

Jan KULEZA  
Józef GRUCHAŁA  
Jan MACIEJCZYK

BADANIE MOCY ZAPOTRZEBOWANEJ PRZEZ SILNIKI  
ELEKTRYCZNE KOMBajNU ŚCIANOWEGO KWB-6

Streszczenie: Opierając się na wynikach pomiarów, które przeprowadzone były przez Zakład Kompleksowej Mechanizacji COPKMG "Komag" obliczono współczynniki korelacji między przebiegami mocy i momentów sił w wałach organów urabiających kombajnu, wartości średnie mocy i momentów sił w wałach organów urabiających dla różnych prędkości posuwu i skrawania. Dokonana analiza wyników pomiarów pozwala na wyciągnięcie wniosków odnośnie zapotrzebowania mocy przez silniki elektryczne kombajnu węglowego KWB-6.

1. Wstęp

Obserwowane zwiększenie się mocy zainstalowanej w napędach elektrycznych maszyn górniczych jest najbardziej widoczne na przykładzie maszyn urabiających, w szczególności kombajnów ścianowych.

Kilka lat temu moc silników elektrycznych napędzających kombajny wynosiła 135 kW, obecnie kombajn KWB-6 jest wprawiany w ruch dwoma silnikami o mocy 250 kW każdy. Zainstalowanie takich mocy w maszynach górniczych powoduje powstawanie wielu trudności związanych z zasilaniem ich energią elektryczną [3]. W związku z tym celowe jest poznanie zjawisk zachodzących podczas urabiania, w szczególności zaś tych, które dotyczą poboru mocy przez silniki elektryczne kombajnu ścianowego.

Zagadnienie zapotrzebowania mocy przez silniki maszyn urabiających jest z punktu widzenia elektroenergetyki w podziemiach kopalń bardzo istotne i doczekało się kilku opracowań. Wymienić należy tutaj zwłaszcza publikacje [5] i [6]. W związku z wprowadzeniem do eksploatacji nowych maszyn, zagadnienie pozostaje jednak ciągle aktualne. Dlatego też celowe jest przedstawienie oraz analiza wyników pomiarów charakterystycznych wielkości zmieniających się podczas prowadzenia eksploatacji ścian węglowych za pomocą kombajnu KWB-6, nowoczesnej i znajdującej coraz większe zastosowanie maszyny urabiającej, tym bardziej, iż były one przeprowadzone w warunkach rzeczywistych, to jest na kombajnach eksploatujących ściany węglowe.

W komunikacie niniejszym podano wybrane wyniki pomiarów mocy pobieranej przez silniki elektryczne kombajnów: doświadczalnego, pracującego w kopalni "M-300" oraz KWB-6, pracującego w kopalniach "Zabrze" oraz Komuna Paryska" [2] oraz dokonano ich analizy.

## 2. Sposób przeprowadzenia, zakres oraz wyniki pomiarów

Pomiary, których rezultaty będą przedstawione niżej, dokonane były w kopalniach "M-300", "Zabrze", "Komuna Paryska". W kopalni "M-300" badanym obiektem był kombajn jednoorganowy, wyposażony w silnik SKB-84 o mocy 135 kW. Kombajn ten posiadał możliwość zmiany prędkości skrawania od  $V_S = 2,5 \frac{m}{s}$  do  $V_S = 4,58 \frac{m}{s}$ . Ponieważ przedmiotem komunikatu są kombajny KWB-6, wyniki pomiarów z kop. M-300 przedstawione będą jedynie w celu jakościowego scharakteryzowania pewnych współzależności zachodzących np. między mocą pobieraną przez silnik elektryczny kombajnu a prędkością posuwu i skrawania.]

Pomiary w kop. "Zabrze" oraz "Komuna Paryska" dotyczyły już wyłącznie kombajnów KWB-6.

Pomiar mocy dokonywany był watomierzami elektrodynamicznymi w układzie Arona, pomiar momentu siły w wale organu urabiającego był dokonywany momentomierzem indukcyjnym, natomiast pomiar siły naciągu - dynamometrem hydraulicznym połączonym z rejestratorem siły. Dynamometr ten przymocowany był do ogniw łańcucha w ten sposób, że przenosił siłę naciągu występującą w łańcuchu kombajnu [2].

Przyrządy do pomiaru momentu w wale organu urabiającego oraz siły naciągu w łańcuchu były prototypami wykonanymi przez Zakład Kompleksowej Mechaniki COPKMG "Komag".

