

Tadeusz GIZA  
Marek JASZCZUK  
Piotr SOBOTA

#### METODYKA OKREŚLANIA STATECZNOŚCI KOMBAJNÓW CHODNIKOWYCH

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono algorytm postępowania przy określaniu stateczności kombajnów chodnikowych. Dla charakterystycznych przypadków obciążenia kombajnu, przy których należy sprawdzić jego stateczność, podano schematy obciążenia i równania momentów wywracających. Przedstawiono również metodę sprawdzania ciernego podwozia gąsienicowego kombajnu chodnikowego ze spągkiem.

#### 1. Wstęp

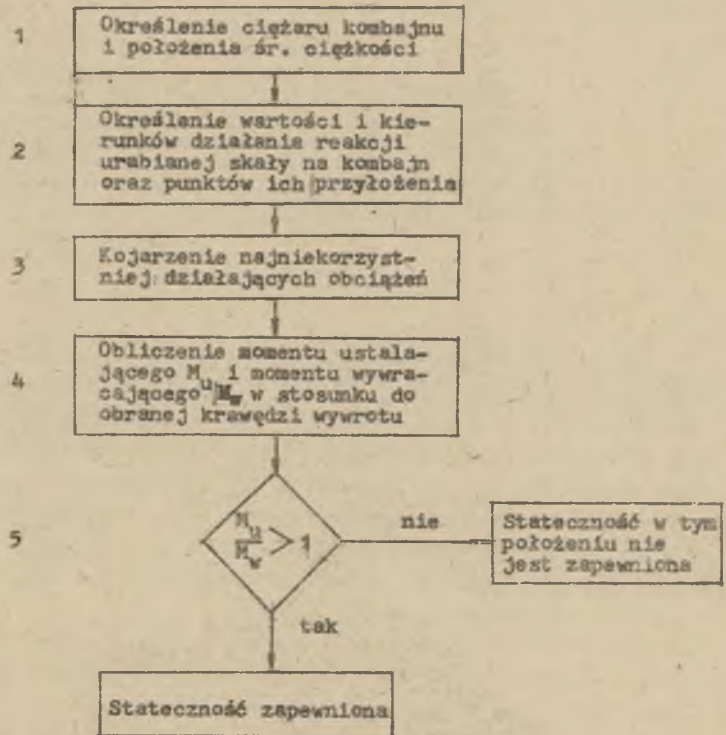
Maszyny górnicze pracują w bardzo trudnych warunkach eksploatacyjnych. Warunki te zmieniają się w trakcie pracy maszyn w bardzo szerokim zakresie. Bardzo ważne jest zatem przestrzeganie odpowiednich wymogów związanych z charakterystyką maszyn. Stosowanie maszyn w dopuszczalnych dla nich warunkach eksploatacji zapewnia odpowiednią niezawodność tych maszyn oraz co jest z tym związane, dużą wydajność, a także trwałość techniczną. Charakterystyka techniczna kombajnów chodnikowych podaje następujące parametry techniczne, ograniczające warunki górniczo-geologiczne, w których kombajny mogą być zastosowane [1, 2] są to:

- urabialność skały podawana w postaci energetycznego wskaźnika związłości /wg Protodiakonowa/, względnie maksymalnej wytrzymałości skały na ściskanie,
- nacisk jednostkowy na podłoże
- maksymalne nachylenie wyrobiska.

Bardzo ważną sprawą jest zapewnienie stateczności kombajnu w czasie pracy, gdyż jest to warunek zapewniający poprawną pracę maszyny, dużą wydajność oraz bezpieczeństwo pracy. W związku z tym należy dokonać obliczeń sprawdzających stateczność pracy kombajnu chodnikowego w danych warunkach oraz sprawdzić, czy spełniony jest warunek sprzężenia ciernego kombajnu z podłożem, a także wyznaczyć maksymalne naciski kombajnu na spąg.

