

М. В. Печеник¹
С. О. Бур'ян¹
Л. М. Наумчук¹

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ ЗМІНИ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІЙ СИСТЕМІ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ПІД ЧАС ПУСКУ

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Проведено дослідження розподілу енергетичних втрат в електромеханічній системі магістрального стрічкового конвеєра за варіацій часу пуску з використанням замкненої системи керування та оптимального регулятора, з точки зору енергетичної ефективності, напруги, а також за різної інтенсивності розгону і коливання навантаження на тяговому органі.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, електромеханічна система, оптимальний регулятор напруги, енергетична ефективність, втрати енергії.

Вступ

Високопродуктивні стрічкові конвеєри, як один з найекономічніших видів транспорту сипучих матеріалів, широко використовуються у вугільній, гірничорудній промисловості і у створенні паливно-енергетичних комплексів. Довжина таких конвеєрів може досягати до 4 км в одному ставі за сумарної потужності приводної станції до 5 МВт, тому з точки зору енергетичних характеристик подібні системи характеризуються високим споживанням електроенергії та її значними втратами.

Проведені раніше дослідження [1, 2] для статичних режимів роботи конвеєрів показали, що застосування замкнутих систем керування з використанням оптимальних регуляторів напруги дозволяє значно знизити втрати енергії як за постійної швидкості двигуна тягового органу, так і при стабілізації об'ємної продуктивності установки.

Одним з найвідповідальніших режимів роботи транспортної системи є пуск стрічкового конвеєра, який разом з великою тривалістю повинен забезпечити обмеження коливань пружно-в'язкої системи. Крім того, цей динамічний режим супроводжується високими втратами енергії в електромеханічній системі.

Враховуючи вищенаведені вимоги досить актуальною є задача розробки способів підвищення енергетичної ефективності високопродуктивних стрічкових конвеєрів в динамічних режимах.

Метою роботи є проведення дослідження розподілу втрат енергії в електромеханічній системі магістрального стрічкового конвеєра в пускових режимах за використання замкнутої системи керування та оптимального, з точки зору енергетичної ефективності, регулятора напруги живлення приводного асинхронного електродвигуна для варіацій інтенсивності розгону і навантаження тягового органу.

Результати дослідження

В основу досліджень енергетичних характеристик під час пуску магістрального конвеєра покладена структура замкнутої системи керування (рис. 1).

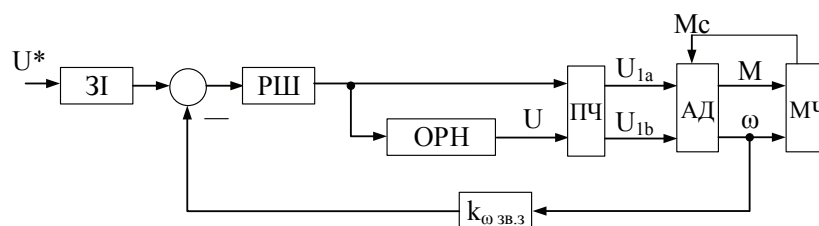


Рис. 1. Функціональна схема замкнутої системи керування

На рисунку використані такі позначення: U^* — напруга завдання; f — частота напруги статора; U — амплітудне значення напруги статора; U_{1a}, U_{1b} — проекції вектора напруги статора на осі a – b системи координат статора; M_c — статичний момент; M — момент навантаження; ω — кутова швидкість; $k_{\text{озв.з.}}$ — зворотний зв'язок за швидкістю; ЗІ — задатчик інтенсивності, призначений для формування різної інтенсивності пуску конвеєра; РШ — ПІ-регулятор швидкості; ОРН — оптимальний з точки зору енергетичної ефективності регулятор напруги, забезпечує мінімальні втрати при пуску конвеєра; ПЧ — перетворювач частоти; АД — приводний асинхронний електродвигун; МЧ — механічна частина установки.

Для опису руху механічної частини конвеєра використана чотиримасова розрахункова схема пружнов'язкої системи, в якій виділені чотири маси: приводний барабан, натяжний барабан, вантажна вітка і холоста вітка конвеєрної стрічки.

Основою побудови математичної моделі руху тягового органу є рівняння Лагранжа другого роду [4]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \left(\frac{\partial T}{\partial q_i} \right) + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial A}{\partial q_i} = 0. \quad (1)$$

Розподілена маса стрічки з вантажем представлена трьома масами на вантажній вітці та однією масою на холостій вітці, це розбиття має задовільну точність у вирішенні технічних завдань.