Prędkość posuwu kombajnu mierzono pośrednio, określając długość odcinka oraz czas jego przebycia, mierzony za pomocą stopera.

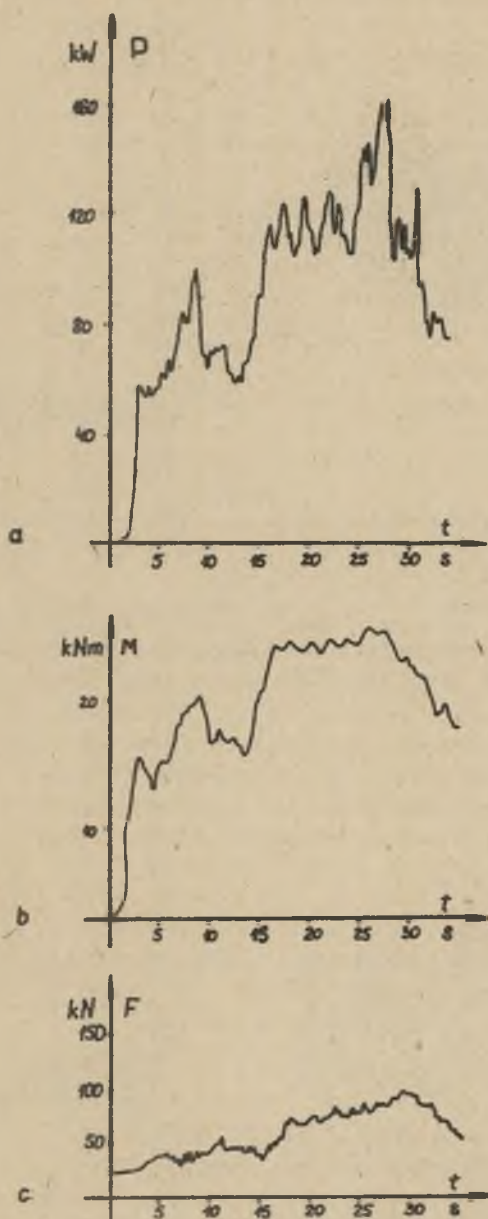
Prędkość skrawania wyliczona była z prędkości obrotowej znamionowej silnika napędzającego organ urabiający i ciągnik kombajnu oraz z przełożenia przekładni i średnicy organu urabiającego.

W kop. "M-300" na taśmach rejestratorów utrwalone zostały wyniki pomiarów mocy pobieranej przez silnik elektryczny, momentu w wale organu urabiającego, siły naciągu w łańcuchu, w kop. "Zabrze" - pomiary mocy i siły naciągu, natomiast w kop. "Komuna Paryska" - pomiary mocy.

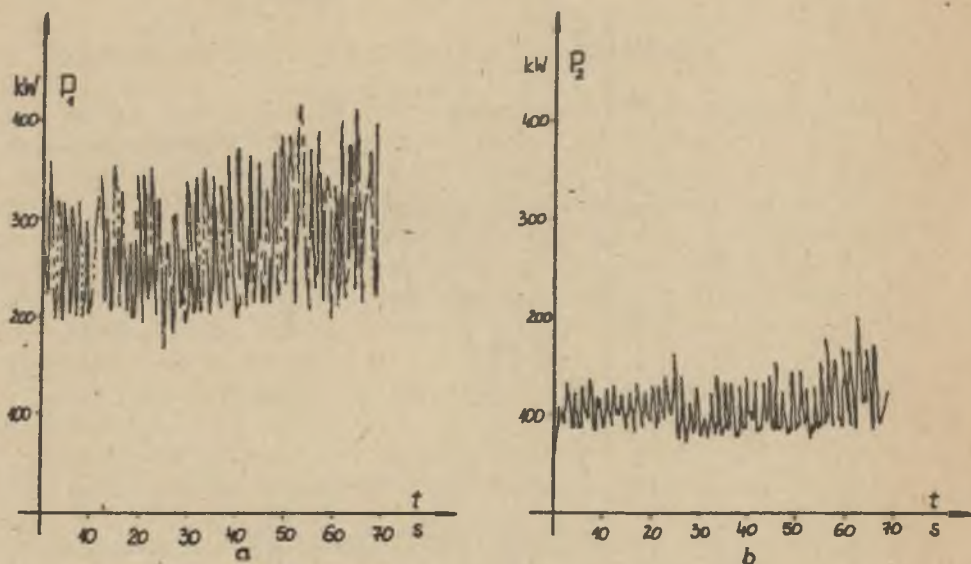
## 3. Analiza wyników pomiarów

Jak już zaznaczono wyżej, wyniki pomiarów utrwalone były na taśmach rejestratorów. Wobec dużej ilości tych taśm ograniczono się tutaj do przykładowego podania trzech rysunków obrazujących zarejestrowane przebiegi wielkości - rys. 1, 2, 3.

