

УДК 621.87

**В. Ловейкін, докт. техн. наук; О. Костина**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

## **ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПУСКУ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА**

***Резюме.** Представлено методику оптимізації режиму пуску скребкового конвеєра. За критерій оцінювання режиму руху конвеєра обрано середньоквадратичне відхилення швидкостей центра мас скребків і тягового органу в момент збігання з натяжного барабана. Отримано оптимальний режим руху системи та закон зміни рушійного моменту, який зводить до мінімуму величину динамічних навантажень.*

***Ключові слова:** скребковий конвеєр, математична модель, динамічні навантаження, оптимальні режими руху.*

**V. Lovejkin, O. Kostyna**

## **OPTIMIZATION OF MODE OF START-UP OF SCRAPER CONVEYOR**

***The summary.** Optimization technique of mode of start-up of scraper conveyor is presented. For criterion of optimization of estimation of mode of movement of the conveyor the root-mean-square deviation of speed of center of weights of scrapers and traction body during the moment when run from tension drum is chosen. Optimum mode of movement of system and the law of change of the driving moment which reduces size of dynamic loadings to a minimum is received.*

***Key words:** scraper conveyor, mathematical model, dynamic loadings, optimum modes of movement.*

**Постановка проблеми.** Попередніми теоретичними дослідженнями [2] було встановлено, що в тяговому елементі скребкового конвеєра виникають коливальні процеси зі значною зміною швидкості та прискорення на ділянці пуску. Такі процеси спричиняють динамічні навантаження в тяговому органі та елементах привода і, як наслідок, – це призводить до передчасного руйнування і зниження надійності роботи конструкції конвеєра. Для мінімізації цих навантажень необхідно провести оптимізацію режиму руху конвеєра на ділянці пуску.

Для оптимізації керування руху досить часто використовують варіаційне числення, яке дає можливість отримати плавні керуючі функції, що дозволяє «пом'якшити» режим руху системи [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню оптимізації режимів руху різних механічних систем присвячено роботи [1, 3, 6], в яких розглядається оптимальне керування рухом вантажопідійомних, будівельних та підйомно-транспортних машин.

У статті [4] наведено методику розв'язання оптимізаційних задач руху механічних систем за допомогою прямого варіаційного методу, розв'язано задачу мінімізації середньоквадратичного значення динамічної складової приводного зусилля механічної системи. В роботі [5] наведено спосіб вирішення проблеми усунення коливань вантажу під час пуску візка крана, критерієм оптимізації перехідного режиму слугує квадратична різниця швидкості візка і вантажу.

Проте дослідження оптимізації режимів руху скребкових конвеєрів практично не проводились.

**Мета роботи.** Провести оптимізацію режиму пуску скребкового конвеєра для мінімізації динамічних навантажень, що виникають у тяговому органі та елементах привода конвеєра.

**Результати досліджень.** Для проведення досліджень використовується чотиримасова динамічна модель скребкового конвеєра (рис. 1). Холостою віткою конвеєра нехтуємо, оскільки з попередніх досліджень встановлено, що її вплив на характер руху не суттєвий.

При побудові моделі зроблено такі припущення:

- всі елементи скребкового конвеєра є абсолютно твердими тілами, окрім елементів передавального механізму та тягового органу, які володіють пружними властивостями;
- корпус привода конвеєра та вали тягових зірочок закріплені абсолютно жорстко.

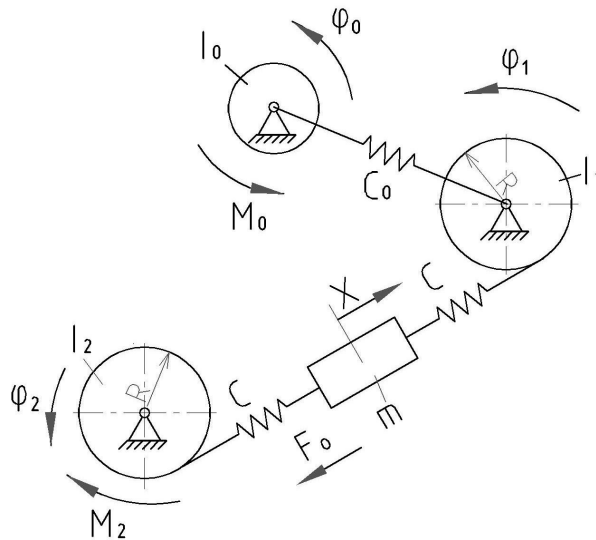


Рисунок 1. Динамічна модель скребкового конвеєра

Система диференціальних рівнянь, яка описує динамічні процеси в скребковому конвеєрі, складена на основі принципу Даламбера і має такий вигляд:

$$\begin{cases} I_0 \ddot{\varphi}_0 = M_0 - c_0 (\varphi_0 - \varphi_1); \\ I_1 \ddot{\varphi}_1 = c_0 (\varphi_0 - \varphi_1) - cR (\varphi_1 R - x); \\ m \ddot{x} = c (\varphi_1 R - x) - c (x - \varphi_2 R) - F_0; \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 = cR (x - \varphi_2 R) - M_2, \end{cases} \quad (1)$$

де  $I_0$  – момент інерції елементів приводного механізму, зведених до осі приводного вала;

$I_1, I_2$  – моменти інерції приводного та натяжного валів конвеєра відносно власних осей обертання;

$\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2$  – кутові координати повороту відповідно приводного механізму, приводної та натяжної зірочок конвеєра;

$x$  – лінійна координата центру мас робочої вітки конвеєра;

$m$  – маса, що зосереджена на робочій вітці конвеєра;

$c_0$  – коефіцієнт жорсткості приводного механізму, зведений до осі повороту приводного вала;

$c$  – коефіцієнт жорсткості тягового ланцюга конвеєра;

$R$  – радіуси приводної і натяжної зірочок;

$M_0$  – рушійний момент привода, зведений до осі повороту приводного валу;

$M_2$  – момент опору від зачерпування скребками вантажу, зведений до осі повороту натяжного валу;

$F_o$  – сила опору переміщенню робочої вітки конвеєра.

З рівнянь системи (1) виразимо лінійну координату центру мас робочої вітки конвеєра  $x$ , кутові координати повороту приводного механізму  $\varphi_0$ , приводного барабана  $\varphi_1$ , а також рушійний момент  $M_0$ , через кутову координату  $\varphi_2$  та її похідні. При цьому рушійний момент має вигляд

$$M_0 = (mR^2 + I_0 + I_1 + I_2) \ddot{\varphi}_2 + \left\{ \frac{I_0}{c_0} \left[ \frac{c_0}{c} \left( m + \frac{2I_2}{R^2} \right) + mR^2 + I_1 + I_2 \right] + \frac{m}{c} \left[ I_1 \left( 1 + \frac{2I_2}{mR^2} \right) + I_2 \right] \right\} \varphi_2 + \frac{mI_0 I_1 I_2}{c_0 c} \varphi_2 + M_2 + F_o R. \quad (2)$$

Критерії оцінювання режимів руху машин являють собою інтегральні функціонали, які залежать від режимів руху механізмів і відображають їх динаміку з урахуванням побудованої математичної моделі [3]. Оскільки ці критерії відображають небажані властивості механізмів, то їх необхідно мінімізувати.

За критерій оцінювання режиму руху скребкового конвеєра на ділянці пуску використано середньоквадратичне відхилення швидкостей центра мас скребків і тягового органу в момент збігання з натяжного барабана, який з урахуванням рівнянь системи (1) має вигляд

$$I_{21} = \left[ \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} f_{21} dt \right]^{1/2}; \quad (3)$$

$$f_{21} = (\ddot{x} - \ddot{\varphi}_2 R)^2 = \left( \frac{I_2}{cR} \ddot{\varphi}_2 \right)^2, \quad (4)$$

де  $t_1$  – тривалість розгону конвеєра.

