

Andrzej Tylikowski

O PEWNYM MODELU DYNAMIKI KOMBAJNU

Streszczenie. W pracy analizuje się ruch kombajnu podczas urabiania węgla. Przyjmuje się, że na kombajn działa siła oporów skrawania, siła oporów przesuwania kombajnu oraz składowa siła ciężkości. Uwzględnia się sprężystość łańcuchów oraz lepkosprężyste zamocowanie obu końców łańcucha. Otrzymane równania rozwiązuje się za pomocą transformacji Laplace'a przedziałami. Wyniki końcowe stanowią podstawę obliczeń numerycznych.

1. Równania różniczkowe rucho

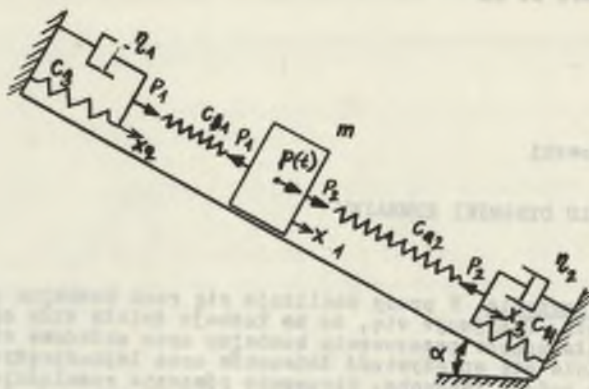
Układ kombajn-łańcuch-elementy lepkosprężyste zamocowania, przedstawiony na rysunku 1, opisać można współrzędnymi x_1, x_2, x_3 , gdzie x_1 jest przemieszczeniem kombajnu w układzie ruchomym poruszającym się z prędkością v natomiast x_2, x_3 są odpowiednio przemieszczeniami lewego i prawego końca łańcucha. Przyjmuje się, że łańcuch poddany jest wstępnemu naciągowi równemu T_{01} oraz T_{02} w lewej i prawej gałęzi, oczywiście $T_{01} = T_{02} + m g \sin \alpha$, gdzie $m = m_k + \frac{1}{3} m_\lambda$ jest sumą masy kombajnu i zredukowanej masy łańcucha, jest kątem nachylenia prostej rucho do poziomu. Kąt zaznaczony na rysunku jest dodatni. Siła tarcia $m_k g f \cos \alpha$ skierowana jest zależnie od znaku wyrażenia $\dot{x}_1 + v$. Przyjęto, że wypadkowa siły skrawania i siły tarcia przedstawia się jak następuje

$$P(t) = \left[P_0 + P_A \sin(\omega t + \varphi) \right] \frac{1 + \operatorname{sign}(v + \dot{x}_1)}{2} + m_k g f \cos \alpha \operatorname{sign}(v + \dot{x}_1), \quad (1)$$

gdzie: P_0, P_A oraz ω, φ są stałymi. Uwzględniono w (1) fakt, że w przypadku ewentualnego cofania się kombajnu siła ta jest równa zero. Zapewnia to czynnik $\frac{1 + \operatorname{sign}(v + \dot{x}_1)}{2}$. Siły w obu gałęziach łańcucha oblicza się ze wzorów

$$P_1 = T_{01} + c_1(x_1 - x_2), \quad (2)$$

$$P_2 = T_{02} + c_2(x_3 - x_1),$$



Rys. 1

gdzie σ_1 i σ_2 są stałymi sprężystymi obu gałęzi łańcucha równymi odpowiednio

$$\sigma_1 = \frac{A E}{l_1}, \quad \sigma_2 = \frac{A E}{l_2} \quad (3)$$

$$l_1 = l_0 + vt, \quad l_2 = l - l_0 - vt$$

l_0 jest odległością kombajnu od lewego końca łańcucha w chwili początkowej, l jest całkowitą długością łańcucha, t jest czasem.