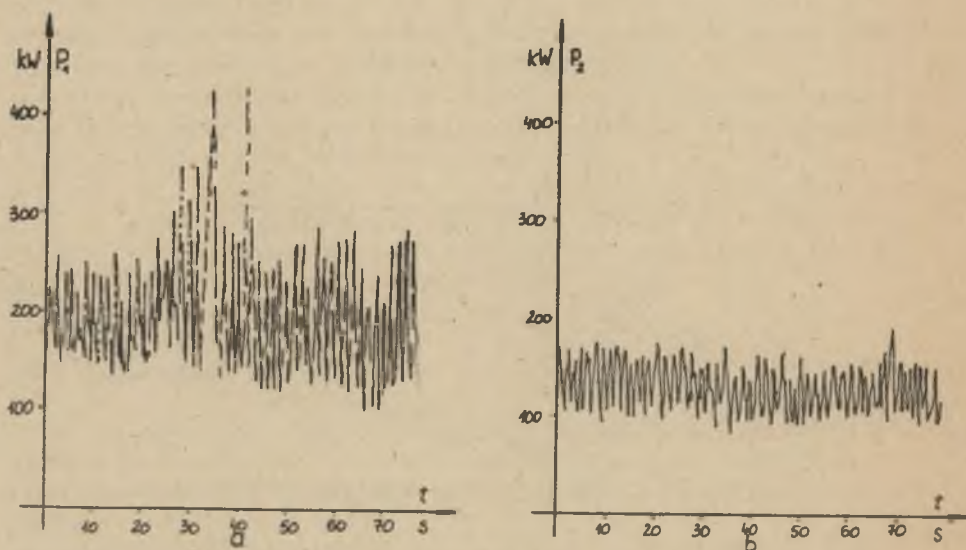
Zamieszczenie większej ilości rejestrogramów nie jest celowe, gdyż wobec stochastycznego charakteru przebiegów na nich przedstawionych, posiadają wartość dopiero po przetworzeniu zawartych w nich danych. Dane z kopalni "M-300" posłużyły do określenia współczynników korelacji  $r$  między przebiegami mocy a momentu siły w wale organu urabiającego. Współczynnik  $\text{tex}$



Rys. 1. Fragmety wyników pomiarów z Kop. "M-300" [2] a-rejestrogram mocy pobieranej przez silnik elektryczny, b-rejestrogram momentu w wale organu urabiającego, c-rejestrogram siły naciągu w łańcuchu



Rys. 2. Fragmenty wyników pomiarów z kop. "Zabrze" [2] a-rejestrogram mocy pobieranej przez silnik pierwszy, b-rejestrogram mocy pobieranej przez silnik drugi



Rys. 3. Fragmenty wyników pomiarów z kop. "Komuna Paryska" [2] a-rejestrogram mocy pobieranej przez silnik pierwszy, b-rejestrogram mocy pobieranej przez silnik drugi

obliczony został dla różnych prędkości posuwu i skrawania z następujących podstawowych [4] zależności:

$$r_{PM} = \frac{m_{PM}}{S_p S_M} \quad /1/$$

gdzie:

$m_{PM}$  - moment łączny /kowariancja/ z próby zmiennych P i M,

$$m_{PM} = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n P_i M_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \sum_{i=1}^n M_i \right) \quad /2/$$

n - liczba pomiarów

$P_i, M_i$  - wartości wielkości mierzonych,

$S_p, S_M$  - odchylenia standardowe z próby,

$$S_p = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad /3/$$

$\bar{P}$  - wartość średnia z próby

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

W celu obliczenia współczynnika korelacji  $r_{PM}$  odczytano co 0,5 s wartości mocy pobieranej przez silnik elektryczny oraz momentu na wale organu urabiającego. Wyznaczone w ten sposób wartości wielkości mierzonych wstawiono do wzorów 1-4; otrzymane wyniki działań pośrednich /wartości średnich z próby P, M oraz odchyłeń standardowych  $S_p, S_M$ / a także końcowych /współczynnik korelacji  $r_{PM}$ / wraz z wartościami maksymalnymi wielkości, mierzonych dla różnych prędkości posuwu i skrawania, zamieszczono poniżej w tabeli 1.

