

Alfred Carbogno

MOMENT ODKRĘTNY LINY WYCIĄGOWEJ

Streszczenie. Następnym ściągnięciem drutów w linie oraz technologii wykonania jest moment odkrętny występujący przy obciążeniu liny. Znajomość wartości momentu odkrętnego lin nośnych jest szczególnie ważna przy projektowaniu wyciągów szybowych z linowym prowadzeniem naczyń wydobywczych, ponieważ może on doprowadzić do ich wzajemnego skręcenia. Dowodem tego są przypadki z praktyki górniczej. Podano sposób teoretycznego obliczenia momentu odkrętnego lin, metody i wyniki badań oraz sposób uwzględnienia wpływu momentu odkrętnego na pracę przewodników linowych.

1. Wstęp

W ostatnich latach w kopalniach rudy, miedzi, soli oraz węgla oddano do eksploatacji kilka nowych wyciągów o jednej linie nośnej z linowym prowadzeniem naczyń wydobywczych. Podczas uruchamiania tych urządzeń napotkano na znaczne trudności, wynikające z przyjętych do projektowania założeń, że liny wielowarstwowe, szczególnie owalnosplotowe, są nieodkrętne. Trudności te wynikły z braku znajomości danych co do wielkości momentu odkrętnego krajowych lin wyciągowych. Pod wpływem obciążenia w śrubowo zwitej linie powstaje moment dążący do jej odkręcenia. W szybie z przewodnikami sztywnymi jest on równoważony z jednej strony reakcją w przewodnikach, a z drugiej reakcją sił tarcia w rowku bębna lub koła pędnego. W szybach z przewodnikami linowymi ze względu na ich elastyczność moment odkrętny może doprowadzić do ich wzajemnego skręcenia podczas eksploatacji. Takie przypadki wystąpiły w praktyce górniczej.

2. Teoretyczne obliczenie momentu odkrętnego liny wyciągowej

Na wielkość momentu odkrętnego liny wyciągowej mają wpływ: parametry konstrukcyjne liny (liczba drutów, kierunek zwichnięcia drutów i splotów, długości skoku), technologia jej wykonania oraz zewnętrzna siła rozciągająca linę. Z tych trzech czynników najmniej znany jest wpływ technologii wykonania liny tzw. dralu, na jej moment odkrętny w wyniku wprowadzenia do liny energii sprężystej podczas produkcji, gdy druty poddawane są sprężysto-plastycznej deformacji, a to głównie w czasie takich operacji, jak:

[1]:

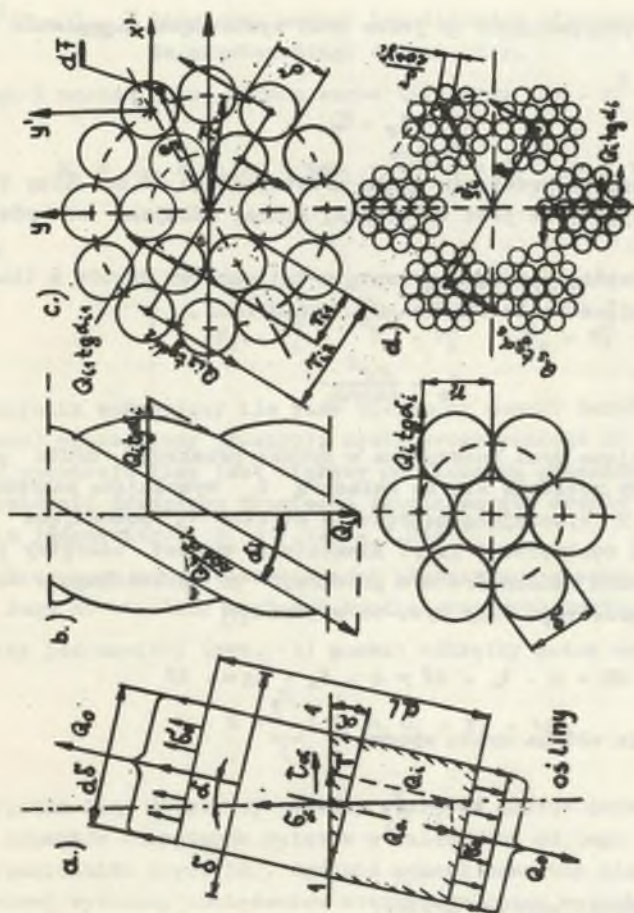
- przewijanie drutu z kręgu na szpule maszyny liniarskiej, podczas której następuje obrót drutu dookoła jego osi o kąt 90° ,
- produkcji splotów, podczas której zachodzi obrót drutu dookoła jego osi oraz osi splotu, przy czym kąt obrotu zależy od typu skrzędarki (układu planetarnego czy korbowego)
- skręcanie drutów, np. w owalne sploty i splotów w linę w zakresie kątów skręcania (skoków drutu i splotu)
- od tego czy lina wykonana jest odprężona lub nieodprężona.

Ogólnie przyjmuje się, że drut poddawany jest zginaniu, skręcaniu i rozciąganiu. Wynikające z tego wewnętrzne siły sprężyste wywołują w przekroju poprzecznym liny technologiczny moment odkrętny w wyniku czego lina jest wewnętrznie niezerównowazona. Wielkość momentu technologicznego zależy przede wszystkim od rodzaju materiału drutu i jego przeróbki plastycznej, od średnicy drutu, technologii kształtowania różnych rodzajów splotów (trójkątne, owalne) i liny oraz typu liny i jej średnicy. Moment technologiczny ma kierunek zgodny z konstrukcyjnym momentem odkrętu powstającym pod wpływem obciążenia liny i w dużym stopniu zwiększa możliwość utraty stateczności przewodników linowych w szybie. W szybie moment odkrętny liny wyciągowej wywołany jest:

- obciążeniem statycznym liny nad zawiesiem,
- zmieniającym się w czasie pracy wyciągu ciężarem własnym nośnej liny wyciągowej,
- technologicznym momentem skręcającym tkwiącym w linie, a powstałym podczas jej produkcji.

