

УДК 681.5:629.3

Разживін О. В., Рудаков І. В., Охріменко О. М.**РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ДВОХДВИГУННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СКРЕБКОВОГО
КОНВЕЄРУ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВУГІЛЛЯ**

Відмінною особливістю сучасних скребкових забійних конвеєрів є використання для їх приводу двошвидкісних асинхронних електродвигунів, які не потребують застосування гідродинамічних муфт. Типовим прикладом таких машин є розроблені інститутом «Дондипровуглемаш» енергоозброєність (400–700 кВт) скребкові конвеєри типового ряду КСД. Відсутність ненадійною і складною в обслуговуванні гідромуфти підвищує експлуатаційні якості таких конвеєрів, однак при цьому виникають проблеми, пов'язані з роботою багатодвигунного електроприводу в перехідних режимах пуску і стопоріння тягового органу.

Пускові режими багатопровідних конвеєрів передбачають певну послідовність включення електродвигунів головного і хвостового приводу на першу і другу швидкість. В даний час ця послідовність встановлена емпірично і не враховує особливості експлуатації конвеєра в конкретному очисному заборі: довжину лави, кут і напрямок транспортування, ступінь завантаження і ін. Для оптимальної адаптації режиму пуску конвеєра до роботи в заданих умовах необхідно створити математичну модель, яка дозволить дослідити процес формування пускових навантажень в приводах і тяговому органі [1].

Розробка автоматизованої системи управління конвеєра забезпечить:

- процес транспортування вугілля,
- обслуговуючий персонал комплексної і достовірною інформацією про хід технологічного процесу в зручній для сприйняття формі,
- скорочення часу пошуку та усунення несправностей, поліпшить умови праці персоналу, підвищить культуру виробництва.

У зв'язку з цим розробка механізмів регулювання пускових режимів багатодвигунного скребкового конвеєра, а також алгоритмів управління є актуальною науково-технічною задачею.

Зниження енерговитрат процесу транспортування вугілля шляхом розробки системи автоматичного регулювання швидкості двохдвигунного електроприводу скребкового конвеєра з використанням математичних методів, алгоритмів, інформаційного та програмного забезпечення.

Мета дослідження – зниження енерговитрат та підвищення ефективності процесу транспортування вугілля шляхом впровадження автоматизованої системи керування двохдвигунним електроприводом скребкового конвеєра.

Скребкові конвеєри є основним видом транспорту в лавах пологого падіння. Застосовуються також в забоях підготовчих виробок і в шахтному будівництві. Принцип дії скребкового конвеєра полягає в переміщенні вантажу волочінням по жолобу 3 (див. рис. 1, а) за допомогою скребків 1, прикріплених до тягового ланцюга 2, що приводиться в рух приводною станцією 6. Натяг ланцюга створюється натяжною станцією 4. Холоста гілка рухається по жолобу 5.

Конвеєрна установка буде експлуатуватися в шахтних умовах, це призводить до появи ряду специфічних вимог до її електроприводу, а саме забезпечення:

- плавного пуску і гальмування конвеєра. При цьому обмежити максимально прискорення до $0,1 \text{ м/с}^2$ (розгін і гальмування в перебігу 73–77 с);
- синхронізоване за швидкістю управління приводними електродвигунами.

