

Piotr SOBOTA

TEORETYCZNE BADANIA ROZDZIAŁU MOCY W WIELOSILNIKOWYCH PRZENOŚNIKACH ZGRZEBŁOWYCH

Streszczenie. Określenie współczynników charakteryzujących rozdział mocy w pociągowych układach wielosilnikowych. Czynniki decydujące o rozdziale mocy w ruchu ustalonym przenośnika zgrzeblowego. Wzory umożliwiające wyznaczenie mocy i współczynników rozdziału mocy. Wpływ zróżnicowania podziałek ogniw wzdłuż konturu łańcucha zgrzeblowego w układach dwu- trzy, i czterosilnikowych. Powtarzalność zmian rozdziału mocy. Wnioski.

1. Wstęp

Wśród maszyn stosowanych w wyrobiskach ścianowych szczególne miejsce zajmują przenośniki zgrzeblowe, spełniające - obok odstawy urobku - funkcję integracyjną dla pozostałych maszyn wchodzących w skład kompleksu zmechanizowanego. Przenośniki zgrzeblowe zawierają wielosilnikowe układy pociągowe z łańcuchem ogniowym o konturze zamkniętym. Ponieważ zainstalowana w przenośnikach moc przekracza obecnie 600 kW powszechnie stosuje się układy napędowe dwu-, trzy- i czterosilnikowe, przy czym sumaryczna moc silników najczęściej nie jest w pełni wykorzystywana a rozdział zainstalowanej mocy na poszczególne zespoły napędowe jest bardzo nierównomierny, co jest przyczyną szeregu niekorzystnych zjawisk [1, 2].

Badania przyczyn nierównomierności obciążeń napędów przenośnika były przedmiotem licznych prac analitycznych i eksperymentalnych podejmowanych przez różnych autorów. Wyniki tych prac są jednak częściowe i nie w pełni świadczące o istocie oddziaływania parametrów konstrukcyjnych oraz warunków eksploatacyjnych na nierównomierność poboru mocy przez poszczególne zespoły napędowe przenośnika [2].

Istotny wpływ na zmiany rozdziału mocy w ruchu ustalonym przenośnika, związane z obiegiem łańcucha zgrzeblowego, wywierają różnice wyjściowych charakterystyk mechanicznych zespołów napędowych oraz zróżnicowanie podziałek ogniw wzdłuż konturu zamkniętego łańcucha zgrzeblowego.

2. Współczynniki charakteryzujące rozdział mocy w wielosilnikowych układach pociągowych

Dla rozróżnienia zespołów napędowych, składających się z asynchronicznego silnika elektrycznego, sprzęgła hydrokinetycznego, przekładni zębatej i bębna łańcuchowego, wprowadzono oznaczenia:

1, 2 - zespoły napędowe w napędzie wysypowym,

3, 4 - zespoły napędowe w napędzie zwrotnym

Rozdział mocy w układach wielosilnikowych scharakteryzowano współczynnikiem rozdziału mocy silników, określającym jaką część mocy całkowitej rozwija i -ty silnik:

$$k_i = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^n N_i}, \quad (1)$$

gdzie:

k_i - współczynnik rozdziału mocy i -tego silnika,

N_i - moc rozwijana przez i -ty silnik,

n - liczba silników.

Przy równomiernym rozdziale mocy na wszystkie silniki:

- w układzie czterosilnikowym $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = 0,25$,

- w układzie trzysilnikowym $k_1 = k_2 = k_3 = 0,33$,

- w układzie dwusilnikowym $k_1 = k_2 = 0,5$.

Rozdział mocy pomiędzy napędami wysypowym i zwrotnym określono za pomocą współczynników rozdziału mocy napędów K_I i K_{II} , które są sumą współczynników rozdziału mocy silników danego napędu.

Stopień obciążenia silników elektrycznych określono współczynnikiem wykorzystania silnika m_i , przedstawiającym iloraz rozwijanej mocy N_i i mocy nominalnej tego silnika N_{ni} :

$$m_i = \frac{N_i}{N_{ni}} \quad (2)$$

Przeciążenie silnika wystąpi, gdy wartość współczynnika wykorzystania silnika będzie większa od jedności ($m_i > 1$).

3. Teoretyczne badania rozdziału mocy w wielosilnikowych układach napędowych z łańcuchem o konturze zamkniętym

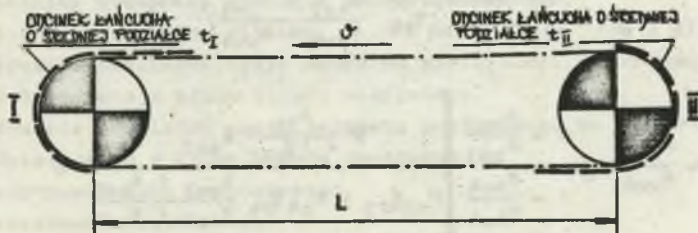
Badania teoretyczne rozdziału mocy przeprowadzono przy następujących założeniach:

- zależność momentu obrotowego od poślizgu jest liniowa zarówno dla asynchronicznego silnika elektrycznego, jak i dla sprzęgła hydrokinetycznego,
- obciążenie zewnętrzne stanowi siła pociągowa będąca sumą sił obwodowych na kołach łańcuchowych,

- prędkość zbiegania niezłuzowanej gałęzi łańcucha pociągowego z koła łańcuchowego jednego napędu jest równa prędkości nabiegania łańcucha na koło drugiego napędu,
- pociągowy łańcuch wielopasmowy zastąpiono równoważnym statycznie łańcuchem jednopasmowym,
- wydłużenia sprężyste ogniw łańcucha pominięto.

Różnice charakterystyk poszczególnych silników elektrycznych czy sprzęgieł hydrokinetycznych przedstawiono za pomocą różnych wartości poślizgów nominalnych przyjmując, że poślizg nominalny silnika czy sprzęgła - to poślizg, przy którym przenoszony jest nominalny moment obrotowy. Uwzględniono w ten sposób różnice pomiędzy rzeczywistymi charakterystykami silników elektrycznych i sprzęgieł, a ich charakterystykami teoretycznymi.

