

УДК 621.313.16

ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІЙ СИСТЕМІ КОНВЕЄРА ПРИ ПЛАВНІЙ ЗМІНІ НАВАНТАЖЕННЯ

М. В. Печеник, С. О. Бур'ян, Л. М. НаумчукНаціональний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
вул. Політехнічна, 37, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: sburyan18@gmail.com

Розглянуто питання забезпечення енергетичною ефективністю режимів роботи конвеєра при безперервній зміні реального вантажопотоку. Для стабілізації об'ємного завантаження тягового органу конвеєра використана схема замкнутої системи регулювання лінійної швидкості стрічки у функції вантажопотоку. Складено модель стрічки конвеєра з десятьма координатами стану, що характеризують кінематику переміщення п'яти апроксимуючих мас, та модель керованого асинхронного електропривода. Розроблено модель електромеханічної системи стрічкового конвеєра, яка надана у вигляді чотиримасової структурної схеми. Згідно з отриманими моделями, приведені дослідження енергетичних характеристик електромеханічної системи конвеєра для замкнутої системи регулювання, а саме, оцінка втрат і коефіцієнт корисної дії в електроприводі при постійній швидкості руху тягового органу й при плавній зміні навантаження, що викликано нерівномірністю надходження вантажу на конвеєр. При проведенні вказаних вище досліджень розглядалось два варіанти: з наявністю оптимального регулятора напруги, що дозволяє мінімізувати втрати, та без нього.

Ключові слова: конвеєр, втрати енергії, регулювання, оптимальний регулятор, енергетична ефективність.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КОНВЕЙЕРА ПРИ ПЛАВНОМ ИЗМЕНЕНИИ НАГРУЗКИ

М. В. Печеник, С. А. Бурьян, Л. М. НаумчукНациональный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
ул. Политехническая, 37, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: sburyan18@gmail.com

Рассмотрены вопросы обеспечения энергетической эффективностью режимов работы конвейера при непрерывном изменении реального грузопотока. Для стабилизации объемной загрузки тягового органа конвейера использована схема замкнутой системы регулирования линейной скорости ленты в функции грузопотока. Составлена модель ленты конвейера с десятью координатами состояния, характеризующими кинематику перемещения пяти аппроксимирующих масс, и модель управляемого асинхронного электропривода. Разработана модель электромеханической системы ленточного конвейера, которая представлена в виде четырехмассовой структурной схемы. Согласно полученным моделям приведены исследования энергетических характеристик электромеханической системы конвейера для замкнутой системы регулирования, а именно: оценка потерь и коэффициент полезного действия в электроприводе при постоянной скорости движения тягового органа и при плавном изменении нагрузки, которая вызвана неравномерностью поступления груза на конвейер. При проведении указанных выше исследований рассматривалось два варианта: с наличием оптимального регулятора напряжения, который позволяет минимизировать потери, и без него.

Ключевые слова: конвейер, потери энергии, регулирование, оптимальный регулятор, энергетическая эффективность.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Системи безперервного транспорту, а саме стрічкові конвеєри, широко застосовуються в різних сферах промисловості, забезпечуючи переміщення вантажів на великі відстані. Однак використання нерегульованого асинхронного електроприводу на магістральних конвеєрах і значне коливання навантаження призводить до суттєвих втрат електроенергії й зниження надійності механізму.

Попередні роботи були присвячені дослідженню енергоефективних режимів роботи конвеєрів при фіксованому навантаженні тягового органу [1]. Для більш точного аналізу режимів роботи магістральних конвеєрів і оцінки їх енергетичної ефективності важливо розглядати даний об'єкт як єдину електромеханічну систему. Це дозволяє врахувати вплив механічної частини транспортуючого пристрою на енергетичні характеристики електроприводу. В реальних технологічних умовах конвеєрні системи характеризуються безперервним надходженням ван-

тажу на тяговий орган, у результаті чого навантаження на електродвигуні може змінюватися в межах від 0,5 до 1,2 M_n .

Більш детальне дослідження характеру вантажопотоку на конвеєрному транспорті та його властивостей дозволить значно менше витратити енергії на холостий хід, що запобігатиме передчасному зносу деталей. Але підвищити енергоефективність стрічкових конвеєрів можна не лише за рахунок реєстрації вантажу на тяговому органі, а й за допомогою оптимального регулятора напруги (ОРН).

Метою роботи є вирішення питання забезпечення енергетичною ефективністю режимів роботи конвеєра при безперервній зміні реального вантажопотоку.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. За основу розрахункової схеми було прийнято динамічну модель конвеєра з урахуванням пружних властивостей тягового органу [2]. У дану схему введені наступні обмеження: траса горизонтальна або з не-

змінним кутом нахилу; проковзування стрічки відносно барабана й опорних елементів відсутні; коефіцієнти опору руху вантажної й холостої віток конвеєра постійні [8]. При побудові математичної моделі для вирішення технічних завдань була використана чотиримасова система механічної частини стрічкового конвеєра. Розподілена маса завантаженої стрічки надана трьома масами на вантажній вітці та однією масою на порожній вітці.

