

Manfred CHMURAWA, Tadeusz KOPROWSKI, Jerzy RYSZ

BADANIA RZECZYWISTYCH OBCIĄZEŃ UKŁADU NAPĘDOWEGO
STRUGA WĘGLOWEGO TYPU SWS-4

Streszczenie. W pracy przedstawiono próbę określenia rzeczywistego obciążenia elementów układu napędowego górniczej maszyny urabiającej. Podano metodę i przebieg badań, a uzyskane wyniki opracowano statystycznie w celu wykorzystania ich do sporządzania programu obciążeń dla badań stanowiskowych elementów układu napędowego.

Wstęp

Górnice maszyny urabiające (kombajny, strugi węglowe, wrębiarki itp.) należą do grupy maszyn roboczych, które charakteryzują się silnie zróżnicowanym stanem obciążenia głównego ogniwa roboczego mechanizmu napędowego. Tym zasadniczym ogniwem roboczym w przypadku struga węglowego jest głowica, która bezpośrednio skrawa caliznę węglową. Obciążenia działające na głowicę strugową mają w trakcie urabiania ściany węglowej wyraźnie losowy charakter.

Taki charakter obciążenia zależy od całego szeregu różnych czynników, do których w pierwszej kolejności zaliczamy:

- warunki geologiczne,
- uwarstwienie węgla,
- wielkość docisku struga wraz z przenośnikiem do ściany,
- prędkość liniowa łańcucha napędzającego głowicę strugową,
- rozwiązanie konstrukcyjne układu napędowego.

Kompleksowe ujęcie wpływu poszczególnych czynników na wielkość obciążenia głowicy jest zadaniem trudnym, a uwzględniając specyfikę pracy pod ziemią, także przedsięwzięciem wymagającym dużych nakładów związanych z przeprowadzeniem badań.

Trudność identyfikacji stanu obciążenia powoduje, że konstruktor takiej maszyny z konieczności zmuszony jest dokonywać szeregu uproszczeń. Zewnętrznym przejawem mocno przybliżonego określenia stanu obciążenia na etapie projektowania są późniejsze częste awarie w warunkach eksploatacyjnych. Najbardziej właściwym sposobem postępowania w takiej sytuacji jest zebranie możliwie dużej ilości informacji drogą bezpośredniego pomiaru rzeczywistego obciążenia maszyny roboczej.

Przedmiot i zakres badań

Przedmiotem badań był mechanizm napędowy struga węglowego SWS-4. Do doświadczalnego określenia rzeczywistego obciążenia wytypowano pierwszy (szybkobieżny) wał układu napędowego, na którym zamontowano między sprzęgłem hydraulicznym i podatnym (rys. 1, 2) momentomierz specjalnie w tym celu zaprojektowany. Rysunek 3 przedstawia ogólny widok momentomierza.

Pomijając w tym miejscu szczegóły budowy wspomnianego momentomierza warto zaznaczyć, że zmiana momentu obrotowego przetworzona jest na sygnał elektryczny przy pomocy tensometrów elektrooporowych. Do pomiaru zastosowano tensometryczną aparaturę wzmacniającą składającą się z mostka tensometrycznego TT-6c i oscylografu pętlicowego typu K-115 produkcji radzieckiej. Przebiegi momentu obrotowego rejestrowano na oscylograficznej taśmie samowywołującej.

Mając na uwadze zmienność oporów skrawania, rozpatrywano oddzielnie ruch głowicy strugowej w kierunku wzniosu (ruch "w górę") i w kierunku spadku pokładu (ruch "w dół").

Badania doświadczalne w warunkach dołowych obejmowały następujące charakterystyczne fazy procesu eksploatacyjnego, a mianowicie:

- rozruch i hamowanie struga,
- ruch struga z łańcuchem bez urabiania,
- ruch struga z łańcuchem w czasie urabiania "w górę",
- ruch struga z łańcuchem w czasie urabiania "w dół".