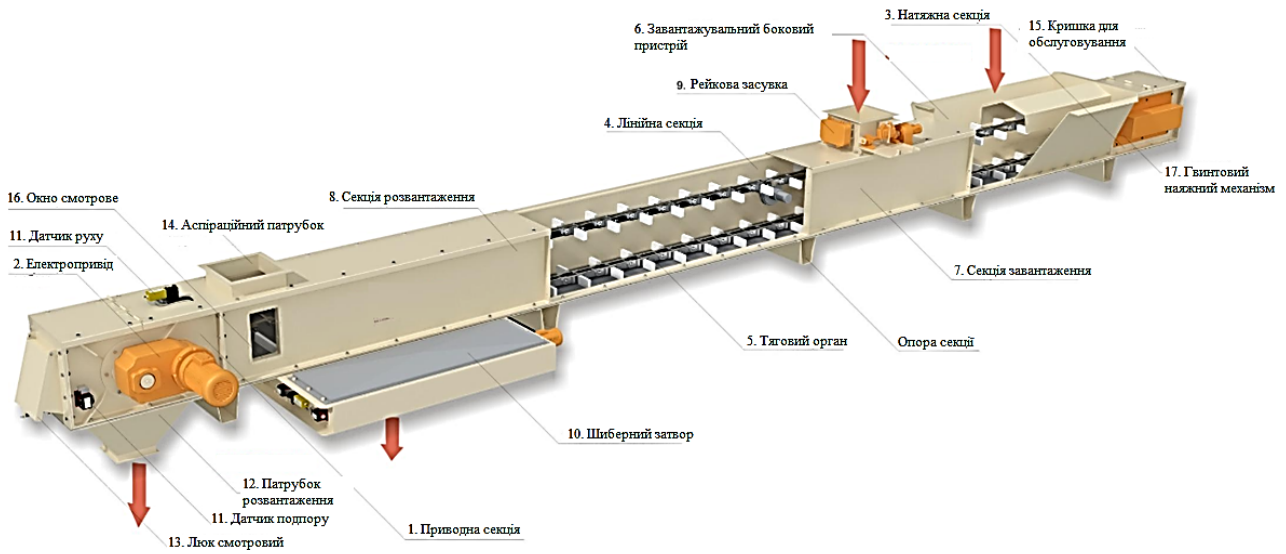
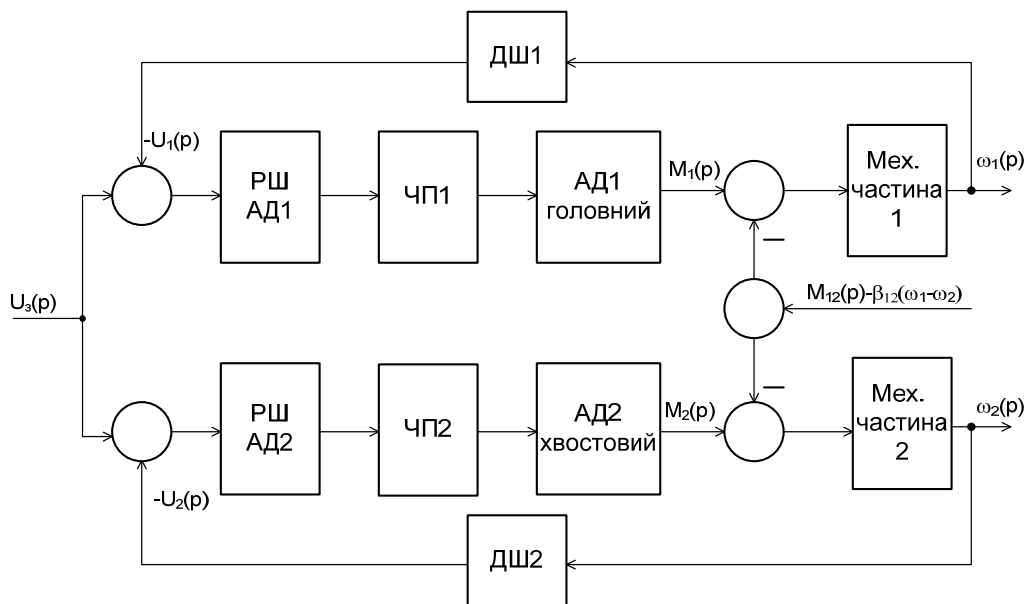


Рис. 1. Принципова конструктивна схема скребкового конвеєра [2]

Для приводу шахтних скребкових конвеєрів широко використовуються двошвидкісні асинхронні електродвигуни. Структурна схема електромеханічної системи двохдвигунного приводу скребкового конвеєра наведена на рис. 2.



ω_1, ω_2 – відповідно, частота обертання ротора при роботі головного й хвостового двигуна; p – оператор диференціювання

Рис. 2. Блок-схема моделі двохдвигунного електроприводу скребкового конвеєру

Проектований електропривод складається з наступних структурних елементів:

- двох частотна регульованих електродвигунів головної АД1 і хвостової АД2 частини скребкового конвеєра;
- частотних перетворювачів напруги живлення (ЧП);
- двох приводних ланцюгів, які є механічною частиною і приводять в безпосередній рух скребки конвеєра;
- регуляторів швидкості обертання ротора приводних електродвигунів (РШ);

– датчиків кутової частоти обертання ротора приводних електродвигунів (ДШ).