Координати положення чотирьох мас m_1, m_2, m_3, m_4 , їх швидкості $\dot{X}_1, \dot{X}_2, \dot{X}_3, \dot{X}_4$, переміщення $\dot{X}_1, \dot{X}_2, \dot{X}_3, \dot{X}_4$, а також положення й швидкість переміщення натяжного вантажу $\delta, \dot{\delta}$ прийняті за узагальнені змінні математичної моделі руху конвеєра.

На основі рівняння Лагранжа другого роду рух стрічки описано наступними десятьма координатами стану [9]:

$$X = (X_1, X_2, X_3, X_4, \dot{X}_1, \dot{X}_2, \dot{X}_3, \dot{X}_4, \delta, \dot{\delta})^T. \quad (1)$$

У загальну модель системи включено величини кінетичної енергії стрічки, приводного й натяжного пристроїв, а також величини потенціальної енергії, пружної деформації конвеєрної стрічки й натяжного пристрою. При описанні моделі також враховуються сили тертя внутрішнього замкнутого контуру й переміщення натяжних вантажів.

Після певних перетворень було отримано математичний опис руху тягового органу конвеєра, який складається з п'яти нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку:

$$(2m_{ван.} + 2m_{ноп.} + 2m_{np.})\ddot{X}_1 + m_{ван.}\ddot{X}_2 + m_{ноп.}\ddot{X}_4 + 2CX_1 - CX_2 - CX_4 + (0,5G_{ван.}lw + 0,5G_{ноп.}lw) \times sgn \dot{X}_1 + 2\eta\dot{X}_1 - \eta\dot{X}_2 - \eta\dot{X}_4 = \frac{M_{np} sgn(\dot{X}_c - \dot{X}_1)}{R_0}; \quad (2)$$

$$m_{ван.}\ddot{X}_1 + 4m_{ван.}\ddot{X}_2 + m_{ван.}\ddot{X}_3 - CX_1 + 2CX_2 - CX_3 + G_{ван.}lw sgn \dot{X}_2 - \eta\dot{X}_1 + 2\eta\dot{X}_2 - \eta\dot{X}_3 = 0; \quad (3)$$

$$m_{ван.}\ddot{X}_2 + (2m_{ван.} + 2m_{ноп.})\ddot{X}_3 + m_{ноп.}\ddot{X}_4 - CX_2 + (2C + 0,25C_\kappa)X_3 - (C + 0,25C_\kappa)X_4 - 0,5C_\kappa\delta + (0,5G_{ван.}lw + 0,5G_{ноп.}lw) sgn \dot{X}_3 + 2\eta\dot{X}_3 - \eta\dot{X}_2 - \eta\dot{X}_4 = 0; \quad (4)$$

$$m_{ноп.}\ddot{X}_1 + 4m_{ноп.}\ddot{X}_4 + m_{ноп.}\ddot{X}_3 - CX_1 + (C + 0,25C_\kappa)X_4 - (2C + 0,25C_\kappa)X_3 + 0,5C_\kappa\delta + G_{ноп.}lws g n \dot{X}_4 - \eta\dot{X}_1 + 2\eta\dot{X}_4 - \eta\dot{X}_3 = 0; \quad (5)$$

$$\frac{G_{nn.}\dot{\delta}}{g} - 0,5(X_4 - X_3 + \delta)C_\kappa + G_{nn.} + G_{nn.}f sgn \dot{\delta} = 0, \quad (6)$$

де w – коефіцієнт опору руху стрічки конвеєра; $m_{ван.} = G_{ван.}/6g$; $m_{ноп.} = G_{ноп.}/6g$ – маси вантажної та порожньої віток конвеєра; M_{np} – момент двигуна, що приведений до валу барабану.

Для зручності моделювання математичний опис руху тягового органу конвеєра надано в матричній формі виду $X = (X_1, X_2, X_3, X_4, \delta)^T$;

$$M\ddot{X} + N\dot{X} + CX + S sgn \dot{X} + G = P sgn(\dot{X}_c - \dot{X}_1)M_{np},$$

де M, N, C, S, G – матриці стану.

Модель руху стрічки в просторі стану зручно показати у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\dot{X} = \tilde{A}X + \tilde{B}_1M_{np} + \tilde{B}_2 sgn X + \tilde{B}_3G_{nn.} \quad (7)$$

Введемо позначення для керуючих впливів: $U_1 = M_{np}$ – момент, який створюється приводом; $U_2 = sgn X$ – сили опору руху зосереджених мас стрічки; $U_3 = G_{nn.}$ – вага натяжного пристрою.