Tabela 1

$\frac{V_K}{\frac{m}{s}} / \frac{m}{min}$	$\frac{V_S}{\frac{m}{s}}$	P /kW/	$P_m$ /kW/	$S_p$ /kW/	M /kNm/	$M_m$ /kNm/	$S_M$ /kNm/	$r_{PM}$ /-/	F /kN/	$\bar{m}$ /kN/
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,067 /4/	2,5	73	94	7,4	17	20	0,93	-0,0015	46	53
0,067 /4/	2,9	76	120	16	15	20	3,7	0,88	68	125
0,067 /4/	3,36	75	108	13	13	17	2,0	0,68	-	-
0,067 /4/	4,58	94	152	26	12	18	2,8	0,96	46	60
0,092/5,5/	2,5	98	164	27	20	24	2,9	0,89	46	80
0,092/5,5/	2,9	84	136	28	21	24	2,0	-0,67	60	92
0,092/5,5/	3,36	111	180	22	18	22	2,2	0,88	-	-
0,092/5,5/	4,58	116	170	24	15	2	2,6	0,87	39	60

Analizując dane zawarte w tabeli zauważyć należy, że silnik elektryczny doświadczalnego kombajnu był przeciążony w krótkich odcinkach czasu - moce maksymalne wahają się od 94 do 180 kW, przy wartościach średnich mocy mniejszych we wszystkich przypadkach od mocy znamionowej silnika. Drugą istotną informacją zawartą w tabeli 1 jest wysoka [1], [4] wartość współczyn-

ników korelacji  $r_{PM}$ , wahających się /poza dwoma przypadkami/ między 0,68 a 0,96, będąca wyrazem ścisłej zależności między chwilowymi wartościami mocy pobieranej przez silnik elektryczny kombajnu a momentu w wale organu urabiającego. Jest to także potwierdzeniem wysokiej względnej wartości mocy zużywanej na urabianie, obliczonej i przedstawionej w tabeli 2, w stosunku do całkowitej mocy pobieranej przez silnik elektryczny kombajnu.

Tabela 2

$V_S$ /m/s/	M /kNm/	$P_S$ /kW/	$V_k$ /m/s/	F /kN/	$P_k$ /kW/	P /kW/	$\eta$ /-/
1	2	3	4	5	6	7	8
3,12	17	53	0,067	46	3,1	73	0,77
3,62	15	54	0,067	68	4,6	76	0,77
5,73	12	69	0,067	46	3,1	94	0,77
3,12	20	62	0,092	44	4,1	98	0,67
3,62	21	76	0,092	51	4,7	84	0,96
5,73	15	86	0,092	39	3,6	116	0,77

Przypadki, kiedy współczynniki korelacji osiągnęły wartości ujemne, tłumaczyć należy niesynchronizowaniem w czasie rejestrów mocy i momentu.

Znając średnicę organu urabiającego kombajnu można było obliczyć wartość mocy przekazywanej na urabianie -  $P_S$ , a z prędkości posuwu  $V_k$  i naciągu w łańcuchu F - wartość mocy  $P_k$  przekazywanej na przemieszczenie kombajnu. Moc doprowadzona do kombajnu wynosi P a odprowadzana z niego jest suma  $P_S$ ,  $P_k$ ; definiując więc sprawność układu elektromechanicznego maszyny jako stosunek mocy oddawanej poza układ do mocy pobieranej ze źródła energii /sieci elektroenergetycznej/ można napisać, że sprawność ta jest równa:

$$\eta = \frac{P_S + P_k}{P} \quad /5/$$

Wartość sprawności elektromechanicznego układu kombajnu doświadczalnego dla różnych prędkości posuwu  $V_k$  i skrawania  $V_S$  podano w tabeli 2. Stosunek mocy idącej na przesuwanie kombajnu do mocy zużywanej na urabianie jest niski i waha się w granicach 5 - 10 % /tabela 2/, co potwierdza dane zawarte w [5] i [6].