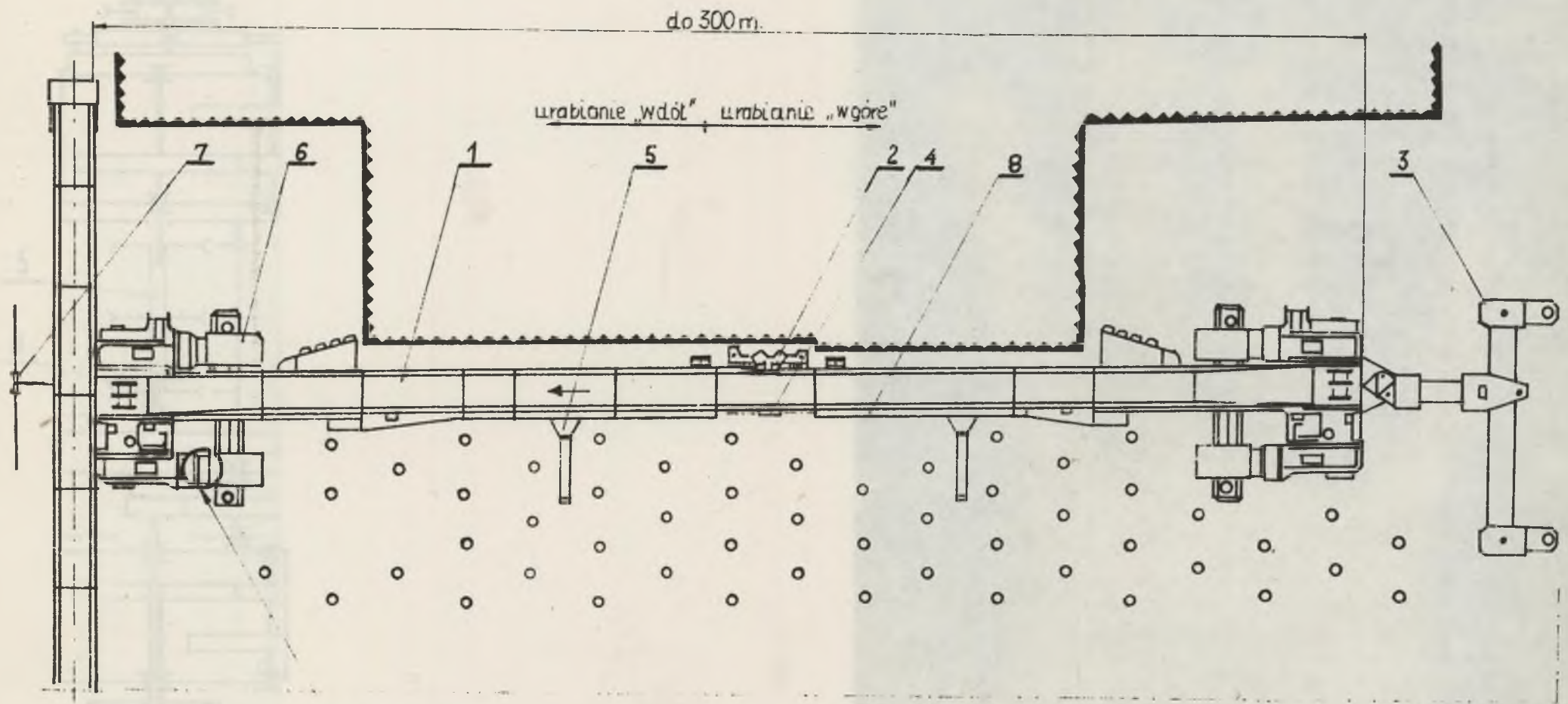
Analiza wyników badań

Z obserwacji przebiegów momentu obrotowego zarejestrowanych na taśmie oscylograficznej (rys. 4a, b, c, d) wynika, że:

- częstotliwość zmian momentu obrotowego posiada prawie stałe dwie wartości: podstawową $f_1 = 3$ Hz i drugorzędą $f_2 = 60 \pm 70$ Hz,
- zarówno amplituda, jak i wartość średnia poszczególnych cykli podstawowych zmieniają się losowo w szerokich granicach.

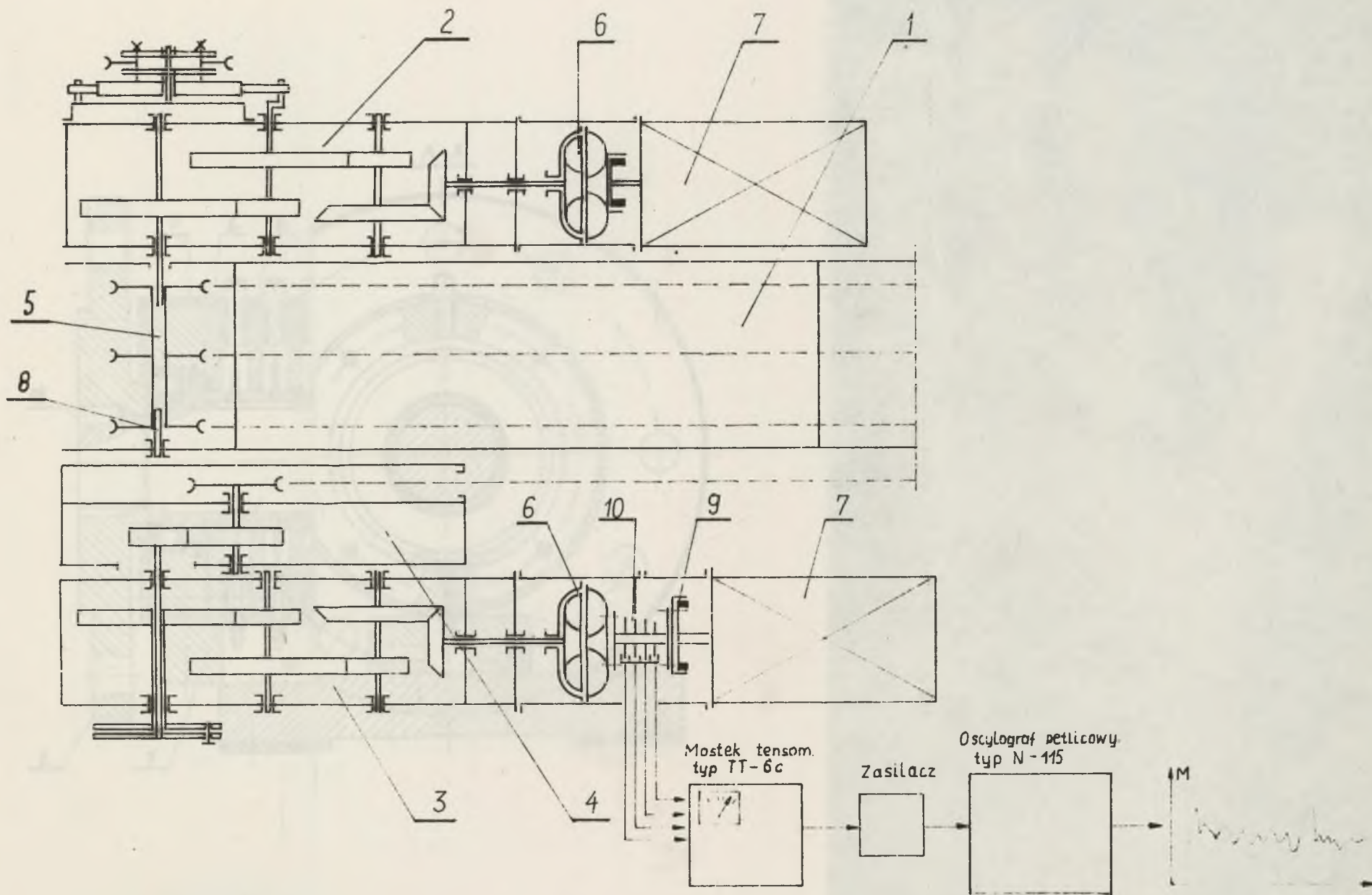
W związku z tym stwierdzić można, że moment obrotowy ze względu na wartość chwilową jest zmienną losową. Natomiast częstotliwość zmian tego momentu z uwagi na prawie stałą wartość nie wykazuje charakteru losowego. Ponadto z przebiegu momentu obrotowego wynika, że tylko dwie fazy ruchu struga mogą mieć wpływ na przemienność momentu, a mianowicie: faza rozruchu i faza ruchu ustalonego. Poza tym należy rozpatrywać oddzielnie pracę struga "w górę" i oddzielnie pracę "w dół".