Różnicowanie podziałek ogniw łańcucha pociągowego wzdłuż konturu zamkniętego, wynikające z odchyłek wykonawczych ogniw oraz trwałego wzrostu podziałek spowodowanego odkształceniami plastycznymi i zużyciem się ogniw, przedstawiono za pomocą stosunku podziałek odcinków łańcucha współdziałających z kołami łańcuchowymi (rys. 1).



Rys. 1. Łańcuchowy układ pociągowy przenośnika zgrzeblowego dwunapędowego

Wzory umożliwiające wyznaczenie mocy rozwijanej przez poszczególne silniki napędowe, dla przenośnika zgrzeblowego czterosiłnikowego, przyjmują następującą postać [3]:

$$N_1 = \frac{M_{n1}}{n_{n1}} s_{s1} \omega_0 (1 - s_{s1}) \quad (3)$$

$$N_2 = \frac{M_{n2}}{n_{n2}} \omega_0 \frac{1 + \frac{s_{hn1}}{s_{sn1}}}{1 + \frac{s_{hn2}}{s_{sn2}}} s_{s1} \left(1 - \frac{1 + \frac{s_{hn1}}{s_{sn1}}}{1 + \frac{s_{hn2}}{s_{sn2}}} s_{s1}\right) \quad (4)$$

s_{s2}

$1 - s_{s2}$

$$\begin{aligned}
 N_3 = \frac{M_{n3}}{s_{sn3}} \omega_0 & \left[\frac{P \frac{D_{II}}{2} \frac{1}{i \sqrt{k_{II}}} s_{sn3}}{M_{n3} \sqrt{P_3} + M_{n4} \sqrt{P_4} \frac{s_{sn3} + s_{hn3}}{s_{sn4} + s_{hn4}}} + \right. \\
 & \left. - \frac{\sqrt{k_{II}^{D_{II}}} s_{sn3} (M_{n1} \sqrt{P_1} + M_{n2} \sqrt{P_2} \frac{s_{sn1} + s_{hn1}}{s_{sn2} + s_{hn2}})}{\sqrt{k_{II}^{D_I}} s_{sn1} (M_{n3} \sqrt{P_3} + M_{n4} \sqrt{P_4} \frac{s_{sn3} + s_{hn3}}{s_{sn4} + s_{hn4}})} s_{s1} \right] \times \\
 & \times \left[1 - \frac{P \frac{D_{II}}{2} \frac{1}{i \sqrt{k_{II}}} s_{sn3}}{M_{n3} \sqrt{P_3} + M_{n4} \sqrt{P_4} \frac{s_{sn3} + s_{hn3}}{s_{sn4} + s_{hn4}}} + \right. \\
 & \left. + \frac{\sqrt{k_{II}^{D_{II}}} s_{sn3} (M_{n1} \sqrt{P_1} + M_{n2} \sqrt{P_2} \frac{s_{sn1} + s_{hn1}}{s_{sn2} + s_{hn2}})}{\sqrt{k_{II}^{D_I}} s_{sn1} (M_{n3} \sqrt{P_3} + M_{n4} \sqrt{P_4} \frac{s_{sn3} + s_{hn3}}{s_{sn4} + s_{hn4}})} s_{s1} \right] \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_4 = \frac{M_{n4}}{s_{sn4}} \omega_0 & \frac{1 + \frac{s_{hn3}}{s_{sn3}}}{1 + \frac{s_{hn4}}{s_{sn4}}} \left[\frac{P \frac{D_{II}}{2} \frac{1}{i \sqrt{k_{II}}} s_{sn3}}{M_{n3} \sqrt{P_3} + M_{n4} \sqrt{P_4} \frac{s_{sn3} + s_{hn3}}{s_{sn4} + s_{hn4}}} + \right. \\
 & \left. - \frac{\sqrt{k_{II}^{D_{II}}} s_{sn3} (M_{n1} \sqrt{P_1} + M_{n2} \sqrt{P_2} \frac{s_{sn1} + s_{hn1}}{s_{sn2} + s_{hn2}})}{\sqrt{k_{II}^{D_I}} s_{sn1} (M_{n3} \sqrt{P_3} + M_{n4} \sqrt{P_4} \frac{s_{sn3} + s_{hn3}}{s_{sn4} + s_{hn4}})} s_{s1} \right] \times \\
 & \times \left\{ 1 - \frac{1 + \frac{s_{hn3}}{s_{sn3}}}{1 + \frac{s_{hn4}}{s_{sn4}}} \left[\frac{P \frac{D_{II}}{2} \frac{1}{i \sqrt{k_{II}}} s_{sn3}}{M_{n3} \sqrt{P_3} + M_{n4} \sqrt{P_4} \frac{s_{sn3} + s_{hn3}}{s_{sn4} + s_{hn4}}} + \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{\sqrt{k_{II}^{D_{II}}} s_{sn3} (M_{n1} \sqrt{P_1} + M_{n2} \sqrt{P_2} \frac{s_{sn1} + s_{hn1}}{s_{sn2} + s_{hn2}})}{\sqrt{k_{II}^{D_I}} s_{sn1} (M_{n3} \sqrt{P_3} + M_{n4} \sqrt{P_4} \frac{s_{sn3} + s_{hn3}}{s_{sn4} + s_{hn4}})} s_{s1} \right] \right\} \quad (6)
 \end{aligned}$$

Poślizg pracy silnika I (s_{n1}) w powyższych zależnościach wyznacza się z wyrażenia:

$$s_{n1} = \frac{\left[\frac{t_I}{t_{II}} - 1 + \frac{P \frac{D_{II}}{2i\eta_{kII}} (s_{n3} + s_{hn3})}{M_{n3}\eta_{p3} + M_{n4}\eta_{p4} \frac{s_{n3} + s_{hn3}}{s_{n4} + s_{hn4}}} \right] s_{n1}}{\frac{t_I}{t_{II}} (s_{n1} + s_{hn1}) + \frac{\eta_{kI} D_{II}}{\eta_{kII} D_I} \frac{M_{n1}\eta_{p1} + M_{n2}\eta_{p2} \frac{s_{n1} + s_{hn1}}{s_{n2} + s_{hn2}}}{M_{n3}\eta_{p3} + M_{n4}\eta_{p4} \frac{s_{n3} + s_{hn3}}{s_{n4} + s_{hn4}}} (s_{n3} + s_{hn3})} \quad (7)$$

gdzie:

