

KONFERENCJA: MODELOWANIE GÓRNICZYCH MASZYN WYCIĄGOWYCH  
9-10.XII.1977

WOJCIECH CIEŚLAK

INSTYTUT MECHANIZACJI GÓRNICZTWA POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ  
GLIWICE

WYPADKOWY MOMENT HAMOWANIA HAMULCA  
TARCZOWEGO WIELOSZCZĘKOWEGO

W referacie opisano badanie rzeczywistej wartości wypadkowego momentu hamowania przeprowadzone na modelu wieloszczękowego hamulca maszyny wyciągowej. Analizę statystyczną wyników przeprowadzono za pomocą komputera znajdując funkcję dla optymalnej aproksymacji procesu hamowania.

1. Wstęp

Wraz ze wzrostem intensyfikacji wydobywania oraz ciągnięcia coraz to większych ciężarów użytecznych z coraz większych głębokości skłonię konstruktorów do adaptacji w maszynach wyciągowych hamulców tarczowych wieloszczękowych [1].

Wymagane przy uruchamianiu maszyn wyciągowych tradycyjne akty koncesyjne przyjmują uproszczenia w obliczeniach wypadkowej siły hamowania, polegające na prostym sumowaniu sił składowych tarcia pochodzących od zespołów szczękowych.

Liczony tym sposobem całkowity moment hamowania przedstawia sumę algebraiczną momentów pochodzących od poszczególnych par szczęk.

$$\sum_{i=1}^k M_i = M_I + M_{II} + \dots + M_k \quad /1/$$

W oparciu o takie założenie obliczana jest statyczna pewność hamowania

$$n_{st} = \frac{\sum M}{M_{st}} \gg 3$$

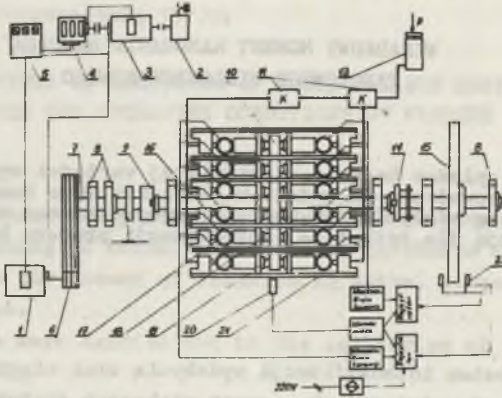
Na podstawie dotychczasowych niepełnych doświadczeń na modelu hamulca walcowego [4, 5] oraz w wyniku badań przeprowadzonych na hamulcu tarczowym wieloszczękowym [2] zauważono przypadki rozbieżności wartości wypadkowej siły hamowania i sumy wartości sił składowych.

Celem przeprowadzonych badań było znalezienie prawidłowości doty-

czących rzeczywistych wartości siły hamującej pochodzącej od wielu zespołów szczękowych.

W celu zbadania rzeczywistej wartości całkowitej siły hamowania w przypadku większej liczby zespołów hamujących, przeprowadzono badanie na modelu ikonicznym z 6 - cioma parami szczęk.

## 2. Stanowisko badawcze



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego.

Schemat stanowiska badawczego hamulca tarczowego wieloszczękowego wraz z podstawową aparaturą pomiarową przedstawia rys. 16.

Napęd tarczy hamulcowej składał się z silnika głównego prądu stałego /1/ zasilanego z prądnicy /3/ i sterowanego z tablicy rozdzielczej /5/ za pomocą wzbudnicy /4/.

Silnik główny /1/ napędza poprzez przekładnię pasową /6/ wał główny /7/ napędzający wał tarczy hamulcowej /10/.

Wał silnika /7/ połączono z wałem tarczy /10/ sprzęgłami rozłącznymi /9/ i /14/ za pomocą których włączano i wyłączało napęd bezwładnościowy /15/.