Wzory (2) są słuszne, gdy $P_1 \geq 0$ oraz $P_2 \geq 0$, gdyż łańcuch może przenosić jedynie siły rozciągające. Uwzględniając wyżej wymienione warunki pracy oraz tarcie wiskotyczne i sprężystość o współczynnikach η_1 , σ_3 i η_2 , σ_4 odpowiednio w punktach zamocowania, równania ruchu przyjmują postać

$$m \ddot{x}_1 + \sigma_3(x_1 - x_2) + \sigma_4(x_1 - x_3) = P(t) + T_{02} - T_{01},$$

$$\eta_1 \dot{x}_2 + \sigma_1 x_2 - \sigma_3(x_1 - x_2) = T_{01}, \quad (4a)$$

$$\eta_2 \dot{x}_3 + \sigma_2 x_3 - \sigma_4(x_1 - x_3) = -T_{02},$$

jeżeli

$$P_1 \geq 0, \quad P_2 \geq 0.$$

W przypadku, gdy jedna z gałęzi łańcucha jest luźna, równania ruchu mają prostszą budowę:

$$m \ddot{x}_1 + o_4(x_1 - x_3) = P(t) + T_{02},$$

$$\eta_1 \dot{x}_2 + o_1 x_2 = 0, \quad (4b)$$

$$\eta_2 \dot{x}_3 + o_2 x_3 - o_4(x_1 - x_3) = -T_{02},$$

jeżeli

$$P_1 < 0, \quad P_2 \geq 0,$$

$$m \ddot{x}_1 + o_3(x_1 - x_2) = P(t) - T_{01},$$

$$\eta_1 \dot{x}_2 + o_1 x_2 - o_3(x_1 - x_2) = T_{01}, \quad (4c)$$

$$\eta_2 \dot{x}_3 + o_2 x_3 = 0,$$

jeżeli

$$P_1 \geq 0, \quad P_2 < 0.$$

Wprowadzając funkcję Heavyside'a $H(z)$ określoną wzorem

$$H(z) \begin{cases} 0 & z < 0, \\ 1 & z > 0, \end{cases}$$

równania ruchu (4a), (4b), (4c) można zapisać jak następuje:

$$m \ddot{x}_1 = P(t) + P_2 H(P_2) - P_1 H(P_1),$$

$$\eta_1 \dot{x}_2 + o_1 x_2 = P_1 H(P_1), \quad (5)$$

$$\eta_2 \dot{x}_3 + o_2 x_3 = -P_2 H(P_2).$$

Układ równań (5) jest nieliniowy wskutek obecności funkcji $\text{sign}(v + \dot{x}_1)$, tym niemniej przedział czasu można podzielić na takie podprzedziały, w których równania (5) są liniowe o współczynnikach funkcyjnych. Ta ostatnia własność wynika z zależności współczynników sprężystości gałęzi łańcuchów

od czasu (3). Uwzględniając jednak, że współczynniki σ_1 oraz σ_2 są wolno-zmienne w stosunku do drgań układu w celu rozwiązania układu (5), zastosować można metodę "zamrożonego czasu" [1]. Polega ona na tym, że traktuje się (5) jako układ o stałych współczynnikach, rozwiązuje się go i dopiero w wynikach końcowych bierze się pod uwagę zależność współczynników od czasu.

2. Rozwiązanie analityczne

Przyjmując warunki początkowe $x_1(0)$, $\dot{x}_1(0)$, $x_2(0)$, $x_3(0)$ i zakładając, że w rozpatrywanym przedziale czasu $(v + \dot{x}_1) > 0$, $P_1 > 0$, $P_2 > 0$ przetworzone równania (5) mają postać:

$$ms^2 X_1(s) + (\sigma_3 + \sigma_4) X_1(s) - \sigma_3 X_2(s) - \sigma_4 X_3(s) + P(s) + \frac{T_{\sigma_2} - T_{\sigma_1}}{s} + m x_1(0) + m s \dot{x}_1(0),$$

$$\eta_1 s X_2(s) + (\sigma_1 + \sigma_3) X_2(s) - \sigma_3 X_1(s) = \frac{T_{\sigma_1}}{s} + \eta_1 x_2(0), \quad (6)$$

$$\eta_2 s X_3(s) + (\sigma_2 + \sigma_4) X_3(s) - \sigma_4 X_1(s) = -\frac{T_{\sigma_2}}{s} + \eta_2 x_3(0).$$

Wprowadzając wektor $x = \text{col} [x_1, x_2, x_3]$, wektory $Q(s)$, $R(s)$, $S(s)$

$$Q(s) = \begin{bmatrix} P(s) + \frac{T_{\sigma_2} - T_{\sigma_1}}{s} \\ \frac{T_{\sigma_1}}{s} \\ -\frac{T_{\sigma_2}}{s} \end{bmatrix}, \quad R(s) = \begin{bmatrix} m x_1(0) \\ \eta_1 x_2(0) \\ \eta_2 x_3(0) \end{bmatrix}, \quad S(s) = \begin{bmatrix} m s x_1(0) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

