ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: GÓRNICTWO z. 52 Nr kol. 332

Sylwester Frączek, Henryk Kostrzewa

STATYCZNE OPORY RUCHU I PROBLEM PRZYCZEPNOŚCI CIERNEJ W PODWIESZONYCH NAPĘDACH SAMOJEZDNYCH

Streszczenie. Artykuł omawia podstawowe problemy obliczeniowe statycznych oporów ruchu kolejek podwieszonych i podaje ogólne kryteria optymalnego doboru materiałów stanowiących parę cierną.

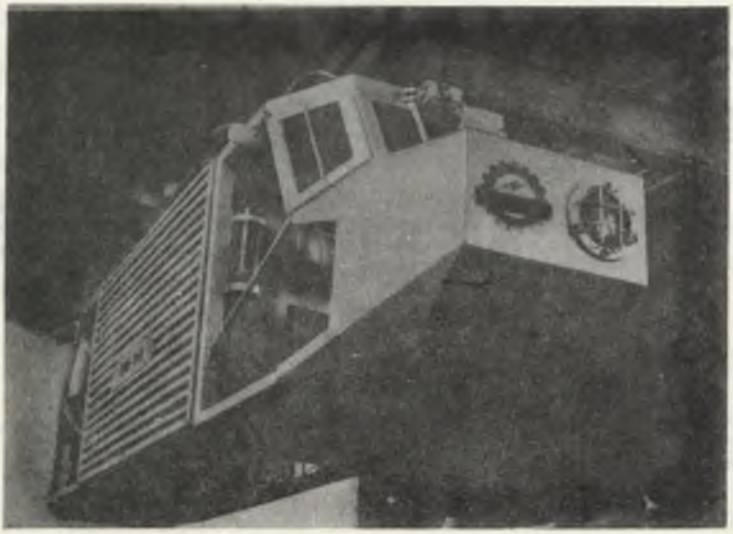
1. Wstęp

Kompleksowa mechanizacja procesów wydobywczych w górnictwie dołowym wymaga wprowadzenia nowoczesnych i bardziej niezawodnych maszyn i urządzeń do transportu pomocniczego.

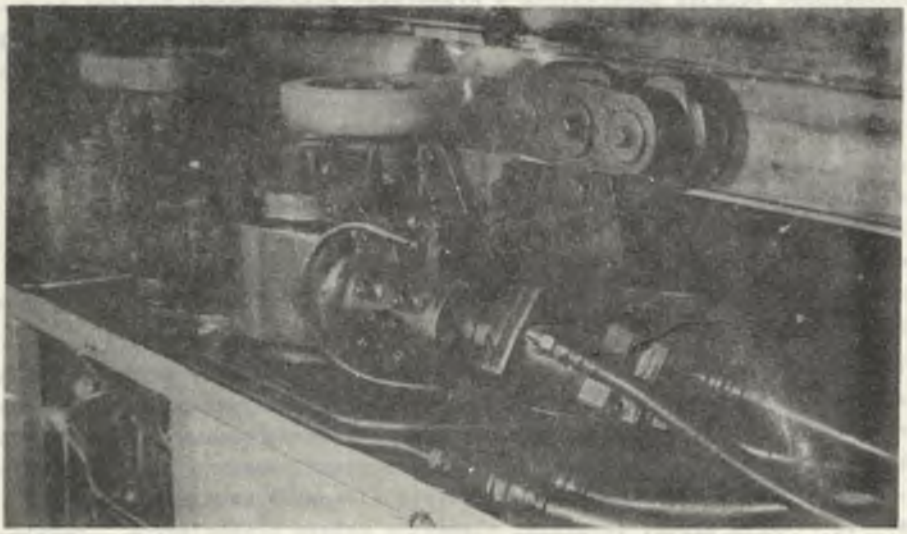
Wydobycie w kopalni w znacznej mierze zależy od systematycznej dostawy do przodków wydobywczych niezbędnych materiałów, maszyn i załogi. Transport tych materiałów w samym oddziale wydobywczym pochłania wiele kosztów i wymaga znacznego wysiłku fizycznego. W celu wyeliminowania tych niekorzystnych zjawisk, do transportu pomocniczego w oddziałach zastosowano jednoszynowe kolejki podwieszone z ciągnikami samojezdnymi. Kolejki te zostały w ostatnich latach znacznie zmodernizowane i przystosowane do specyficznych warunków dołu kopalni i znajdują coraz większe uznanie jako dobry środek mechanizacji transportu pomocniczego.
Do głównych zalet kolejek jednoszynowych należą:

- niewielkie gabaryty,
- możliwość doprowadzenia trasy bezpośrednio do przodka,
- łatwość podwieszania palet, platform, wagoników itp.,
- możliwość omijania przeszkód leżących na spągu,
- równoległa współpraca z innymi urządzeniami w jednym chodniku, np. z przenośnikiem taśmowym.

Potrzeby w transporcie oddziałowym są bardzo zróżnicowane, gdyż wynikają z szerokiego asortymentu przewożonych materiałów, których dostawa często przebiega po bardzo skomplikowanych trasach. Transportowane materiały różnią się także znacznie między sobą tak gabarytami, masami, jak i ilościowo. Stosunkowo najwięcej transportuje się elementów obudowy drewnianej i stalowej różnych typów, okładzin, elementów maszyn urabiających, ładujących oraz elementów przenośników. Często także transportuje się rury, lutnie, urządzenia wentylacyjne, szyny i elementy torów, liny i części zamienne do maszyn, płótno podsadzkowe oraz inny sprzęt i materiały. Większość materiałów kierowana jest do wyrobisk ścianowych wymaga więc transportowania chodnikami nadścianowymi, podścianowymi lub pośrednimi.



Rys. 1. Ciągnik spalinowy jednoszynowej kolejki podwieszonej



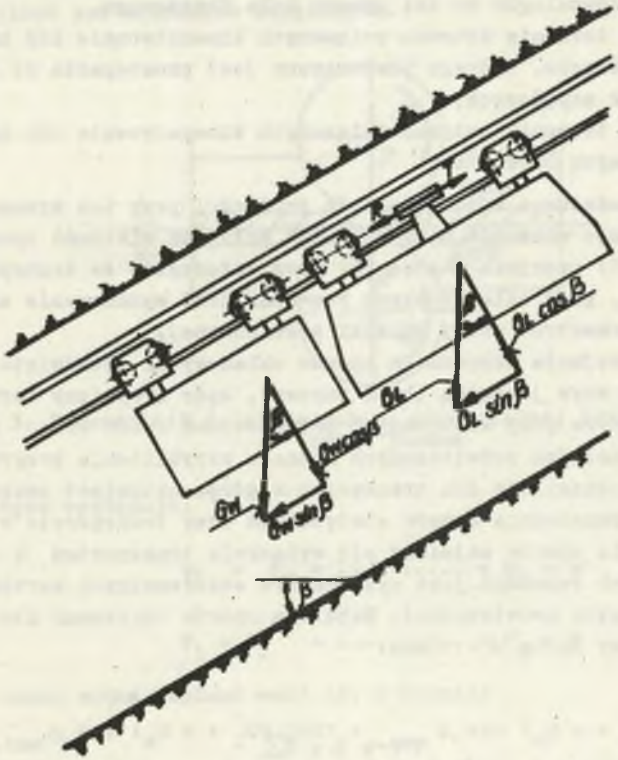
Rys. 1a. Przekładnia cierna ciągnika

Największe nachylenie wyrobisk transportowych rzadko przekracza 30° i wyrobisk tych jest niewiele.

Najczęściej średnie nachylenie dróg transportowych w kopalniach wynosi 5-20°, a całkowita ich długość dochodzi nawet do 3 km.