При розробці математичної моделі тяговий орган з вантажем представлений як зосереджена маса, а його пружно-дисипативні властивості розглядаються в лінійній постановці. Динамічна розрахункова схема двохланцюгового приводу, що враховує пружні дисипативні властивості приводу і тягового органу, а також можливі зазори, представлена на рис. 3.

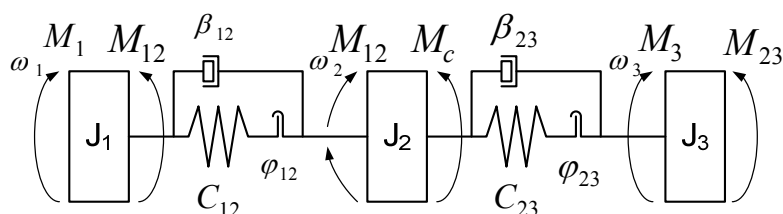


Рис. 3. Розрахункова схема електромеханічної системи двохприводного скребкового конвеєра

З урахуванням прийнятих припущень динаміка механічної частини двохприводного скребкового конвеєра описується наступною системою рівнянь (1) [3]:

$$\begin{cases} M_1 - M_{12} - \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) = J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = J_1 \frac{d^2\varphi_1}{dt^2}; \\ M_{12} - M_{23} + \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) - \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) - M_c = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = J_2 \frac{d^2\varphi_2}{dt^2}; \\ M_3 + M_{23} + \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) = J_3 \frac{d\omega_3}{dt} = J_3 \frac{d^2\varphi_3}{dt^2}, \end{cases} \quad (1)$$

де φ_i, ω_i – відповідно, кути повороту і кутові швидкості i -ої маси;

M_c – момент сил опору руху тягового органу;

β_{12}, β_{23} – коефіцієнти опору руху, відповідно, робочої і холостої вітки тягового органу;

$M_{12} = c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2), M_{23} = c_{23}(\varphi_2 - \varphi_3)$ – пружний момент.

В системі рівнянь (1) моменти інерції окремих ланок приведені до частоти обертання двигуна. Параметри ротора асинхронного двигуна для кожної з частот обертання приведені до статора двигуна.

Система рівнянь (1) в операторній формі Лапласа має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{1}{J_1}(M_1 - M_{12} - \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2)) = \omega_1 p; \\ \frac{1}{J_2}(M_{12} - M_{23} + \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) - \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3) - M_c) = \omega_2 p; \\ \frac{1}{J_3}(M_3 + M_{23} + \beta_{23}(\omega_2 - \omega_3)) = \omega_3 p; \\ M_{12} = \frac{c_{12}}{p}(\varphi_1 - \varphi_2); \\ M_{23} = \frac{c_{23}}{p}(\varphi_2 - \varphi_3). \end{cases} \quad (2)$$

На підставі системи рівнянь (2) розроблено математичну модель механічної (незмінної) частини скребкового конвеєра. Реалізація моделі здійснена за допомогою МПП MATLAB і приведена на рис. 3.