Próbki wykonane w postaci klocków hamulcowych /19/ rys. 17. zamocowano w uchwytach szczęk hamulcowych /18/ rys. 18, które dociskano siłownikami hydraulicznymi /16/ do tarczy hamulcowej /10/ stanowiącej przeciwpróbkę. Do pomiaru nacisków szczęk zastosowano tensometryczne przetworniki pierścieniowe /17/ poprzez które wywierano nacisk siłownikami /16/. Do pomiaru wypadkowej siły hamowania /momentu/ użyto tensometrycznego przetwornika kabłąkowego /20/ umocowanego nad dźwignią pomiarową /21/ rys. 19.

Prędkość tarczy hamulcowej mierzono metodą impulsową przy pomocy fotokomórki /22/.

Siłowniki hydrauliczne /16/ połączono za pomocą przewodów elastycznych z kostkami rozdzielczymi /11/ zasilanymi z akumulatora hydraulicznego /13/, pozwalającego na utrzymanie w obwodzie hydraulicznym stałego ciśnienia o zmienianych dyskretnie poziomach.

Kostki rozdzielcze /11/ pozwalały na włączanie i wyłączenie dowolnej ilości szczęk hamujących.

Próbki do badań w postaci klocków hamulcowych wykonano z materiałów ciernych AKF i W12. Skala trudności technicznych i ryzyko wypadku, który mógłby spowodować bardzo poważne straty ekonomiczne są główną przyczyną, że dotychczas nigdzie nie wykonano takich badań na obiekcie przemysłowym.

### 3. Charakterystyka przebiegu badań

Założenie:

- ilość par szczęk -  $n_1 = 6$
- badany materiał AKF i W12
- naciski jednostkowe 600, 1200, 1800, 2400 kN/m<sup>2</sup> -  $p_{1,2,3,4}$
- prędkość tarczy  $v = 20$  m/s
- powierzchnie tarcia  $f_1 = 1$  cm<sup>2</sup>,  $f_2 = 3$  cm<sup>2</sup>,  $f_3 = 6$  cm<sup>2</sup>

Pomiarami objęto takie wartości jak:

- siły tarcia  $S_1$  [N]
- siły normalne  $N_1$  [N]
- czas hamowania T [s]
- temperatura tarczy  $\theta$  [°C]
- prędkość obrotowa tarczy  $\omega$  [s<sup>-1</sup>]

Badanie realizowano poprzez stosowanie pewnych kombinacji włączanie i wyłączenie szczęk hamujących których schemat zestawiono poniżej.

I 1,2,3,4,5,6,

II 1-2,1-3-1-4,1-5,1-6,

III 1-2-3,1-2-4,1-2-5,1-2-6,1-3-5,1-3-6,1-4-6,1-5-6,  
2-4-5,

IV 1-2-3-4,1-2-3-5,1-2-3-6,1-2-4-6,1-2-4-5,1-2-5-6,1-3-4-5,  
1-3-4-6,1-3-5-6,1-4-5-6,

V 1-2-3-4-5,1-2-3-4-6,1-2-4-5-6,1-3-4-5-6,1-2-3-4-5-6,

VI 1-2-3-4-5-6,

gdzie:

- cyfry rzymskie oznaczają liczbę równocześnie włączonych par szczęk n w danej kombinacji,
- cyfry arabskie oznaczają numery poszczególnych par szczęk.

Wykonując powtórzenie w/g powyższego schematu uzyskano 30 pojedynczych wyników dla każdej mierzonej wielkości. Uzyskane z pomiarów wyniki bez względu na zastosowaną kombinację przy danej ilości par szczęk, różniły się od siebie o bardzo małe wielkości.