- D - średnica podziałowa napędowego koła łańcuchowego,
- i - przełożenie przekładni zębatej,
- M_n - nominalny moment obrotowy silnika,
- N - moc rozwijana przez silnik,
- P - sumaryczna siła pociągowa,
- s_{hn} - poślizg nominalny sprzęgła hydrokinetycznego,
- s_{sn} - poślizg nominalny silnika,
- t_I - średnica podziałka ogniw łańcucha pociągowego na odcinku współdziałającym z kołem napędu wysypowego,
- t_{II} - średnica podziałka ogniw łańcucha pociągowego na odcinku współdziałającym z kołem napędu zwrotnego,
- η_k - sprawność koła łańcuchowego,
- η_p - sprawność przekładni,
- ω_0 - synchroniczna prędkość kątowa silnika.

Moc silników w przenośniku zgrzeblowym trzysilnikowym wyznaczyć można z zależności (3), (4), (5) i (7) podstawiając w nich $M_{n4} = 0$, natomiast w przenośniku dwusilnikowym z wzorów (3), (5) i (7) przez podstawienie $M_{n2} = M_{n4} = 0$,

Zależności powyższe umożliwiają obliczenie współczynników rozdziału mocy w zależności od sumarycznego obciążenia zewnętrznego, stosunku podziałek ogniw odcinków łańcucha współdziałających z kołami napędowymi oraz rzeczywistych poślizgów nominalnych silników elektrycznych i sprzęgieł hydrokinetycznych.

4. Realizacja eksperymentów numerycznych

Przy wyznaczaniu konkretnych wartości współczynników rozdziału mocy w zależnościach (1) - (7) przyjęto parametry zespołów napędowych jak dla typowego zespołu o mocy nominalnej $N_n = 55$ kW, powszechnie stosowanego

do napędu przenośników zgrzeblowych, a składającego się z silnika elektrycznego typu SZDKSp-74f, sprzęgła hydrokinetycznego typu SH-55 i przekładni zębatej o przełożeniu $i = 30$.

W czasie eksperymentów numerycznych stwierdzono, że wartość sumarycznego obciążenia zewnętrznego oraz wartości sprawności przekładni zębatych i kół łańcuchowych w praktycznie mogącym wystąpić zakresie mają niewielki tylko wpływ na wartości współczynników rozdziału mocy, wobec czego do obliczeń przyjęto wartość sprawności równą jedności i taką wartość obciążenia zewnętrznego by moc potrzebna na jego pokonanie była równa sumie mocy nominalnych silników napędowych.

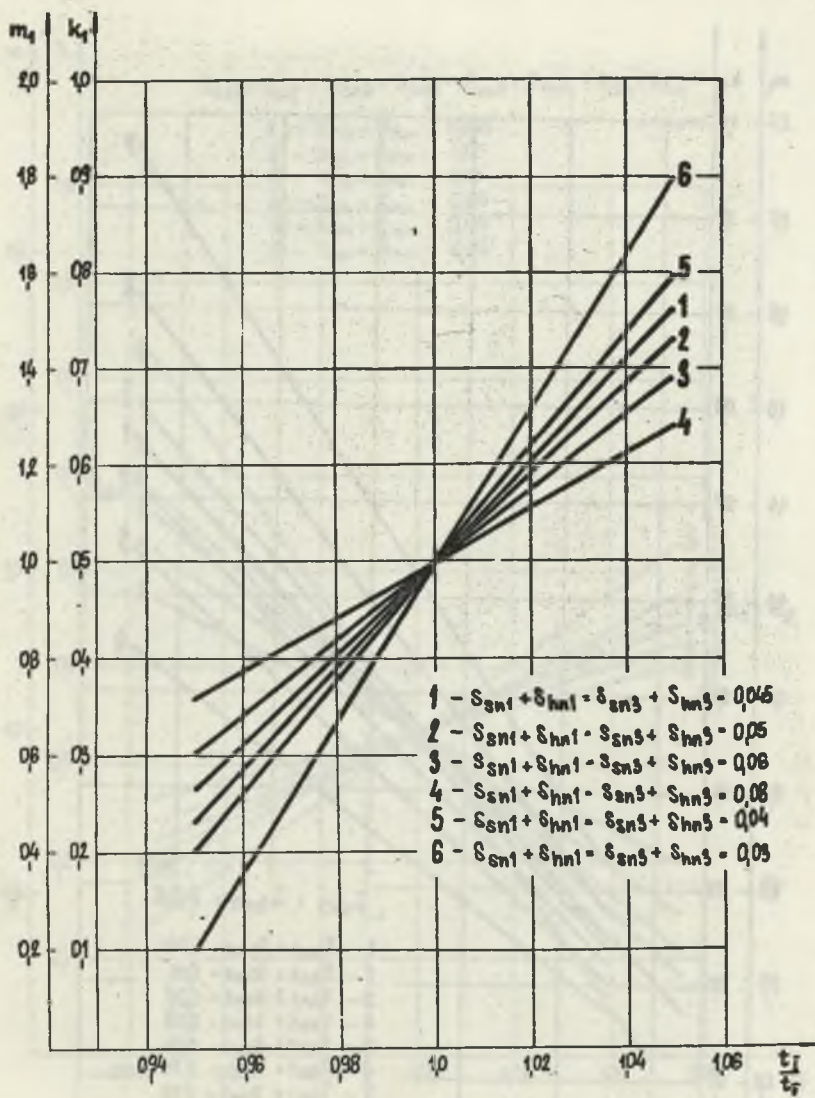
Zmiany poślizgów nominalnych silnika i sprzęgła danego zespołu napędowego wpływają na zmianę rozdziału mocy o tyle, o ile zmieniają sumaryczny poślizg tego zespołu, co stwarza możliwość korygowania wyjściowej charakterystyki zespołu napędowego.