Przy załączeniu układu pojawiają się dwa cykle zmian momentu o dużych wartościach maksimów (rys. 4). Cykle takie w sposób wyraźny wyróżniają się od pozostałych i wpływają bezpośrednio na trwałość układu. W związku z tym cykle te należy wyodrębnić i rozpatrywać oddzielnie. Po osiągnięciu

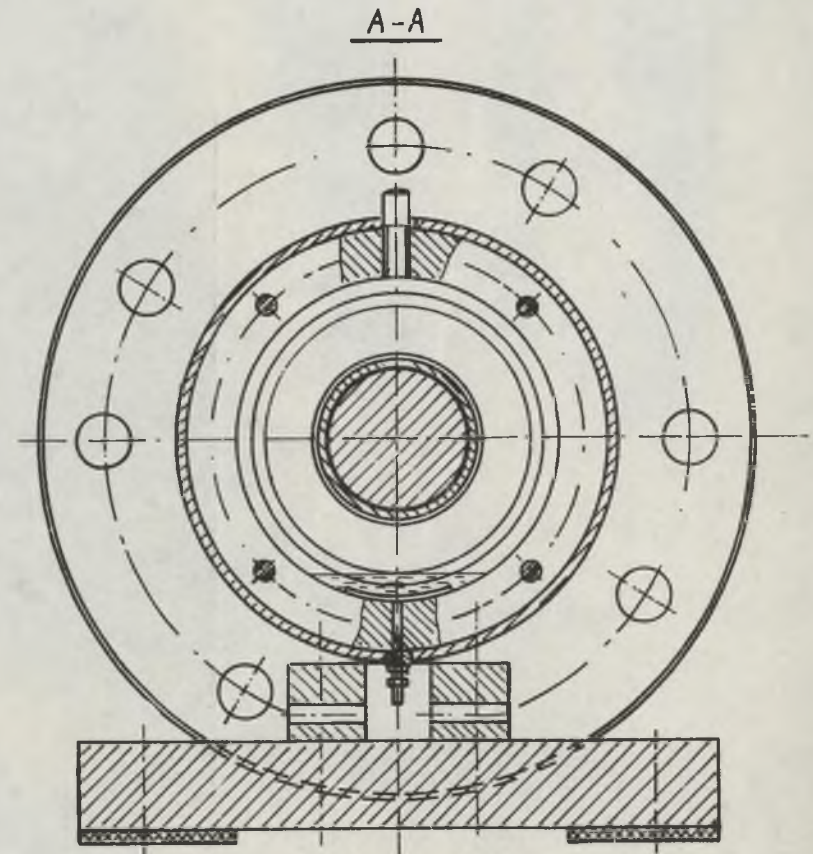
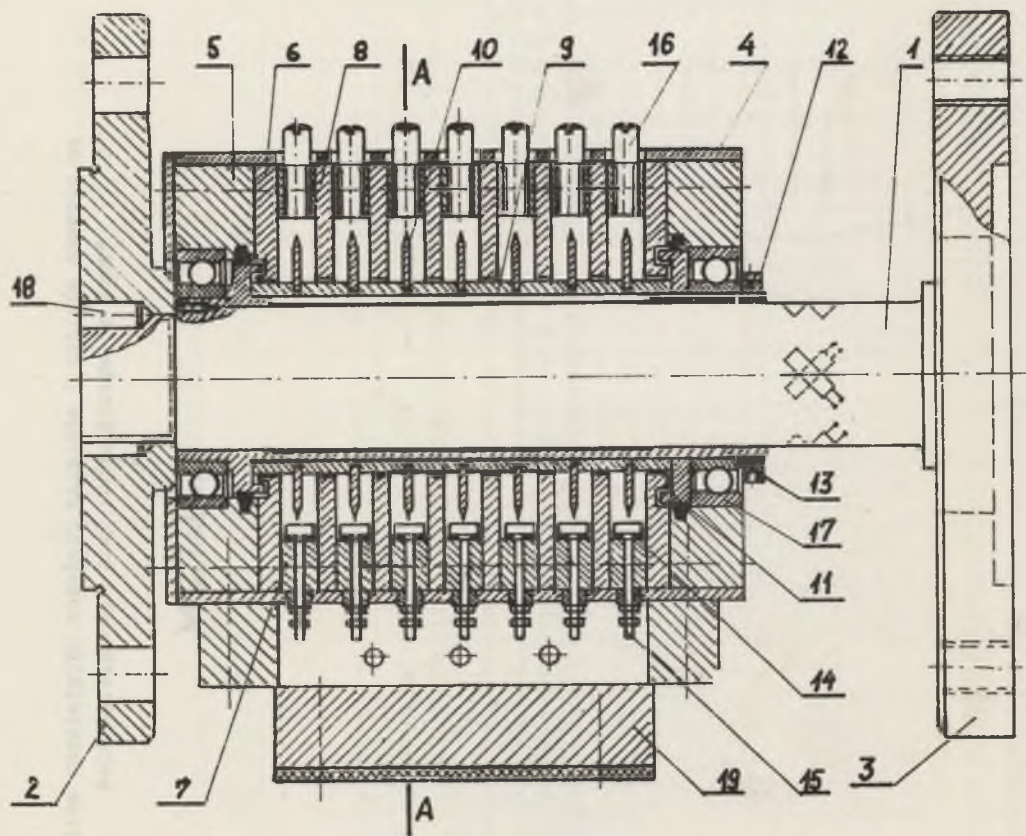