В якості узагальнених змінних математичної моделі взяті координати положення мас m_1, m_2, m_3, m_4 ; швидкості руху $\dot{X}_1, \dot{X}_2, \dot{X}_3, \dot{X}_4$, переміщення X_1, X_2, X_3, X_4 , а також положення і швидкість переміщення натяжного пристрою $\delta, \dot{\delta}$.

Для створення загальної моделі використовувалися величини кінетичної енергії стрічки, приводного і натяжного пристроїв, величини потенціальної енергії, пружної деформації конвеєрної стрічки і натяжного пристрою. Також враховано сили тертя внутрішнього замкнутого контуру і переміщення натяжних вантажів.

Проводячи низку перетворень з урахуванням сил внутрішнього опору замкнутого контуру і сил опору за переміщення натяжних вантажів, можна отримати систему диференціальних рівнянь, що описує рух конвеєрної стрічки:

$$m_b (2\ddot{X}_1 + \ddot{X}_2) + m_n (2\ddot{X}_1 + \ddot{X}_4) + m_{\text{пр}} \ddot{X}_1 + (2X_1 - X_2 - X_4)C + 0,5(G_{\text{ван}} + G_{\text{пор}})lw \operatorname{sgn} \dot{X}_1 + (2\dot{X}_1 - \dot{X}_2 - \dot{X}_4) = \frac{M_{\text{пр}}}{R_6} \operatorname{sgn} (\dot{X}_c - \dot{X}_1); \quad (2)$$

$$m_b (2\ddot{X}_2 + \ddot{X}_3) + m_b (2\ddot{X}_2 + \ddot{X}_1) + (2X_2 - X_1 - X_3)C + G_{\text{ван}}lw \operatorname{sgn} \dot{X}_2 + (2\dot{X}_2 - \dot{X}_1 - \dot{X}_3)\eta = 0; \quad (3)$$

$$m_e (2\ddot{X}_3 + \ddot{X}_2) + m_n (2\ddot{X}_3 + \ddot{X}_4) + (2X_3 - X_2 - X_4)C + 0,25(X_3 - X_4 - 2\delta)C_K + 0,5(G_{\text{ван}} + G_{\text{пор}})lw \operatorname{sgn} \dot{X}_3 + (2\dot{X}_3 - \dot{X}_2 - \dot{X}_4)\eta = 0; \quad (4)$$

$$m_n (2\ddot{X}_4 + \ddot{X}_3) + m_n (2\ddot{X}_4 + \ddot{X}_1) + (2X_4 - X_1 - X_3)C + 0,25(X_4 - X_1 - X_3)C_K + G_{\text{пор}}lw \operatorname{sgn} \dot{X}_4 + (2\dot{X}_4 - \dot{X}_1 - \dot{X}_3)\eta = 0; \quad (5)$$

$$\frac{G_{\text{нп}}}{g} \ddot{\delta} - 0,5(X_4 - X_3 + \delta)C_K + G_{\text{нп}} + G_{\text{нп}}f \operatorname{sgn} \dot{\delta} = 0, \quad (6)$$

де w — коефіцієнт опору руху стрічки конвеєра; $m_{\text{ван}} = G_{\text{ван}}/6g$, $m_n = G_{\text{пор}}/6g$ — маси вантажної та порожньої віток конвеєра; $M_{\text{пр}}$ — момент двигуна, приведений до валу барабану, C — коефіцієнт жорсткості кожної ділянки конвеєра, C_K — коефіцієнт жорсткості канату.

Математична модель асинхронного електродвигуна і перетворювача частоти отримані відомими методами [2].

Структура оптимального, з точки зору енергетичної ефективності, регулятора напруги отримана, виходячи з мінімізації втрат енергії в статичних та динамічних режимах у відповідності до виразу [3]

$$u = u_H \sqrt{\frac{f}{f_H} M_c^*} \sqrt{S_H + \sqrt{S_H + \frac{P_{M.H} \frac{f}{f_H}}{P_{ст.н} \left(a + b \frac{f}{f_H} \right)}}$$

На підставі отриманих моделей елементів функціональної схеми (рис. 1) з використанням пакета прикладних програм Matlab (Simulink) розроблена модель електромеханічної системи магістрального конвеєра за використання замкнутої системи керування, що дозволяє провести дослідження характеру зміни енергетичних параметрів системи під час пуску для різного рівня завантаження вантажонесучої вітки конвеєра.