oraz macierz $G^{-1}(s)$

$$G^{-1}(s) = \begin{bmatrix} m s^2 + \sigma_3 + \sigma_4 & -\sigma_3 & -\sigma_4 \\ -\sigma_3 & \eta_1 s + \sigma_1 + \sigma_3 & 0 \\ -\sigma_4 & 0 & \eta_2 s + \sigma_2 + \sigma_4 \end{bmatrix}$$

równanie (6) można zapisać jak następuje

$$G^{-1}(s) X(s) = Q(s) + R(s) + S(s), \quad (7)$$

a jego rozwiązanie ma budowę

$$X(s) = G(s) [Q(s) + R(s) + S(s)], \quad (8)$$

gdzie: $G(s)$ jest macierzą odwrotną do $G^{-1}(s)$ i jego określona wzorem

$$G(s) = \frac{1}{W(s)} \begin{bmatrix} (\eta_1 s + \alpha_1 + \alpha_3)(\eta_2 s + \alpha_2 + \alpha_4) & \alpha_3(\eta_2 s + \alpha_2 + \alpha_4) & \alpha_4(\eta_1 s + \alpha_1 + \alpha_3) \\ \alpha_3(\eta_2 s + \alpha_2 + \alpha_4) & (ms^2 + \alpha_3 + \alpha_4)(\eta_2 s + \alpha_2 + \alpha_4) - \alpha_4^2 & -\alpha_3 \alpha_4 \\ \alpha_4(\eta_1 s + \alpha_1 + \alpha_3) & -\alpha_3 \alpha_4 & (ms^2 + \alpha_3 + \alpha_4)(\eta_1 s + \alpha_1 + \alpha_3) - \alpha_3^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$W(s)$ jest wyznacznikiem głównym macierzy $G^{-1}(s)$

$$W(s) = a_0 s^4 + a_1 s^3 + a_2 s^2 + a_3 s + a_4, \quad (10)$$

$$a_0 = m \eta_1 \eta_2,$$

$$a_1 = m [\eta_1 (\alpha_2 + \alpha_4) + \eta_2 (\alpha_1 + \alpha_3)],$$

$$a_2 = \eta_1 \eta_2 (\alpha_3 + \alpha_4) + m (\alpha_1 + \alpha_3) (\alpha_2 + \alpha_4),$$

$$a_3 = \eta_1 [\alpha_3 (\alpha_2 + \alpha_4) + \alpha_2 \alpha_4] + \eta_2 [\alpha_4 (\alpha_1 + \alpha_3) + \alpha_1 \alpha_3],$$

$$a_4 = (\alpha_3 + \alpha_4) \alpha_1 \alpha_2 + (\alpha_1 + \alpha_2) \alpha_3 \alpha_4.$$

Przed wykonaniem transformacji odwrotnej równania (8) należy rozłożyć $W(s)$ na iloczyn trójmianów kwadratowych, które z kolei nie rozkładają się na dwumiany liniowe (jest to możliwe ze względów fizycznych)

$$W(s) = a_0 (s^2 + \phi_1 s + \psi_1)(s^2 + \phi_2 s + \psi_2). \quad (11)$$

Rozkładu (11) dokonywać się będzie numerycznie w oparciu o algorytm War-musa [2]. Elementy macierzy $G(s)$ posiadają następującą budowę

$$G_{1j}(s) = \frac{b_{01j} s^3 + b_{11j} s^2 + b_{21j} s + b_{31j}}{W(s)}, \quad (12)$$

gdzie:

$$b_{011} = 0,$$

$$b_{111} = \eta_1 \eta_2,$$

$$b_{211} = \eta_1(o_2 + o_4) + \eta_2(o_1 + o_3),$$

$$b_{311} = (o_1 + o_3)(o_2 + o_4),$$

$$b_{021} = b_{012} = 0,$$

$$b_{031} = b_{013} = 0,$$

$$b_{121} = b_{112} = 0,$$

$$b_{131} = b_{113} = 0,$$

$$b_{221} = b_{212} = \eta_2 o_3,$$

$$b_{231} = b_{213} = \eta_1 o_4,$$

$$b_{321} = b_{312} = o_3(o_2 + o_4),$$

$$b_{331} = b_{313} = o_4(o_1 + o_3),$$

$$b_{022} = m \eta_2,$$

$$b_{122} = m(o_2 + o_4),$$

$$b_{222} = \eta_2(o_3 + o_4),$$

$$b_{322} = o_2(o_3 + o_4) + o_2 o_4,$$

$$b_{023} = b_{032} = 0,$$

$$b_{033} = m \eta_1,$$

$$b_{123} = b_{132} = 0,$$

$$b_{133} = m(o_1 + o_3),$$

$$b_{223} = b_{232} = 0,$$

$$b_{233} = \eta_1(o_3 + o_4),$$

$$b_{323} = b_{332} = -o_3 o_4,$$

$$b_{333} = o_1(o_3 + o_4) + o_3 o_4.$$

Posługując się reprezentacją (11) rozłożyć można elementy macierzy $G(s)$ na ułamki proste