W układzie dwusilnikowym zależność współczynnika rozdziału mocy od stosunku podziałek ogniw odcinków łańcucha współdziałających z kołami łańcuchowymi, dla przyjętego zakresu zmienności ($0,95 \leq t_I/t_{II} \leq 1,05$) można praktycznie przyjąć jako zależność liniową (rys. 2). Zróżnicowanie podziałek ogniw wzdłuż konturu łańcuchowego wywołuje poważną nierównomierność rozdziału mocy, przy czym większą część mocy przejmuje zespół napędzający bęben łańcuchowy współdziałający z bardziej wydłużonym odcinkiem łańcucha. Usztywnienie charakterystyk wyjściowych zespołów napędowych czyli zmniejszenie wartości sumarycznych poślizgów nominalnych prowadzi do wzrostu nachylenia prostych, co jest równoznaczne z pogłębieniem nierównomierności rozdziału mocy.

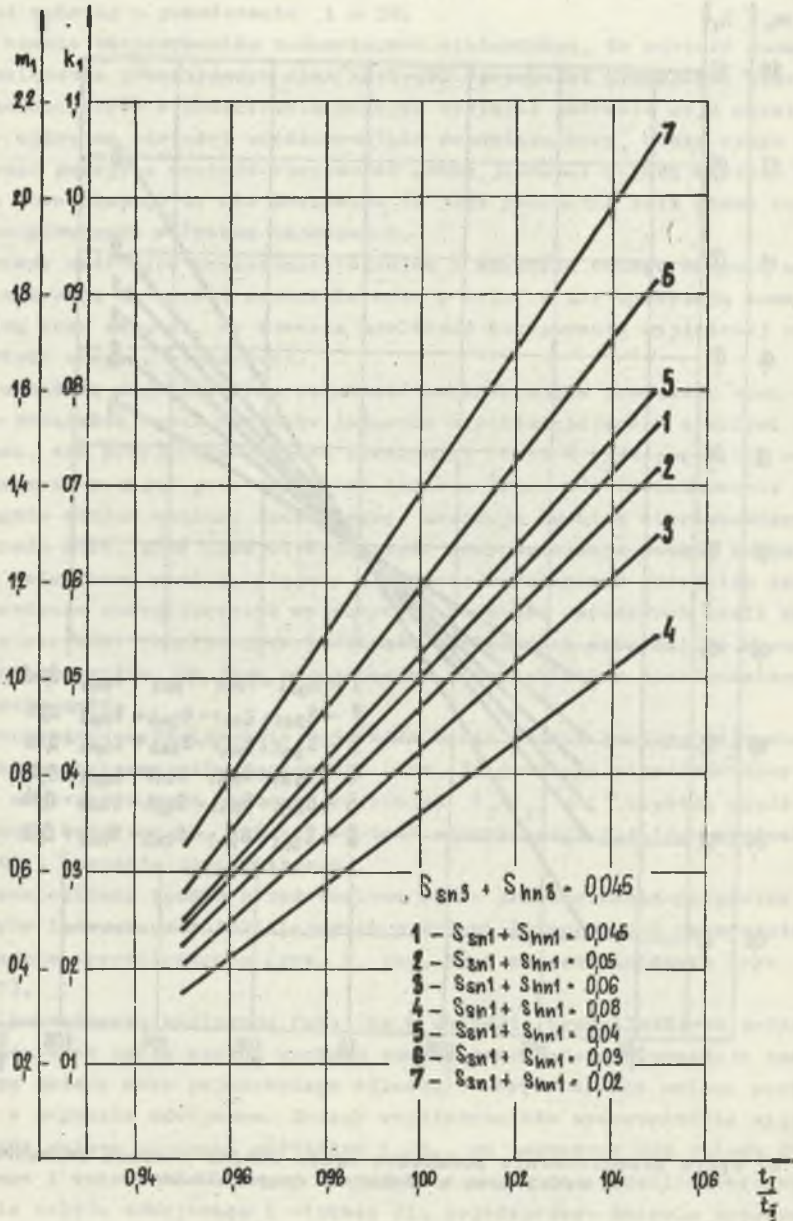
Równoczesne zróżnicowanie podziałek ogniw wzdłuż konturu łańcucha i charakterystyk zespołów napędowych (rys. 3) powoduje nierównomierny rozdział mocy nawet przy stosunku podziałek $t_I/t_{II} = 1$ (większą część mocy przejmuje wtedy napęd, którego wartość sumarycznego poślizgu nominalnego silnika i sprzęgła jest mniejsza).

W analogiczny sposób przedstawiono wpływ zróżnicowania podziałek ogniw odcinków łańcucha współdziałających z kołami łańcuchowymi na rozdział mocy w układzie trzysilnikowym (rys. 4, rys. 5) i czterosilnikowym (rys. 6, rys. 7).