Як об'єкт дослідження використаний тяговий магістральний стрічковий конвеєр 1Л1000Д, довжиною 1000 м, обладнаний асинхронним приводним електродвигуном потужністю 160 кВт. Дослідження режимів пуску конвеєра проведені за різної завантаженості тягового органу $M = 0,5M_H$, $M = 0,7M_H$; $M = M_H$ з варіаціями часу пуску 1 хв — 5 с, 2 хв — 10 с, 3 хв — 18 с.

Графіки перехідних процесів під час пуску конвеєра показані на рис. 2—7.

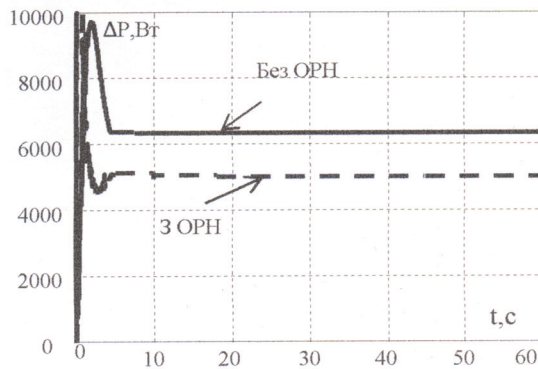


Рис. 2. Графіки розподілення втрат відносно часу під час пуску ($M = 0,5M_H$; $t_n = 1x$)

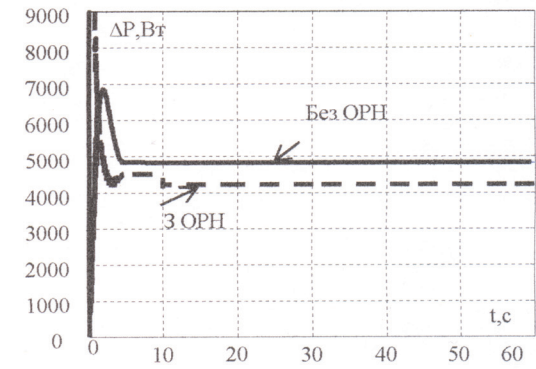


Рис. 3. Графіки розподілення втрат відносно часу під час пуску ($M = 0,7M_H$; $t_n = 1x$)

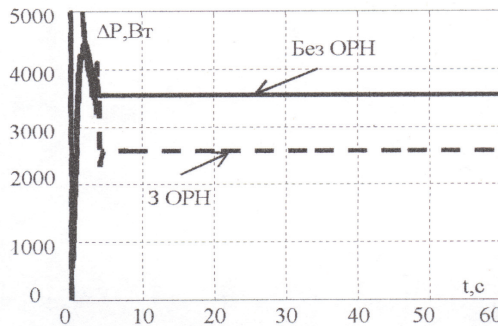


Рис. 4. Графіки розподілення втрат відносно часу під час пуску ($M = M_H$; $t_n = 1x$)

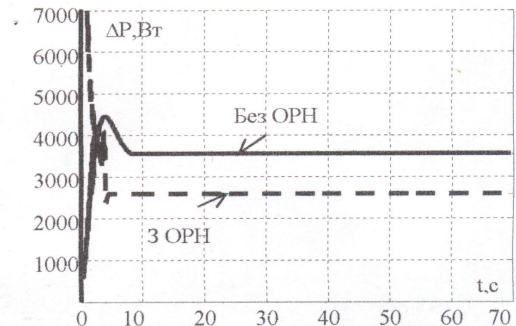


Рис. 5. Графіки розподілення втрат відносно часу під час пуску ($M = M_H$; $t_n = 2x$)

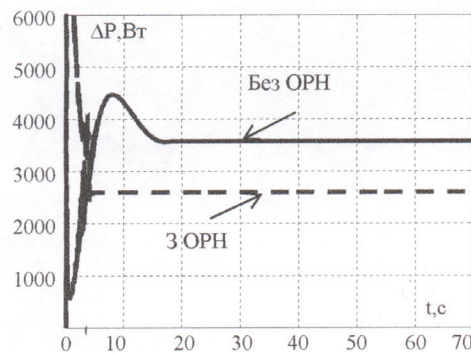


Рис. 6. Графіки розподілення втрат відносно часу під час пуску ($M = M_H$; $t_n = 3x$)