W artykule rozpatrzono tylko obciążenie statyczne oraz związane z tym moment odkrętny. Pozostałe dwa czynniki są tematem oddzielnego opracowania. Śrubowe zwiacie drutów w linie oraz splotów sprawia, że siła Q rozciągająca linę daje w pojedynczych splotach oraz drutach składowe rozciągające oraz składowe wywołujące moment odkrętny. W linie jednozwitej (rys. 1) powstają składowe rozciągające $\frac{Q_1}{\cos \alpha_1}$ oraz składowe $Q_1 \operatorname{tg} \alpha_1$ wywołujące moment odkrętny liny przy założeniu proporcjonalnego do powierzchni przekrojów drutów rozdziału siły Q [2, 4, 6]. Przy rozciąganiu prostujące się druty liny dociskają się jeden do drugiego ze znaczną siłą, wywołując przy tym siły tarcia wewnętrznego w linie. Powstaje ściśnięta wiązka śrubowo zwitych drutów, których przekrój zbliżony jest do elipsy. Siła rozciągająca drut (rys. 1a) wywołuje w przekroju 1 - 1 prostopadłym do osi liny dodatkowe naprężenie rozciągające σ_{α} . Główne naprężenie rozciągające w przekroju prostopadłym do osi drutu wynoszą

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{\alpha}}{\cos^2 \alpha} \quad (1)$$



Rys. 1. Rozkład sił w:
 a. drucie, b.c. linie jednowzitej, a. linie dwuzwitej

gdzie:

α - kąt zwicia drutu

naprężenia styczne w przekroju 1-1 wynoszą

$$\tau_{\alpha} = \sigma_{\alpha} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

Siła rozciągająca przypadająca na jeden drut wywołująca naprężenie σ_{α} wynosi

$$Q_1 = F_e \cdot \sigma_{\alpha} \quad (3)$$

gdzie: F_e - płaszczyzna przekroju drutu prostopadłego do osi liny w przybliżeniu można przyjąć, że jest to elipsa, której mniejsza oś równa się średnicy drutu δ .

Płaszczyzna eliptycznego przekroju drutu m -tej warstwy drutów w linie jednowitej (spiralnej) o kącie zwicia α_1 wyniesie

$$F_e = \frac{\pi \delta^2}{4 \cos \alpha_1} \quad (4)$$

Siła Q_1 rozciągająca drut zaczepiona w środku przekroju drutu prostopadłego do osi liny rozkłada się na składową Q_0 wywołującą naprężenia σ_0 oraz na składową T wywołującą naprężenie styczne τ_{α} powodujące moment odkrętny dążący do rozkręcenia liny. Elementarny moment odkrętny powstający przy rozciąganiu włókna drutu o przekroju dF położonego w odległości ϱ od środka przekroju liny rys. 1c wynosi [4]

$$dM = \varrho \cdot \tau_{\alpha} \cdot dF = \varrho \cdot \sigma_{\alpha} \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot dF \quad (5)$$

tangens kąta zwicia włókna drutu wynosi

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\varrho}{r_1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_1$$

gdzie:

r_1 - promień zwicia warstwy drutów,

α_1 - kąt zwicia osi drutu

wtedy

$$dM = \varrho \cdot \sigma_{\alpha} \cdot \frac{\varrho}{r_1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot dF = \sigma_{\alpha} \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \frac{\varrho^2}{r_1} dF$$

Moment odkrętny powstały przy rozciąganiu jednego zwitka drutu wyniesie

$$M_1 = \int_F \sigma_{\alpha} \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \frac{\rho^2}{r_1} dF = \frac{\sigma_{\alpha} \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}{r_1} \int_F \rho^2 dF = \frac{\sigma_{\alpha} \cdot \operatorname{tg} \alpha_1}{r_1} J_{oi} \quad (6)$$

gdzie:

$\int_F \rho^2 dF = J_{oi}$ - biegunowy moment bezwładności płaszczyzny przekroju drutu prostopadłego do osi liny.

Dzielać i mnożąc prawą stronę wzoru (6) przez $F_e \cdot r_1^2$ otrzymamy

$$M_1 = \sigma_{\alpha} \cdot F_e \cdot r_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \frac{J_{oi}}{F_e \cdot r_1^2} = Q_1 \cdot r_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \varphi_1 \quad (7)$$

gdzie:

$$\varphi_1 = \frac{J_{oi}}{F_e \cdot r_1^2} = \frac{J'_{oi} + F_e r_1^2}{F_e \cdot r_1^2} = \frac{J'_{oi}}{F_e \cdot r_1^2} + 1$$

współczynnik wskazujący ile razy biegunowy moment bezwładności (wg tw. Steinera) płaszczyzny przekroju drutu prostopadłego do osi liny względem środka przekroju liny jest większy od iloczynu płaszczyzny przekroju drutu i kwadratu średniego promienia zwicia warstw drutów w linie. Wg Żukowa dla lin jednozwitych $\varphi_1 = 1,123 - 1,014$

J'_{oi} - biegunowy moment bezwładności płaszczyzny przekroju drutu prostopadłego do osi liny względem środka przekroju drutu.

Dla liny jednozwitej (rys. 1b) moment odkrętny można wyliczyć z wzoru

$$M = \sum_1^m \pm \varphi_1 n_1 Q_1 \cdot r_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \quad (8)$$

W przypadku liny dwuzwitej momenty odkrętne drutów dodają się lub odejmują od momentów odkrętnych splotów w zależności od tego czy lina jest współ lub przeciwwzista (rys. 1d). Ogólnie moment odkrętny liny dwuzwitej wielowarstwowej wywołany obciążeniem statycznym można wyliczyć z wzoru

$$M = \sum_1^P \pm \left[\sum_1^n \varphi_s \cdot Q_s \cdot R \cdot \operatorname{tg} \alpha_s \pm n \sum_1^m \varphi_1 n_1 \cdot Q_1 \cdot r_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \right] \quad (9)$$

$\varphi_s = \sum_1^m \frac{J_{osi}}{F_1 R^2}$ - współczynnik określony podobnie jak φ_1 .

Biegunowy moment bezwładności płaszczyzny przekroju warstwy drutów w splocie określony jest [5]

$$J_{\text{osi}} = \sum_1^{n_1} \left[\frac{r_0^4}{32} \left(\frac{1}{\cos^3 \gamma_1} + \frac{1}{\cos^3 \beta_1} \right) + P_1' \rho_1^2 \right] \quad (10)$$

gdzie:

- Q_s, Q_1 - siła rozciągająca przypadająca na jeden splot w warstwie liny oraz na jeden drut w splocie
- n, n_1 - liczba splotów w warstwie liny oraz liczba drutów w warstwie splotu lub linie jednozwitej
- m - liczba warstw drutów w splocie
- R, r_1 - średnie promienie zwicia warstwy splotów i drutów w splocie
- α_s, α_1 - kąty zwicia splotów oraz drutów w splotach
- P - liczba warstw splotów w linie wielowarstwowej
- $\left(\frac{r}{r_0}\right)$ - w zależności od kierunku zwicia splotów i drutów
- d - średnica drutu
- P_1 - płaszczyzna przekroju warstwy drutów w splocie prostopadła do osi liny
- P_1' - płaszczyzna przekroju drutu prostopadłego do osi liny
- β_1 - kąt pomiędzy styczną do krzywizny zginania osi drutu a osią liny
- Q_1' - odległość środka przekroju drutu prostopadłego do osi liny od środka liny.

Dla celów praktycznych można przyjąć, że $\gamma_s = 1$ oraz $\gamma_1 = 1$.