$$G_{ij}(s) = \frac{1}{s} \left(\frac{\alpha_{11j} s + \beta_{11j}}{s^2 + \varphi_1 + \psi_1} + \frac{\alpha_{21j} s + \beta_{21j}}{s^2 + \varphi_2 s + \psi_2} \right). \quad (13)$$

Stałe α_{11j} , α_{21j} , β_{11j} , β_{21j} wyznaczyć można porównując (11) oraz (13) prowadzi to do następujących rezultatów;

$$\alpha_{11j} = \frac{1}{w} \left[b_{01j}(\varphi_1 \varphi_2 \psi_1 + \psi_1 \psi_2 - \varphi_1^2 - \varphi_2^2) + b_{11j}(\psi_2 \varphi_1 - \psi_1 \varphi_2) + \right. \\ \left. + b_{21j}(\psi_1 - \psi_2) + b_{31j}(\varphi_2 - \varphi_1) \right],$$

$$\alpha_{21j} = \frac{1}{w} \left[b_{01j} (\varphi_1 \varphi_2 \psi_2 + \psi_1 \psi_2 - \varphi_1 \varphi_2^2 - \varphi_2^2) + b_{11j} (\psi_2 \varphi_1 - \psi_1 \varphi_2) + \right. \\ \left. - b_{21j} (\psi_1 - \psi_2) - b_{31j} (\varphi_2 - \varphi_1) \right],$$

$$\beta_{11j} = \frac{1}{w} \left[b_{31j} (\varphi_1 \varphi_2 + \psi_1 - \varphi_1^2 - \psi_2) + b_{21j} \psi_1 (\varphi_1 - \varphi_2) + \right. \\ \left. - b_{11j} \psi_1 (\psi_1 - \psi_2) + b_{01j} \psi_1 (\varphi_2 \psi_1 - \varphi_1 \psi_2) \right],$$

$$\beta_{21j} = \frac{1}{w} \left[b_{31j} (\varphi_1 \varphi_2 - \psi_1 + \psi_2 - \varphi_2^2) - b_{21j} \psi_2 (\varphi_2 - \varphi_1) + \right. \\ \left. - b_{11j} \psi_2 (\psi_1 - \psi_2) - b_{01j} \psi_2 (\varphi_2 \psi_1 - \varphi_1 \psi_2) \right],$$

gdzie:

$$w = \varphi_1 \varphi_2 (\psi_1 + \psi_2) - (\psi_1 - \psi_2)^2 - \varphi_1^2 \psi_2 - \varphi_2^2 \psi_1.$$

Odwrotna transformata Laplace'a wyrażenia (13) ma następującą budowę:

$$G_{1j}(t) = \frac{1}{a_0} \sum_{k=1,2} \left[\alpha_{k1j} \exp\left(-\frac{\varphi_k t}{2}\right) \cos \chi_k t + \right. \\ \left. + \frac{\beta_{k1j} - \alpha_{k1j} \frac{\varphi_k}{2}}{\chi_k} \exp\left(-\frac{\varphi_k t}{2}\right) \sin \chi_k t \right], \quad (14)$$

gdzie:

$$\chi_k^2 = \psi_k - \left(\frac{\varphi_k}{2}\right)^2 > 0.$$

Korzystając z twierdzenia o splocie odwrotna transformata wektora przemieszczenia układu otrzymana na podstawie (8) przedstawia się jak następuje:

$$x(t) = \int_0^t G(t-\tau) [Q(\tau) + R(\tau) + S(\tau)] d\tau.$$

Na podstawie przyjętych oznaczeń otrzymuje się

$$Q(t) = \begin{bmatrix} P t + T_{02} - T_{01} \\ T_{01} \\ -T_{02} \end{bmatrix}, \quad R(t) = \begin{bmatrix} mx_1(0) \\ \eta_1 x_2(0) \\ \eta_2 x_3(0) \end{bmatrix} \delta(t), \quad S(t) = \begin{bmatrix} m\dot{x}_1(0) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \delta'(t), \quad (16)$$