Отже, модель стрічки конвеєра зображено у вигляді наступної векторно-матричної форми:

$$\dot{X} = \tilde{A}X + \tilde{B}_1U_1 + \tilde{B}_2U_2 + \tilde{B}_3U_3, \quad (8)$$

де \tilde{A} – матриця стану системи, яка є блочною матрицею, що містить у собі матриці $M^{-1}N$ та $M^{-1}C$; $\tilde{B}_1, \tilde{B}_2, \tilde{B}_3$ – блочні матриці керування. Матриця \tilde{B}_1 включає в себе $M^{-1}P$, \tilde{B}_2 містить $M^{-1}S$, \tilde{B}_3 має у своєму складі $M^{-1}G_{nn.}$

На рис. 1 приведена структурна схема системи, що містить контур стрічки конвеєра, яка надана внутрішньою моделлю

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu; \\ y &= Cx + Du. \end{aligned} \quad (9)$$

Швидкості руху зосереджених мас розглянуто як вихідні сигнали.

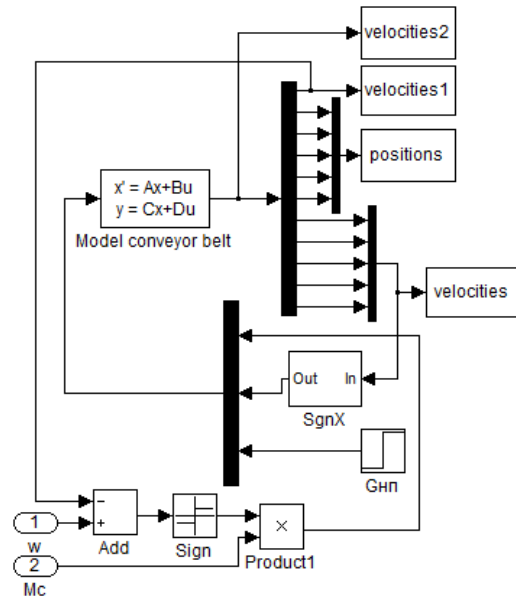


Рисунок 1 – Схема моделювання стрічки конвеєра

Для дослідження режимів роботи чотиримасової моделі магістрального стрічкового конвеєра складено модель стрічки конвеєра з десятьма координата-

ми стану, що характеризують кінематику переміщення п'яти апроксимуючих мас та модель керованого асинхронного електропривода.

Модель асинхронного двигуна описано системою нелінійних диференціальних рівнянь у нерухомій системі координат статора а-б [3, 6]. Перетворювач частоти працює за законом керування $U/f=const$ [6, 7].

Як відомо [4, 5], всі втрати, які впливають на роботу електромеханічної системи, можна поділити на три групи: P_m – втрати в міді, $P_{мех}$ – механічні втрати, $P_{ст}$ – втрати в сталі.

Оптимізацію споживання електроенергії зручно надати, виразивши ККД через втрати в електродвигуні:

$$\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{P}{P_{ст} + P_m + P_{мех} + P}, \quad (10)$$

де η – коефіцієнт корисної дії; P – корисна потужність на валу двигуна. Потужності P та P_1 пов'язані між собою через ККД η :

$$P_1 = 3I_1U_1 \cos\varphi = \frac{P}{\eta}, \quad (11)$$

де U_1 – напруга на статорі двигуна; I_1 – струм на статорі двигуна.

Втрати в міді (електричні втрати) викликані нагріванням обмоток статора й ротора струмами, величини яких залежать від навантаження двигуна та визначаються залежністю

$$P_m = P_{м.н} M_c^* k_f^2 / k_u^2, \quad (12)$$

де $P_{м.н}$ – втрати у міді в номінальному режимі; M_c^* – коефіцієнт завантаженості; k_f – коефіцієнт регулювання частоти; k_u – коефіцієнт регулювання напруги.

Механічні втрати – це втрати на тертя у підшипниках і вентиляцію, величина яких наближено пропорційна квадрату частоти обертання ротора й визначається як

$$P_{мех} = P_{мех.н} k_f (1-S) / (1-S_n), \quad (13)$$

де $P_{мех.н}$ – механічні втрати в номінальному режимі; S – ковзання ротора двигуна; S_n – номінальне ковзання.

Втрати у сталі (магнітна складова), зумовлені втратами на гістерезис і вихрові струми у сталі статора та ротора, залежать від магнітної індукції й частоти перемагнічування та визначаються за виразом

$$P_{ст} = P_{ст.н} (a + bk_f) k_u^2 / k_f, \quad (14)$$

де $P_{ст.н}$ – втрати у сталі в номінальному режимі; a – коефіцієнт, що залежить від втрат на гістерезис; b – коефіцієнт, що враховує втрати на вихрові струми.