## 2. Sprawdzenie stateczności kombajnów chodnikowych

Stateczność kombajnu chodnikowego należy sprawdzić zarówno przy wzdłużnym położeniu zespołu urabiającego jak również przy położeniu poprzecznym, tzn. przy wychylonym ramieniu w płaszczyźnie poziomej. Stateczność kombajnu chodnikowego należy sprawdzić także w trakcie wznoszenia się kombajnu w caliznę [2]. Dla wszystkich tych przypadków stosuje się algorytm postępowania przedstawiony na rys.1.



Rys. 1. Algorytm postępowania przy określaniu stateczności

### 2.1. Określenie środka ciężkości kombajnu

Określając położenie środka ciężkości kombajnu chodnikowego należy pamiętać, że jest ono zmienne w związku z obrotem zespołu urabiającego kombajnu wraz z łożem i obrotnicą w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Należy wyznaczyć więc tor, po jakim przemieszcza się środek ciężkości w trakcie zmiany położenia zespołu urabiającego, aby można było określić w każdym konkretnym ustawieniu organu urabiającego położenie środka ciężkości.

Dla określenia toru przemieszczania środka ciężkości należy dokonać podziału kombajnu na proste elementy, których położenie środka ciężkości

jest znane oraz opisać zmianę ich położenia w stosunku do obranej osi. Najwygodniejszy wydaje się być podział pokrywający się z podziałem na zespoły i podzespoły kombajnu, takie jak: podwozie gąsienicowe, nadwozie, ładowarka łapowa, obrotnica, ramię wychylne, zespół urabiający itp.

## 2.2. Określenie sił działających na organ urabiający

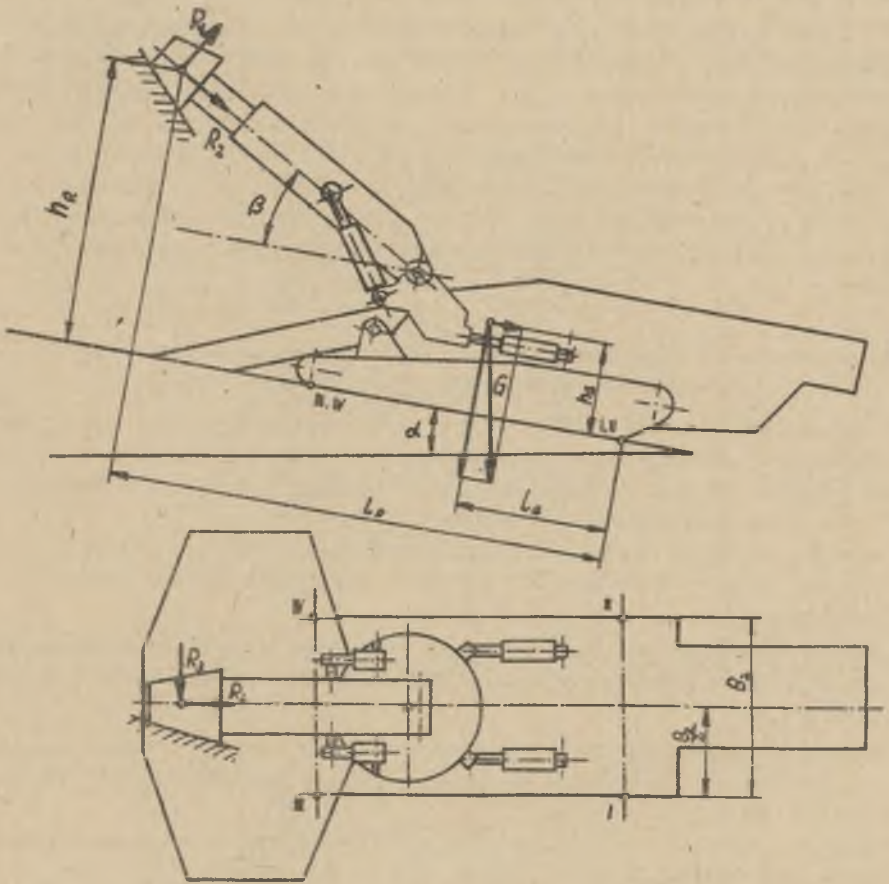
Wartości reakcji urabianej skały na kombajn będą zależały od wielu czynników, z których najważniejsze to urabialność skały oraz cechy geometryczne organu urabiającego, a więc liczba, układ oraz rodzaj noży urabiających, kształt organu itp. Wykorzystując powyższe dane można określić reakcje skały. Maksymalne wartości tych reakcji można również ustalić biorąc pod uwagę moc silników napędzających organ urabiający. Przy ustaleniu reakcji skały należy brać pod uwagę również siły wynikające z działania siłowników hydraulicznych podnoszenia i obrotu ramienia wraz z zespołem urabiającym.