Parametry $p, m, n, r, R, \alpha_s, \alpha_1, \gamma_s, \gamma_1$ są stałe dla danej konstrukcji liny, czyli możemy zapisać, że zależność pomiędzy momentem odkrętnym liny a jej obciążeniem statycznym jest wprost proporcjonalna do obciążenia liny:

$$M = k \cdot Q \text{ [kGm]} \quad (11)$$

gdzie:

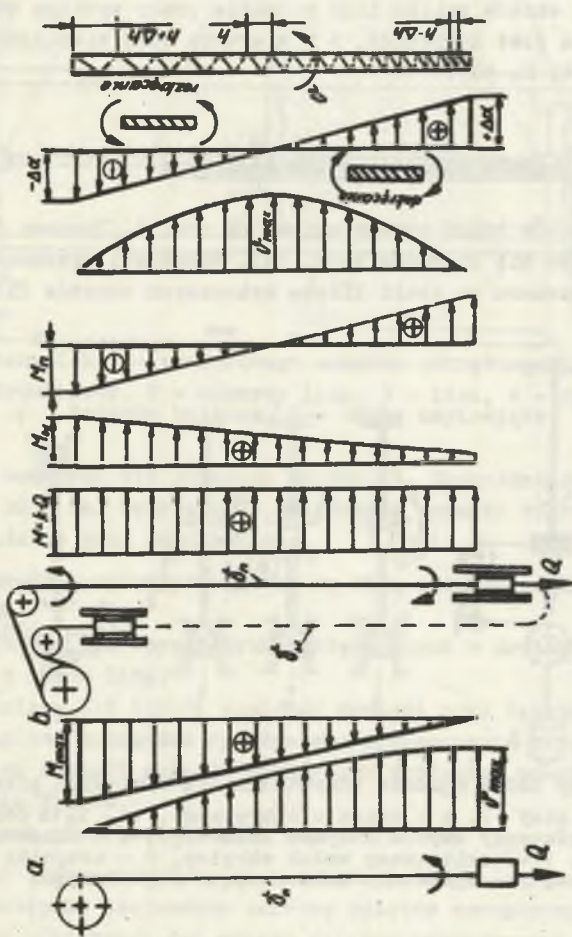
- k - zastępczy promień odkrętności liny (współczynnik odkrętności, proporcjonalności), m
- Q - całkowite obciążenie statyczne liny nad zawiesiem kG.

W sztybach z liną wyrównawczą wzór (11) przyjmie postać

$$M = k \left[Q_u + q + \frac{1}{2} w (H - x) \right] \text{ [kGm]} \quad (12)$$

gdzie:

- Q_u, q - ciężar użyteczny i martwy naczyńia wyciągowego, KG
- H - głębokość szybu, m



Rys. 2. Wykresy momentów odkrętnych liny, kątów obrotów liny v , zmiany kąta zwicia $\Delta\alpha$ oraz skoku h liny, wyciągu z naczyniem:

a) nie prowadzonym, b) prowadzonym

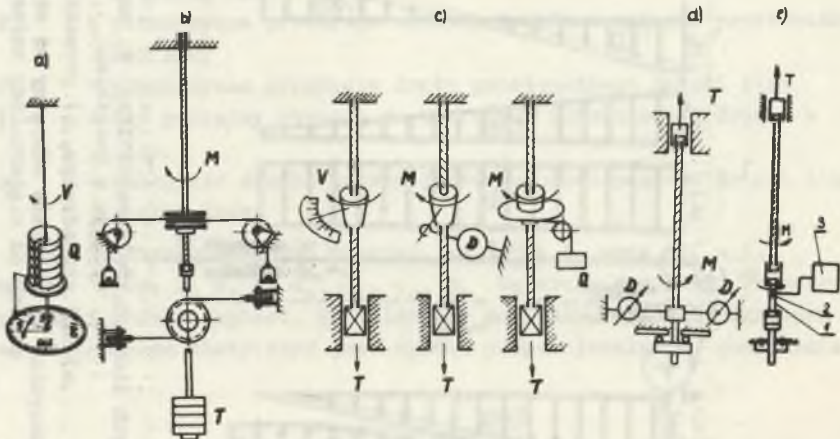
M - moment odkrętny od ciężaru naczynia, M_0 - moment odkrętny od ciężaru liny wyrównawczej, M_1 - moment odkrętny od ciężaru liny nośnej

- x - położenie naczynia w szybie licząc od nadszybia, m
 \dot{f}_w - ciężar 1 mb liny wyrównawczej kG/m.

Wartość k można obliczyć teoretycznie lub wyznaczyć doświadczalnie. Moment odkrętny liny wyciągowej wywołany ciężarem naczynia wraz z urobkiem jest stały na całej głębokości szybu, natomiast momenty odkrętne pochodzące od ciężaru własnego liny nośnej oraz wyrównawczej są zmienne. Powoduje to zmianę skoków zwicia liny w czasie pracy wyciągu Koepe. Lina w kierunku zawiesia jest dokręcana, a w kierunku koła kierującego rozkręcana (rys. 2) [2, 6, 8, 12].

3. Metody badań momentu odkrętnego lin stalowych

Schematy sposobów badań przedstawiono na rys. 3. Pionowo zawieszony odcinek liny obciąża się ciężarem (rys. 3a). Wskazówka przymocowana do podstawy ciężaru wyznacza na skali liczbę wykonanych obrotów liny V , drogą

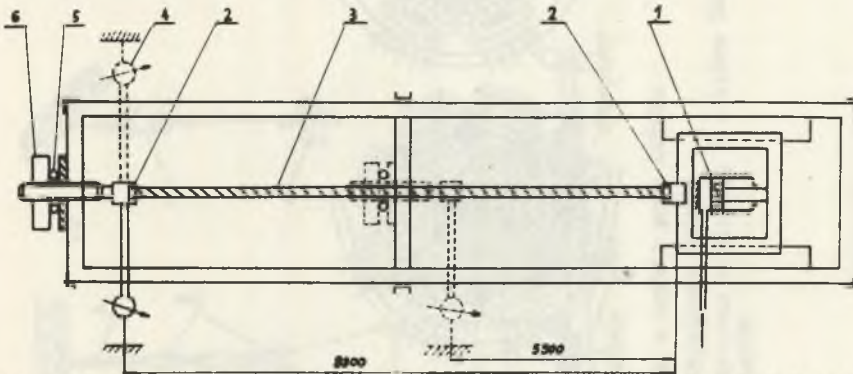


Rys. 3. Metody badań momentu odkrętnego lin stalowych przez pomiar:

a - kąta obrotu liny V , b - momentu odkrętnego, c - kąta obrotu V lub momentu, d - momentu przy użyciu łożyska kulkowego, e - momentu przy użyciu wałka skrętnego, 1 - zaklinowany wałek skrętny, 2 - czujniki tensometryczne, 3 - aparatura wzmacniająco-rejestrująca

pośrednią oblicza się moment odkrętny. Bezpośrednio moment odkrętny można zmierzyć przez zamocowanie na linie krążka 1, przez który przeciąga się linkę z ciężarkami 2 lub dynamometrem (rys. 3b). Można także dwa odcinki tej samej liny połączyć przez zalanie ich we wspólnym uchwycie, końce liny umieszcza się w zrywarce (rys. 3c). Podczas obciążenia odcinki dążą do rozkręcania się w tym samym kierunku. Można zmierzyć kąt obrotu V lub bezpośrednio moment odkrętny M za pomocą dynamometru.

W Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej badania momentów odkrętnych lin stalowych przeprowadzono przy użyciu łożyska kulkowego umożliwiającego swobodny obrót jednego końca liny ze wzrostem jej naciągu (rys. 3d) lub przy zastosowaniu wałka skrętnego (rys. 3e). Schemat stanowiska pomiarowego pokazano na rys. 4 [7].



Rys. 4. Stanowisko do pomiarowego momentu odkrętnego lin stalowych

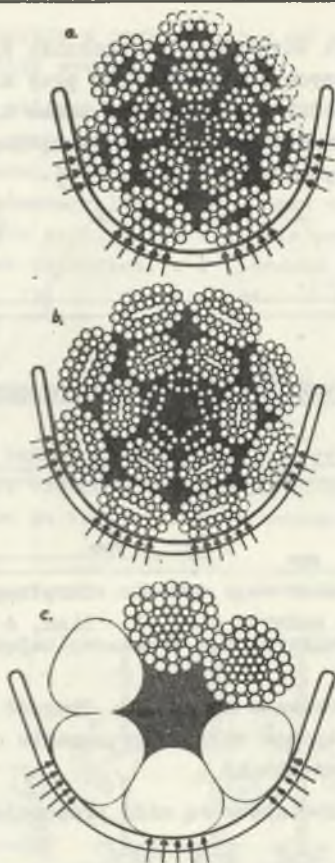
1 - napęd hydrauliczny, 2 - uchwyty liny, 3 - linę, 4 - dynamometry, 5 - łożysko kulkowe, 6 - śruba napinająca

Przekroje badanych lin pokazano na rys. 5. Długość badanych odcinków lin wynosiła 3800 mm. Teoretyczne obliczenie momentu odkrętnego badanych lin przeprowadzono przy założeniach:

- wszystkie druty i sploty obciążone są siłą proporcjonalną do ich przekrojów,
- nie uwzględniono sił sprężystych występujących w drutach oraz splotach po skręceniu ich w linę,
- nie uwzględniono sił tarcia pomiędzy drutami oraz splotami w linie,
- nie uwzględniono przypadku sprężystego wypuszczenia skrętu z liny,
- ze względu na kształt splotów owalny lub trójkątny przyjęto średnie promienie zwięcia drutów,
- w obliczeniach przyjęto wartości współczynników $\eta_1 = 1$, $\eta_2 = 1$.

W przypadku trzywarstwowych lin owalnosplotowych najpierw badano liny w całości, następnie zdejmowano warstwę splotów zewnętrznych celem określenia momentu odkrętnego dwu warstw splotów wewnętrznych przeciwnie zwitych w stosunku do warstwy zewnętrznej.

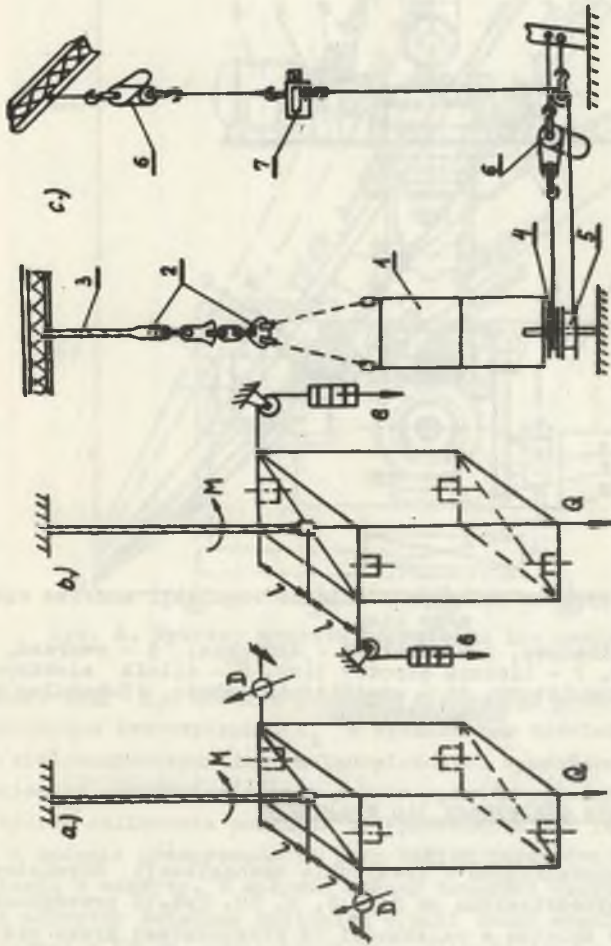
Pomiar momentu odkrętnego liny obciążonej naczyniem wyciągowym w szybie, obrazuje rys. 6. Zwolnione od przewodników naczynie wyciągowe chwyta się dynamometrami. Pomiar momentu odkrętnego w nadszybiu (wg rys. 6c) polega na tym, że przez dno klatki przepuszczono swobodnie oś utrzymującą klatkę w centralnym położeniu. Długość osi jest taka, że pozwala klatkę podnosić się przy skręcaniu zawieszonych łańcuchowych (Anglia) [15]. Pod klatką znajduje się bęben górny sztywno związany z dnem klatki, natomiast bę-



Rys. 5. Przekroje badanych lin wyciągowych

a - owalnosplotowej \varnothing 62 mm, konstrukcji $4(7 \times 2,35) + 5(20 \times 2,65) + 7(24 \times 2,8)$, b - owalnosplotowej \varnothing 63 mm, konstrukcji $5(9 \times 1,95) + 6(1A1 + 10 \times 1,95 + 14 \times 2,3) + 8(1A1 + 11 \times 2,3 + 15 \times 2,7)$, c - współkwadratowej trójkątnej \varnothing 62 mm, konstrukcji $6(6 \times 1,92 + 12 \times 2,13 + 14 \times 2,91 + 20 \times 2,94)$

