

ДИНАМІКА КАНАТНИХ ЛІСОТРАНСПОРТНИХ УСТАНОВОК З ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

© Мартинців М. П., Баріляк В. В., Боженко М.В., 2005

Розроблено математичну модель приводу канатної лісотransпортної установки з дистанційним керуванням. Отримано залежності для визначення динамічних зусиль в канаті і параметрів окремих елементів систем регулювання.

The mathematical model of occasion of the rope setting is developed for transporting of wood with the remote control. Dependences are got for determination of dynamic efforts in a rope and parameters of separate elements of the adjusting systems.

Багаторічні дослідження вчених та досвід роботи лісозаготівельників показав, що найефективнішим видом первинного транспорту деревини є підвісні канатні лісотransпортні установки [1, 2, 3]. Установки такого типу можна використовувати і в інших галузях промисловості, де необхідно транспортувати вантажі за складних рельєфних умов. Найбільш складними елементами канатних установок, які визначають діапазон операцій, що вона може виконати, є приводи і вантажні каретки. Для виконання таких операцій, як зупинка каретки у будь-якому місці на несучому канаті, подавання вантажопідіймального гака до вантажу та ін., необхідно оснащувати привід та вантажну каретку додатковими механізмами, які значно ускладнюють їх конструкцію і тим самим знижують надійність роботи установки. Спростити конструкції таких механізмів і підвищити ефективність роботи установок можна за рахунок систем дистанційного керування.

Дистанційне програмне керування містить блоки пам'яті і подавання команд, релейні блоки піднімання вантажу, переміщення каретки і причеплення та відчеплення вантажу. Для практичної реалізації такого керування розроблено нові канатні установки та вдосконалено основні вузли приводів [4, 5]. В конструкції приводів канатних лісотransпортних установок, які працюють на значних відстанях від автономних джерел електроенергії, використовують двигуни внутрішнього згорання (дизельний, карбюраторний), для яких складно розробити схему програмного керування. Тому більш доцільно такі установки оснащувати генераторами та електродвигунами з відповідним забезпеченням регулювання швидкості руху та гальмування барабанів. Розрахункову схему регульованого приводу наведено на рис. 1.

Схема керування приводом повинна забезпечувати оптимальний динамічний режим його роботи. У системах з двигуном постійного струму $F(x,t)$ можуть бути виключені шляхом використання послідовного корегульованого пристрою (ПКП) [6]. Однак для розробки програми роботи пристрою необхідно знати характер зміни $F(x,t)$. Рівняння руху приводу канатної установки, що містить двигун, передачу, барабан і регульовальну систему, можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} I_1 \ddot{\gamma}_1 + C_1 (\gamma_1 - \gamma_2) + v_x \left(\dot{\gamma}_1 - \dot{\gamma}_2 \right) = M_d \\ I_2 \ddot{\gamma}_2 + C_1 (\gamma_1 - \gamma_2) - \frac{D_B}{2} C_2 \cdot \delta \cdot \left(1 - \frac{\delta}{2l_K} \right) - \frac{D_B}{2} \cdot \xi = -F(y,t) \cdot \frac{D_B}{2} \end{cases}, \quad (1)$$

де I_1, I_2 – моменти інерції відповідно двигуна і барабана; γ_1, γ_2 – кути закручування відповідних мас; C_1 – жорсткість лінії з'єднання двигун–барабан; C_2 – жорсткість тягово-вантажопідіймального каната; ν_x – коефіцієнт опору рухові елемента; M_d – крутильний момент на валу двигуна; D_b – діаметр барабана; δ, ξ – абсолютна деформація і швидкість відносної деформації каната; $F(y, t)$ – зусилля, що виникає в канаті.