Умовою мінімуму критерію (3) з підінтегральними виразом (4) є рівняння Ейлера-Пуассона [8]

$$\frac{\partial f_{21}}{\partial \varphi_2} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f_{21}}{\partial \dot{\varphi}_2} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial f_{21}}{\partial \ddot{\varphi}_2} - \frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial f_{21}}{\partial \ddot{\varphi}_2} = 0. \quad (5)$$

Оскільки функція  $f_{21}$  залежить лише від  $\ddot{\varphi}_2$ , то

$$\frac{\partial f_{21}}{\partial \varphi_2} = \frac{\partial f_{21}}{\partial \dot{\varphi}_2} = \frac{\partial f_{21}}{\partial \ddot{\varphi}_2} = 0,$$

$$\frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial f_{21}}{\partial \ddot{\varphi}_2} = 2 \left( \frac{I_2}{cR} \right)^{VI} \varphi_2 = 0.$$

Останній вираз дорівнює нулю, коли  $\varphi_2 = 0$ .

Оптимізацію режиму пуску конвеєра здійснено при таких крайових умовах руху:

$$\text{при } t = 0 \quad \Rightarrow \quad \varphi_2 = 0, \quad \dot{\varphi}_2 = 0, \quad \ddot{\varphi}_2 = 0;$$

$$\text{при } t = t_1 \quad \Rightarrow \quad \dot{\varphi}_2 = \omega_y, \quad \ddot{\varphi}_2 = 0, \quad \ddot{\varphi}_2 = 0,$$

де  $\omega_y$  – усталена швидкість повороту натяжного вала.

Послідовно інтегруючи рівняння  $\varphi_2 = 0$ , враховуючи крайові умови руху на ділянці пуску, отримаємо оптимальний закон руху натяжного барабана

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= \frac{3t^5\nu}{5Rt_1^4} - \frac{2t^4\nu}{Rt_1^3} + \frac{2t^3\nu}{Rt_1^2}; \\ \dot{\varphi}_2 &= \frac{3t^4\nu}{Rt_1^4} - \frac{8t^3\nu}{Rt_1^3} + \frac{6t^2\nu}{Rt_1^2}; \\ \ddot{\varphi}_2 &= \frac{12t^3\nu}{Rt_1^4} - \frac{24t^2\nu}{Rt_1^3} + \frac{12t\nu}{5Rt_1^2}; \\ \dddot{\varphi}_2 &= \frac{36t^2\nu}{Rt_1^4} - \frac{48t\nu}{Rt_1^3} + \frac{12\nu}{5Rt_1^2}; \\ \text{iv} \varphi_2 &= \frac{72t\nu}{Rt_1^4} - \frac{48\nu}{Rt_1^3}; \\ \text{v} \varphi_2 &= \frac{72\nu}{Rt_1^4}. \end{aligned} \quad (6)$$

За допомогою цього режиму, використовуючи рівняння системи (1), отримано оптимальні режими руху приводного механізму та приводного барабана конвеєра. Зміна швидкості і прискорення цих ланок матимуть такий же характер, як і натяжного барабана.

Для наведених вище залежностей (6) і (2) побудовано графіки кутової швидкості (рис. 2) та кутового прискорення (рис. 3) натяжного вала, а також рушійного моменту (рис. 4) при таких параметрах динамічної моделі:

$$\begin{aligned} m &= 76 \text{ кг}; I_0 = 0,7435 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; I_1 = I_2 = 0,00171 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; c_0 = 7378 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{рад}; \\ c &= 1,3 \cdot 10^6 \text{ Н} / \text{м}; R = 0,0535 \text{ м}; M_2 = 1,2 \text{ Н} \cdot \text{м}; F_0 = 1900 \text{ Н}; \nu = 1,5 \text{ м} / \text{с}; t_1 = 3 \text{ с}. \end{aligned}$$