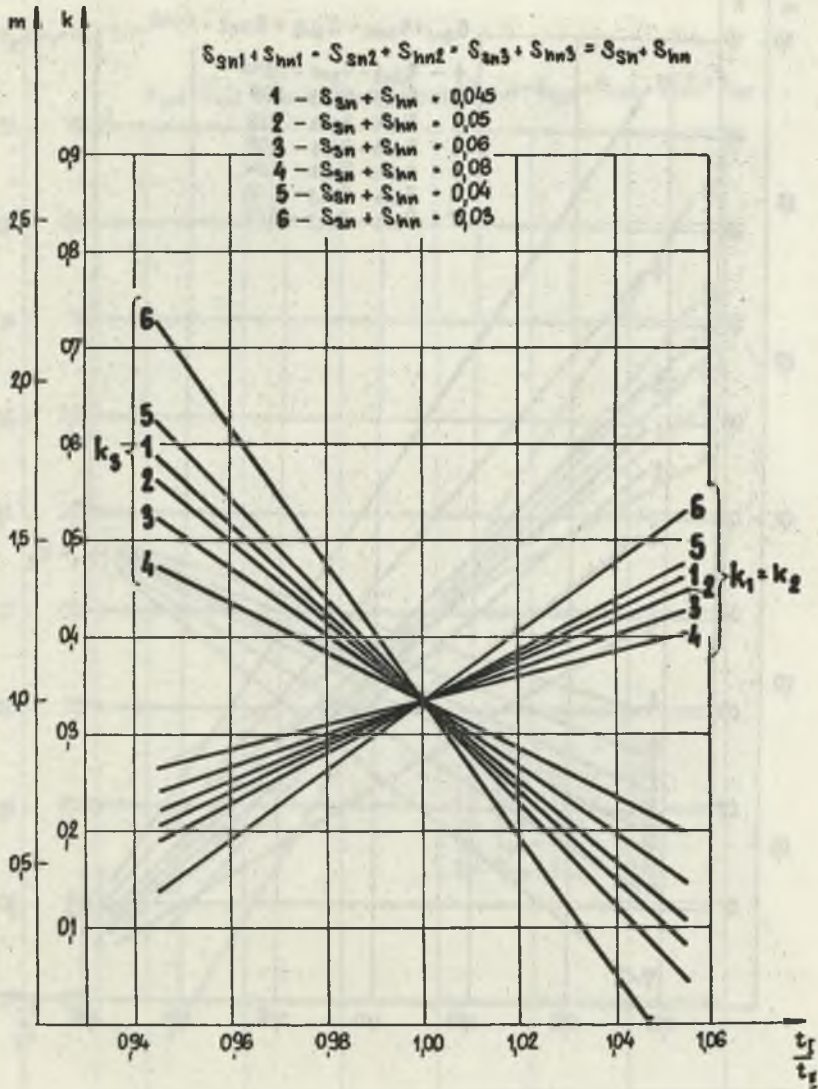
Na podkreślenie zasługuje fakt, że w układzie trzysilnikowym zróżnicowanie podziałek ogniw wzdłuż konturu zamkniętego łańcucha powoduje znacznie większe zmiany mocy pojedynczego silnika w napędzie, niż zmiany mocy silników w napędzie zdwojonym. Zmiany współczynników wykorzystania silników wywołane zmianą stosunku podziałek t_I/t_{II} są jednakowe dla układu dwusilnikowego i czterosilnikowego, natomiast w układzie trzysilnikowym są mniejsze dla napędu zdwojonego i większe dla pojedynczego zespołu napędowego. Tak więc, te same zmiany stosunku podziałek ogniw powodują znacznie większe przeciążenia jednego z silników w układzie trzysilnikowym niż w pozostałych układach.



Rys. 2. Wpływ zróżnicowania podziałek ogni wzdłuż konturu łańcucha na rozdział mocy w układzie dwusilnikowym

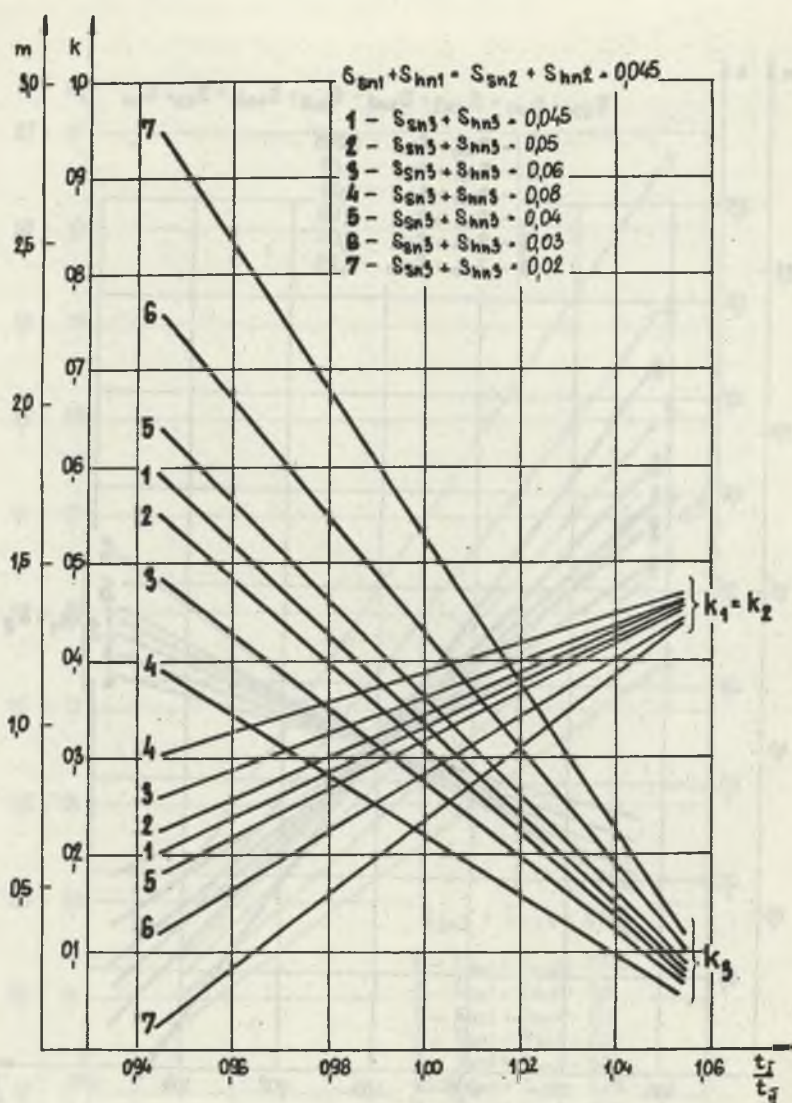


Rys. 3. Wpływ zróżnicowania podziałek ogniów wzdłuż konturu łańcucha i charakterystyk zespołów napędowych na rozdział mocy w układzie dwusilnikowym