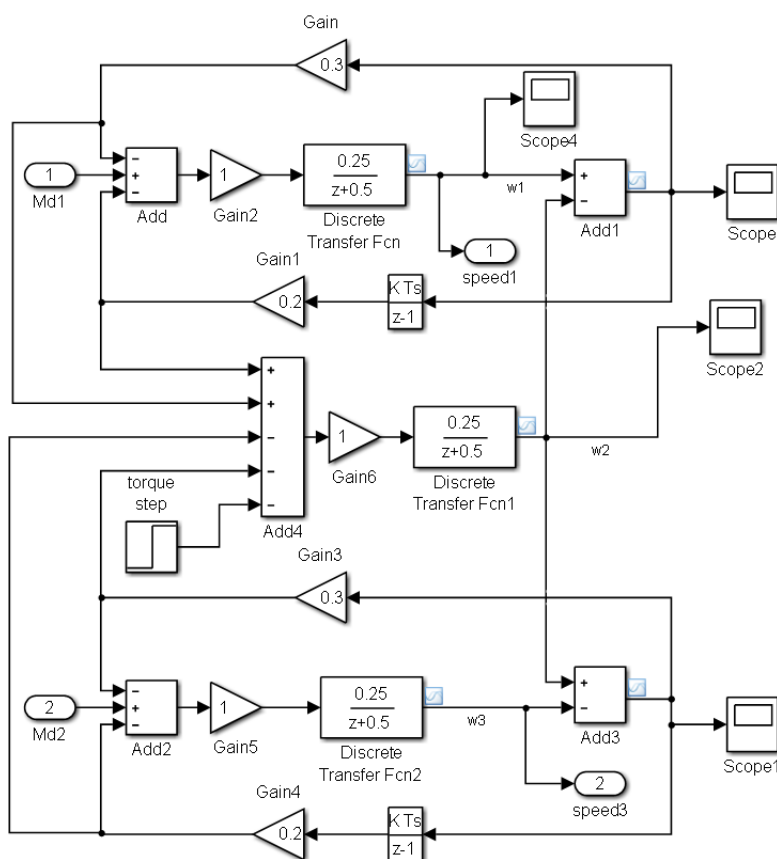


Рис. 3. Математична модель механічної (незмінної) частини скрепкового конвеєра в МПП MATLAB

Математичний опис електромагнітних перехідних процесів в асинхронному двигуні виконано на системи рівнянь двигуна, що описують поведінку, для однієї частоти обертання, й має вигляд [4, 5]:

$$\begin{cases} \frac{d\Psi'_{x1}}{dt} = U'_m - \omega'_0 \cdot \alpha'_s \cdot \Psi'_{x1} + \omega'_0 \cdot \alpha'_s \cdot \Psi'_{x2} + \omega'_0 \cdot \Psi'_{y1}; \\ \frac{d\Psi'_{y1}}{dt} = 0 - \omega'_0 \cdot \alpha'_s \cdot \Psi'_{y1} + \omega'_0 \cdot \alpha'_s \cdot k'_r \cdot \Psi'_{y2} - \omega'_0 \cdot \Psi'_{x1}; \\ \frac{d\Psi'_{x2}}{dt} = -\omega'_0 \cdot \alpha'_r \cdot \Psi'_{x2} + \omega'_0 \cdot \alpha'_r \cdot k'_s \cdot \Psi'_{x1} + (\omega'_0 - \omega'_1) \cdot \Psi'_{y2}; \\ \frac{d\Psi'_{y2}}{dt} = -\omega'_0 \cdot \alpha'_r \cdot \Psi'_{y2} + \omega'_0 \cdot \alpha'_r \cdot k'_s \cdot \Psi'_{y1} + (\omega'_0 - \omega'_1) \cdot \Psi'_{x2}; \\ M'_1 = \frac{3}{2} p' \cdot \omega'_0 \cdot \frac{k'_r}{x'_s \cdot \sigma'} (\Psi'_{x2} \cdot \Psi'_{y2} - \Psi'_{x1} \cdot \Psi'_{y1}) \end{cases} \quad (3)$$

де $\Psi'_{x2}, \Psi'_{y1}, \Psi'_{x1}, \Psi'_{y2}$ – потокозчеплення статора і ротора відповідно по осях x, y для узагальненої двохфазної машини;

$\alpha'_s, \alpha'_r, k'_s, k'_r$ – коефіцієнти зв'язку статора і ротора;

p' – число пар полюсів обмотки;

U_m' – амплітудне значення величини напруги живлення;

ω_0' – кутова швидкість ідеального холостого ходу;

ω_1' – поточна кутова швидкість ротора двигуна;

M_1' – електромагнітний момент двигуна. Верхній індекс I означає, що зазначені параметри відповідають низькій швидкості (НС). Аналогічно записується система рівнянь для роботи двигуна на високій швидкості ВС (індекс II).

У відповідності до системи рівняння (3) і результатами розрахунку коефіцієнтів і постійних часу передаточних функцій у пакеті MatLAB.

