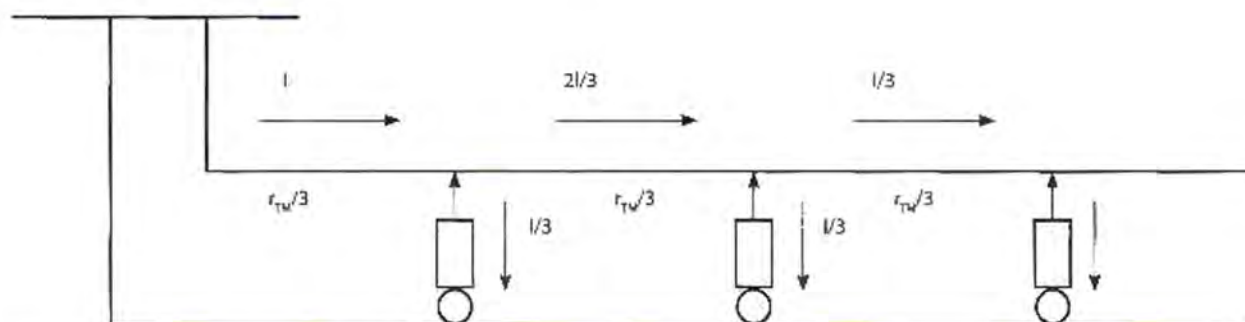
$$S = \sum_{i=1}^n i^2 = A + Bn + Cn^2 + Dn^3$$

Odległość między pociągami (km)	Dyslokacja pociągów (km)		Chwilowa wartość prądu pociągu (A)		Chwilowe sumaryczne straty mocy w sieci trakcyjnej przy określonym położeniu pociągów (kW)
	1. pociąg	2. pociąg	1. pociąg	2. pociąg	
3	0,1	3,1	964	1744	818
	2,1	5,1	1751	1657	1712
	4,1	7,1	1776	1746	2694
	6,1	9,1	1708	1645	2862
	8,1	11,1	1516	0	717
5	0,1	5,1	964	1657	725
	2,1	7,1	1751	1746	1860
	4,1	9,1	1776	1645	2381
	6,1	11,1	1708	0	824
7	0,1	7,1	964	1746	938
	2,1	9,1	1751	1645	1669
	4,1	11,1	1776	0	699

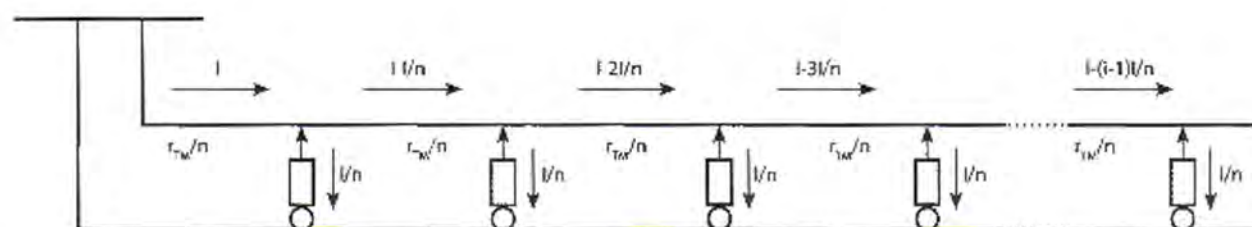
Tab. 1. Straty mocy w sieci trakcyjnej na DM kierunku parzystego. Źródło: Opracowanie własne



Rys. 1. Schemat badanego zelektryfikowanego odcinka Kolei Pridnieprovskej. Źródło: Opracowanie własne



Rys. 2. Schemat zasilania z trzema obciążeniami. Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3. Schemat zasilania z obciążeniem. Źródło: Opracowanie własne

- ▼ Wykorzystując metryczną metodę wyliczenia sterowania liniowego, otrzymamy następujące wyrażenie:

$$S = \sum_{i=1}^n i^2 = \frac{n}{6} + \frac{n^2}{2} + \frac{n^3}{3}$$

Podsumowując powyższe, zapiszemy wyrażenie dla n pociągów na odcinku:

$$r_{\text{CKB}} = r_0 L \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2n} + \frac{1}{6n^2} \right)$$

Wnioski

1. Taka sama liczba pociągów może być przepuszczona po odcinku z różnymi stratami mocy w sieci w zależności od dyslokacji i odległości między pociągami na OM, co prowadzi do zadania określenia optymalnych odległości między pociągami według kryterium minimalnych strat mocy w sieci trakcyjnej.
2. Wariancja strat mocy w zależności od dyslokacji i odległości między pociągami osiąga 3,5 raza na OM kierunku parzystego.
3. Wyznaczono zależność między protem sieci trakcyjnej i liczbą pociągów na odcinku międzyodstacyjnym. Zaproponowane przy tym wyrażenie może być wykorzystywane przy wyliczaniu strat mocy w sieci trakcyjnej metodami złożonymi.

Piśmiennictwo

1. Левин А.Ю.: Теория оперативного управления перегонным процессом. [Текст] / А.Ю. Левин. - М.: Транспорт, 2008, 625 с.
2. Гетьман Г.К.: Теория электрической тяги. [Текст]/Г.К. Гетьман. - Д.: Маклепский, 2011, 362 с.
3. Бобирь А.В.: Усовершенствование режимов ведения грузового поезда с электрической тягой. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.07/Бобирь Дмитрий Валерьевич; [ДНУЖТ]. - Д.: 2000, 23 с.
4. Марквардт К.Г.: Электроснабжение электрифицированных железных дорог. [Текст]/К.Г. Марквардт. М.: Транспорт, 1982, 528 с.
5. Мирошниченко Р.И.: Режимы работы электрифицированных участ-

тков. [Текст]/Р. И. Мирошниченко - М.: Транспорт, 1982, 207 с.

6. Проектирование систем энергоснабжения электрических железных дорог. [Бесков Б.А., Геропимус Б.Е., Давыдов В.Н. и др.]; под ред. Л.М. Перцовского, М.: Трансжелдориздат, 1963, 471 с.
7. Эксплуатационные требования к параметрам устройства энергоснабжения железных дорог, электрифицированных на постоянном токе. [Текст]: сб. науч. тр./ВНИИЖТ - Москва: Трансжелдориздат, 1959, 234 с.
8. Гаранин М.А.: Совершенствование расчета наличной пропускной способности железных дорог постоянного тока по условиям электро-снабжения. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.07 / М.А. Гаранин. - Самара: 2004, 25 с.
9. Бардушко В.Д.: Анализ и параметрический синтез систем тягового электроснабжения. [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.01/Бардушко Валерий Данилович; [ИрГУПС], Иркутск 2001.

reklama

NARZĘDZIA DO PRAC TOROWYCH

- Wiertarki do szyn
- Wiertarki do drewnianych podkładów kolejowych
- Zakrętkarki udarowe
 - Master 35 maks. 1800 Nm
 - NR 11P maks. 2500 Nm
- Wózki do prowadzenia narzędzi po torach
- Łączniki szynowe AR i system do ich montażu

Możliwe napędy:
spalinowy, akumulatorowy,
elektryczny, hydrauliczny

Wyłączny przedstawiciel na Polskę firm:

AIRTEC International LTD
CEMBRE S.p.A.



NR 11P + CS 5D



TRANSTOOLS Sp. z o.o.

20-211 Lublin, ul. Gospodarcza 29

tel. 81 444 31 06, fax 81 746 58 70

e-mail: info@transtools.pl, www.transtools.pl



LD-2E