#### 4. Analiza wyników badań

Przeprowadzona analiza wykazała, że wypadkowy moment hamowania  $M_w$  układem  $n_1$  par szcęk jest mniejszy od sumy momentów hamowania  $\sum M_I$  poszczególnych par szcęk

$$M_I + M_I > M_{II} \quad /2/$$

Powyższą nierówność zastąpiono równaniem

$$M_{II} = K / M_I + M_I / \quad /3/$$

otrzymując współczynnik korygujący

$$K_2 = \frac{M_I}{M_I + M_I} \quad /4/$$

ogólnie:

$$K_1 = \frac{M_{w1}}{\sum M_I} \quad /5/$$

Wartość współczynnika  $K_1$  maleje wraz ze wzrostem ilości par szcęk hamujących  $n_1$ , co dowodzi, że istnieją niezgodności i rozbieżności pomiędzy wynikami uzyskanymi z pomiarów a metodą obliczeniową objętą aktami koncesyjnymi.

Parametry charakteryzujące pracę hamulca powinny być traktowane jako zmienne losowe [2,4,5].

Ponieważ nie znano a priori postać funkcji rozkładu cechującego proces hamowania, wyniki poddane analizie przy pomocy nieparametrycznych testów istotności t.j. testowi  $\chi^2$ , jak również testowi zgodności Kołmogorowa opartemu na statystyce .

Weryfikacją hipotezy o normalności rozkładu przeprowadzono na maszynie cyfrowej ODRA 1204, stosując program standardowy.

Proces hamowania przeprowadzony na modelu symulacyjnym hamulec obiektu rzeczywistego poddano analizie statystycznej.

Traktując wypadkowy moment hamowania  $M_w$  układu wieloszcękowego, jako funkcję liczby aproksymowano równaniem regresji [3,6] różne modele aproksymujące dla wielkości opisanych w p-kcie 2 t.j.  $M_w = f / n_1 /$ ,

$$M_w = f / N_1 /, N_1 = f / n_1 /.$$

Obliczenie przeprowadzono na maszynie cyfrowej Mińsk.

Do oszacowania przebiegów funkcyjnych przyjęto takie miary związków korelacyjnych jak:

- stosunek korelacyjny  $\eta$
- współczynnik testu Fischera  $F$
- współczynnik determinacji wielokrotnej  $R^2$
- zmienne resztowe.

Po dokonaniu analizy danych wyjściowych z maszyny cyfrowej, do szczegółowej analizy przebiegów funkcyjnych procesu hamowania przyjęto następujące modele:

$$\text{dla } M_w = f / n_1 / \quad - \text{ model } y = a x_1^{c/b}$$

$$\text{dla } N = f / n_1 / \quad - \text{ model } y = a_0 + a_1 x_1$$

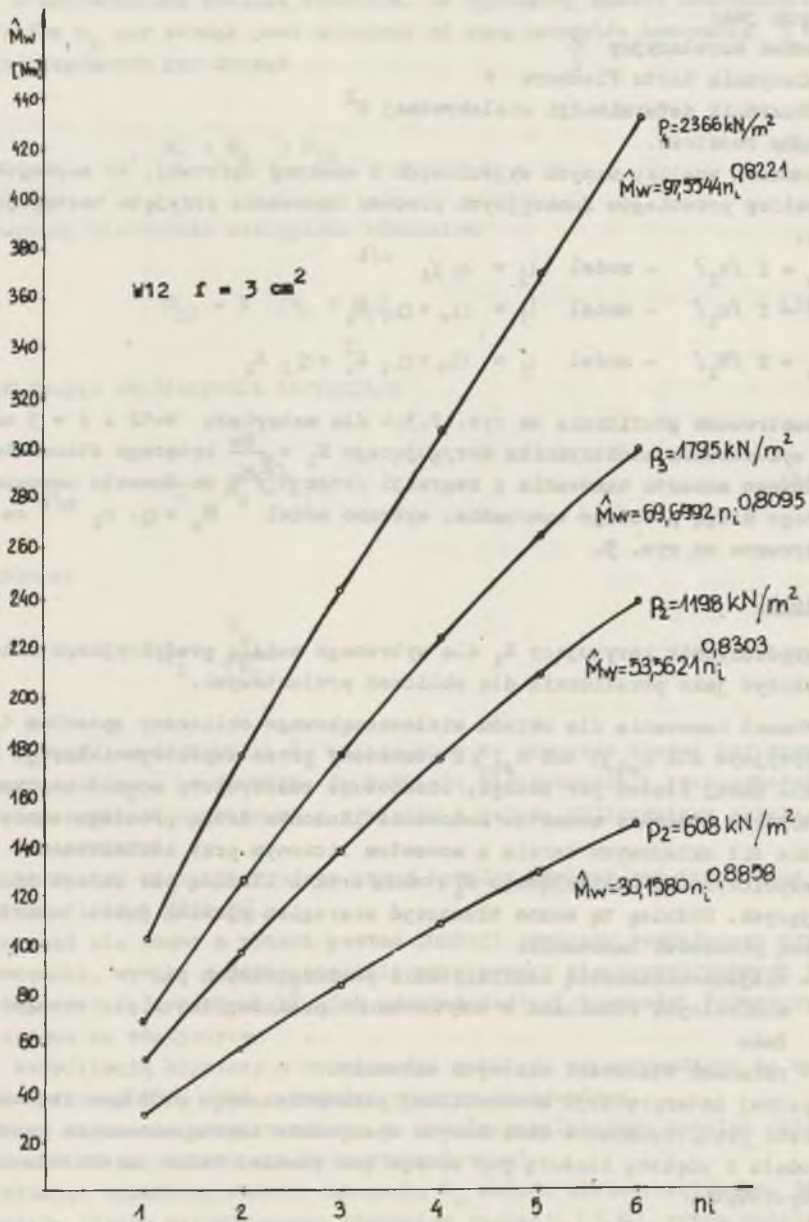
$$\text{dla } M_w = f / N_1 / \quad - \text{ model } y = a_0 + a_1 x_1^2 + a_2 x_1$$

Co zilustrowano graficznie na rys. 2,3,4 dla materiału W-12 i  $f = 3 \text{ cm}^2$ . Celem wyznaczenia współczynnika korygującego  $K_1 = \frac{M_w}{\sum M_i}$  będącego stosunkiem wypadkowego momentu hamowania z regresji /znak  $\wedge$  do momentu hamowania liczonego drogą prostego sumowania, wybrano model  $M_w = a \cdot n_1^{c/b}$  co zilustrowano na rys. 5.