## 2.3. Kojarzenie najniekorzystniejszego, z punktu widzenia stateczności kombajnu chodnikowego, układu sił działających na kombajn

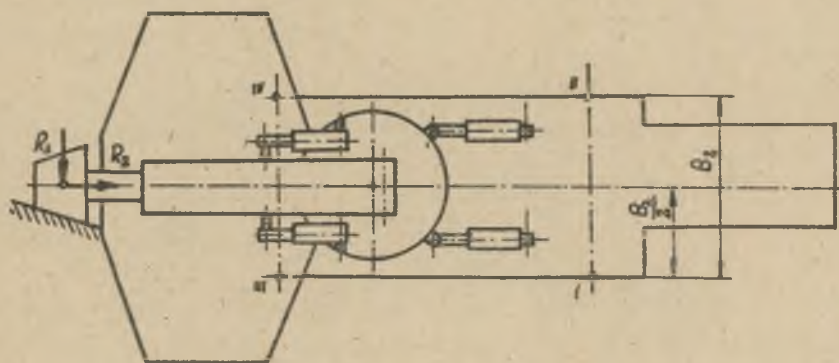
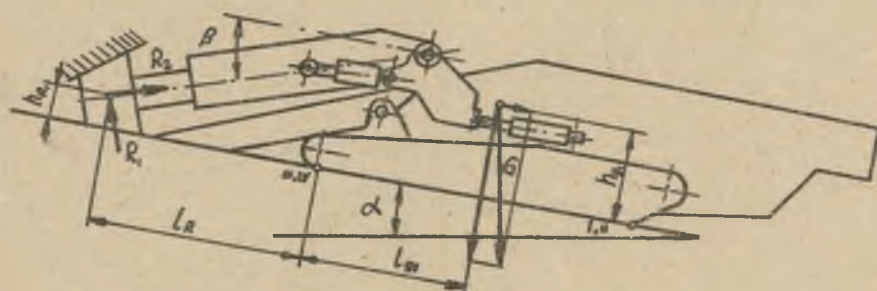
Sposób postępowania będzie różny w zależności od przypadku pracy kombajnu oraz od płaszczyzny, w której rozpatrywać będziemy stateczność kombajnu. Możemy wyróżnić następujące charakterystyczne układy działających sił, dla których sprawdzamy stateczność:

- a/ zespół urabiający znajduje się w osi wzdłużnej kombajnu w skrajnym górnym położeniu i stateczność określamy względem krawędzi wyrotu I - II /rys. 2a/;
- b/ zespół urabiający znajduje się w osi wzdłużnej kombajnu w skrajnym górnym położeniu i stateczność określamy względem krawędzi wyrotu I-III /rys. 2a/;
- c/ zespół urabiający znajduje się w osi wzdłużnej kombajnu w skrajnym dolnym położeniu i stateczność określamy względem krawędzi wyrotu III - IV /rys. 2b/;
- d/ zespół urabiający wcina się w calinę i stateczność kombajnu rozpatruje się względem krawędzi wyrotu I - II /rys. 2a/;
- e/ zespół urabiający znajduje się w skrajnym bocznym położeniu i stateczność rozpatruje się względem krawędzi wyrotu I - III /rys. 2e/;
- f/ zespół urabiający znajduje się w bocznym położeniu i stateczność określamy względem krawędzi wyrotu I - II /rys. 2c/.