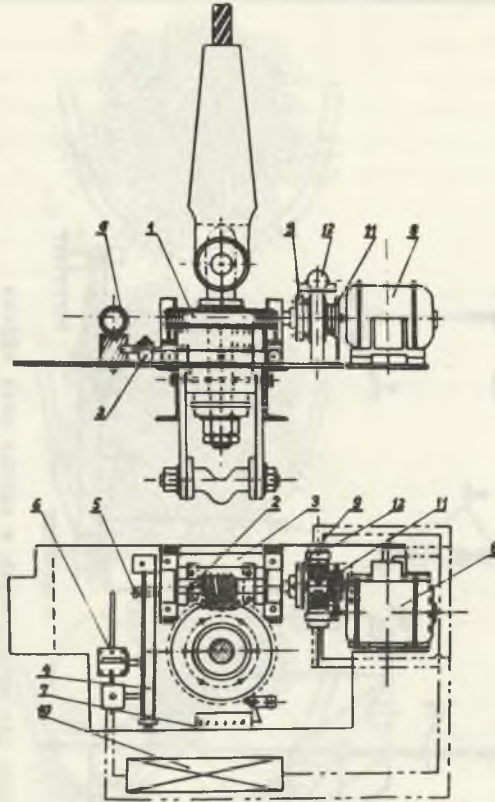
ben dolny jest swobodnie osadzony na osi i może być zasprzęglany z bębnum górnym. Za pomocą ciągarki 7 lina nawinięta na górny bęben może obrócić klatkę w zawieszu. Zasprzęglając bębny pomiędzy sobą i zwalniając linę górnego bębna, można zmierzyć za pomocą dynamometru 8 siłę, a tym samym moment odkrętny. Rys. 7 przedstawia urządzenie regulujące automatycznie wpływ momentu odkrętnego liny na pracę klatki. Zasada działania tego niewielkiego urządzenia polega na tym, że w przypadku powstania w linie momentu odkrętnego, powyżej dopuszczalnego, włącza się automatycznie silnik prądu stałego 8, który poprzez przekładnię ślimakową 1 rozkręca linę.



Rys. 6. Pomiar momentu odkrętnego lin wyciągowych w szybie przy użyciu

a, b - dynamometrów lub ciężarów, c - specjalnego układu

1 - klatka, 2 - zawieszce łańcuchowe, 3 - linka, 4 - bęben zwijający sztywno z klatką, 5 - bęben luźny ze sprzę-
 głem, 6 - ciężarki, 7 - dynamometr

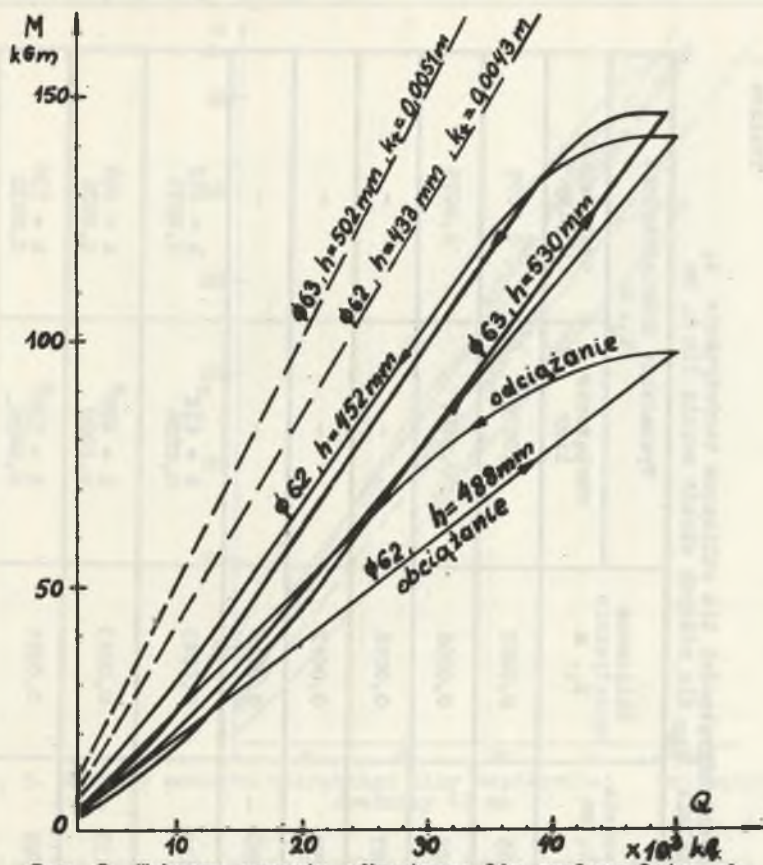


Rys. 7. Zawiesie z łożyskiem kulkowym i układem regulacji momentu odkrętnego liny

1, 2 - przekładnia ślimakowa, 3 - wózek, 4 - dźwignia, 5 - sworzeń, 6 - cylinder z manometrem, 7 - licznik obrotów liny, 8 - silnik elektryczny, 9 - sprzęgło, 10 - akumulatory, 11 - przekładnia zębata, 12 - hamulec elektromagnetyczny

4. Wyniki badań momentu odkrętnego lin stalowych

Wyniki badań przeprowadzonych w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej przedstawiono na rys. 8, 9, 10. Rys. 10 przedstawia momenty odkrętne warstw splotów w zależności od przenoszanej przez nie siły rozciągającej proporcjonalnej do przekroju warstw splotów w linie stąd trzy zakresy wartości siły na osi poziomej. Wskaźnik 1 dotyczy liny w całości, wskaźnik 2 dwu warstw splotów wewnętrznych o tym samym kierunku zwicia, a wskaźnik 3 obliczony teoretycznie moment odkrętny warstwy splotów zewnętrznych wynikały z różnicy poprzednich momentów. Na wykresach linią przerywaną zaznaczono przebieg momentu odkrętnego badanej liny obliczony teoretycznie, z którego wyznaczono teoretyczny zastępczy promień od-



Rys. 8. Wykresy momentu odkrętnego lin owalnosplotowych

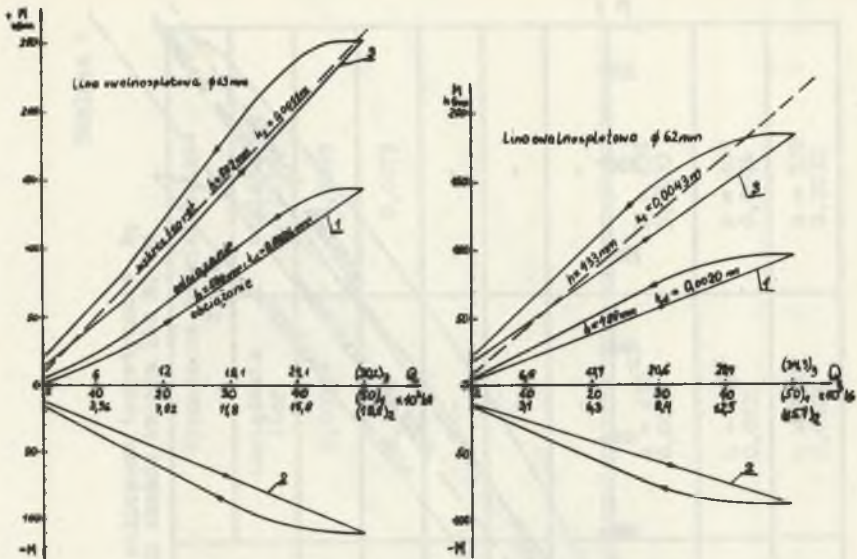
krętności liny k_t . Różnica pomiędzy zastępczym promieniem odkrętności liny obliczonym teoretycznie k_t a wyznaczonym doświadczalnie k_d w przypadku wielowarstwowych lin owalnosplotowych spowodowana jest między innymi wzajemnym przesunięciem się warstw splotów podczas obcinania liny [7,8]. Teoretyczne obliczenia momentów przeprowadzono dla fabrycznych parametrów liny, a badania przeprowadzono przy takich parametrach, jakie liny miały po zalaniu w uchwyty. O wpływie zmiany długości skoku zwicia liny na jej moment odkrętny świadczą najlepiej wyniki badań współzwitej liny trójkątnosplotowej $\phi 62$ mm, gdzie istniała możliwość dokręcenia liny do wartości skoku fabrycznego. Dla tej liny różnica pomiędzy wynikami badań a obliczeniami jest nieznaczna. W tabelicy 1 zestawiono wartości zastępczych promieni odkrętności lin obliczone teoretycznie k_t oraz wyznaczone doświadczalnie k_d . Z przedstawionych wykresów wynika, że przebieg momentu odkrętnego liny powstałego przy jej obciążeniu jest inny niż podczas jej odciążenia. Jest to wynikiem zjawiska histerezy liny [13]. Podczas rością-