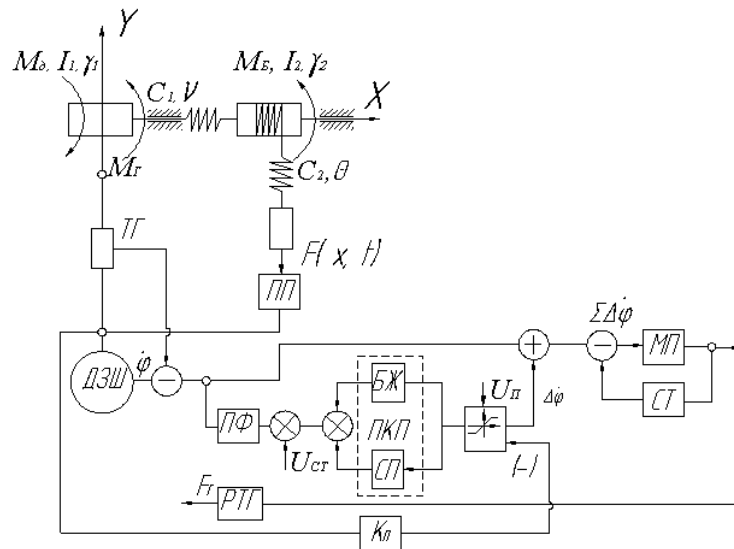


Рис. 1. Розрахункова схема приводу канатної установки з програмним керуванням: РТГ – регулятор тиску з гальмами; МП – магнітний підсилювач; СТ – стабілізуючий трансформатор; ПКП – послідовно-коректувальний пристрій; ДЗШ – датчик заданої швидкості; ПП – передавальна функція пружної системи; БЖ – блок живлення; ПФ – передавальна функція перетворювача напружень; ТГ – трансформатор-генератор; СТ – стабілізуючий пристрій; U_n – постійний сигнал; $U_{ст}$ – статичний сигнал; $K_{п}$ – коефіцієнт передавання

Методику розв'язування системи рівнянь (1) наведено в роботах [7, 8]. Рух каната під дією зусилля $F(y, t)$ можна описати таким рівнянням:

$$m^2 \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} - (E_K \cdot A_K)^2 \cdot \left(1 + \mu \frac{\partial}{\partial t}\right) \cdot \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0, \quad (2)$$

де $V(y, t)$ – швидкість руху каната; $E_K \cdot A_K$ – жорсткість каната; m – маса рухомого вантажу.

$$\text{При } y = 0; \quad \frac{\partial V}{\partial y} = 0; \quad y = l_K; \quad m^2 \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = -E_K \cdot A_K \cdot \left(1 + \mu \frac{\partial}{\partial t}\right) \cdot \frac{\partial V}{\partial y} - F(y, t); \quad t = 0; \quad V = 0.$$

Користуючись методом узагальнених координат, можна знайти переміщення вантажу з рівняння:

$$y(l_K, t) = Y_0 + \sum_{m=1}^{\infty} Y_m(l_K) \cdot Y_m(t), \quad (3)$$

де Y_0, Y_m – узагальнені координати, які знаходять з рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} (m + \rho_K \cdot l_K) \cdot Y_0 &= -F(y, t); \\ Y_m + \mu \cdot \xi_K^2 \cdot Y_m + \xi_K^2 \cdot Y_m &= -l_K \cdot F(y, t) \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

де μ – параметр в'язкості каната; ξ – швидкість відносної деформації каната; ρ_K – усереднена густина матеріалу каната, [9]. Обмежившись певним тоном коливань, можна знайти зусилля $F(y, t)$. Для першого тону коливань: $y(l_K, t) = Y_0 + Y_1(l_K) \cdot Y_1$ зусилля визначають з виразу: $F = \left[\int_0^t dt \int_0^t (-\theta) \cdot dt - y(l_K) \right] \cdot C_2$. Описати роботу системи регулювання гальмами і синтезу коректуючих ланок згідно з схемою (рис. 1) можна за допомогою диференціальних рівнянь [6]:

$$t_1 \frac{d\sigma(u)}{dt} + \sigma(u) = k_1 \cdot u; \quad (5)$$

$$t_2 \frac{du}{dt} + u = k_2 \cdot \sum \Delta\varphi^0; \quad (6)$$

$$t_3 \frac{d\Delta\varphi_2}{dt} + \Delta\dot{\varphi}_2 = k_3 \cdot t_3 \cdot \frac{du}{dt}; \quad (7)$$

$$t_4 \frac{d\dot{\varphi}_1}{dt} + \Delta\dot{\varphi}_1 = k_4 \cdot t_4 \cdot \frac{d\Delta\dot{\varphi}}{dt}; \quad (8)$$

$$\dot{\varphi}_3 = f(\varphi). \quad (9)$$

де $k_1 - k_4$ – коефіцієнти, які характеризують роботу відповідних елементів.

Наведені рівняння описують відповідно роботу: регулятора тиску з гальмами; магнітного підсилювача; стабілізуючого трансформатора; послідовно-коректувального пристрою; датчика заданої швидкості.

$$\sigma(u) = \frac{F(y, t)}{F_T} - \text{відносне значення гальмівного зусилля.}$$

Для розв'язування рівнянь можна скористатися рівняннями, що встановлюють зв'язок між зусиллями у початковий період гальмування:

$$I_2 \gamma_2'' = M_D - F(y, t) \cdot \frac{D_B}{2} - F_T \cdot \frac{D_B}{2}. \quad (10)$$

Якщо M_D – момент двигуна на першій пусковій характеристиці, то:

$$M_D = M_B - \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \cdot M_B, \quad (11)$$

де M_B – крутильний момент на валу барабана.

Об'єднавши рівняння (1), (2), (4–9), отримаємо систему рівнянь, яка описує процес роботи приводу канатної лісотранспортної установки з дистанційним керуванням.

Систему запускають подаванням на вхід постійного сигналу Un , а сповільнюють – зняттям цього сигналу. Час періоду рівноприскореного руху визначають коефіцієнтом передавання k_K . Дію моменту статичних опорів компенсують сигналом $U_{ст}$.

Коефіцієнти управління стабілізуючим пристроєм визначаються довжиною каната, величиною і характером зміни навантаження $F(x, t)$. Правильно їх вибираючи, можна практично виключити коливання динамічних навантажень, що передаються на електродвигун. Однак при цьому запуск здійснюють плавним розгальмовуванням приводу з одночасним подаванням основного сигналу.

Для прикладу розглянемо графік зміни основних параметрів двигуна, якщо схема програмного керування містить передавач радіоуправління, модулятор і приймач на базі мікросхеми K174XA2, [4]. Вантажопідіймальність установки $Q=32$ кН, довжина каната $l=100$ м, швидкість руху

$V=5$ м/с, діаметр каната $d=18$ мм, $E_K=1,8 \cdot 10^5$ МПа, $D_B = 0,32$ м, $C_1=30$ кН/рад, $C_2=15$ кН/рад, $I_1=5,0$ кг·м²; $I_2=10$ кг·м².