Planar moment:

Fig. 1. Ustawienie struga węglowego w czasie urabiania ściany węglowej.



Rys. 2. Schemat kinematyczny napędu struga



Rys. 3. Momentomierz stosowany do pomiaru momentu obrotowego

Tablica 2

Tablica korelacyjna rozkładu maksimum i minimum momentu na wałę sprężystym przy ruchu struga "w dół"

M_{max} [kGm]

-10,4	0	2,6	5,2	7,8	10,4	13	15,6	18,2	20,8	23,4	26	28,6	31,2	33,8	35,4	37	40,2	42,8	45,4	48	50,6	52	ΣM_{min}	
							1	7	5	1	1													15
-7,8			2		3	22	20	8	3	2														60
-5,2				2	6	1	17	38	32	16	5	4	1											122
-2,6				1	7	6	13	39	95	64	36	4	1											363
0			1	22	4	7	27	72	91	116	50	15												419
2,6				15	11	5	17	76	179	165	102	21	8											601
5,2				6	12	10		24	113	232	139	76	17	7										638
7,8					1	1	2	9	57	103	91	31	14	1										407
10,4								1	11	40	45	47	30	19	4	1								198
13									1	4	20	28	38	22	19	7	2							142
15,6										3	10	32	27	18	14	5	1							111
18,2										1	4	6	15	9	14	4	3	1						57
20,8												1	4	9	7	2								23
23,4													3	4	4	1	1							13
26															1	1	1							3
28,6																								1
31,2													1											2
33,8																1	1							10
36,4																								1
39																								
41,6																								
44,2																								
ΣM_{max}	4	58	35	57	152	335	581	757	548	342	150	99	27	14	14	6	6	1						3186