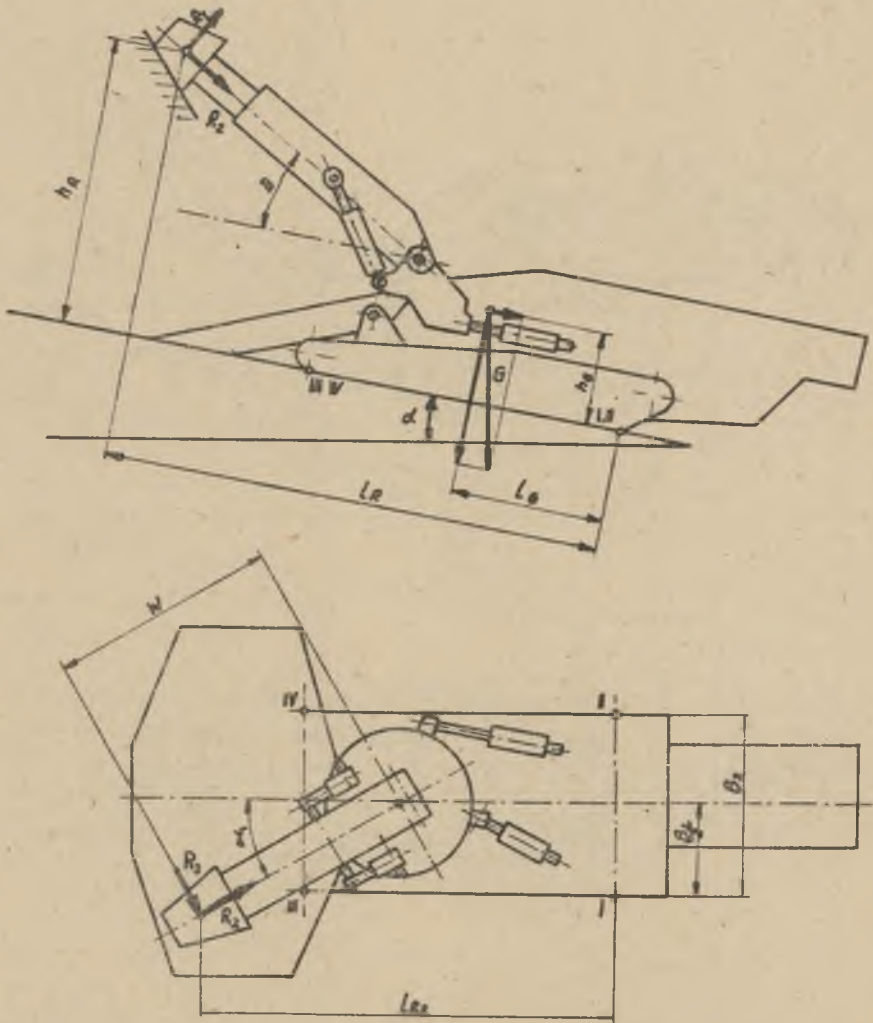
Niektóre charakterystyczne przypadki skojarzenia obciążeń pokazano na rys. 2a, 2b, 2c, przedstawiających ogólny model obliczeniowy stateczności kombajnu chodnikowego zarówno dla przypadku, gdy kombajn wyposażony jest w organ urabiający o osi obrotu prostopadłej jak i równoległej do płaszczyzny czoła przodku.