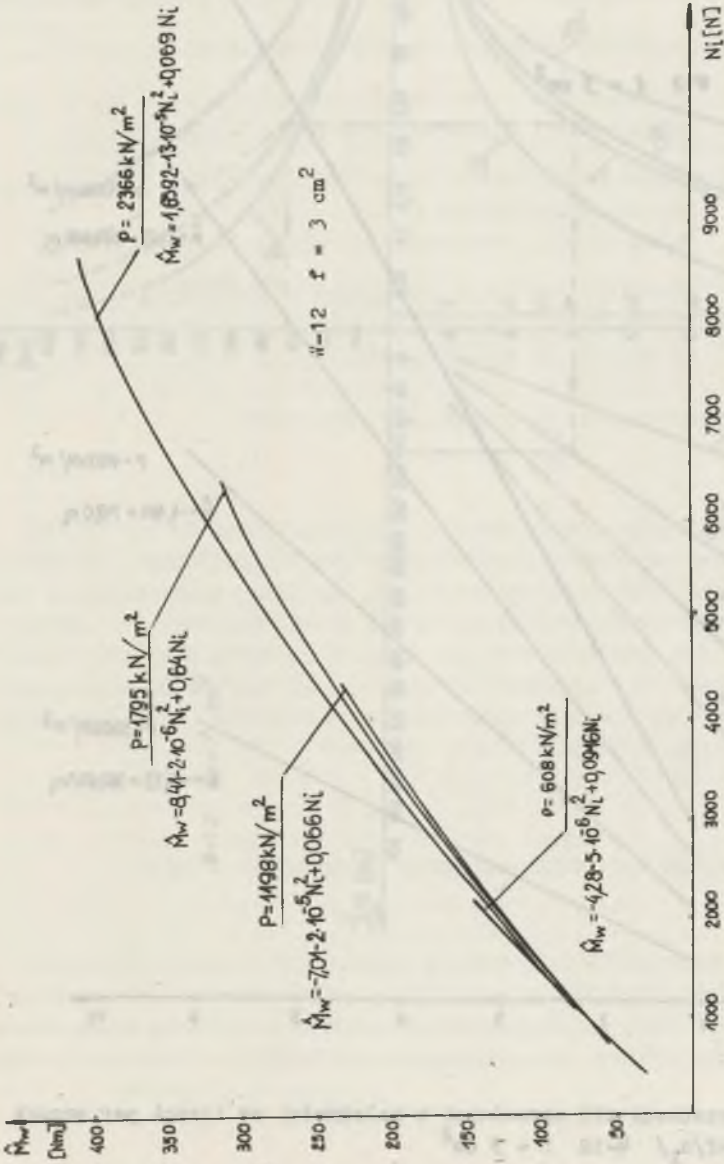
## 5. Wnioski

- 1/ - Współczynnik korygujący  $K_1$  dla wybranego modelu predykcyjnego może służyć jako przelicznik dla obliczeń projektowych.
- 2/ - Moment hamowania dla układu wieloszczękowego obliczany sposobem tradycyjnym dla  $n_{st} \gg 3$  lub  $n_{st} \gg 2$  pomnożony przez współczynnik koryg.  $K_1$  dla danej ilości par szczęk, oszacowuje rzeczywisty moment hamowania.
- 3/ - Różnica pomiędzy momentem hamowania liczonym drogą prostego sumowania sił składowych tarcia a momentem liczonym przy zastosowaniu współczynnika korygującego  $K_1$  rośnie wraz z ilością par szczęk hamujących. Różnicę tą można tłumaczyć szeregiem zjawisk jakie towarzyszą procesowi hamowania:
  - niejednoczesnością zadziaływania poszczególnych par
  - minimalnymi różnicami w usytuowaniu poszczególnych par szczęk na łuku
  - zmianami własności ciernych okładzin.