Tablica 1

Wartości zastępczego promienia odokrętności lin obliczone teoretycznie k_t oraz wyznaczone doświadczalnie k_d dla różnych skoków zwicia lin h , mm

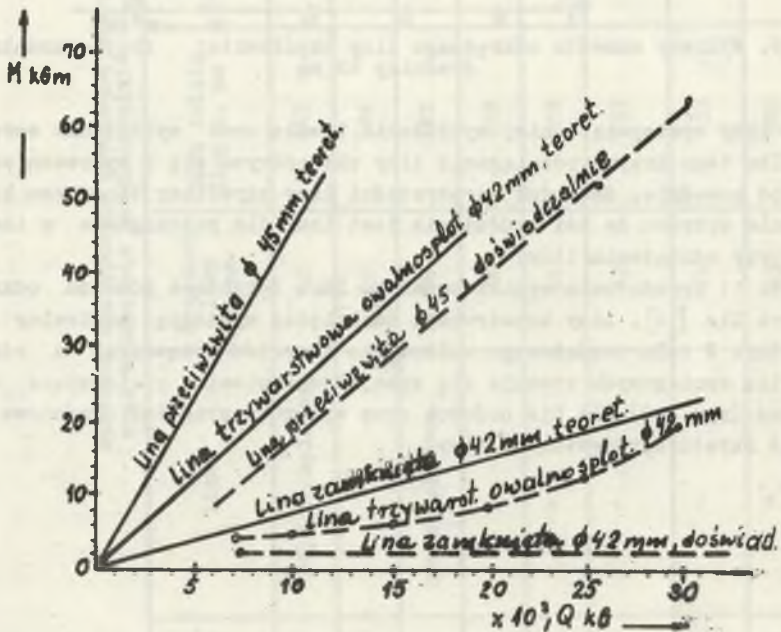
Lp.	Lina	Średnica liny d , mm	Skok zwicia liny h , mm	Obliczone teoretycznie k_t , m	Wyznaczone doświadczalnie k_d , m	
					obciążanie liny	odciążanie liny
1	Tr6Jkatnoplotowa	62	465	0,0082	0,0078	0,0095
2	"	62	524	0,0068	0,0057	0,0079
3	Owainosplotowa	28	187	0,0018	-	-
4	"	36	252	0,0012	-	-
5	"	40	280	0,0016	-	-
6	"	62	433	0,0043	$h = 452^x$ 0,0026	$h = 452$ 0,0033
7	"	62	433	0,0043	$h = 488^x$ 0,0020	$h = 488$ 0,0026
8	"	63	502	0,0051	$h = 530^x$ 0,0026	$h = 530$ 0,0032

x - wartości skoków jakie liny miały po zalaniu w uchwyt.

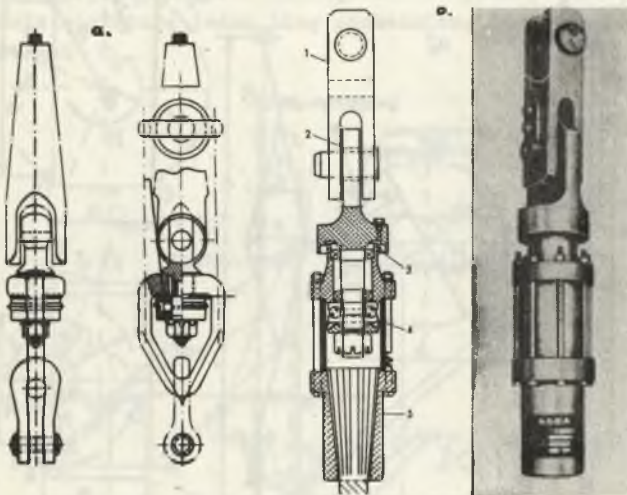


Rys. 10. Rozdział momentu odkrętnego na poszczególne warstwy spłotów lin owalnosplotowych

1 - lina w całości, 2 - dwie warstwy spłotów wewnętrznych, 3 - warstwy spłotów zewnętrznych przeciwnie zwite względem dwu warstw środkowych



Rys. 11. Teoretyczne oraz doświadczalne momenty odkrętnie lin wg S. Bära. Linia ciągła oznacza wartości obliczone, a przerywana wartości pomierzone



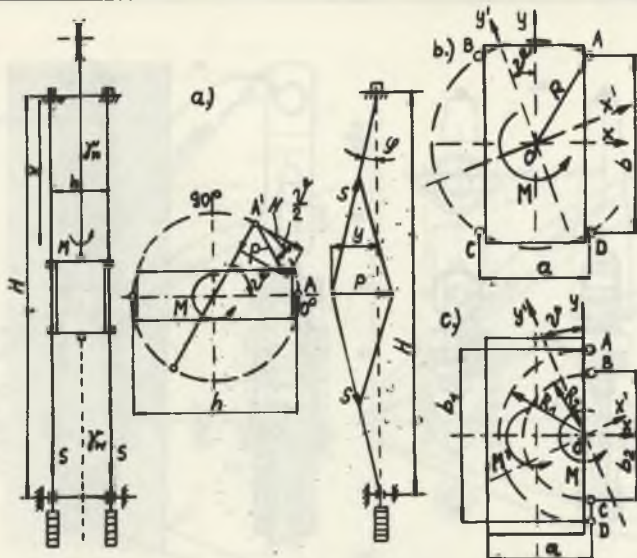
Rys. 12. Zawiesia linowe z łożyskami kulkowymi dla liny:
 a) nośnej (Anglia), b) wyrównawczej okrągłospłotowej (Szwecja)

5. Wpływ momentu odkrętnego nośnej liny wyciągowej na pracę przewodników linowych

W szybach z przewodnikami linowymi ze względu na ich elastyczność moment odkrętny liny wyciągowej może spowodować utratę stateczności lin przewodniczych (skręcenie). Do rozważań przyjęto schemat dwulinowego prowadzenia naczyń wyciągowej rys. 13a. Przyjęto, że najbardziej niebezpieczne miejsce ze względu na najmniejszą sztywność przewodników linowych, w którym wystąpić może wzajemne ich skręcenie, znajduje się w połowie ich długości $\frac{H}{2}$ oraz, że przewodniki pod działaniem momentu odkrętnego liny nośnej obróćą się o ten sam kąt ψ .