Jak więc widzimy, samojezdny ciągnik kolejki podwieszonej spełniać musi bardzo zróżnicowane zadania i jego konstrukcja musi odpowiadać wielu wymaganiom. Poważną trudnością w konstrukcji takiego ciągnika jest określenie jego mocy oraz wytworzenie i przenoszenie znacznych sił przyczepności między szyną jezdną i kołem napędowym (krążnikiem) przy założeniu jak najmniejszej masy i gabarytów ciągnika. Ciągnik taki spełniać musi także wiele innych wymogów takich jak: pokonywanie krzywizn w plonie i poziomie oraz rozjazdów, oczyszczanie spalin, bezpieczne przewożenie ludzi, sygnalizacja i hamowanie dużych mas zwłaszcza na upadach.

2. Statyczne opory ruchu kolejek podwieszonych



Rys. 2. Schemat sił działających na kolejkę w upadowej

Statyczne opory ruchu kolejki podwieszonej można wyrazić następującym równaniem:

$$R = f(G_1 + nG_w)\cos\beta \pm 1000(G_1 + nG_w)\sin\beta + R_d \quad [kG], \qquad (1)$$

gdzie:

- f - współczynnik oporów toczenia krążków nośnych ($\frac{kG}{T}$),
- G_1 - ciężar lokomotywy (T)
- G_w - ciężar wagonu z ładunkiem (T),
- β - kąt nachylenia prowadnicy kolejki (szyny jezdnej) (^{o}),
- n - ilość wozów,
- R_d - opory dodatkowe, które obejmują:
  1) opory toczenia kół napędowych,
  2) opory występujące przy nierównoległości płaszczyzny obrotu kół napędowych i nośnych do kierunku ruchu kolejki,
  3) opory toczenia kół napędowych na zakręcie płaszczyzna którego jest równoległa do osi obrotu koła napędowego,
  4) opory toczenia sztywno związanych kinematycznie kół napędowych na zakręcie, którego płaszczyzna jest prostopadła do osi obrotu kół napędowych,
  5) opory toczenia sztywno związanych kinematycznie kół napędowych o różnych średnicach.

Ponieważ opory dodatkowe stwarzają duże trudności przy ich wyznaczaniu, a dostępne publikacje wykazują niewielki ich wpływ na wielkość oporów statycznych, wzór (1) przyjmie postać (2) przy założeniu, że transport przebiega w upadowej, gdyż celem naszych rozważań jest wyznaczenie ekstremalnych wartości parametrów pracy kolejki podwieszonej.

Formuła ta nie obejmuje wszystkich oporów składowych, pominięto w niej: opór odkształceń szyn jezdnych (opór torowy), opór krzywizny toru oraz opór powietrza, które przy stosowanych prędkościach ruchu oraz konstrukcjach zawieszeń kolejek podwieszonych można w przybliżeniu przyrównać do zera. Znak plus odnosi się dla transportu w górę, natomiast znaku minus użyjemy w celu wyznaczenia oporów statycznych przy transporcie w dół.

W dalszej analizie oporów zajmiemy się wyłącznie transportem w upadowej, gdyż celem naszych rozważań jest wyznaczenie ekstremalnych wartości parametrów pracy kolejki podwieszonej. Maksimum oporów otrzymamy dla transportu w upadowej przy kącie $\beta = \beta_{max}$.

$$R_{max.} = f\,(G_1 + n\,G_w)\cos\beta_{max.} + 1000\cdot(G_1 + n\,G_w)\sin\beta_{max.} \qquad (2)$$

Opory te w ruchu ustalonym równoważone są przez siłę przyczepności, którą można określić wg wzoru:

$$T = \psi \cdot P \tag{3}$$

ψ - współczynnik przyczepności dla materiałów pary ciernej prowadnica - krążnik napędowy,

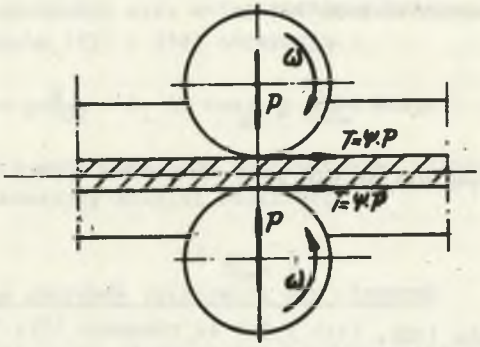
P - nacisk krążnika na prowadnicę.