Rys. 2a. Charakterystyczne przypadki obciążenia kombajnu chodnikowego w czasie pracy  
 a/ zespół urabiający kombajnu w osi wzdłużnej  
 w skrajnym górnym położeniu



Rys. 2b. Charakterystyczne przypadki obciążenia kombajnu chodnikowego w czasie pracy  
b/ zespół urabiający kombajnu w osi wzdłużnej w skrajnym dolnym położeniu



Rys. 2c. Charakterystyczne przypadki obciążenia kombajnu chodnikowego w czasie pracy  
c/ zespół urabiający w skrajnym bocznym położeniu

## 2.4. Określenie momentu ustalającego i momentu wywracającego

Moment ustalający, będący funkcją ciężaru kombajnu i położenia jego środka ciężkości oraz moment wywracający, będący funkcją reakcji działających na kombajn i ich położenia, liczymy względem tej samej krawędzi wywrotu, położenie której dla poszczególnych układów obciążenia zaznaczono na rys. 2a, 2b, 2c. Dla poszczególnych charakterystycznych układów działających sił /rys. 2a, 2b, 2c/ równania określające momenty wywracające mają następującą postać:

$$a/ \quad M_w = R_1 \cos \beta l_R + R_1 \sin \beta h_R + R_2 \cos \beta h_R + G \sin \alpha h_g \quad /1/$$

$$M_u = G \cos \alpha l_g + R_2 \sin \beta l_R \quad /2/$$

$$b/ \quad M_w = R_3 h_R + R_1 \cos \beta \frac{B_2}{2} \quad /3/$$

$$M_u = G \cos \alpha \frac{B_2}{2} + R_2 \sin \beta \frac{B_2}{2} \quad /4/$$

$$c/ \quad M_w = R_1 \cos \beta l_{R_1} \quad /5/$$

$$M_u = G \cos \alpha \cdot l_{g_1} + G \sin \alpha \cdot h_g + R_1 \sin \beta \cdot h_{R_1} + R_2 \sin \beta \cdot l_{g_1} + R_2 \cos \beta \cdot h_R \quad /6/$$

$$d/ \quad M_w = R_2 \cos \beta h_R + G \sin \alpha h_g \quad /7/$$

$$M_u = G \cos \alpha l_g + R_2 \sin \beta l_R \quad /8/$$

$$e/ \quad M_w = [R_1 \cos \beta + R_2 \sin \beta // w \sin \gamma - \frac{B_2}{2} / + R_3 \cos \gamma h_R \quad /9/$$

$$M_u = G \cos \alpha \frac{B_2}{2} + R_2 \cos \beta \sin \gamma h_R + R_1 \sin \beta \sin \gamma h_R \quad /10/$$

$$f/ \quad M_w = R_3 \sin \gamma h_{R_2} + R_1 \sin \beta \cos \gamma h_{R_2} + R_2 \cos \beta \cos \gamma h_{R_2} + G \sin \alpha h_g \quad /11/$$

$$M_u = G \cos \alpha l_g + R_1 \cos \beta l_{R_2} + \sin \beta l_{R_2} R_2 \quad /12/$$

## 2.5. Określenie stosunku momentu ustalającego do wywracającego

W przypadku, gdy stosunek ten jest większy od jedności, stateczność kombajnu jest zapewniona. Natomiast w przeciwnym przypadku należy na kombajn nałożyć dodatkowe więzy w płaszczyźnie, w której stateczność nie jest zachowana, ograniczyć wartości reakcji skał działających na kombajn lub ograniczyć ramię działania reakcji względem rozpatrywanej krawędzi wywrotu. Można to uzyskać np. poprzez zastosowanie dodatkowych rozpór, niewykorzystywanie pełnej mocy silników, ograniczanie sił występujących w siłownikach hydraulicznych lub ograniczenie maksymalnych wychyleń ramienia kombajnu.

### 3. Sprawdzenie spełnienia warunku sprzężenia ciernego



Rys. 3. Tory organu urabiającego w czasie drażenia chodnika

Na rys. 3 przedstawiono kilka przykładowych sposobów drażenia chodników o różnych przekrojach. Należy sprawdzić czy moment reakcji oddziaływania skały na organ urabiający przy ruchu organu w płaszczyźnie poziomej, liczony w stosunku do osi OZ /rys.4/ nie przekracza momentu sprzężenia ciernego kombajnu ze spągkiem.