Wartość średnia momentu przy ostruchu

$M_T = 23,31$ kGm

Wartość amplitudy momentu przy rozruchu

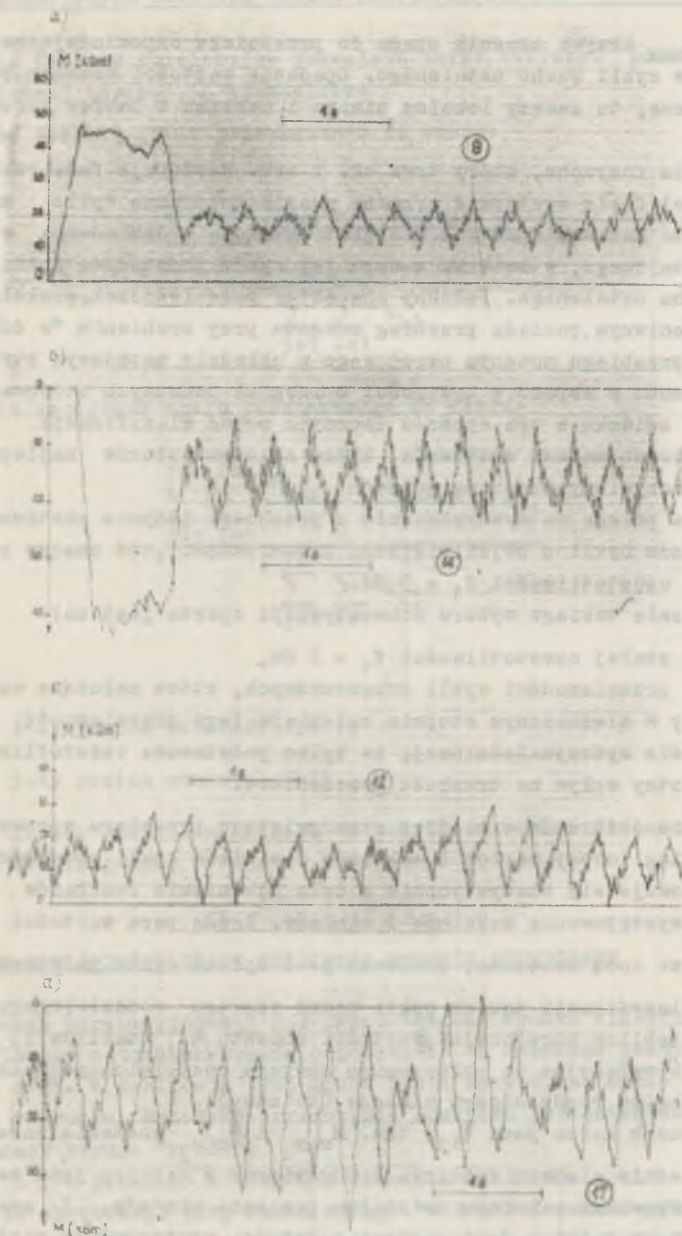
$A_T = 23,31$ kGm

Wartość średnia momentu w ruchu ustalonym

$M_U = 14,99$ kGm

Wartość amplitudy momentu w ruchu ustalonym

$A_U = 10,64$ kG



Rys. 4. Oscylogramy momentu obrotowego

a) Przebieg momentu podczas rozruchu (praca "w górę"). b) Przebieg momentu podczas rozruchu (praca "w dół"). c) Przebieg momentu w ruchu ustalonym (praca "w górę"). d) Przebieg momentu w ruchu ustalonym (praca "w dół")

ekstremum M_{\max} krzywa momentu opada do przedziału odpowiadającemu wartościom minimów cykli ruchu ustalonego. Opadanie wartości momentu posiada lokalne ekstrema, to znaczy lokalne minima i maksima o bardzo małej przemienności,

Po okresie rozruchu, który trwa ok. 1 sek. następuje faza ruchu ustalonego. W tej fazie występują wyraźne quasiharmoniczne cykle zmienności momentu. Faza hamowania układu nie jest wyraźnie zróżnicowana w stosunku do ruchu ustalonego, w związku z czym jej cykle podstawowe można zaliczyć do fazy ruchu ustalonego. Podobny charakter przemienności, aczkolwiek ze znakiem przeciwnym, posiada przebieg momentu przy urabianiu "w dół".

Badanie przebiegu momentu obrotowego w układzie napędowym struga węglowego prowadzono w aspekcie trwałości sprzęgieł podatnych stosowanych w tym układzie. W związku z tym spośród licznych metod klasyfikacji przebiegu losowego wybrano metodę ekstremów, która zdaniem autorów najlepiej schematyzuje rzeczywisty przebieg momentu.

Metoda ta polega na wyodrębnieniu z przebiegu jedynie ekstremów: minimów i maksimów cykli o najsilniejszej przemienności, to znaczy cykli podstawowych o częstotliwości $f_1 = 3$ Hz.

Uzasadnienie takiego wyboru schematyzacji oparte jest na:

- prawie stałej częstotliwości $f_1 = 3$ Hz,
- stałej przemienności cykli drugorzędnych, które nałożone na cykl podstawowy w nieznacznym stopniu zmieniają jego przemienność,
- hipotezie wytrzymałościowej, że tylko podstawowa częstotliwość zmian ma istotny wpływ na trwałość zmęczeniową.

W metodzie ekstremów w miejsce rzeczywistego przebiegu wprowadza się dyskretny ciąg losowy wartości maksimów i minimów cykli podstawowych. Ciągi te opracowuje się statystycznie w celu ujawnienia rozkładów prawdopodobieństwa występowania maksimów i minimów. Każda para wartości M_{\max_i} i M_{\min_j} jest ze sobą związana, ponieważ jest opisem cyklu podstawowego. Dlatego przy klasyfikacji takich cykli miast szeregu rozdzielczego trzeba wprowadzić tablicę korelacyjną wartości momentu M_{ij} (tablice 1, 2).

Tablice korelacyjne są połączeniem szeregu rozdzielczego maksimów (wiersze) z szeregiem rozdzielczym minimów (kolumny).

W ten sposób każda para M_{ij} , tzn. M_{\max_i} i M_{\min_j} zostanie zarejestrowana w odpowiednim miejscu tablicy. Każdy wiersz w tablicy jest zapisem częstości występowania maksimów na stałym poziomie minimów. I analogicznie, każda kolumna w tablicy jest zapisem częstości występowania minimów na stałym poziomie maksimów. Tablica korelacyjna jest zatem obrazem graficznym rozkładu zmiennej losowej dwuparametrowej maksimów i minimów momentu obrotowego M_{ij} i jest punktem wyjścia analizy statystycznej.

Po zsumowaniu kolumn otrzymujemy częstość występowania maksimów cykli i analogicznie po zsumowaniu wierszy otrzymujemy częstość występowania mi-

niów cykli. Tablice korelacyjne pozwalają także obliczyć podstawowe parametry zmiennej losowej, a mianowicie:

- wartość średnią cyklu podstawowego ze wzoru:

$$M = \frac{\sum_{j=1}^{j=m} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{M_{\max i} + M_{\min j}}{2} \cdot k_{ij}}{\sum_{j=1}^{j=m} \sum_{i=1}^{i=n} k_{ij}} \quad (1)$$

- średnią amplitudę cyklu podstawowego ze wzoru:

$$A = \frac{\sum_{j=1}^{j=m} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{M_{\max i} - M_{\min j}}{2} \cdot k_{ij}}{\sum_{j=1}^{j=m} \sum_{i=1}^{i=n} k_{ij}} \quad (2)$$

gdzie:

$M_{\max i}$ - i -ty poziom maksimów cykli,

$M_{\min j}$ - j -ty poziom minimów cykli,

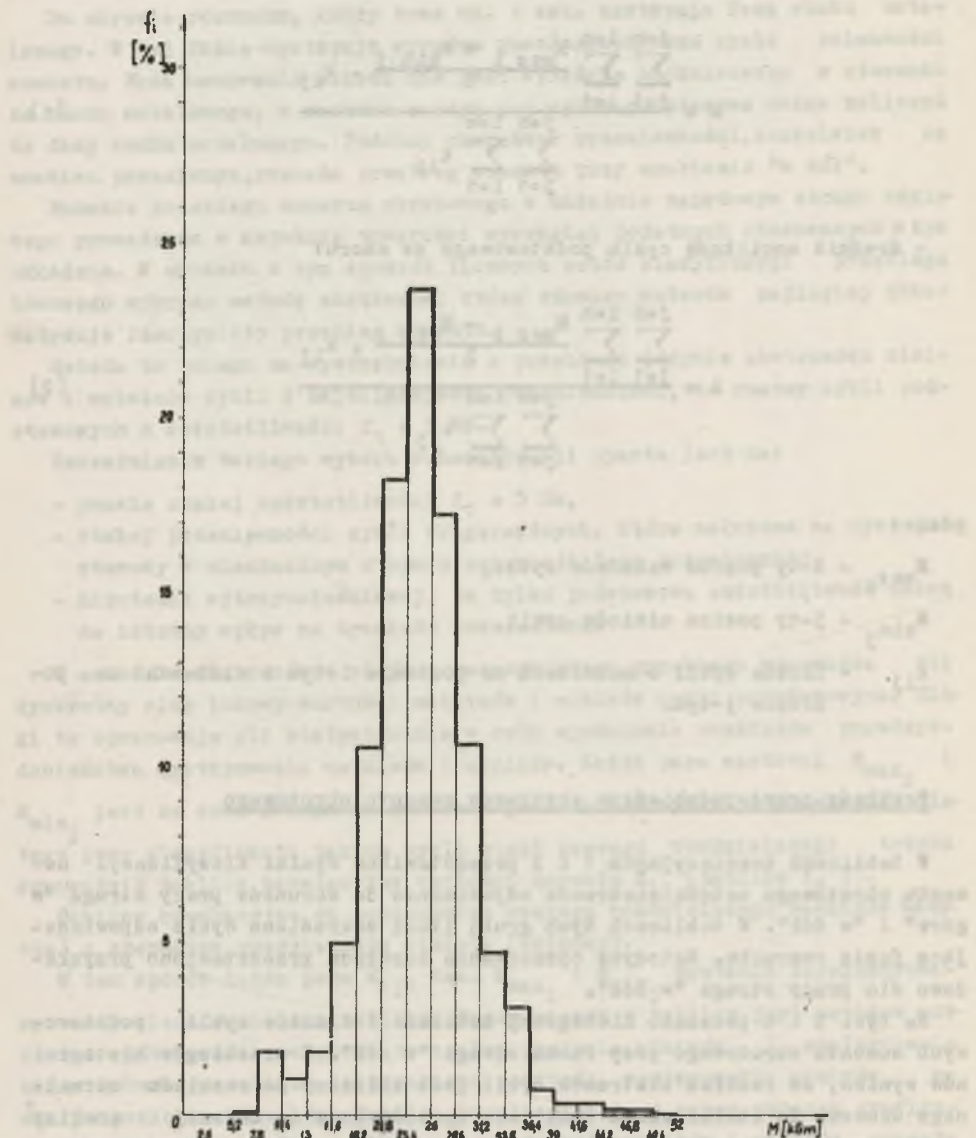
k_{ij} - liczba cykli o maksimach na poziomie i -tym i minimach na poziomie j -tym.

Rozkłady prawdopodobieństw ekstremów momentu obrotowego

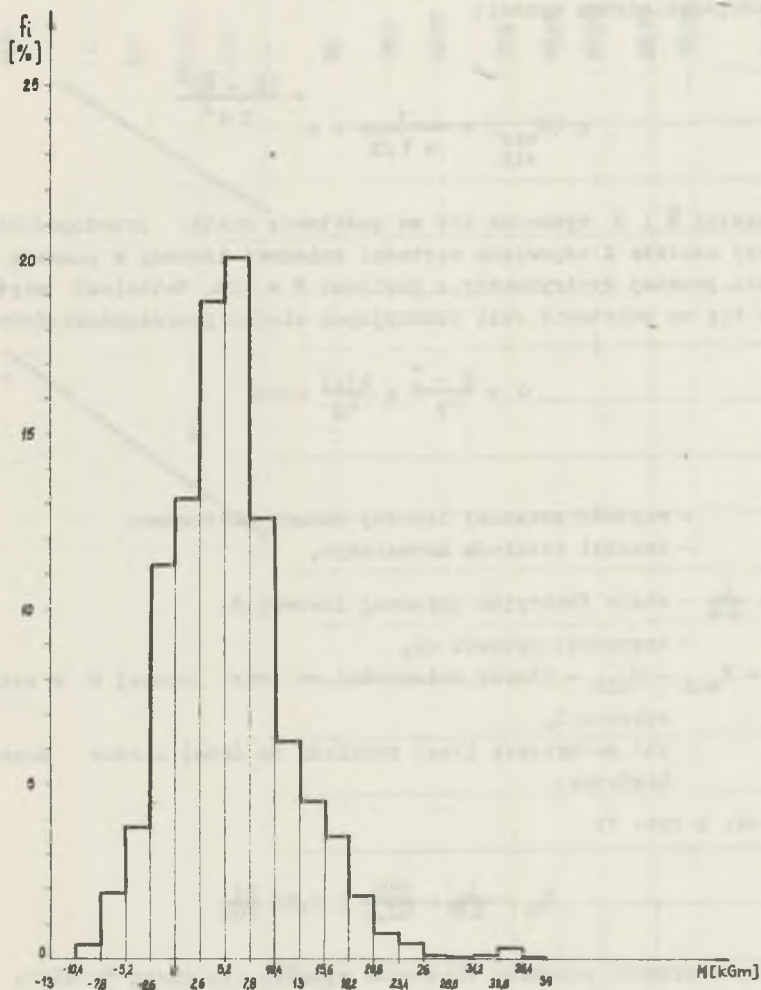
W tablicach korelacyjnych 1 i 2 przedstawiono wyniki klasyfikacji momentu obrotowego metodą ekstremów odpowiednio do warunków pracy struga "w górę" i "w dół". W tablicach tych grubą linią zakreślono cykle odpowiadające fazie rozruchu. Metodę opracowania rozkładu przedstawiono przykładowo dla pracy struga "w dół".