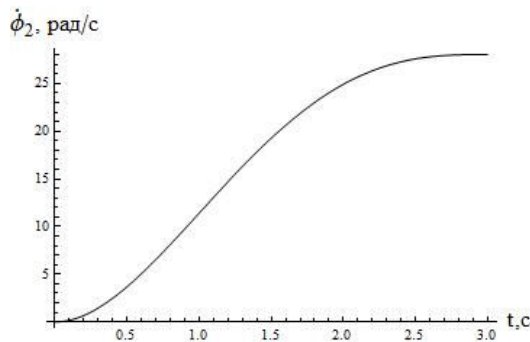


Рисунок 2. Графік зміни кутової швидкості  $\dot{\varphi}_2$

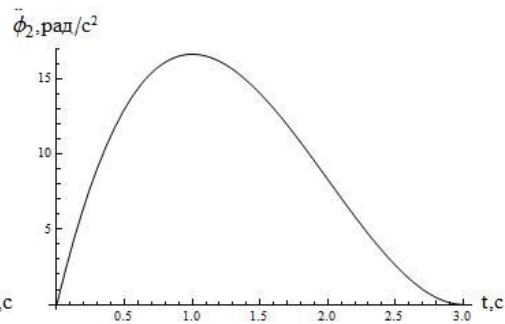
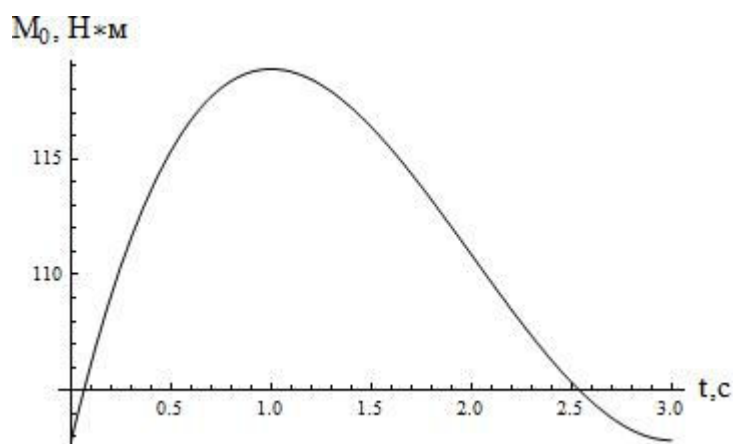


Рисунок 3. Графік зміни кутового прискорення  $\ddot{\varphi}_2$

Рисунок 4. Графік зміни рушійного моменту привода  $M_0$ 

Аналіз оптимальних графіків показує, що отриманий оптимальний режим пуску забезпечує плавну зміну кутової швидкості та прискорення натяжного вала, а також рушійного моменту на валу двигуна, зведеного до приводного вала конвеєра. Усталена швидкість руху конвеєра досягається за 3с. Такий режим пуску зводить до мінімуму коливання в ланках приводного механізму та гнучкому тяговому органі скребкового конвеєра.

**Висновки.** Побудовано математичну модель динаміки руху скребкового конвеєра. На основі отриманої моделі проведено оптимізацію руху конвеєра на ділянці пуску за критерієм середньоквадратичного відхилення швидкостей центра мас скребків і тягового органу в момент збігання з натяжного барабана.

Запропонована методика оптимізації режиму пуску скребкового конвеєра при реалізації її на практиці дає можливість підвищити ефективність та надійність роботи конвеєра.

### Список використаної літератури

1. Григоров, О.В. Оптимальне керування рухом механізмів вантажопідіймних машин [Текст] / О.В. Григоров, В. Ловейкін. – К., 1997. – 262с.
2. Костина, О.Ю. Математична модель динаміки руху скребкового конвеєра [Текст] / О.Ю. Костина, В.С. Ловейкін // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. – Луцьк, 2011. – Т. 1. – Вип. 21. – С. 200–209.
3. Ловейкін, В.С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин [Текст] / В.С. Ловейкін. – К.: УМК ВО, 1990. – 168с.
4. Ловейкін, В.С. Оптимізація перехідних режимів руху механічних систем прямим варіаційним методом [Текст] / В.С. Ловейкін, А.В. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич // Вісник ТДТУ. – 2010. – Том 15. – №1. – С. 7–13.
5. Ловейкін, В.С. Оптимізація перехідних режимів руху кранового візка за інтегральним критерієм квадрату різниці швидкостей візка і вантажу [Текст] / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2010. – № 2. – С. 51–55.
6. Моделювання динаміки механізмів вантажопідіймних машин [Текст] / В.С. Ловейкін, Ю.В. Човнюк, М.Г. Діктерук, С.І. Пастушенко. – Київ-Миколаїв, 2004. – 285с.
7. Смехов, А.А. Оптимальное управление подъемно-транспортными машинами [Текст] / А.А. Смехов, Н.И. Ерофеев. – М.: Машиностроение. 1975. – 239с.
8. Эльгольц, Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление [Текст] / Л.Э. Эльгольц. – М.: Наука, 1969. – 424с.

Отримано 14.12.2011