Ze względu na zmienne prędkości posuwu i skrawania oraz małą liczbę pomiarów nie można dokładnie określić zależności między mocą pobieraną przez silnik elektryczny, a zmieniającymi się prędkościami. Dlatego też posłużono się metodą najmniejszych kwadratów i wyznaczono równanie prostej regresji, określające związek między iloczynem prędkości skrawania oraz posuwu a mocą pobieraną przez silnik elektryczny kombajnu. Równanie to ma postać:

$$P = 180 V_k V_S + 44 \quad /6/$$

gdzie prędkości posuwu i skrawania podane są w m/s a moc w kW/.

Trzeba jednak uwzględnić, że zależność ta jest w przybliżeniu słuszna jedynie dla pracy kombajnów w warunkach zbliżonych do występujących w kopalni "M-300" i obrazuje nie tyle ilościowy, co jakościowy związek między mocą pobieraną przez silnik elektryczny a prędkościami posuwu i skrawania.

Również metodą najmniejszych kwadratów wyznaczono zależność tym razem już  $P = f / V_K$  dla kombajnu KWB-6, pracującego w kopalni "Zabrze".

Moc pobierana przez silnik elektryczny, wobec stałej prędkości i skrawania oraz w przybliżeniu stałego zabioru jest tutaj funkcją prędkości posuwu. Ponieważ wykonano pomiary mocy pobieranej przez silnik pierwszy, napędzający organ urabiający oraz ciągnik hydrauliczny kombajnu, jak i przez drugi, napędzający tylko organ urabiający /rys.2/ wyznaczono zależność mocy  $P_1 = f/V_K$  oraz sumy mocy pobieranych przez dwa silniki od prędkości posuwu  $P_1 + P_2 = P = f / V_K$ . Równania te mają postać:

$$P_1 = 4\,500 V_K = 46 \quad /7/$$

$$P = 4\,750 V_K = 57 \quad /8/$$

Wykresy prostych wraz z naniesionymi punktami pomiarowymi przedstawiono na rys. 4.

Fragmenty wyników pomiarów mocy pobieranej przez silnik pierwszy, napędzający organ urabiający i ciągnik kombajnu oraz drugi, napędzający tylko organ urabiający, dokonane w kop. "Komuna Paryska" zostały przedstawione na rys. 3.

Kombajn porusza się z prędkością  $V_K = 0,05 \frac{m}{s} / 3 \frac{m}{min.}$ /. Na rejestrgramach wyraźnie widać różnicę w obciążeniu silników elektrycznych. To samo zaobserwować można na rys. 2.

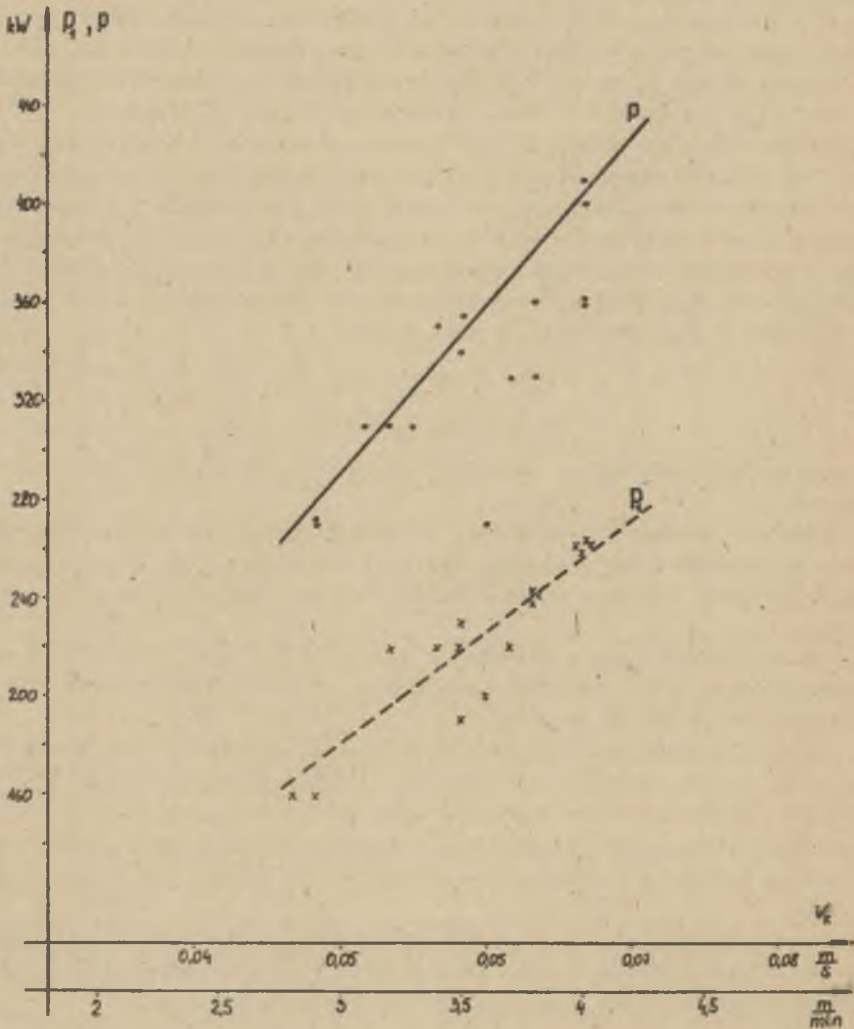
Silnik pierwszy obciążony jest mocą średnią ok. 300 kW, natomiast drugi - ok. 100 kW. Sytuacja taka zachodzi bardzo często przy urabianiu "pod górę". Silnik pierwszy pokonywać musi znacznie większe /niż silnik drugi/ opory skrawania, gdyż napędzany nim organ urabiający skrawa nienaruszoną caliznę, podczas gdy drugi organ urabia węgiel odsłonięty w trzech płaszczynach.