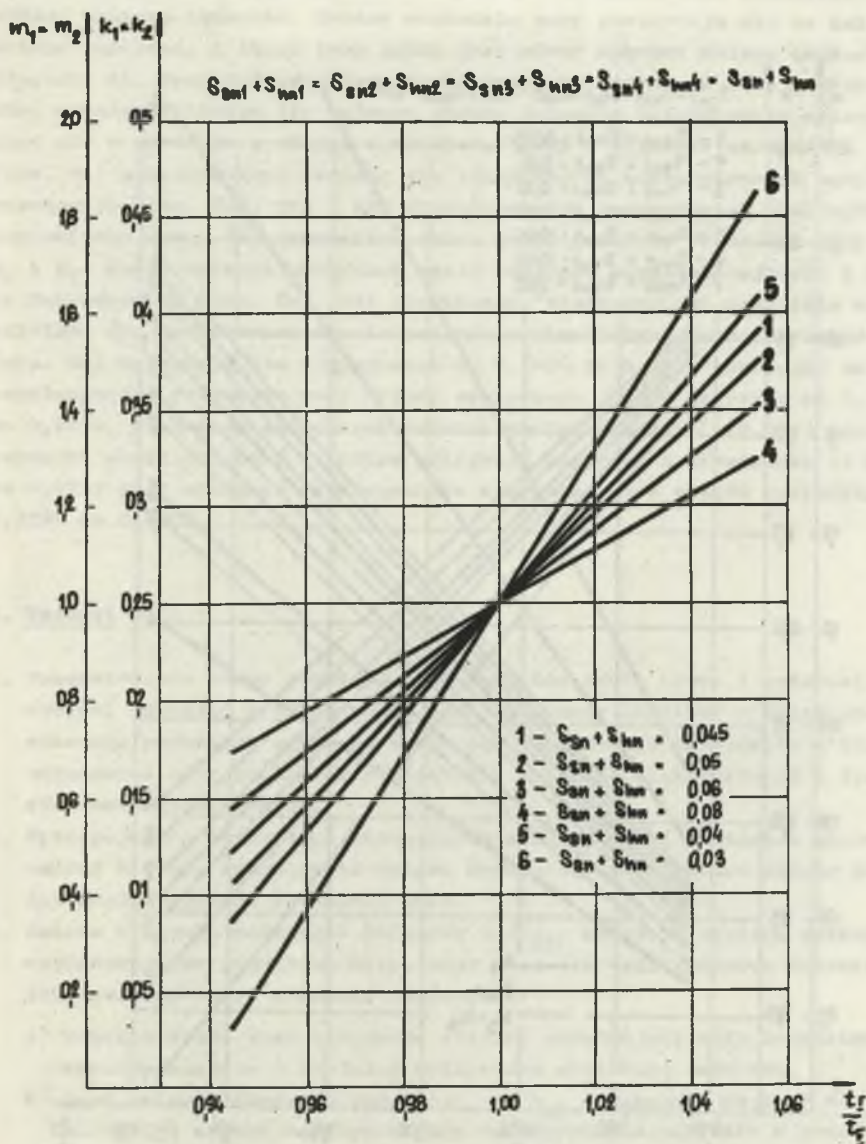


Rys. 4. Wpływ zróżnicowania podziałek ogniów wzdłuż konturu łańcucha na rozdział mocy w układzie trzysilnikowym

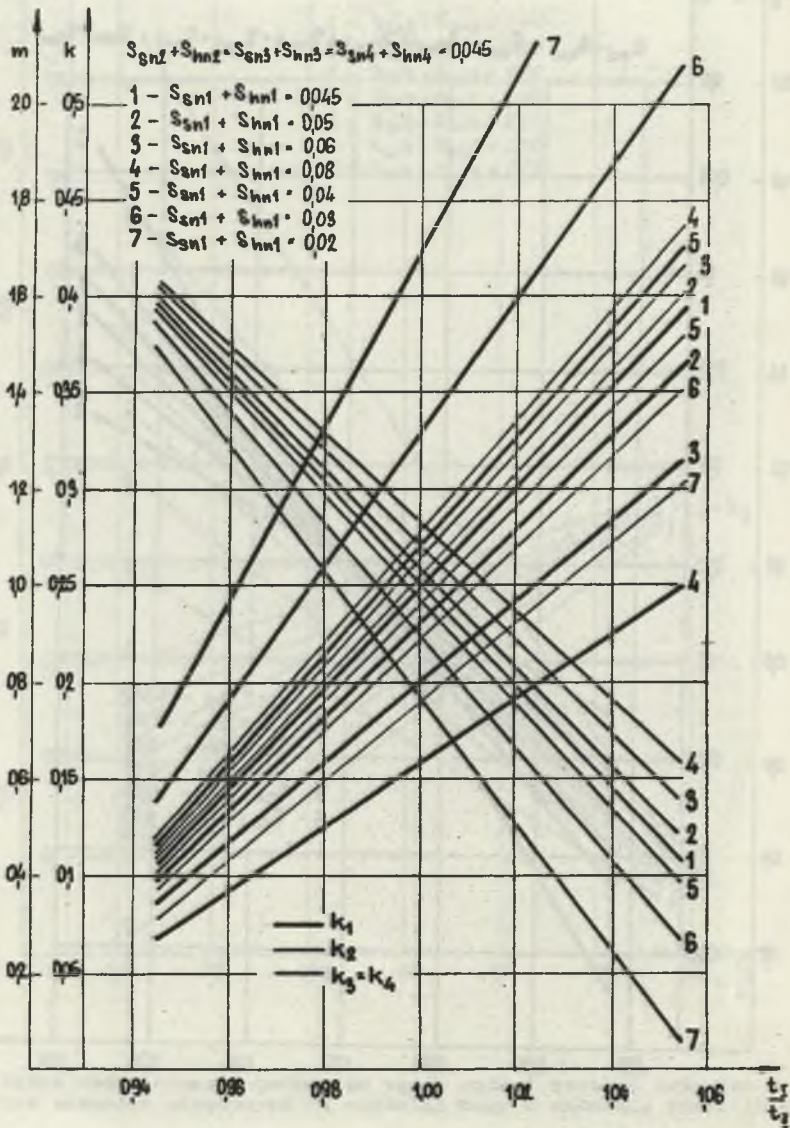
identycznie ch-ki s. w zne 5



Rys. 5. Wpływ zróżnicowania podziałek ogniw wzdłuż konturu łańcucha i charakterystyk zespołów napędowych na rozdział mocy w układzie trzyzabawkowym