Przy zastosowaniu n napędów można napisać wzór na sumaryczną siłę przyczepności (zgodnie z rysunkiem 3)

$$\sum T = \sum_{i=1}^{n} \psi_i P_i \tag{4}$$

$\sum T$ - sumaryczna siła przyczepności dla lokomotywy,

i - ilość par krążników napędowych.



Rys. 3. Schemat sił działających na parę cierną; krążniki napędowe - szyna jezdna

W praktyce występuje:

$$\psi_1 = \psi_2 = \ldots\ldots\ldots\ldots = \psi_n = \psi$$

oraz

$$P_1 = P_2 = \ldots\ldots\ldots\ldots = P_n = P$$

Wobec czego można napisać wzór (4) w formie:

$$\sum T = 2\, n\, \psi P \tag{5}$$

W ruchu ustalonym, czyli jednostajnym występuje równość siły przyczepności i maksymalnych oporów statycznych

$$R_{max.} = \sum T \tag{6}$$

$$f\,(G_1 + n\,G_w)\cos\beta_{max.} + 1000\,(G_1 + n\,G_w)\sin\beta_{max.} = 2\,n\,\psi\,P \qquad (7)$$

Z wzoru tego można wyznaczyć wymaganą wartość współczynnika przyczepności przy n napędach o sile docisku krążników do prowadnicy P

$$\psi = \frac{(G_1 + nG_w)\,.\,(f\cos\beta_{max.} + 1000\sin\beta_{max.})}{2\,nP} \qquad (8)$$

Moc potrzebną do pokonania oporów statycznych przy dowolnej prędkości jazdy określa znany wzór:

$$N = \frac{P_o\,.\,v}{102} \quad (kW) \qquad (9)$$

P_o - siła obwodowa [kG]
v - prędkość ruchu kolejki $\left[\frac{m}{s}\right]$

W tym przypadku siła P_o przedstawia sumaryczną wartość sił przyczepności działających na krążniki napędowe.

Wobec powyższego:

$$\sum T = P_o \qquad (10)$$

W ruchu ustalonym suma sił tarcia jest równoważna przez statyczne opory ruchu

$$R = \sum T \qquad (11)$$

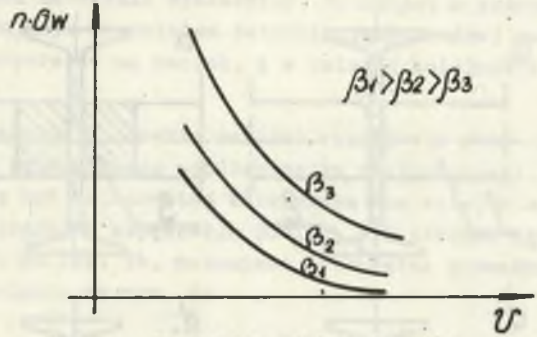
Podstawiając równania (10), (11) i (1) do równania (9), otrzymujemy następującą zależność:

$$N = \frac{(G_1 + nG_w)(f\cos\beta = 1000\sin\beta)\,v}{102} \quad [kW] \qquad (12)$$

Maksymalną wartość mocy potrzebną do pokonania oporów ruchu można wyznaczyć z wzoru (12) podstawiając $v = v_{max}$ i $\beta = \beta_{max.}$ Z wzoru (12) można wyznaczyć także dopuszczalną wartość obciążenia nG_w kolejki podwieszonej

$$nG_w = \frac{N}{v\,(102\,(f\cos\beta + 1000\sin\beta)} - G_1 \quad [T] \qquad (13)$$

Interpretację geometryczną tej funkcji przedstawia rys. 4. Wykres ten pozwala określić dopuszczalną wielkość obciążenia kolejki dla danych parametrów pracy kolejki podwieszonej.