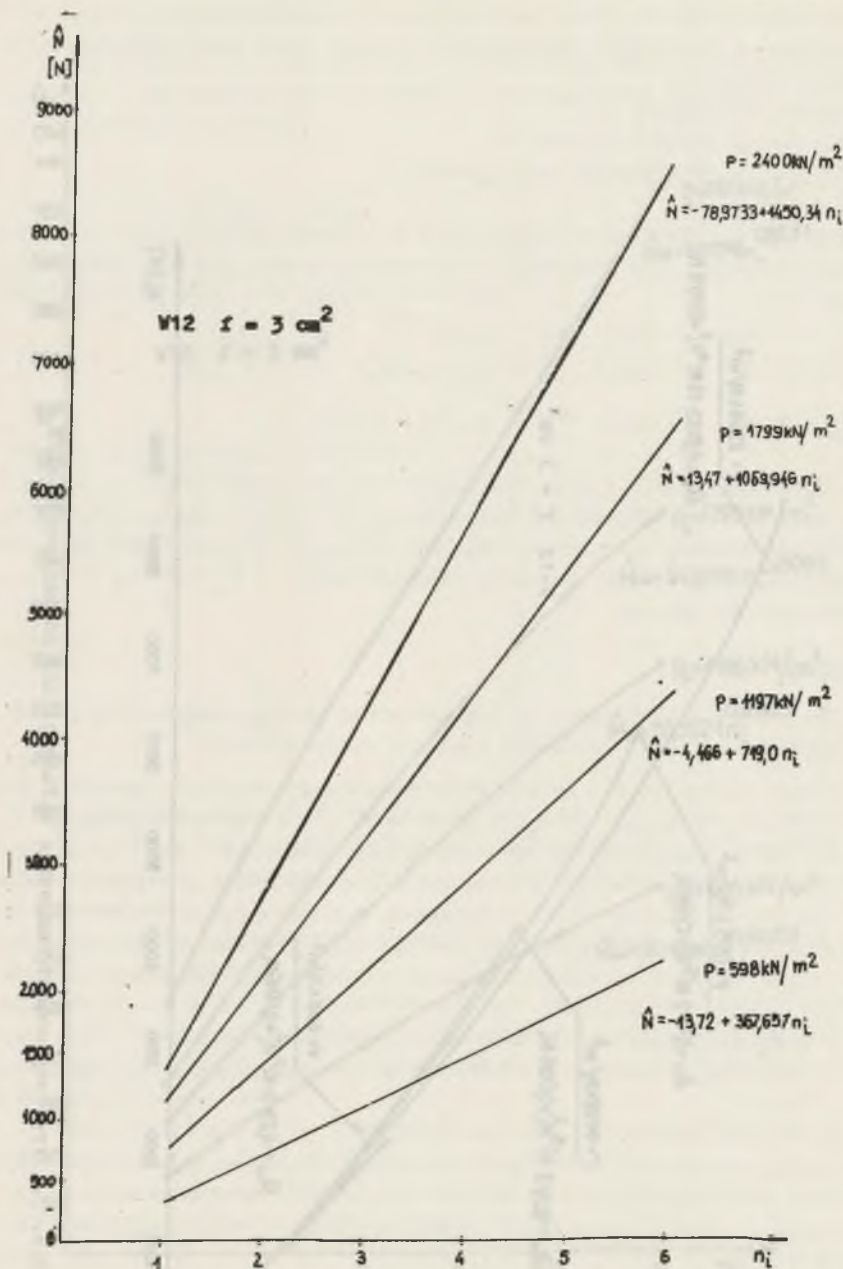
Dla pełnej interpretacji mechanicznej przedstawionego problemu zachodzi potrzeba przeprowadzenia dodatkowych specjalnie zaprogramowanych badań na modelu z większą ilością par szczęk jak również badań na obiektach przemysłowych.



Rys. 2. Zależność wypadkowego momentu hamowania od ilości par zębów  $M_w = f(n_i)$  / obliczona funkcją  $\hat{M}_w = a \cdot n_i^{c/b}$