Отже, сумарні втрати в асинхронному двигуні матимуть вигляд:

$$P_{\Sigma} = P_{ст} + P_m + P_{мех} = \frac{P_{ст.н} k_u^2 (a + bk_f)}{k_f} + \frac{P_{м.н} M_c^* k_f^2}{k_u^2} + \frac{P_{мех.н} k_f (1-S)}{(1-S_n)}. \quad (15)$$

Підставивши значення $P_{ст}$, P_m , $P_{мех}$ у попереднє рівняння та прийнявши ковзання рівним

$$S = S_n M_c^* \frac{k_f}{k_u^2}, \text{ виразимо ККД:}$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P_{\Sigma}}{P_1}} = 1 / \left(1 + \frac{1 - S_n}{P_n M_c^*} \times \left[\frac{P_{мех.н} k_f}{1 - S_n} (k_u^2 - S_n M_c^* k_f) + P_{ст.н} (a + bk_f) \frac{k_u^4}{k_f} + \frac{P_{м.н} M_c^{*2} k_f^2}{k_f (k_u^2 - S_n M_c^* k_f)} \right] \right), \quad (16)$$

де P_n – номінальна потужність електродвигуна;

$M_c^* = M_c / M_n$ – коефіцієнт завантаженості;

$k_u = U / U_n$ – коефіцієнт регулювання напруги;

$k_f = f / f_n$ – коефіцієнт регулювання частоти.

Мінімізувати втрати в асинхронному двигуні можна за рахунок системи екстремального керування. Механічні втрати не беруть участі в оптимізації енергетичних характеристик, тому ними можна знехтувати. При постійному моменті навантаження в системі біля точки екстремуму встановляться коливання з незначною сталою амплітудою. Щоб зменшити час пошуку екстремуму, необхідно мати потрібну амплітуду кроку. Коли система працює в зоні екстремуму, виникають коливання з великою амплітудою. Це суттєво зменшує якість системи й призводить до додаткових втрат на перехідні процеси.

Для оптимізації однієї з енергетичних характеристик асинхронного двигуна потрібно отримати закон керування напругою. Вони повинні підтримувати такі коефіцієнти, як коефіцієнт регулювання напруги k_u , частоти k_f , завантаженості M_c^* , на оптимальному рівні при зміні навантаження та частоти живлення.

Досягти максимального значення ККД можна шляхом прирівнювання до нуля першої похідної виразу для ККД по k_u .

Виконавши певні математичні перетворення, можна отримати вираз

$$P_{ст.н} (a + bk_f) k_u^4 - 2P_{ст.н} (a + bk_f) S_n \times M_c^* k_f k_u^2 - P_{м.н} M_c^{*2} k_f^3 = 0. \quad (17)$$

Отже, щоб підтримати ККД на максимальному рівні при зміні навантаження, слід змінювати напругу, яка буде пропорційною до $\sqrt{M_c^*}$, отож якщо

друга похідна по k_u матиме додатній знак, а значення знаменника даного виразу буде мінімальним, то отримаємо максимальне значення ККД.

Структурну схему оптимального, з точки зору енергетичної ефективності, регулятора напруги отримано відповідно до виразу [4]:

$$u = u_n \sqrt{\frac{f}{f_n}} M_c^* \sqrt{S_n + \sqrt{S_n + \frac{P_{m.n} f / f_n}{P_{cm.n} (a + b f / f_n)}}}$$

Структурну схему оптимального регулятора напруги (ОРН) приведено на рис. 2.

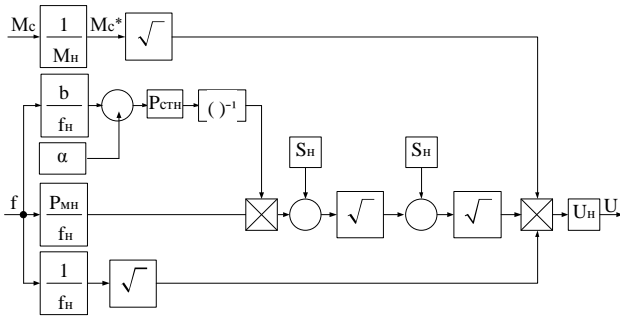


Рисунок 2 – Структурна схема оптимального регулятора напруги

Ведення ОРН дозволило збільшити енергетичну ефективність стрічкового конвеєра, тобто значно покращити економічні та енергетичні показники електромеханічної системи.

Для кращого розуміння характеру зміни втрат за різними параметрами руху тягового органу було розроблено функціональну схему електромеханічної системи автоматичного керування магістральним стрічковим конвеєром.