Wykorzystując zależności geometryczne oraz zasady mechaniki wyprowadzono wzory na stateczność przewodników linowych. Dla dwulinowego prowadzenia naczyń otrzymano [9]

$$\frac{k \cdot H \cdot Q}{2 \cdot h^2 \cdot S} < 1 \quad (13)$$



Rys. 13. Schematy linowych przewodzeń naczyń wyciągowych:
a - dwulinowe, b - czterolinowe narożne, c - czterolinowe boczne

dla czterolinowego przewodzenia naczyń wyciągowego w układzie narożnym otrzymano

$$\frac{k \cdot H \cdot Q}{16 \cdot R^2 \cdot S} < 1 \quad (14)$$

dla czterolinowego przewodzenia naczyń wyciągowego w układzie bocznym otrzymano

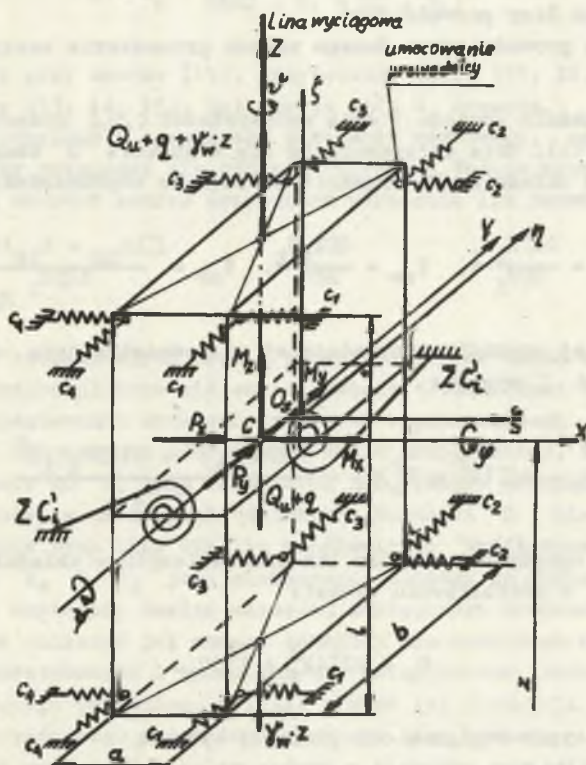
$$\frac{k \cdot H \cdot Q}{8(R_1^2 \cdot S_A + R_2^2 \cdot S_B)} < 1 \quad (15)$$

gdzie:

- k - zastępczy promień odkrętności liny, m
- h - rozstaw przewodników, m
- H - długość przewodników, m
- Q - obciążenie statyczne liny nad zawieszem, kG
- R - promienie obrotu przewodników, m
- S - naciągi przewodników, kG.

W powyższych wzorach zmiana kierunku nierówności oznacza wzajemne skręcenie układu przewodników linowych [9]. L. Bura do rozważań przyjął model układu odwzorowujący pięć stopni swobody (przemieszczenia x, y oraz obroty φ, ψ, ν) naczyń wyciągowego, złożony z ciała sztywnego zawieszono na nierozciągliwym wiotkim ciężkim i opartego na zespolu sprężyn

(rys. 14). Cztery sprężyny śrubowe przyłączone do jednej krawędzi pionowej ciała w modelu zastępują jedną linię przewodniczą i mają jednakowy współczynnik sprężystości C_i .



Rys. 14. Model układu naczynie wyciągowe - liny przewodnicze wg I. Bury

Przy obrotach naczynia dookoła osi poziomych X' , Y' liny przewodnicze zastępują dwie sprężyny spiralne o jednakowym współczynniku sprężystości $2C'_i$.

W pierwszym przybliżeniu, z uwzględnieniem wpływu ciężaru własnego liny przewodniczej na jej naciąg, współczynnik sprężystości i -tej liny ugiętej poziomą siłą skupioną wynosi

$$2C'_i = \frac{S_i H \left(1 + \frac{z}{H} \cdot \alpha\right)}{z(H - z)} \quad (16)$$

gdzie:

S_i - naciąg i -tej liny przewodniczej

H - długość liny przewodniczej pomiędzy uchwytami

z - położenie środka masy naczynia licząc od miejsca uchwycenia przewodnika w podszybiu

$$\alpha = \frac{H \cdot f_p}{S_{\text{śr}}}, \quad S_{\text{śr}} = \frac{\sum S_1}{I},$$

f_p - ciężar 1 mb liny przewodniczej

I - liczba lin przewodniczych danego układu prowadzenia naczyń wyciągowego.

Układ sprężyn modelu posiada 3 osie sprężystości ζ, η, ξ równoległe do osi X, Y, Z (rys. 14). Osie te przecinają się w punkcie 0 zwanym środkiem sprężystości. W układzie osi symetrii posiada on współrzędne:

$$X_{os} = \frac{2\sum X_1 C_1}{2\sum C_1}, \quad Y_{os} = \frac{2\sum Y_1 C_1}{2\sum C_1}, \quad Z_{os} = \frac{\sum (Z_{1g} + Z_{1d}) C_1}{2\sum C_1} \quad (17)$$

Moment sprężystej reakcji, przypadającej na jednostkę kąta obrotu naczyń względem osi ζ wynosi:

$$C_o = 2\sum (X_1^2 + Y_1^2) C_1 - \frac{2(\sum X_1 C_1)^2 + 2(\sum Y_1 C_1)^2}{\sum C_1} \quad (18)$$

Moment reakcji sprężystej zespołu lin przewodniczych w układzie narożnym przy obrocie ψ w przybliżeniu wynosi:

$$C_n = 2\sum (X_1^2 + Y_1^2) C_1. \quad (19)$$

Kąty obrotu naczyń względem osi pionowej wynoszą

$$\left. \begin{array}{l} \text{- dla układu narożnego} \\ \text{- dla układu bocznego} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \psi_n = \frac{M}{C_n} \approx 0 \\ \psi_b = \frac{M}{C_o} \approx 0 \end{array} \quad (20)$$

Rozwiązując powyższe wzory dla przypadku połowy długości przewodników liniowych $\frac{H}{2}$ z pominięciem wpływu ciężaru liny przewodniczej na jej naciąg oraz dla układu osi współrzędnych (jak na rys. 14) otrzymano:

- dla dwulinowego prowadzenia czołowego

$$\psi_{cz} = \frac{M}{C_n} = \frac{k \cdot H \cdot Q}{2h^2 \cdot S_1} \approx 0, \quad (21)$$

- dla czterolinowego układu narożnego

$$\psi_n = \frac{M}{C_n} = \frac{k \cdot H \cdot Q}{16 \cdot R^2 \cdot S_1} \approx 0, \quad (22)$$

- dla czterolinowego układu bocznego przy niewielkim uproszczeniu

$$\psi_D = \frac{M}{C_0} = \frac{k \cdot H \cdot Q}{8(R_1^2 \cdot S_1 + R_2^2 \cdot S_1)} \approx 0 \quad (23)$$

oznaczenia jak przy wzorze (15). Przytoczone wzory (21, 22, 23) są takie same jak wzory (13, 14, 15). Kąt obrotu $\psi = 0$ oznacza, że przewodniki nie zostają wychylone z normalnego położenia równowagi, co w praktyce oznacza idealny przypadek dla którego $C_1 \rightarrow \infty$. Podane wzory w pracach L. Bury obejmują szerszy zakres przypadków skręcania lin przewodniczych [10,11].