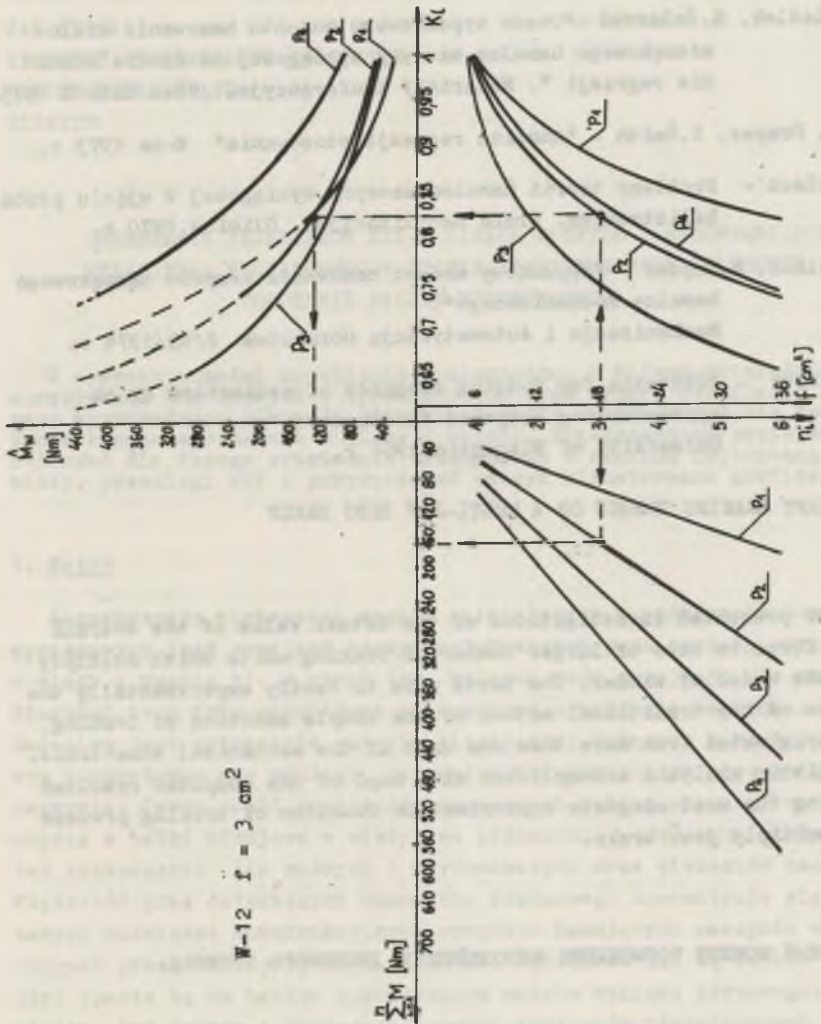


Rys. 3. Typowy moment hamowania w funkcji sił normalnych  $M_w = f(N_i)$



Rys. 4. Przebiegi sił normalnych w zależności od ilości par szcęg  
 $N=f/n_i$  W-12  $f = 3 \text{ cm}^2$





Rys. 5. Skorygowana wartość momentu hamowania w funkcji czynnej powierzchni trącej lub liczby par szczęk.

Literatura:

1. J. Antoniak, St. Scieszka - Zastosowanie hydraulicznych hamulców tarczowych "w maszynach wyciągowych" Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa" nr 2 1973 r.
2. W. Cieślak, E. Solaraki - "Ocena wypadkowego momentu hamowania wieloszczękowego hamulca maszyny wyciągowej na drodze równania regresji". Materiały konferencyjne. Nowa Ruda X 1975.
3. N.R. Draper, H. Smith - "Analiza regresji stosowania" W-wa 1973 r.
4. J. Orlacz - Problemy teorii hamulca maszyny wyciągowej w ujęciu probabilistycznym. Praca habilitacyjna, Gliwice, 1970 r.
5. J. Orlacz, M. Chycki - "Wypadkowy moment hamowania zespołu szczękowego hamulca mechanicznego".  
Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 8/69/1974 r.
6. T.M. Wetz - "Criteria for judging adequacy of estimation by an approximating response function".  
University of Wisconsin 1964 r.

## RESULTANT BRAKING TORQUE OF A MULTI-JAW DISC BRAKE

The paper presented investigation of the actual value of the overall braking force in case of larger number of braking units with multiply jaws brake model of winder. The tests were to verify experimentally the rightness of the traditional method of the simple addition of braking forces originated from more than one unit of the mechanical shoe-brake. The statistic analysis accomplished with help of the computer resulted in finding the most adequate approximation function of braking process of the multiply jaws brake.

## СУММАРНЫЙ МОМЕНТ ТОРМОЖЕНИЯ МНОГОЩЕЧНОГО ДИСКОВОГО ТОРМОЗА

В реферате описывается исследование фактической величины суммарного момента торможения проведенные на модели многощечного тормоза подъемной машины. Статистический анализ результатов проведен с помощью вычислительной машины находить функцию для оптимальной аппроксимации процесса торможения.