gdzie: $\delta(t)$ jest dystrybucją delta Diraca (pochodną uogólnioną funkcji Heaviside'a), a $\delta'(t)$ jest jej pochodną. Przedstawienie wektorów (16) do splotu daje końcowy wynik, który w zapisie macierzowym przedstawia się w następujący sposób:

$$x(t) = \int_0^t G(t-\tau) Q(\tau) d\tau + G(t) R + \dot{G}(t) S. \quad (17)$$

Przykładowo przemieszczenie względne kombajnu ma postać

$$x_1(t) = \int_0^t \left\{ G_{11}(t-\tau) [P(\tau) + T_{02} - T_{01}] + G_{12}(t-\tau) T_{01} - G_{13}(t-\tau) T_{02} \right\} d\tau + \\ + mx_1(0) G_{11}(t) + \eta_1 x_2(0) G_{12}(t) + \eta_2 x_3(0) G_{13}(t) + m\dot{x}_1(0) \dot{G}_{11}(t). \quad (17a)$$

Przyjęto, że w chwili początkowej kombajn był w spoczynku $\dot{x}_1(0) = 0$, natomiast $x_1(0)$, $x_2(0)$, $x_3(0)$ należy wyznaczyć z równań ruchu (4a) przyjmując $P(t) = 0$ i rozwiązując otrzymany w ten sposób układ algebraicznych równań liniowych

$$x_1(0) = \frac{T_{02} o_2 o_1 + o_3 - T_{01} o_1 o_2 + o_4}{o_2 o_4 o_1 + o_3 + o_1 o_3 o_2 + o_4}, \quad (18)$$

$$x_2(0) = \frac{o_3 x_1(0) + T_{01}}{o_1 + o_3}, \quad x_3(0) = \frac{o_4 x_1(0) - T_{02}}{o_2 + o_4}$$

Przy obliczaniu splotu w wyrażeniu (17) należy się posłużyć następującymi wzorami

$$\int_0^t \exp\left(-\frac{\varphi_k t}{2}\right) \left[\alpha_{k1j} \cos \chi_k t + \frac{\beta_{k1j} - \frac{\alpha_{k1j} \varphi_k}{2}}{\chi_k} \sin \chi_k t \right] dt =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{\varphi_k} \left\{ \exp\left(-\frac{\varphi_k t}{2}\right) \left[\sin \chi_k t \left(\alpha_{k1j} \chi_k - \frac{\varphi_k}{2\chi_k} (\beta_{k1j} - \frac{\alpha_{k1j} \varphi_k}{2}) \right) - \beta_{k1j} \cos \chi_k t \right] + \beta_{k1j} \right\}, \\
 &\int_0^t \exp\left(-\frac{\varphi_k \tau}{2}\right) \left[\alpha_{k1j} \cos \chi_k \tau + \frac{\beta_{k1j} - \frac{\alpha_{k1j} \varphi_k}{2}}{\chi_k} \sin \chi_k \tau \right] \sin [\Omega(t-\tau) + \varphi] d\tau = \\
 &= \frac{\sin(\Omega t + \varphi)}{2} \left[\alpha_{k1j} (I_1 - I_2) + \frac{\beta_{k1j} - \frac{\alpha_{k1j} \varphi_k}{2}}{\chi_k} (I_3 + I_4) \right] + \\
 &- \frac{\cos(\Omega t + \varphi)}{2} \left[\alpha_{k1j} (I_3 - I_4) + \frac{\beta_{k1j} - \frac{\alpha_{k1j} \varphi_k}{2}}{\chi_k} (I_2 - I_1) \right],
 \end{aligned}$$

gdzie:

$$I_1 = \frac{1}{\left(\frac{\varphi_k}{2}\right) + (\chi_k + \Omega)} \left\{ \exp\left(-\frac{\varphi_k t}{2}\right) \left[-\frac{\varphi_k}{2} \cos(\chi_k + \Omega)t + (\chi_k + \Omega) \sin(\chi_k + \Omega)t \right] + \frac{\varphi_k}{2} \right\},$$

$$I_2 = \frac{1}{\left(\frac{\varphi_k}{2}\right) + (\chi_k - \Omega)} \left\{ \exp\left(-\frac{\varphi_k t}{2}\right) \left[-\frac{\varphi_k}{2} \cos(\chi_k - \Omega)t + (\chi_k - \Omega) \sin(\chi_k - \Omega)t \right] + \frac{\varphi_k}{2} \right\},$$