Для дослідження системи вибрано типовий стрічковий конвеєр 1Л1000Д довжиною 1000 м, продуктивністю 890 т/год і асинхронний двигун типу 4А315S2Y3 потужністю 160 кВт.

На основі опису елементів системи керування в середовищі Simulink розроблено модель, яка дозволяє здійснити дослідження енергетичних параметрів електромеханічної системи для різних технологічних умов при регулюванні швидкості тягового органу у функції об'ємної продуктивності конвеєра.

Були проведені дослідження енергетичних характеристик при постійній швидкості конвеєрної стрічки та зміні характеру вантажопотоку.

При проведенні даних досліджень розглядалось два варіанти: з наявністю оптимального регулятора напруги, що дозволяє мінімізувати втрати, та без нього.

При постійній швидкості переміщення тягового органу момент навантаження плавно змінюється за законом, що дозволяє більш точно описати процеси, які відбуваються при безперервному завантаженні магістрального стрічкового конвеєра.

Закон плавної зміни навантаження надано на рис. 3 у вигляді системи нелінійних алгебраїчних рівнянь, які послідовно включаються в систему керування.

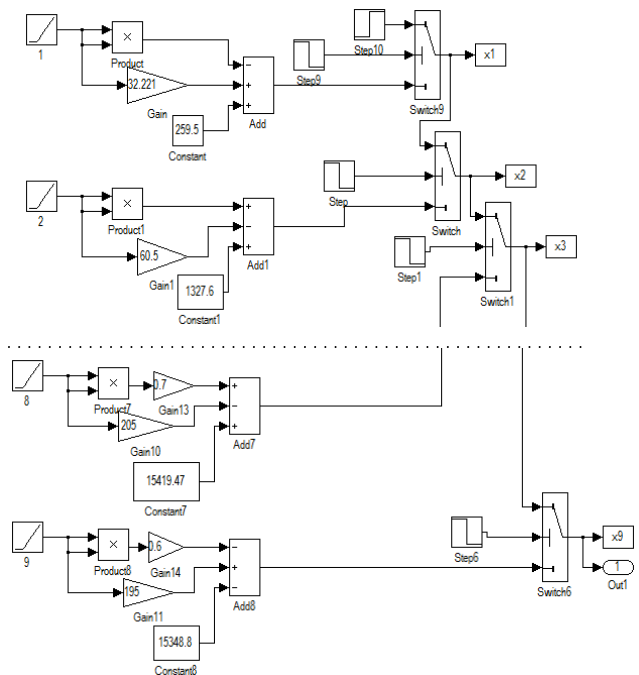


Рисунок 3 – Приклад реалізації закону плавної зміни навантаження за допомогою типових модулів

Оскільки було використано типові модулі в моделі, то застосовувались для кожного випадку зміни навантаження дев'ять, десять і сім типових модулів.

Графіки енергетичних характеристик для різних варіантів зміни вантажопотоку при постійній швидкості наведено нижче.

Графіки перехідних процесів втрат ΔP для першого варіанту характеру зміни вантажопотоку показано на рис. 4.

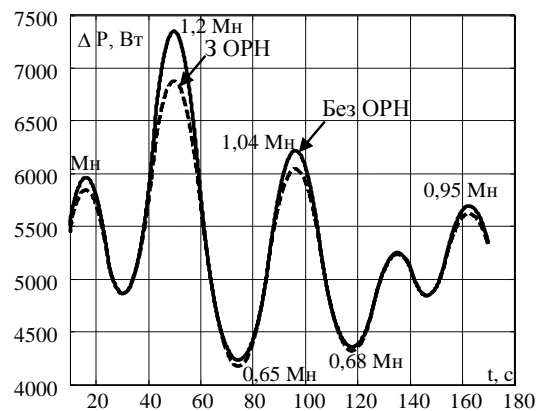


Рисунок 4 – Графіки характеру зміни втрат з ОРН та без нього для першого варіанту навантаження

Характер зміни втрат енергії при коливаннях навантаження для першого варіанту наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Характер зміни втрат енергії при коливаннях навантаження для першого варіанту

$\Delta P, \text{Вт}$	Без ОРН	З ОРН	%
M_H	5950	5833	2
$1,2M_H$	7375	6875	8,4
$0,65M_H$	4250	4180	1,1
$1,04 M_H$	6200	6050	2,5
$0,68M_H$	4400	4350	0,8
$0,95M_H$	5680	5625	0,9

Графіки ККД η для першого варіанту характеру зміни вантажопотоку наведено на рис. 5.

Характер зміни ККД при коливаннях навантаження для першого варіанту наведено в табл. 2.

