

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ БАГАТОДВИГУННОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

М.В. Печеник, канд.техн.наук, **С.О. Бур'ян**, канд.техн.наук, **Л.М. Наумчук**
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
 пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна,
 e-mail: s.buryan@kpi.ua, era.kpi.ua

Представлено математичну модель 6-ти масової електромеханічної системи, яка описує рух стрічки конвеєра з багатодвигунним електроприводом. Наведено результати досліджень втрат енергії в електродвигунах магістрального стрічкового конвеєра з розташуванням двох приводних електродвигунів у головній і одного в хвостовій частинах при ступінчатій зміні моменту навантаження. Показано характер зміни показників енергетичної ефективності в залежності від завантаження стрічки конвеєра. Бібл. 3, рис. 2.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, багатодвигунний електропривод, енергоефективність.

Одним із найбільш перспективних видів безперервного транспорту є стрічкові конвеєри, які використовуються для транспортування сипучих та штучних вантажів з різною продуктивністю та швидкістю руху конвеєрної стрічки. Відстань транспортування стрічковими конвеєрами сягає декількох кілометрів, їхня траса може мати різну схему, що дозволяє застосовувати конвеєри до різних умов виробництва і місцевості. Застосування приводу на хвостовому барабані, за рахунок компенсації опору порожньої вітки, дає можливість збільшити довжину конвеєра в одному ставі або використовувати конвеєрну стрічку з меншим перерізом. Однак збільшення довжини конвеєра призводить до зростання усталеної потужності електроприводу, а значить до суттєвого рівня споживання електроенергії. Тому метою роботи є проведення дослідження характеру зміни втрат енергії в двигунах магістрального конвеєра при використанні замкненої системи керування і оптимального за енергетичною ефективністю закону регулювання напруги.

У роботі використано підхід до опису руху пружно-в'язких систем стрічкових конвеєрів, в основу якого покладено метод Лагранжа 2-го роду при введенні наступних загальних припущень: швидкості переміщення стрічки по приводних барабанах незмінні, коефіцієнти опору вантажної і порожньої віток постійні, відсутнє проковзування стрічки відносно барабанів, траса конвеєра прямолінійна [1]. З метою більш точного опису характеру переміщення стрічки в статичних і динамічних режимах було прийнято 6-масову розрахункову схему з двома електродвигунами в головній частині і одним в хвостовій частині конвеєра. Натяжний пристрій розміщено у хвостовій частині конвеєра. Схема показана на рис. 1.

На розрахунковій схемі конвеєра прийнято наступні позначення: 1, 2 – приводні барабани; 3 – натяжний барабан; 4 – вантажна вітка; 5, 6, 7 – порожні вітки; m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 – положення п'яти зосереджених мас; $G_{\text{НП}}$ – вага натяжного пристрою; $M_{\text{ПР1}}, M_{\text{ПР2}}$ – моменти двигуна, приведені до валу приводних барабанів; $M_{\text{ПР3}}$ – момент двигуна, приведений до валу натяжного барабану; l – довжина конвеєрної стрічки; X_6, \dot{X}_6 – положення і швидкість переміщення натяжного вантажу; X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 – переміщення п'яти мас; $\dot{X}_1, \dot{X}_2, \dot{X}_3, \dot{X}_4, \dot{X}_5$ – швидкості п'яти мас; $C_{\text{ван}}, C_{\text{пор}}$ – коефіцієнти жорсткості стрічки вантажної і порожньої віток; $\beta_{\text{ван}}, \beta_{\text{пор}}$ – коефіцієнти в'язкого тертя вантажної і порожньої віток.

Як узагальнені змінні математичної моделі руху конвеєра прийнято координати положення п'яти мас $m_1 - m_5$, їхні швидкості $\dot{X}_1 - \dot{X}_5$, переміщення $X_1 - X_5$ і положення та швидкість переміщення натяжного вантажу X_6, \dot{X}_6 .