Rys. 6. Wpływ zróżnicowania podziałek ogniw względem konturu łańcucha na rozdział mocy w układzie ostrosilnikowym



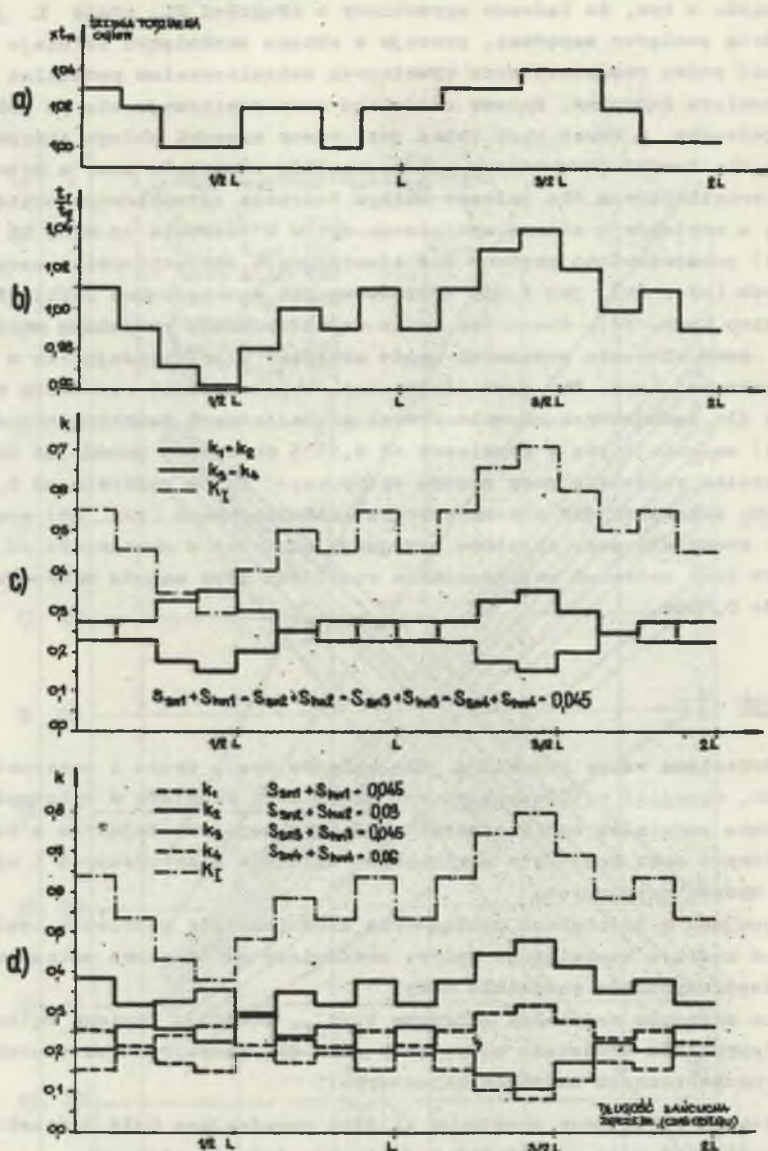
Rys. 7. Wpływ zróżnicowania podziałek ogniw wzdłuż konturu łańcucha i charakterystyk zespołów napędowych na rozdział mocy w układzie osteromilnikowym

W związku z tym, że łańcuch zgrzeblowy o długości $2L$, gdzie L jest odległością pomiędzy napędami, pracuje w obiegu zamkniętym istnieje powtarzalność zmian rozdziału mocy wywołanych zróżnicowaniem podziałek ogniw wzdłuż konturu łańcucha. Zmiany rozdziału mocy powtarzają się po pełnym obiegu łańcucha, a okres tych zmian jest równy czasowi obiegu łańcucha o długości $2L$. Przykładowe zmiany współczynników rozdziału mocy w przenośniku czterosiłnikowym dla pełnego obiegu łańcucha zgrzeblowego składającego się z odcinków o różnym wydłużeniu ogniw w zakresie od 0 do 4% (rys. 8a) przedstawiono zarówno dla identycznych charakterystyk zespołów napędowych (rys. 8c), jak i dla zróżnicowanych sumarycznych poślizgów nominalnych (rys. 8d). Charakter zmian współczynników rozdziału mocy k_1 , k_2 i K_I oraz stosunku podziałek ogniw odcinków współdziałających z kołami łańcuchowymi (rys. 8b) jest identyczny. Współczynniki rozdziału mocy silników dla jednakowych charakterystyk mechanicznych zespołów napędowych (rys. 8c) zmieniają się w granicach od 0,1476 do 0,3525 powodując zmiany współczynnika rozdziału mocy napędu wysypowego K_I w zakresie od 0,2953 do 0,7050, natomiast dla charakterystyk zróżnicowanych (rys. 8d) współczynniki rozdziału mocy silników przyjmują wartości z przedziału od 0,0853 do 0,4799 przy zmianach współczynnika rozdziału mocy napędu wysypowego od 0,3781 do 0,8008.