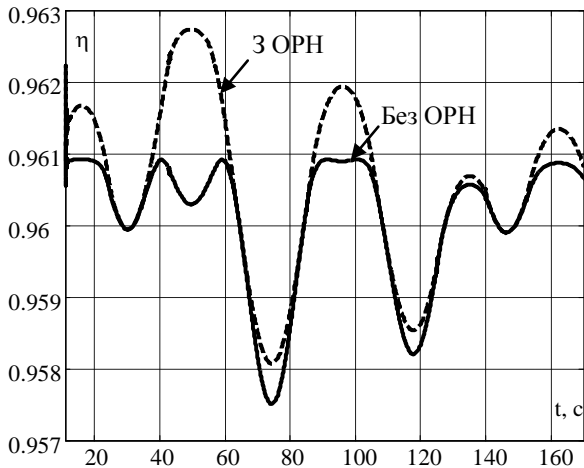


Рисунок 5 – Графіки перехідних процесів ККД з ОРН та без нього для першого варіанту навантаження

Таблиця 2 – Характер зміни ККД при коливаннях навантаження для першого варіанту

$\eta, \text{в.о.}$	Без ОРН	З ОРН	%
M_H	0,9608	0,9616	0,08
$1,2 M_H$	0,9608	0,9628	0,2
$0,65 M_H$	0,9575	0,9581	0,06
$1,04 M_H$	0,9608	0,962	0,12
$0,68 M_H$	0,9584	0,9587	0,03
$0,95 M_H$	0,9608	0,9614	0,06

Аналіз отриманих результатів для першого варіанту навантаження показав, що найкращі значення енергетичних характеристик при $1,2 M_H$, а саме втрати ΔP зменшуються до 8,4 %, а ККД η збільшується до 0,2 % при використанні ОРН.

Графіки перехідних процесів втрат ΔP для другого варіанту характеру зміни вантажопотоку показані на рис. 6.

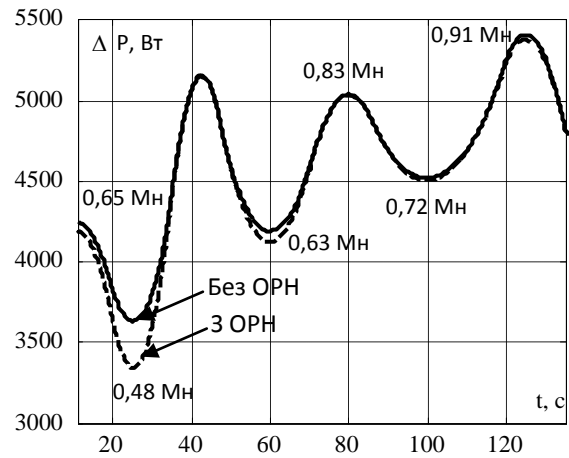


Рисунок 6 – Графіки характеру зміни втрат з ОРН та без нього для другого варіанту навантаження

Характер зміни втрат енергії при коливаннях навантаження для другого варіанту наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Характер зміни втрат енергії при коливаннях навантаження для другого варіанту

$\Delta P, \text{Вт}$	Без ОРН	З ОРН	%
$0,65M_H$	4250	4245	0,09
$0,48M_H$	3667	3333	5,61
$0,85M_H$	5167	5164	0,05
$0,63 M_H$	4215	4167	0,81
$0,83M_H$	5063	5062	0,01
$0,72M_H$	4556	4554	0,03
$0,91M_H$	5375	5368	0,12

Графіки ККД η для другого варіанту характеру зміни вантажопотоку зображено на рис. 7.

Характер зміни ККД при коливаннях навантаження для другого варіанту наведено в табл. 4.

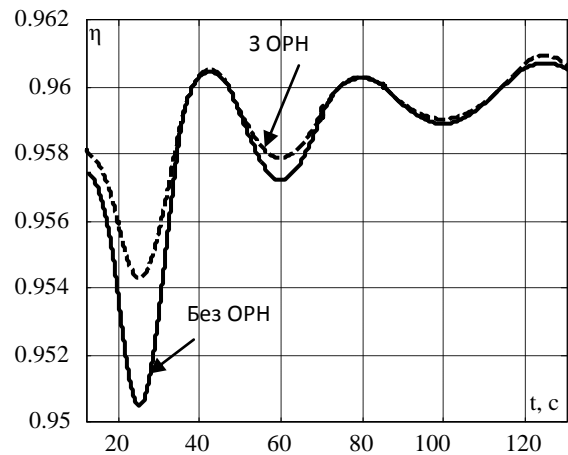


Рисунок 7 – Графіки перехідних процесів ККД з ОРН та без нього для другого варіанту навантаження

Таблиця 4 – Характер зміни ККД при коливаннях навантаження для другого варіанту

η , в.о.	Без ОРН	З ОРН	%
0,65 M_n	0,9525	0,9531	0,06
0,48 M_n	0,9506	0,9544	0,38
0,85 M_n	0,9604	0,9606	0,02
0,63 M_n	0,9526	0,9534	0,08
0,83 M_n	0,9603	0,9605	0,02
0,72 M_n	0,9557	0,9590	0,02
0,91 M_n	0,9608	0,9610	0,02

Отже, проаналізувавши графіки й таблиці для другого варіанту навантаження, видно, що при 0,48 M_n з використанням ОРН втрати зменшуються до 5,61 %, а ККД зростає до 0,38 %.