При синтезі параметричного регулятора отримана дискретна передавальна функція (ДФФ) ПД-регулятора швидкості:

$$W_p(\lambda) = K_p \left[\frac{(\tau_2 + T_{я})}{\tau_1} + \frac{T_0}{\tau_1} \cdot \frac{z + 1}{z - 1} + \frac{2\tau_2 T_{я}}{\tau_1 T_0} \cdot \frac{z - 1}{z + 1} \right]. \quad (4)$$

Відповідно до розробленої структурної схеми (див. рис. 2) та розглянутої система рівнянь (1), яка вирішувалася спільно з системами диференціальних рівнянь, що описують перехідні процеси в електродвигунах (3), синтезована математична модель АСУ скребковим конвеєром. Загальний вигляд блок-схеми математичної моделі частотно-регульованого електроприводу двохдвигунного скребкового конвеєра в МПП MATLAB [1] наведено на рис. 5.

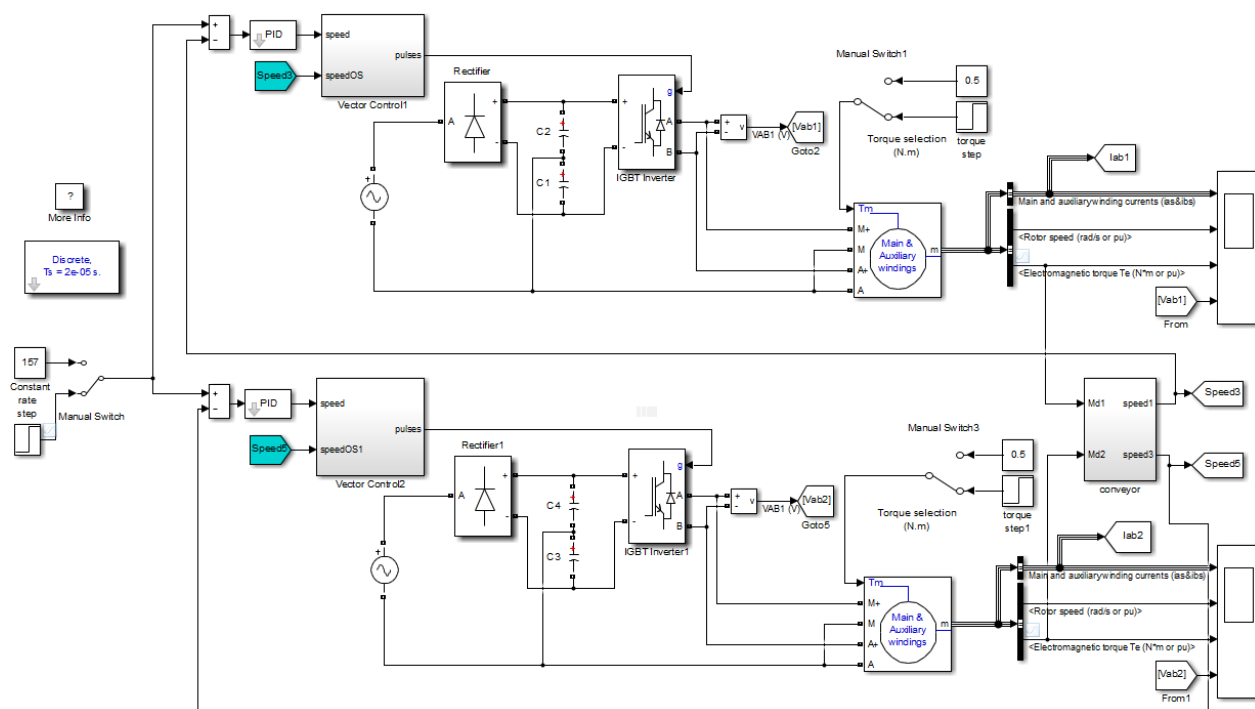


Рис. 5. Математична модель АСУ електроприводом конвеєра

Розроблена система задовольняє вимогам по швидкодії і точності. Час перехідного процесу складає: $t_{nn} = 1,7$ с. Результати математичного моделювання наведені на рис. 6. Моделювання показало, що АСУ електроприводом має швидкісну помилку, яка становить $0,035 \text{ м/с} < 0,05 \text{ м/с}$. Час перехідного процесу становить не менше 1,7 с, що забезпечує максимальну швидкість при допустимому прискоренні.