Na rys. 5 i 6 pokazano histogramy maksimów i minimów cykli podstawowych momentu obrotowego przy ruchu struga "w dół". Z przebiegów histogramów wynika, że rozkład ekstremów cykli jest zbliżony do rozkładu normalnego Gaussa. To stwierdzenie umożliwia zastosowanie do dalszej analizy siatki prawdopodobieństwa rozkładu normalnego (rys. 7) na której dystrybuanta idealnego rozkładu normalnego jest linią prostą. Dystrybuanty empiryczne ekstremów oscylują wokół prostych odpowiadających określonym roz-

Wzrost wartości momentu obrotowego w czasie pracy jest spowodowany przez zmiany w położeniu przemieszczanego ładunku. Wzrost momentu obrotowego jest spowodowany przez zmiany w położeniu przemieszczanego ładunku. Wzrost momentu obrotowego jest spowodowany przez zmiany w położeniu przemieszczanego ładunku.



Rys. 5. Histogram maksimum momentu obrotowego (przesuw łańcucha w dół")



Rys. 6. Histogram minimów momentu obrotowego (przesuw łańcucha "w dół")

ładom o wartości średniej \bar{M} i wariancji σ^2 , dla których rozkład gęstości prawdopodobieństwa wynosi:

$$g(M_{\max})_{\min} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(M - \bar{M})^2}{2\sigma^2}}$$

Parametry \bar{M} i σ wyznacza się na podstawie siatki prawdopodobieństwa, na której odcięta X odpowiada wartości zmiennej losowej w punkcie przecięcia linii prostej dystrybucyjnej z poziomem $P = 50\%$. Natomiast wartość σ oblicza się na podstawie skal funkcyjnych siatki prawdopodobieństwa:

$$\sigma = \frac{M - \bar{M}}{U_F} = \frac{41,1}{K_M} \operatorname{ctg} \alpha$$

gdzie:

M - wartość zmiennej losowej danego ekstremum,

U_F - kwantyl rozkładu normalnego,

$K_M = \frac{L}{\Delta M}$ - skala funkcyjna zmiennej losowej M ,

L - szerokość wykresu mm,

$\Delta M = M_{\max} - M_{\min}$ - obszar zmienności zmiennej losowej M w szerokości wykresu L ,

α - kąt nachylenia linii rozkładu na danej siatce prawdopodobieństwa.

Dla siatki z rys. 7:

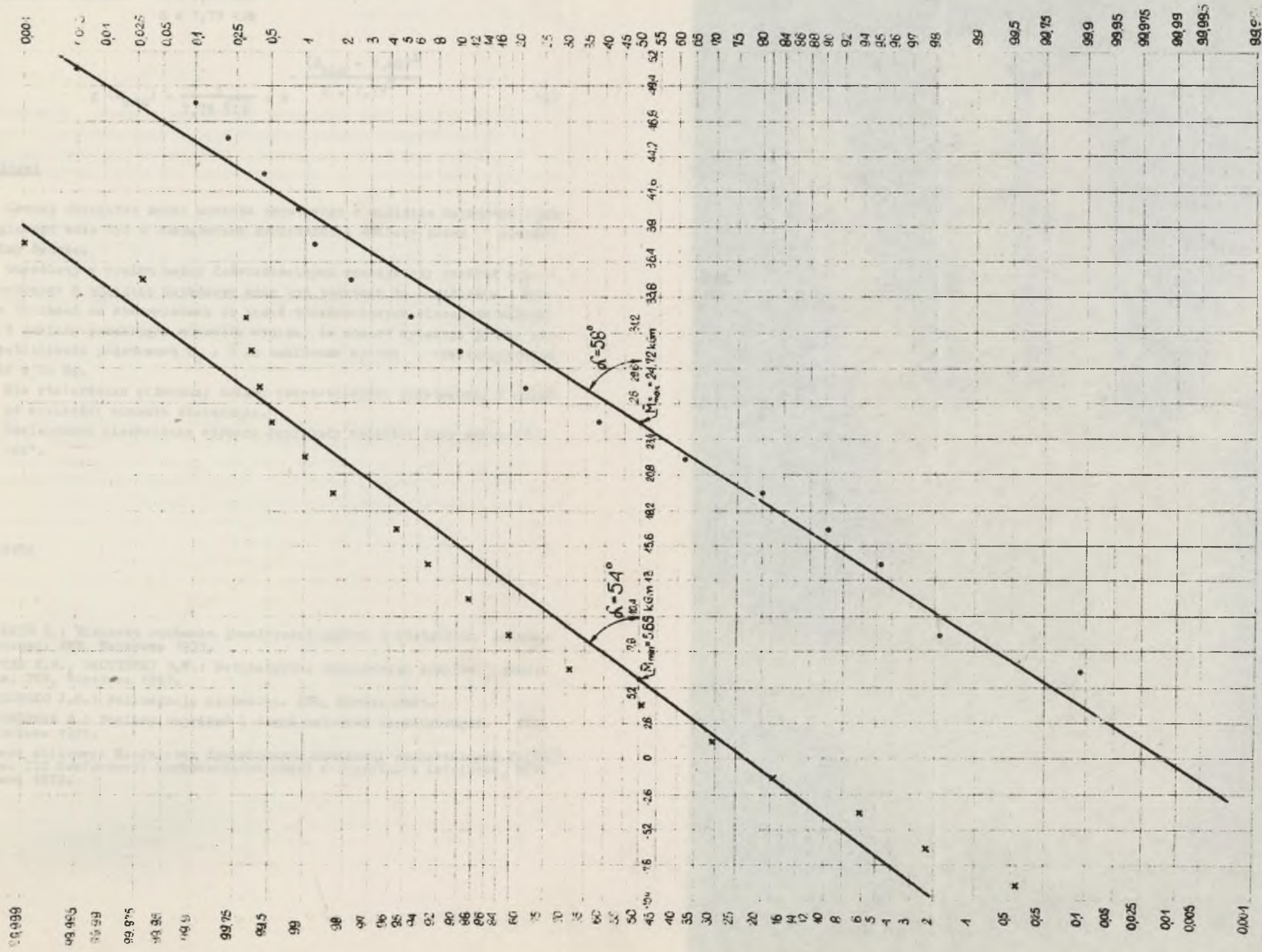
$$K_M = \frac{L}{\Delta M} = \frac{239}{62,4} = 3,83 \frac{\text{mm}}{\text{kGm}}$$

Parametry i gęstość rozkładu ekstremów wynoszą dla ruchu "w dół":

- rozkład maksimum: $\bar{M} = 24,72 \text{ kGm}$

$\sigma = 6,70 \text{ kGm}$

$$g(M_{\max}) = \frac{1}{6,7 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(M_{\max} - 24,72)^2}{2 \cdot 6,7^2}} \quad (3)$$



o - rozkład maksymów cykli momentu
 x - rozkład minimumów cykli momentu

rys. 7. Rozkład maksymów i minimumów cykli zmian momentu obrotowego na siatce prawdopodobieństwa rozkładu normalnego przy pracy struga "w 361"

- rozkład minimów: $\bar{M} = 5,65 \text{ kGm}$
 $G = 7,79 \text{ kGm}$

$$g(M_{\min}) = \frac{1}{7,79 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(M_{\min} - 5,65)^2}{2 \cdot 7,79^2}} \quad (4)$$

Wnioski

1. Losowy charakter zmian momentu obrotowego w układzie napędowym struga węglowego może być z dostateczną dokładnością opisany przez rozkład normalny Gaussa.

2. Określony w wyniku badań doświadczalnych rzeczywisty rozkład momentu obrotowego w układzie napędowym może być podstawą do określenia programów obciążeń na stanowiskach do badań trwałościowych elementów układu.

3. Z analizy przebiegów momentów wynika, że moment wykazuje prawie stałą częstotliwość podstawową $f_1 = 3 \text{ Hz}$ zakłóconą wyższą częstotliwością $f_2 = 60 \div 70 \text{ Hz}$.

4. Nie stwierdzono widocznej zmiany częstotliwości podstawowej w zależności od wielkości momentu obciążenia.

5. Stwierdzono nieznacznie większe amplitudy momentów przy pracy struga "w dół".

LITERATURA

- [1] HELWIG Z.: Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. PWN, Warszawa 1971.
- [2] GUTER R.S., OWCZYŃSKI B.W.: Matematyczne opracowanie wyników pomiarów. PWN, Warszawa 1967.
- [3] PANOWSKO J.G.: Nelinejnaja mechanika. JYL, Moskwa 1961.
- [4] ZIMMERMAN R.: Pomiary naprężeń i drgań metodami elektrycznymi. PWN, Warszawa 1959.
- [5] Praca zbiorowa: Miernictwo dynamicznych wielkości mechanicznych. Zbiór prac III Konferencji Naukowo-Technicznej w Instytucie Lotnictwa, Warszawa 1972.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПРИВОДНОЙ СИСТЕМЫ
УГОЛЬНОГО СТРУГА ТИПА СВС-4

Р е з ю м е

В работе показано опыт определения фактической нагрузки элементов приводной системы добычной машины. Показано метод и ход испытания, а полученные результаты разработано статически с целью использования их при составлении программы нагрузок для испытаний пунктов элементов приводной системы.

REAL LOAD INVESTIGATIONS OF THE POWER TRANSMISSION SYSTEM IN A COAL
PLOWCH OF SWS-4 TYPE

S u m m a r y

In the work it has been presented an attempt to determine the real load of power transmission system elements in coal winning devices. The method and the course of investigations have been given; the results have been worked out statistically in order to utilize them for making load program in stand tests of power transmission system elements.