6. Zakończenie

Z obliczeń teoretycznych oraz z przeprowadzonych badań wynika, że liny nieodkrętne owalnosplotowe nie są całkowicie zrównoważone wewnętrznie, dlatego przy projektowaniu urządzeń szybowych z przewodnikami linowymi nie można pomijać ich momentu odkrętnego. Można przypuszczać, że wartości k_d zbliżą się nieco do k_t dla omawianych lin, jeżeli przeprowadzi się badania laboratoryjne na długich odcinkach. Wartości k nie uwzględniają faktu odprężenia tych lin. Dla lin współzwitych trójkątnosplotowych różnica pomiędzy k_t i k_d jest nieznacząca, dlatego do obliczeń można przyjmować obydwie wartości. Znając wartości zastępczego promienia odkrętności liny k można obliczyć jej moment odkrętny dla dowolnego obciążenia. W obliczeniach teoretycznych i badaniach nie uwzględniono technologicznego momentu skręcającego powstałego w linie w toku jej produkcji oraz momentu odkrętnego pochodzącego od ciężaru własnego liny nośnej.

Skok liny w wyciągach z kołem pędnym w kierunku zawiesia maleje, a w kierunku koła kierującego rośnie, co świadczy o tym, że moment odkrętny liny wywołany jej ciężarem własnym przyjmuje różne znaki. Wpływa to na obniżenie trwałości zmęczeniowej liny oraz na ścieranie wykładzin kół pędnych. W wyniku zmiennej wartości momentu odkrętnego liny wywołanej jej ciężarem własnym w praktyce występują ruchy obrotowe liny wokół własnej osi [2, 6, 12].

Obliczenia teoretyczne oraz przeprowadzone badania wykazały, że określenie "lina nieodkrętna" jest nieprawidłowe, na co zwraca się uwagę projektantom. Jako liny nieodkrętne można uważać liny konstrukcji zamkniętej stosowane za granicą na nośne liny wyciągowe. W celu uniknięcia wpływu momentu odkrętnego nośnej liny wyciągowej na pracę naczynia wyciągowego, prowadzonego na linach, stosuje się zawiesia z łożyskami kulkowymi, zawieszania wielolinowe naczyni lub częściowe odkręcenie pojedynczych lin nośnych. Przy projektowaniu wyciągów z przewodnikami linowymi należy rozpatrzyć wpływ momentu odkrętnego na skręcenie przewodników linowych w zależności od doboru liny wyciągowej, rozstawu przewodników linowych, ich długości oraz naciągu.

LITERATURA

1. Łydka F. - Częściowe odkręcenie liny nośnej owalnosplotowej trzywarstwowej w urządzeniu wyciągowym z linowym prowadzeniem naczyń. Projekty - Problemy BPPW 1971 nr 2.
2. Popowicz O. - Maszyny wyciągowe. Bębny i koła pędne. Politechnika Śląska skrypt nr 98, Gliwice 1964.
3. Popowicz O. - Niektóre problemy prowadzenia naczyń szybowych. Projekty-Problemy BPPW 1970 nr 6.
4. Żukow L.J. - Robota stalnych przewoźnych kanatów pri rastiażenii. Gornyj Żurnak IZWUZ 1959 Nr 9.
5. Żukow L.J. - Krutiaszczij moment woznikajuszczij pri rastiażenij szachtnowo przewoźnowo kanata dwukratnoj zwiwki. Gornyj Żurnak IZWUZ 1963 nr 3.
6. Pichot G. - Cables d'extraction. Revue de l'industrie minerale, marzec 1959 r.
7. Antoniak J., Carbogno A., Łydka F. - Badanie momentu odkrętnego liny wyciągowej owalnosplotowej. Przegląd Górniczy, 1971 nr 2.
8. Carbogno A., Łydka F. - Liny wielowarstwowe w wyciągach szybowych. Bezpieczeństwo i Higiena pracy w Górnictwie 1971 r. nr 12.
9. Carbogno A. - Wpływ momentu odkrętnego nośnej liny wyciągowej na pracę przewodników linowych. Projekty-Problemy BPPW 1971 r. nr 2.
10. Bura L. - Równowaga statyczna naczyń wyciągowego prowadzonego w szybie na linach. Przegląd Górniczy 1970 nr 12. Biuletyn GIG Nr 2/69.
11. Bura L. - Oddziaływanie odkrętu lin nośnych na linowe prowadzenie naczyń wyciągowych. Przegląd Górniczy 1971 r. nr 5.
12. Głuszko M.F. - Stalnyje podjemnyje kanaty, Kijów 1966.
13. Hankus J. - Badanie modułu sprężystości lin stalowych różnych konstrukcji. Biuletyn GIG. Przegląd Górniczy 1968 nr 12.
14. Palisek F. - Vliv technického vývoje dulních těžních zařízení na použita ocelova lana. Hutní Druhovyroba 1965 nr XII/10.
15. Seetharam A. - Controlled swivel for wire ropes "Mining Magazine" 1961 r. Nr 3.

ОТВЕРТЫВАЮЩИЙ МОМЕНТ ШАХТНОГО ПРОВОЛОЧНОГО КАНАТА

Р е з ю м е

Последствием винтовой укладки элементов каната является отвертывающий момент выступающий при размягивающей нагрузке каната. Знакомство крупящего момента каната важное при проектировании шахтных подъемных установок с канатными проводниками сосудов, потому, что может он довести до их скручения. Представлено способ вычисления отвертывающего момента канатов, методы и результаты исследований а также способ учитывания крутящего момента на работу канатных проводников.

THE TURN-OFF MOMENT OF HOISTING ROPES

S u m m a r y

The helical coiling of wires in a cable and the technology of their production bring about a turn-off moment, occurring when the cable is loaded. The knowledge of the magnitude of the turn-off moment of hoisting ropes is especially important when shaft hoists are being designed, provided with extraction vessels hoisted by means of cables, as this turn-off moment may be the cause of their mutual torsion. Such cases have been known from experience in mining activities.

The article suggests a method of calculating theoretically the turn-off moment of cables and discusses the methods and results of investigations, as well as the way of taking into consideration the influence of the turn-off moment upon the work of the cable guides.