При створенні загальної моделі стрічкового конвеєра враховувалися величини кінетичної енергії стрічки, приводного і натяжного барабанів, а також потенці-

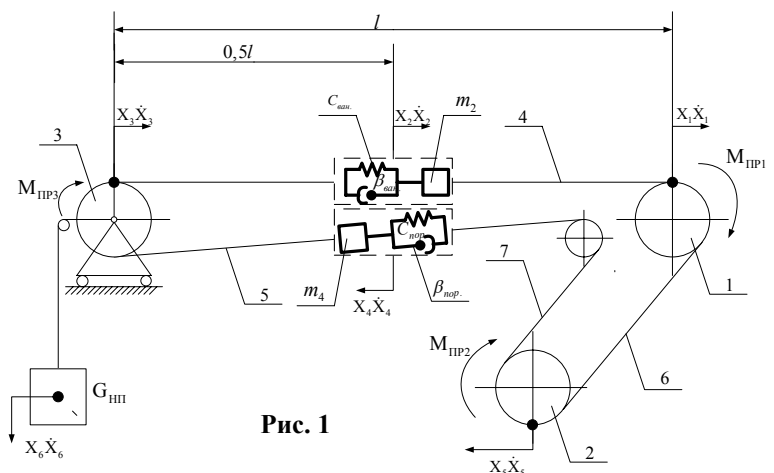


Рис. 1

льна енергія пружної деформації конвеєрної стрічки, канатів натяжної системи та положення натяжного вантажу [3].

З урахуванням сил замкненого контуру стрічки та сил опору переміщення натяжних вантажів було отримано наступну систему диференціальних рівнянь, яка описує рух стрічки завантаженого багатодвигунного конвеєра

$$(2m_{\text{ван}} + 2m_{\text{пор}} + m_{\text{пр.1}})\ddot{X}_1 + m_{\text{ван}}\ddot{X}_2 + m_{\text{пор}}\ddot{X}_5 + 2\beta\dot{X}_1 - \beta\dot{X}_2 - \beta\dot{X}_5 + 2CX_1 - CX_2 - CX_5 + 0.5lw \operatorname{sign} \dot{X}_1 (G_{\text{ван}} + G_{\text{пор}}) = \frac{M_{\text{пр1}} \operatorname{sign}(\dot{X}_{c1} - \dot{X}_1)}{R_6}, \quad (1)$$

$$m_{\text{ван}}\ddot{X}_1 + 4m_{\text{ван}}\ddot{X}_2 + m_{\text{ван}}\ddot{X}_3 - CX_1 + 2CX_2 - CX_3 + G_{\text{ван}}lw \operatorname{sign} \dot{X}_2 - \beta\dot{X}_1 + 2\beta\dot{X}_2 - \beta\dot{X}_3 = 0, \quad (2)$$

$$(2m_{\text{ван}} + 2m_{\text{пор}} + m_{\text{пр.3}})\ddot{X}_3 + m_{\text{пор}}\ddot{X}_4 + m_{\text{ван}}\ddot{X}_2 + 2\beta\dot{X}_3 - \beta\dot{X}_4 - \beta\dot{X}_2 + (2C + 0.25C_k)X_3 - (C + 0.25C_k)X_4 - CX_2 - 0.5C_kX_6 + 0.5lw \operatorname{sign} \dot{X}_3 (G_{\text{ван}} + G_{\text{пор}}) = \frac{M_{\text{пр3}} \operatorname{sign}(\dot{X}_{c3} - \dot{X}_3)}{R_6}, \quad (3)$$

$$m_{\text{пор}}\ddot{X}_5 + 4m_{\text{пор}}\ddot{X}_4 + m_{\text{пор}}\ddot{X}_3 - CX_5 + (2C + 0.25C_k)X_4 - (C + 0.25C_k)X_3 - \beta\dot{X}_5 + 2\beta\dot{X}_4 - \beta\dot{X}_3 + G_{\text{пор}}lw \operatorname{sign} \dot{X}_4 = 0, \quad (4)$$

$$(2m_{\text{ван}} + 2m_{\text{пор}} + m_{\text{пр.2}})\ddot{X}_5 + m_{\text{пор}}\ddot{X}_4 + m_{\text{ван}}\ddot{X}_1 + 2\beta\dot{X}_5 - \beta\dot{X}_4 - \beta\dot{X}_1 + 2CX_5 - CX_4 - CX_1 + 0.5G_{\text{пор}}lw \operatorname{sign} \dot{X}_5 + G_{\text{ван}}lw \operatorname{sign} \dot{X}_5 = \frac{M_{\text{пр2}} \operatorname{sign}(\dot{X}_{c2} - \dot{X}_5)}{R_6}, \quad (5)$$

$$\frac{G_{\text{нп}}}{g} \ddot{X}_6 - 0.5C_kX_4 + 0.5C_kX_3 + C_kX_6 + G_{\text{нп}} + G_{\text{нп}}f \operatorname{sign} \dot{X}_6 = 0, \quad (6)$$