5. Wnioski

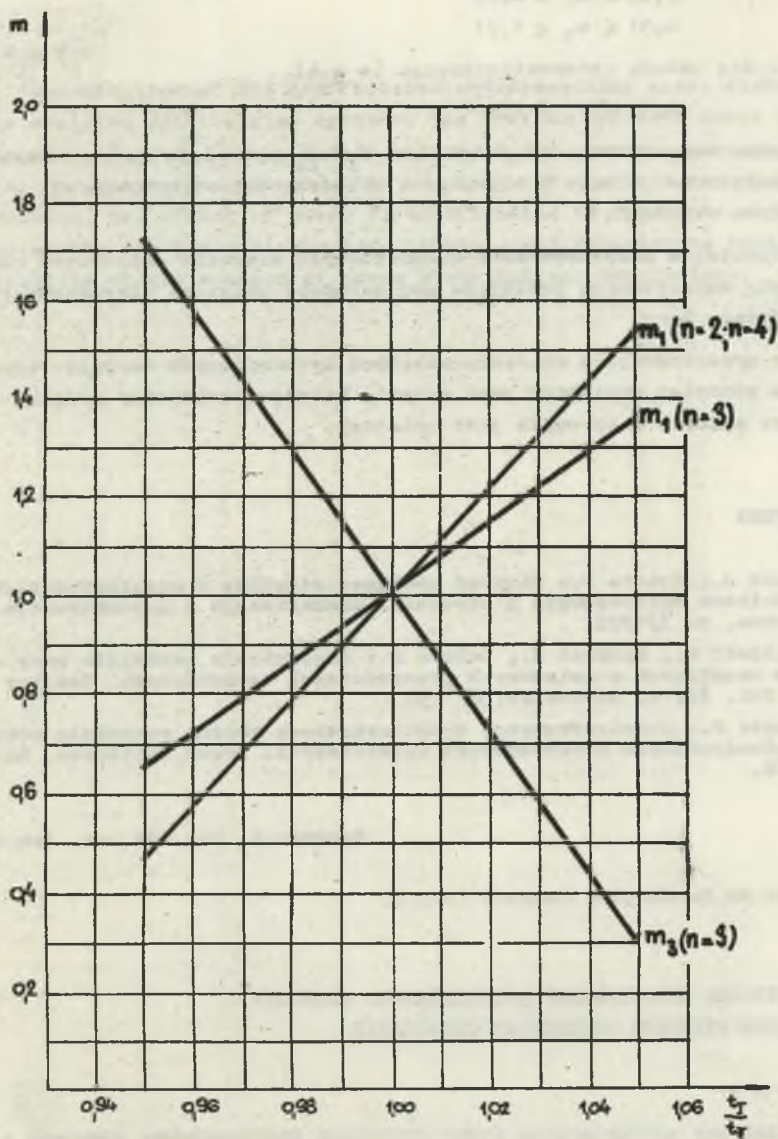
1. Przedstawione wzory pozwalają, dla układów dwu-, trzy- i czterosiłnikowych, określić współczynniki rozdziału mocy silników w zależności od stosunku podziałek ogniw odcinków łańcucha współdziałających z kołami napędowymi oraz poślizgów nominalnych silników elektrycznych i sprzęgieł hydrokinetycznych.
2. Występujące w łańcuchach poślizgowych zróżnicowanie podziałek ogniw wzdłuż konturu zamkniętego wpływa zasadniczo na okresowe zmiany wartości współczynników rozdziału mocy.
3. Zmiana stosunku podziałek łańcucha t_I/t_{II} , powoduje liniową zmianę współczynników rozdziału mocy, przy czym dla teoretycznych charakterystyk mechanicznych zespołów napędowych:
 - a) większą część mocy przejmują silniki napędzające koło łańcuchowe współdziałające z bardziej wydłużonym odcinkiem łańcucha,
 - b) przy zmianie stosunku podziałek t_I/t_{II} w zakresie od 0,95 do 1,05 następują zmiany współczynników wykorzystania silników w granicach (rys. 9):
 - dla układu dwusiłnikowego ($n=2$)

$$0,47 < \eta_1 < 1,51$$



Rys. 8. Rozdział mocy w układzie czterosiłnikowym dla pełnego obiegu łańcucha zgrzeblowego

a - wydłużenie ogniw łańcucha zgrzeblowego, b - stosunek podziałek ogniw odcinków łańcucha współdziałających z napędowymi kołami łańcuchowymi, c - współczynniki rozdziału mocy dla teoretycznych charakterystyk zespołów napędowych, d - współczynniki rozdziału mocy dla zróżnicowanych charakterystyk zespołów napędowych



Rys. 9. Porównanie zakresu zmian współczynników wykorzystania silników w układach dwu-, trzy- i czterosilnikowych

- для układu trzysilnikowego ($n = 3$)

$$0,65 < m_1 < 1,35$$

$$0,31 < m_2 < 1,71$$

- для układu czterosilnikowego ($n = 4$)

$$0,47 < m_1 < 1,51$$

Te same zmiany stosunku podziałek t_I/t_{II} powodują znacznie większe przeciążenia jednego z silników w układzie trzysilnikowym niż w pozostałych układach.

- o) usztywnienie charakterystyk mechanicznych zespołów napędowych (zmniejszenie sumarycznych poślizgów nominalnych) zwiększa nierównomierność rozdziału mocy.
4. Przy zróżnicowanych charakterystykach mechanicznych zespołów napędowych bardziej obciążony jest zespół, którego sumaryczny poślizg nominalny silnika i sprzęgła jest mniejszy.

LITERATURA

- [1] Rynik J., Sobota P.: Rozkład obciążeń silników w wielonapędowych przenośnikach zgrzeblowych i strugach. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 3/1978.
- [2] Dolipski M., Osadnik J., Sobota P.: Zagadnienie rozdziału mocy silników napędowych w ścianowych przenośnikach zgrzeblowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Górnictwo, z. 130.
- [3] Sobota P.: Quasi-statyczne średniookresowe zmiany rozdziału mocy w wielonapędowych przenośnikach zgrzeblowych. Praca doktorska, Gliwice 1982.

Recenzent: Doc. dr inż. Jan ORLACZ

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1983 r.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ В МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫХ СКРЕБКОВЫХ КОНВЕИЕРАХ

Резюме

Определение коэффициентов характеризующих распределение мощности в многодвигательных тяговых устройствах. Факторы решающие о распределении мощности в установившемся движении скребкового конвейера. Зависимости позволяющие определить мощность и коэффициенты мощности. Влияние дифференциации распределения звеньев по контуру скребковой цепи в двух-, трёх- и четырёхдвигательных системах. Повторяемость изменений распределения мощности. Выводы.

**THEORETICAL STUDIES OF POWER DISTRIBUTION IN MULTI-ENGINE
SCRAPER-CONVEYOR****S u m m a r y**

The determination of the coefficients characterizing power distribution in tractive multi-engine systems. The factors decisive about the distribution of power in the steady motion of the scraper conveyor. The formulae permitting the determination of power and coefficients of power distribution. The effect of pitch diversification in the links along the contour of the scraper chain in two-, three-, and four-engine systems. Repeatability of the changes of power distribution. Conclusions.