Rys. 4. Charakterystyka ciągnika

Wartość siły uciągu lokomotywy (siła na haku) można określić wzorem:

$$S_n = nG_w\ (f\cos\beta + 1000\sin\beta)\quad [T] \tag{14}$$

Dla otrzymania zależności siły uciągu od danych parametrów pracy przekształcamy wyrażenia (13) i (14) otrzymując:

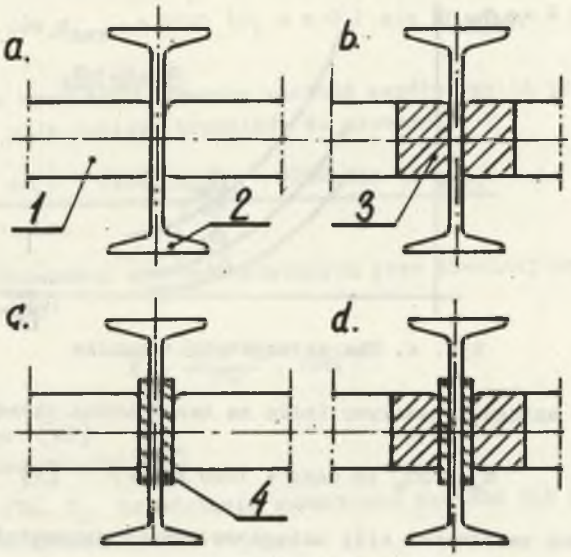
$$S_n = \frac{N}{v\ 102} - G_1\ (f\cos\beta + 1000\sin\beta)\quad [T] \tag{15}$$

Wzory (13), (14) i (15) pozwalają na praktyczne wyznaczenie charakterystycznych dla lokomotywy kolejki wielkości.

3. Ogólna analiza sposobów realizacji par ciernych

Praktyczne obliczenia wg wzoru (8) współczynnika przyczepności dla zalecanych optymalnych parametrów pracy kolejki podwieszonej dają stosunkowo duże wartości tego współczynnika w granicach 0,6 - 0,8.

Jest oczywistym - wynika to z wzoru (3) - że w przypadku stałej siły równoważącej statyczne opory ruchu; siła nacisku maleje wraz ze wzrostem współczynnika przyczepności. W związku z tym dążymy do osiągnięcia maksymalnej wartości współczynnika przyczepności, co oprócz możliwości pokonania dużych oporów statycznych ruchu, pozwala nam zastosować stosunkowo prosty i niezawodny układ napędowy. Ze względu na minimalizację sił działających w tym układzie istnieje tendencja do stosowania czterech sposobów realizacji pary ciernej (rys. 5).



Rys. 5. Sposoby realizacji pary ciernej
poz. 1 - Koło napędowe (krążnik), poz. 2 - Szyna jezdna (prowadnica), poz. 3 - Wykładzina koła napędowego, poz. 4 - Wykładzina szyny jezdnej

Rys. 5a. - przedstawia wariant pary ciernej bez zastosowania wykładziny zwiększającej współczynnik przyczepności. Zaletą tego sposobu realizacji pary ciernej jest prosta i tania budowa, jednakże ze względu na mały współczynnik przyczepności (stal po stali) wariant ten możemy stosować w przypadku kolejek mało obciążonych w sensie statycznych oporów ruchu, gdyż jak wykazują doświadczenia praktycznie stosując ten sposób sprężenia ciernego dla kolejek silnie obciążonych następuje stosunkowo szybkie rozwalcowanie powierzchni współpracujących pary ciernej, wskutek konieczności stosowania dużych sił docisku. Wiąże się to także z koniecznością nadmiernej rozbudowy układu dociskającego krążniki napędowe do prowadnicy.