де w – коефіцієнт опору руху стрічки; $m_{\text{ван.}} = G_{\text{ван}}/6g$, $m_{\text{пор.}} = G_{\text{пор}}/6g$ – маси вантажної і порожньої віток конвеєра, де $G_{\text{ван}}$, $G_{\text{пор}}$ – погонна маса рухомих частин вантажної та порожньої віток, g – прискорення вільного падіння [3]; $m_{\text{пр.1}}$, $m_{\text{пр.2}}$, $m_{\text{пр.3}}$ – маси обертових частин електродвигунів, редуктора, муфт і барабанів, приведені до валу приводних барабанів; \dot{X}_1 , \dot{X}_2 , \dot{X}_3 , \dot{X}_4 , \dot{X}_5 – прискорення п'яти мас; \ddot{X}_6 – прискорення натяжного вантажу; β – коефіцієнт в'язкості стрічки; C – коефіцієнт жорсткості певної ділянки стрічки; C_k – коефіцієнт жорсткості канату; f – приведений коефіцієнт опору руху натяжних вантажів; R_6 – радіус барабанів, \dot{X}_{c1} , \dot{X}_{c2} , \dot{X}_{c3} – коефіцієнти жорсткості силової трансмісії.

При дослідженні розглянута як найбільш перспективна замкнена система регулювання параметрів руху конвеєра. Математичні моделі асинхронного двигуна і перетворювача частоти отримані відомими методами [2]. Для мінімізації втрат енергії в статичних режимах використано оптимальний регулятор напруги (ОРН), який забезпечує мінімізацію енергетичних втрат в електродвигунах при зміні навантаження на валу двигуна за рахунок реалізації оптимального закону регулювання напруги [3].

З метою визначення ефективності використання оптимального закону керування напругою [3] в замкненій системі регулювання для багатодвигунних магістральних конвеєрів з розміщенням одного двигуна в хвостовій частині, за умови рівномірного розподілу навантаження між приводними блоками, розроблено (з використанням прикладних програм Matlab/Simulink) модель електромеханічної системи стрічкового конвеєра. Проведено дослідження характеру зміни величини втрат енергії для статичних режимів роботи при зміні навантаження від $0,5 M_n$ до M_n .

Як об'єкт було використано магістральний стрічковий конвеєр довжиною 1600 м, продуктивністю 850 т/год., обладнаний двома асинхронними електродвигунами, в головній та одним у хвостовій частинах, потужністю 55 кВт кожний, з номінальним моментом 179 Н·м.

Характер зміни сумарних втрат ΔP (втрати в міді, сталі та механічні) у кожному з двигунів приведені на рис. 2, а, а ККД η в залежності від моменту навантаження стрічки конвеєра представлені на рис. 2, б. Графіки показують, що використання замкненої системи керування за наявності оптимального закону регулювання напруги приводних електродвигунів системи конвеєрного транспорту дає можливість зменшити втрати енергії у кожному двигуні до 7,2% при $0,5M_n$ та збільшити величину ККД до 0,896.