$$I_3 = \frac{1}{\left(\frac{\varphi_k}{2}\right) + (\chi_k - \Omega)} \left\{ \exp\left(-\frac{\varphi_k t}{2}\right) \left[-\frac{\varphi_k}{2} \sin(\chi_k + \Omega)t - (\chi_k + \Omega) \cos(\chi_k + \Omega)t \right] + \chi_k + \Omega \right\},$$

$$I_4 = \frac{1}{\left(\frac{\varphi_k}{2}\right) + (\chi_k - \Omega)} \left\{ \exp\left(-\frac{\varphi_k t}{2}\right) \left[-\frac{\varphi_k}{2} \sin(\chi_k - \Omega)t - (\chi_k - \Omega) \cos(\chi_k - \Omega)t \right] + \chi_k - \Omega \right\}.$$

Oczywiście wyprowadzone relacje (17) są ważne jedynie, gdy obie gałęzie łańcucha przenoszą siły oraz tarcie skierowane jest w sposób pokazany na rysunku. Zatem o słuszności (17) decydują, jak już było podkreślone w punkcie 1, znak $v\dot{x}_1$ oraz znaki sił P_1 i P_2 . Warunki te muszą być sprawdzane na każdym kroku. W chwili t_1 , gdy którakolwiek z wymienionych wielkości zmienia znak, należy odpowiednio zmodyfikować równanie rozwiązujące układ (4b) względnie 4c przyjmując jako warunki początkowe $x_1(t_1)$, $\dot{x}_1(t_1)$, $x_2(t_1)$, $x_3(t_1)$, to jest wartości z końca przedziału czasowego. Tak więc oprócz przemieszczeń x_1 , x_2 , x_3 należy obliczać prędkość \dot{x}_1 . Zmodyfikowa-

ne równania operatorowe mają podobną budowę, trzeba jedynie w macierzy $G(s)$ i wszędzie dalej przyjąć o_3 lub o_4 jako równe zero oraz odpowiednio położyć T_{01} lub T_{02} jako równe zero. Następnie wykorzystuje się podobne zależności do wzorów (17), tak długo aż znów w chwili t_2 ulegnie zmianie znak $v+x_1$ lub jednej z sił. Powyżej opisana procedura postępowania została zaprogramowana na EMC Odra 1204 [3].

Rozważania przedstawione w pracy można dość łatwo rozszerzyć na przypadek stochastycznego wymuszenia pochodzącego od sił skrawania [4]. W celu wyznaczenia średnich przemieszczeń i sił oraz ich wariancji potrzebna jest znajomość funkcji korelacyjnej siły $P(t)$. Wymaga to jednak znajomości dostatecznie długich realizacji sił $P(t)$.

LITERATURA

- [1] Большаков И.А., Гущкин Л.С., Левин Б.Р., Стратонович Р.Л.: Математические основы современной радиоэлектроники, вып. 2, Сов. Радио, М., 1968, стр. 53.
- [2] Warmus M.: Rozwiązywanie numeryczne równań trzeciego i czwartego stopnia o współczynnikach rzeczywistych, Zastosowania Matematyki, 1961, 6 str. 127-135.
- [3] Jerzykiewicz K., Szożępkowicz J.: Algol 1204, COPAN, PWN, Warszawa, 1972.
- [4] Skalmierski B., Tylikowski A.: Procesy stochastyczne w dynamice, PWN, Warszawa, 1972, str. 62.

О НЕКОТОРОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ КОМБАЙНА

Резюме

В работе рассмотрено движение комбайна при отбойке угля. Принято во внимание, что на комбайн действует сила сопротивлений резанию, сила сопротивления передвижению комбайна, а также составляющая силы тяжести. Учтена упругость цепей и вязкоупругое крепление обоих концов цепи. Полученные уравнения решаем при помощи преобразования Лапласа. Окончательный результат — это основа численных расчетов.

ON A CERTAIN MODEL OF THE DYNAMICS OF A MECHANICAL COAL MINER

S u m m a r y

The paper analyses the motion of a mechanical coal miner while cutting coal. It has been assumed that the mechanical coal miner is affected by the force of the cutting resistance, the force of the resistances of displacement as well as by the component of the forces of gravity. The elasticity of the chains and the viscoelastic attachment of both ends of the chain have been taken into account. The obtained equations may be solved by means of Laplace's transformation at intervals. The final results form the basis for numerical computations.