Aby praca kombajnu w przodku przebiegała prawidłowo, spełniany musi być warunek:

$$M_t > M \quad /13/$$

gdzie:

$M_t$  - moment sprzężenia ciernego,

$M$  - moment obracający.

Moment sprzężenia ciernego wyznaczamy w sposób następujący. Zakładając że ślad zetknięcia się kombajnu chodnikowego ze spągkiem ma kształt 2 prostokątów, a składowa pionowa wypadkowej wszystkich sił działających na kombajn przechodzi przez środek układu współrzędnych O, to elementarne pole powierzchni styku kombajnu ze spągkiem wynosi:

$$dF = dx \cdot dy \quad /14/$$

a elementarny moment sprzężenia ciernego:

$$dM_t = dF p \mu \cdot \rho \quad /15/$$

gdzie:

$p$  - nacisk kombajnu na podłoże

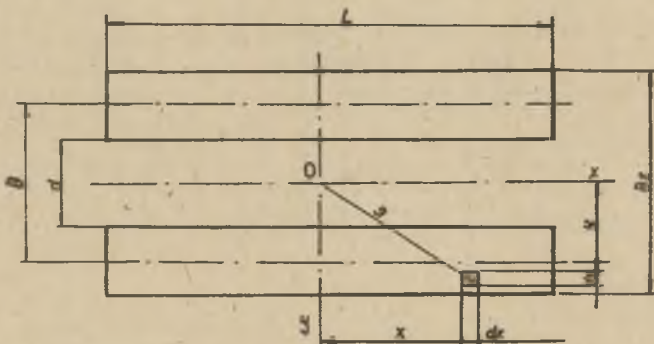
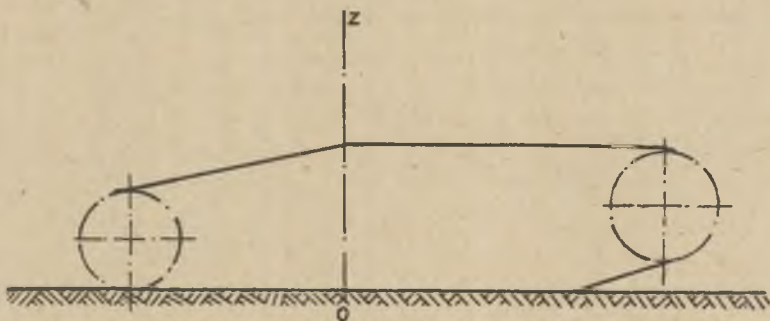
$\mu$  - liczba sprzężenia ciernego gąsienic ze spągkiem

$\rho$  - promień, określający położenie elementarnego pola powierzchni styku kombajnu ze spągkiem



$$s = \sqrt{x^2 + y^2} \quad /16/$$

$$dM_c = p \mu \sqrt{x^2 + y^2} dx dy \quad /17/$$



Rys.4. Schemat do obliczenia momentu sprężenia ciernego

Całkowity moment sprężenia ciernego obliczamy całkując w granicach odpowiadających polu styku kombajnu z podłożem.

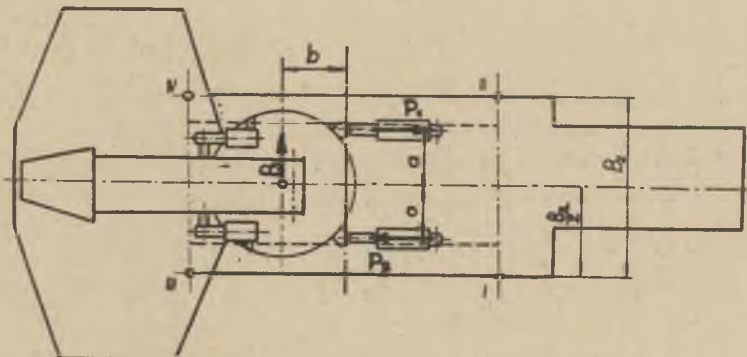
Przyjmując stałą wartość liczby tarcia oraz przyjmując wartość średnią nacisku kombajnu na spąg otrzymujemy:

$$M_c = 4 \mu p \int_0^{B/2} \int_0^{L/2} \sqrt{x^2 + y^2} dx dy - \int_0^{d/2} \int_0^{l/2} \sqrt{x^2 + y^2} dx dy \quad /18/$$

Po scałkowaniu otrzymujemy:

$$M_t = \frac{4d}{12} \left[ (2 l B_2 \sqrt{l^2 + B_2^2} + l^3 \ln \frac{B_2 + \sqrt{l^2 + B_2^2}}{l} + \right. \\ \left. + B_2^3 \ln \frac{1 + \sqrt{l^2 + B_2^2}}{B_2} \right) - (2ld \sqrt{l^2 + d^2} + l^3 \ln \frac{d + \sqrt{l^2 + d^2}}{l} + \\ \left. + d^3 \ln \frac{1 + \sqrt{l^2 + d^2}}{d} \right) \quad /19/$$

Moment obracający oblicza się w sposób następujący /rys.5/:



Rys. 5. Schemat do obliczenia momentu obracającego

$$M = a / P_1 + P_2 / + b \cdot P_3 \quad /20/$$

gdzie:

- $P_1, P_2, P_3$  - siły oddziaływania obrótki na podwozie
- $a$  - odległość sił  $P_1, P_2$  od osi obrotu  $OZ$ ,
- $b$  - odległość osi obrótki od osi obrotu  $OZ$ .

Po obliczeniu momentów sprzężenia ciernego i obracającego sprawdzamy warunek sprzężenia ciernego kombajnu chodnikowego ze spągłem /13/. W przy-

padku niespełnienia warunku należy zastosować dodatkowe więzy zabezpieczające przed obrotem podwozia lub ograniczyć moment obracający poprzez zmniejszenie sił  $P_1$  i  $P_2$ .

### Zakończenie

Przed zastosowaniem kombajnu chodnikowego w konkretnych warunkach górniczo-geologicznych należy sprawdzić:

- stateczność kombajnu,
- warunek sprzężenia cierniego podwozia gąsienicowego ze spągłem.

W przypadku gdy któryś z wyżej wymienionych warunków nie jest spełniony, należy poczynić przedsięwzięcia w celu zapewnienia prawidłowej pracy kombajnu. Spełnienie tych warunków zapewnia bezpieczniejszą pracę w przodku oraz wpływa na zwiększenie trwałości i wydajności maszyny.

### LITERATURA

- [1] Братченко В.Ф./ред./ - Машины и оборудование для проведения горизонтальных и наклонных горных выработок, "Недра", Москва 1975.
- [2] Топчижев А.В. /ред./ - Горные машины и комплексы, "Недра", Москва 1971.
- [3] Бѣбен А. і inni.: Maszyny do kompleksowej mechanizacji przodków w kopalniach podziemnych PWN, Warszawa, Kraków 1973.

### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ

#### Резюме

В статье дается алгоритм расчетов по определению устойчивости проходческих комбайнов. Для характеристических случаев нагрузка комбайна при которых следует проверять его устойчивость даются схемы нагрузки и уравнения опрокидывающих моментов. Приводится также метод проверки условий фрикционной связи гусеничного шасси проходческих комбайнов с почвой.

## METHODS OF DETERMINING STABILITY OF HEADING CUTTERS

**Summary**

An algorithm has been presented for the procedure of determining stability of heading cutters. Load schemes and turn over moment equations have been provided for characteristic cases requiring stability check-ups. Also, a method of testing friction grip tractability of the heading cutter caterpillars has been shown.