Rys. 5b,c. - przedstawia schematycznie wariant II, który pozwala - dzięki zastosowaniu na krążniku lub prowadnicy wykładziny ciernej - osiągnąć dużo większą wartość współczynnika przyczepności, a zatem może być zastosowany w przypadku kolejek podwieszonych pracujących przy wyższych niż w poprzednim wypadku obciążeniach. W przypadku doboru materiału dla wariantu przedstawionego na rys. 5b, należy uwzględnić oprócz jego odpowiedniej odporności na nacisk i zużycie także bardzo ważną dla tego przypadku własność, jaką jest tłumienie energii, której miernikiem jest współczynnik tłumienia.

Współczynnik ten powinien być jak najmniejszy, gdyż wraz z jego wzrostem rośnie temperatura pracującej wykładziny, co prowadzi do zmian włas-

ności reologicznych materiału wykładziny. Natomiast w przypadku wariantu na rys. 5c, decydującym czynnikiem determinującym rodzaj materiału wykładziny jest jego odporność na nacisk, a w dalszej kolejności odporność na zużycie.

Rys. 5d. - przedstawia czwarty wariant realizacji pary ciernej,pozwalający na uzyskanie największego współczynnika przyczepności, a zatem sposób ten wydaje się być najbardziej korzystnym dla kolejek silnie obciążonych. Wykładzina krążnika napędowego powinna być dobrana zgodnie z kryteriami dla wariantu na rys. 5b, natomiast wykładzina prowadnicy zgodnie z kryteriami dla wariantu na rys. 5c.

4. Zakończenie

Analiza ekonomiczna oraz praktyka ruchowa powinny wskazać właściwy dla danych warunków sposób realizacji pary ciernej. Niecelowym i niemożliwym wydaje się skonstruowanie uniwersalnego urządzenia spełniającego wszystkie te tak różnorodne wymagania.
Wydaje się, że typoszereg ciągników o różnych mocach, pozwoli na dobór urządzenia w zależności od lokalnych warunków poszczególnych kopalń.

LITERATURA

1. J. Antoniak - Niektóre typy kolejek jednoszynowych stosowanych w górnictwie podziemnym. Projekty - problemy nr 5 1971 r.
2. Praca zbiorowa - Transport kopalniany cz. II - Przewóz.
3. Praca AGH - Lokomotywy i kolejki jednoszynowe z mechanizmem ciernym przystosowane do jazdy po stromych torach - etap I.
4. W.S. Biersieniew - Pierechodnyje reżimy raboty łokomotiwa z gładkimi wieduszczimi koliesami. Zapiski Leningradzkowo Gornowo Instituta Tom LX, wypusk 1, 1970.
5. W.S. Biersieniew - O razwitii samochodnych rielsowych transportnych ustrojstw s gładkimi wieduszczymi koliesami. Zapiski Leningradzkowo Gornowo Instituta Tom LX, wypusk 1, 1970.

СТАТИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМА ПРИЛИПАЕМОСТИ ФРИКЦИОННОЙ В ПОДВЕСНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ САМОХОДНЫХ

Р е з ю м е

Автор статьи обсуждает основные расчётные проблемы статических сопротивлений движения подвесных дорог и указывает общие критерии оптимального подбора материалов, представляющих собой фрикционную пару.

THE STATIC RESISTIVITY MOVEMENT AND QUESTION
TENACITY (COHESRON) RUBBING OF THE TO SUSPEND
SZELF - PROPELLED POVER-DRIVEN

S u m m a r y

The article contains fundamental calculating problems of the static resistance of suspension railway and gives the general criterions in optimum selections of a pair of friction materials.