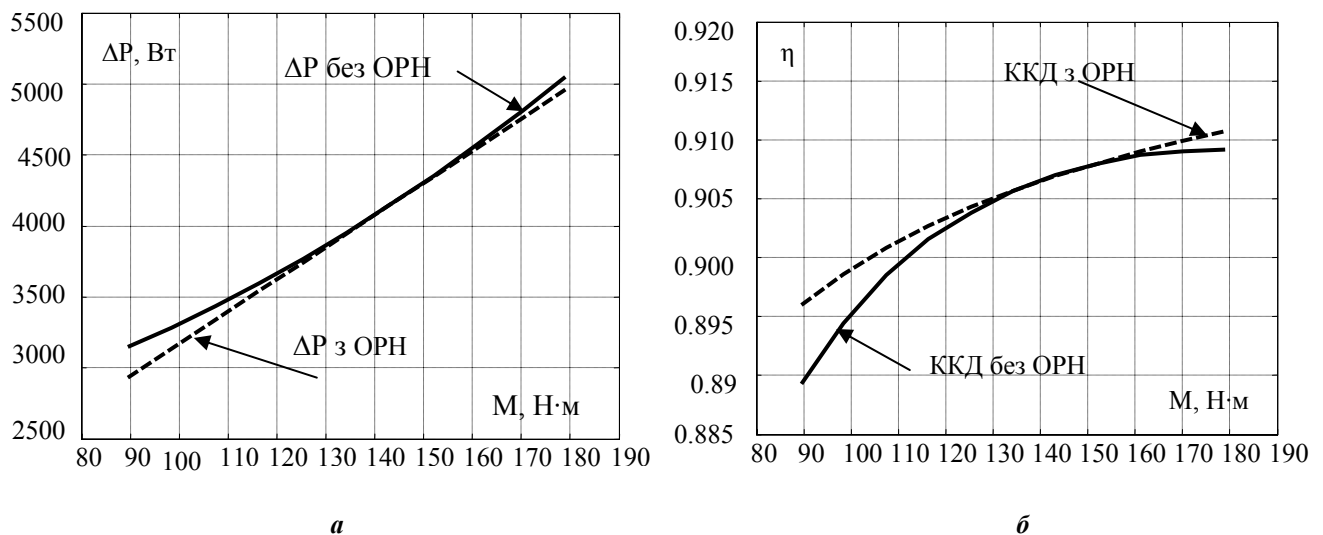


Рис. 2

Отримані результати рекомендуються для використання при проектуванні нових і реконструкції діючих високопродуктивних магістральних конвеєрів.

1. Дмитриева В.В. Разработка математической модели ленточного конвейера с двухдвигательным приводом. – Москва: МГТУ, 2008.
2. Ключев В.И. Теория электропривода. – Москва.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
3. Печеник Н.В., Бурьян С.А. Энергоэффективные режимы работы электромеханических систем ленточных конвейеров // Технічна електродинаміка. – 2014. – №5. – С. 122–124.

УДК 621.313.16

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Н.В. Печеник, канд.техн.наук, С.А. Бурьян, канд.техн.наук, Л.Н. Наумчук
 Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
 пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина, e-mail: s.buryan@kpi.ua, epa.kpi.ua

Представлена математическая модель 6-ти массовой электромеханической системы, описывающей движение ленты конвейера с многодвигательным электроприводом. Приведены результаты исследований потерь энергии в электродвигателях магистрального ленточного конвейера с расположением двух приводных электродвигателей в главной и одного в хвостовой частях при ступенчатом изменении момента нагрузки. Показан характер изменения показателей энергетической эффективности в зависимости от загрузки ленты конвейера. Библи. 3, рис. 3.

Ключевые слова: ленточный конвейер, многодвигательный электропривод, энергоэффективность.

INVESTIGATION OF ENERGY LOSSES IN ELECTROMECHANICAL SYSTEMS MULTIENGINE BELT CONVEYORS

N.V. Pechenik, S.A. Burjan, L.N. Naumchuk
 National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute",
 pr. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine, e-mail: s.buryan@kpi.ua, epa.kpi.ua

Presents mathematical model of 6-mass electromechanical system describing the motion of the conveyor belt with multimotor electric drive. The results of studies energy losses in the engines of main conveyor belt with the location of the two drive motors in the main and one in the tail section with the changing speed load torque. Is shown character of the change of energy efficiency depending on the load of the conveyor belt. References 3, figures 2.

Key words: belt conveyor, multimotor electric drive, energy efficiency.

1. Dmitrieva V.V. Development of a mathematical model of a belt conveyor with two motor-drives. – Moskva: MGTU, 2008. (Rus)
2. Kljuhev V.I., Theory of the electric drive. – Moskva: Energoatomizdat, 1985. – 560 p. (Rus)
3. Pechenik M.V., Burjan S.A. Energy efficient modes of electromechanical systems conveyor belts // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2014. – No 5. – Pp. 122–124. (Rus)

Надійшла 19.02.2016
 Остаточний варіант 28.03.2016