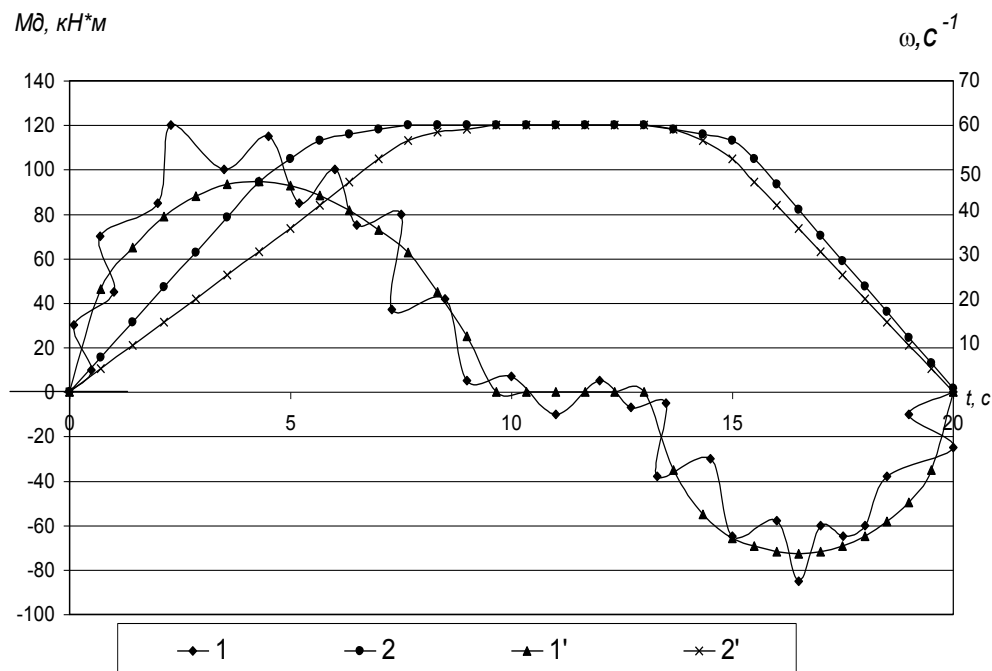


Рис. 2. Графіки зміни кутової швидкості та моменту на валу двигуна під час пуску, усталеного руху та зупинки приводу I;
 $1' - \omega_D = f(t)$; $2' - M_D = f(t)$ відповідно
 для звичайної та активної систем керування

Із графіків видно, що за оптимальної системи керування практично відсутні динамічні навантаження під час нормальних режимів, а під час пуску і гальмування їх зміни відбуваються стабільно.

1. Шкіря Т.М. Технологія і машини лісосічних робіт. – Львів: Тріада плюс, 2003. – 352 с.
2. Адамовський М.Г., Мартинців М.П., Бадера Й.С. Підвісні канатні лісотранспортні системи. – К.: ІЗМН, 1997. – 156 с.
3. Лютий Є.М., Мартинців М.П., Бадера Й.С. Стан та перспективи розвитку канатного транспорту лісу в регіоні Українських Карпат // Науковий вісник. Лісовий комплекс напередодні XXI століття: освіта, наука, виробництво. – Львів, УкрДЛТУ, 1999. Вип. 9.6. – С. 63 – 67.
4. Мартинців М.П. Ацбергер Й.М., Мартинців В.М. Дистанційне програмне керування канатними лісотранспортними установками // Вісник технологічного університету Поділля. Ч. 1. Технологічні науки. Хмельницький, 2003. Вип.1. – С. 148–152.
5. Канатна установка з дистанційним керуванням: Деклараційний патент.2289, Україна U 7B61B7/00. Мартинців М.П., Мартинців В.М., Баріляк В.В., Рудько І.М. – № 2003065905, заявлено 25.06.03. Опубл. 15.01.04. Бюл. № 1. – 4 с.
6. Вейц В. Л., Кочура А. Е., Мартыненко А. М. Динамические расчёты приводов машин. – Л.: Машиностроение, 1971. – 353 с.
7. Кузьо І.В., Мартинців М.П., Дзюба Л.Ф., Баріляк В.В. Моделювання перехідних режимів роботи транспортних установок із замкнутим канатом // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2002. № 456. – С. 85 – 90.
8. Малащенко В.О., Мартинців М.П., Баріляк В.В. Дослідження роботи приводів вантажопідіймальних і транспортуючих машин з канатною тягою // Підіймально-транспортна техніка. – 2004.– № 2(10). – С. 16–25.
9. Мартинців М.П. Розрахунок основних елементів підвісних канатних лісотранспортних установок. – К.: Ясмина, 1996. – 175 с.