Przeciążenie silnika pierwszego napędzającego organ urabiający oraz ciągnik nie może zachodzić przez dłuższy czas przy sprawnym działaniu elektrohydraulicznego układu regulacji prędkości posuwu kombajnu.

#### 4. Zakończenie

Z zaprezentowanych wyżej wyników pomiarów i ich analizy wysnuć można następujące stwierdzenia:

- zależność między mocą pobieraną przez silniki elektryczne kombajnu KWB-6 a prędkością posuwu jest w przybliżeniu /dla prędkości  $V_K = 0,05 - 0,07$  m/ liniowa,



Rys. 4. Zależność sumarycznej mocy pobieranej przez dwa silniki elektryczne kombajnu ( $P$ ) oraz przez pierwszy silnik kombajnu ( $P_1$ ) KMB-6 w zależności od prędkości posuwu.

- wartości mocy pobieranej przez silnik elektryczny często przekraczają w sposób impulsowy wartość mocy znamionowej silnika; Wartość mocy znamionowej jest przekraczana w sposób ciągły przy wyższych prędkościach  $V_k$  oraz niesprawnym układzie regulacji prędkości posuwu.



## LITERATURA

- [1] Brandt S.: Metody statystyczne i obliczeniowe analizy danych, PWN, Warszawa 1974.
- [2] COEKMG "Komag": Sprawozdania z pomiarów dołowych pracy kombajnów w kopalniach PW oraz z prac konstrukcyjno-badawczych nad oprzyrządowaniem i aparaturą dla tych pomiarów. Gliwice 1975-1977 r.
- [3] Krasucki F., Gruszczyński P., Biał J.: Sposoby zasilania oddziaływanych maszyn górniczych. Wiadomości Elektrotechniczne nr 14, 1977 r.
- [4] Smirnow N.W., Dunin-Barkowski L.W.: Kurs rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej dla inżynierów, PWN Warszawa 1974 r.
- [5] Szklarski L., Dudek A.: Kierunki polepszenia wskaźników energetycznych napędów elektrycznych w górnictwie. Gospodarka Paliwami i Energią nr 1, 1973 r.
- [6] Trzcina T.: Analiza wielkości zapotrzebowania mocy przez kombajny węglowe. Prace Głównego Instytutu Górnictwa, Komunikat nr 395, 1966 r.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ОЧИСТНЫМ КОМБАЙНОМ ТИПА КВЕ-6 МОЩНОСТИ

## Резюме

На основе результатов измерений, выполненных Отделом комплексной механизации КОМАГ, рассчитаны показатели корреляции между мощностью и моментами сил на валах исполнительного органа комбайна, средние величины мощности и моменты сил на валах исполнительных органов при различных скоростях подачи и резания. Анализ результатов измерений позволяет на выводы относительно величин мощности потребляемой приводами комбайна КВЕ-6.

## INVESTIGATIONS OF THE KWB-6 HEADING CUTTER MOTORS POWER REQUIREMENTS

## Summary

Basing on the investigations carried out by "KOMAG" Mechanization Office correlation factors have been calculated between power and force moments of the cutting part shafts of the cutter along with the mean power values for different cutting and heading speeds. The analysis enables practical conclusions concerning power requirements for the cutter motors.