Графіки перехідних процесів втрат ΔP для третього варіанту характеру зміни вантажопотоку показані на рис. 8.

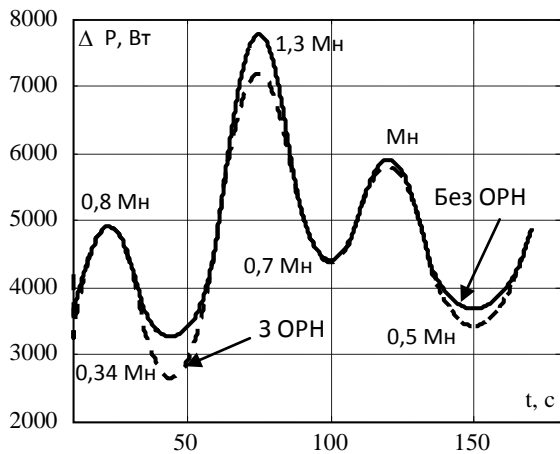


Рисунок 8 – Графіки характеру зміни втрат з ОРН та без нього для третього варіанту навантаження

Характер зміни втрат енергії при коливаннях навантаження для третього варіанту наведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Характер зміни втрат енергії при коливаннях навантаження для третього варіанту

ΔP , Вт	Без ОРН	З ОРН	%
0,8 M_n	5950	5950	0
0,34 M_n	3333	2667	11,2
1,3 M_n	7750	7200	9,2
0,7 M_n	4400	4350	0,8
M_n	5950	5833	2
0,5 M_n	3567	3400	2,81

Графіки ККД η для третього варіанту характеру зміни вантажопотоку зображено на рис. 9

Характер зміни ККД при коливаннях навантаження для третього варіанту наведено в табл. 6.

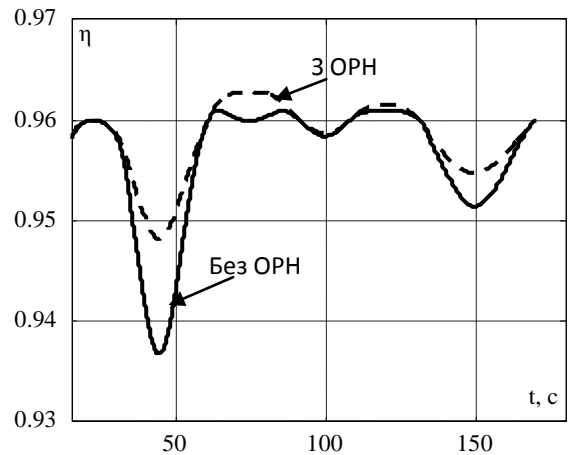


Рисунок 9 – Графіки перехідних процесів ККД з ОРН та без нього для третього варіанту навантаження

Таблиця 6 – Характер зміни ККД при коливаннях навантаження для третього варіанту

η , в.о.	Без ОРН	З ОРН	%
0,8 M_n	0,96	0,96	0
0,34 M_n	0,9367	0,948	1,13
1,3 M_n	0,96	0,9633	0,33
0,7 M_n	0,9584	0,9587	0,03
M_n	0,9608	0,9616	0,08
0,5 M_n	0,9517	0,955	0,33

Як видно з графіків і таблиць для третього варіанту, в діапазоні, близькому до номінального, втрати з регулятором та без нього мають незначні відхилення. Однак при мінімальному навантаженні втрати ΔP зменшуються до 11,2 %, а ККД η збільшується до 1,13 % при використанні ОРН. Із збільшенням навантаження втрати ΔP зменшуються до 9,2 %, ККД η зростає до 0,33 %.

ВИСНОВКИ. У результаті проведених досліджень можна зробити висновок, що при зміні вантажопотоку на тяговому органі конвеєра, використовуючи замкнуту систему регулювання й застосовуючи ОРН у системі «Перетворювач частоти-асинхронний двигун», можна зменшити втрати в електроприводі до 11,2 % та збільшити ККД до 1,13 % при зміні навантаження.