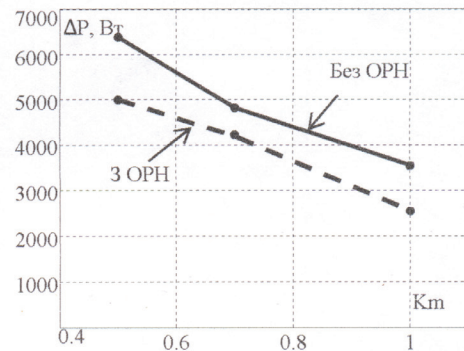


Рис. 7. Графіки залежностей $\Delta P = f(K_m)$ на основі результатів перехідних процесів, показаних на рис. 2—6

На підставі результатів, показаних на графіках перехідних процесів (рис. 2—6), отримано залежності $\Delta P = f(K_m)$ (рис. 7), де $K_m = M_i/M_n$; M_i — несуче завантаження конвеєра; M_n — номінальне завантаження конвеєра.

Аналіз результатів проведених досліджень показав, що з коливаннями навантаження на тяговому органі конвеєра за використання оптимального регулятора напруги втрати енергії під час пуску знижуються в середньому до 23 % залежно зміни навантаження від $0,5 M_n$ до M_n .

Висновки

Використання замкнутої системи керування магістральним конвеєром в режимі пуску тягового органу, до складу якої входить оптимальний за енергетичної ефективності регулятор напруги, дозволить значно (до 20...23 %) знизити втрати енергії.

Подібні системи керування можуть бути використані під час проектування нових і модернізації діючих систем неперервного транспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Печеник М. В. Питання підвищення енергетичної ефективності асинхронних електроприводів / М. В. Печеник, О. М. Суходоля // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 1998. — № 2. — С. 29—32.
2. Печеник М. В. Розробка моделі електромеханічної системи стрічкового конвеєра з врахуванням енергозберігаючих режимів роботи електроприводу / М. В. Печеник, О. А. Зайченко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2007. — № 1. — С. 115—120.
3. Leonhard W. Control of Electrical Drives / Leonhard W. Springer — Verlag. — Berlin, 1996. — 420 p.
4. Печеник М. В. Особливості підвищення енергетичної ефективності електромеханічної систем конвеєра / М. В. Печеник, С. О. Бур'ян, А. О. Горбатовський // Вісник НТУУ «ХПІ». Серія : Проблеми автоматизованого електропривода теорія і практика. — Харків : — 2013. — № 36. — С. 382—384.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 3.12.2015

Печеник Микола Валентинович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, e-mail: pechenikMV@ukr.net;

Бур'ян Сергій Олександрович — канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, e-mail: sburyan18@gmail.com;

Наумчук Людмила Миколаївна — аспірантка кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, e-mail: anzuz030690@ukr.net .

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

M. V. Pechenyk¹
S. O. Burian¹
L. M. Naumchuk¹

Research of Variation of Energy Loss in Electromechanical Systems of Conveyor Belt at Start

¹National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

There has been conducted the study on the distribution of energy losses in electromechanical system of the main conveyor belt at the time variations start using closed systems of control and optimal regulator in terms of energy efficiency, and also voltage and intensity at different acceleration and load fluctuations on the traction body.

Keywords: belt conveyor, electromechanical system, optimum voltage regulator, energy efficiency, loss of energy.

Pechenyk Mykola V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, e-mail: pechenikMV@ukr.net;

Burian Sergii O. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, e-mail: sburyan18@gmail.com;

Naumchuk Liudmyla M. — Post-Graduate Student of the Chair of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, e-mail: anzuz030690@ukr.net

Н. В. Печеник¹
С. А. Бурьян¹
Л. Н. Наумчук¹

Исследование характера изменения потерь энергии в электромеханической системе ленточного конвейера при пуске

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Проведено исследование распределения энергетических потерь в электромеханической системе магистрального ленточного конвейера при вариациях времени пуска с использованием замкнутой системы управления и оптимального регулятора, с точки зрения энергетической эффективности, напряжения, а также при разной интенсивности разгона и колебания нагрузки на тяговом органе.

Ключевые слова: ленточный конвейер, электромеханическая система, оптимальный регулятор напряжения, энергетическая эффективность, потери энергии.

Печеник Николай Валентинович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации электромеханических систем и электропривода, e-mail: pechenikMV@ukr.net;

Бурьян Сергей Александрович — канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации электромеханических систем и электропривода, e-mail: sburyan@gambler.ru;

Наумчук Людмила Николаевна — аспирант кафедры автоматизации электромеханических систем и электропривода, e-mail: anzuz030690@ukr.net