Враховуючи, що приводні станції магістральних конвеєрів володіють високою продуктивністю та мають досить високу потужність до 4500 тис. кВт, використання принципу побудови приведених в роботі замкнутих систем керування дозволить досягнути вагомих результатів у вирішенні питання енергозбереження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дослідження втрат енергії в електромеханічній системі конвеєра при регулюванні швидкості тягового органу / М.В. Печеник, С.О. Бур'ян, Л.М. Наумчук // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Науково-технічний журнал. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електроприводу». – К.: Техніка, 2014. – Вип. 15 (91). – С. 155–158.

2. Моделирование электромеханических систем: учебное пособие / А.П. Черный, Д.И. Родькин, А.В. Луговой и др. – Кременчуг, 1999. – 202 с.

3. Leonhard W. Control of Electrical Drives. Springer – Berlin: Verlag, 1996. – 420 p.

4. Теория электропривода / Под редакцией М.Г. Поповича. – К.: Высшая школа, 1993. – 439 с.

5. Екстремальні енергозберігаючі електромеханічні системи автоматичного керування

насосними установками / М.Г. Попович, М.В. Печеник, О.І. Киселичник // Проблеми автоматизованого електроприводу. Вісник НТУ «ХПІ». – 2002. – Т. 1. – Вип. 12. – С. 37–41.

6. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: учебник для вузов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М.: Энергия. – 1980. – 360 с.

7. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.

8. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.

9. Павловський М.А. Теоретична механіка: підручник. – К.: Техніка, 2002. – 512 с.

INVESTIGATION OF ENERGY LOSSES IN CONVEYOR ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH A SMOOTH LOADING

M. Pechenik, S. Buryan, L. Naumchuk

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

vul. Polytechnichna, 37, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: sburyan18@gmail.com

The question of providing the energy efficiency of conveyor operating modes in a continuous change of cargo flow is examined. To stabilize the loading volume of conveyor traction body is used closed circuit control system of linear belt speed as a function of cargo flow. The conveyor belt model with ten state coordinates that characterize the movement kinematics of five approximating masses and speed-controlled asynchronous electric drive model are composed. The model of belt conveyor electromechanical system presented as four-mass block diagram. According to the received research model the energy performance of the closed-loop conveyor electromechanical system are shown, specifically, the assessment of losses and efficiency of electric drive with constant speed of the traction body and smooth change of load that caused by the by uneven revenues of cargo on the conveyor. In carrying out the above research it was considered two options: the presence of optimal voltage regulator that minimizes losses and without it.

Key words: conveyor, losses of energy, control, optimal regulator, energy efficiency.

REFERENCES

1. Pechenik, M.V., Buryan, S.O. and Naumchuk, L.M. (2014), "Investigation of energy losses in electromechanical system to control the speed of the conveyor of traction body", *Elektrotehnicni ta kompyuterni systemy. Naukovo-tehnicnyi zhurnal. Tematichnyi vipusk "Problemy avtomatyzovanogo elektropryvodu*, Vol. 15, no. 91, pp. 155–158. (in Ukrainian)

2. Chernyi, A.P., Rodkin, D.I., Lugovoy, A.V. and others (1999), *Modelirovanie elektromekhanicheskikh system: uchebnoe posobie* [Simulation of electromechanical systems: Textbook], Kremenchug. (in Russian)

3. Leonhard, W. (1996), Control of Electrical Drives. Springer, Verlag, Berlin.

4. *Teoriya elektropryvoda, za redaktsiyei Popovicha, M.G.* (1993), [The theory of electric drive, edited by Dr.Sci.Tech Popovich, M.G.], Vysshaja shkola, Kiev. (in Russian)

5. Popovych, M.G., Pechenyk, M.V. and Kiselychuk, O.I. (2002), "Extreme energy-saving electromechanical automatic control system pump installation"

Ekstremalni energozberihayuchi elektromekhanichni systemy avtomatichnoho keruvannya nasosnyimi ustanovkamy, Problemy avtomatyzovanoho elektropryvodu, Visnyk NTU "KhPI", Vol. 12, pp. 37–41. (in Russian)

6. Klyuchev, V.Y. and Terekhov, V.M. (1980), *Elektropryvod i avtomatyzatsiya obshchepromyshlennykh mekhanizmov: uchebnyk dlya vuzov* [General industrial electric drive and automation mechanisms: Textbook for Universities], Enerhiya, Moscow. (in Russian)

7. Klyuchev, V.Y. (1986), *Teoriya elektropryvoda* [Theory of electric drive], Energoatomizdat, Moscow. (in Russian)

8. Shakhmeyster, L.H. and Dmytryev, V.H. (1987), *Teoriya i raschet lentochnykh konveyerov* [Theory and calculation of belt conveyors], Mashynostroenye, Moscow. (in Russian)

9. Pavlovskyy, M.A. (2002), *Teoretychna mekhanika: pidruchnyk* [Engineering Mechanics: Textbook], Tekhnika, Kyiv. (in Ukrainian)

Стаття надійшла 19.05.2015.