Розроблену математичну модель доцільно використовувати для адаптації алгоритму запуску і зупинки скребкового конвеєра до заданих умов експлуатації.

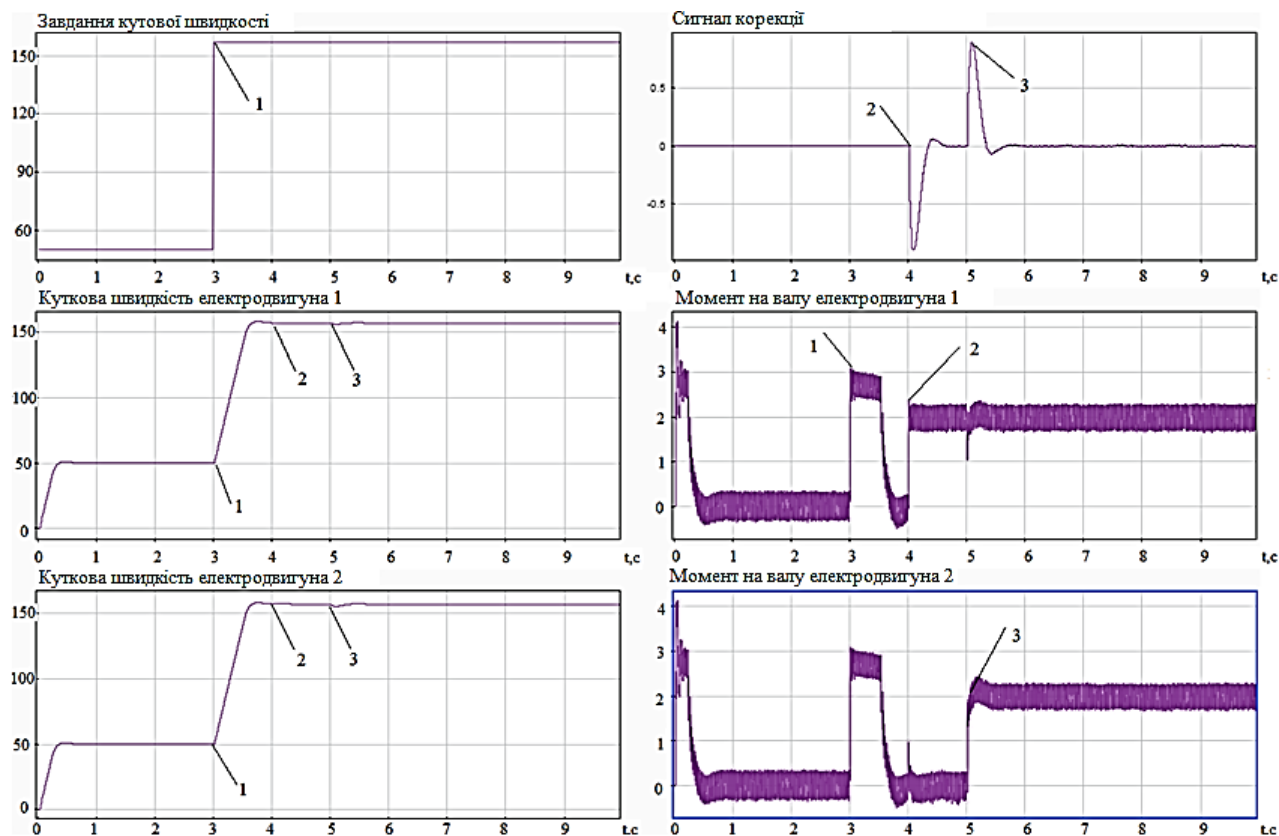


Рис. 6. Графіки перехідних процесів:

1 – вихід на номінальну кутову швидкість; 2 – підведення навантаження (перекіс) на приводний ланцюг 1; 3 – підведення навантаження (перекіс) на приводний ланцюг 2

ВИСНОВКИ

У статті вирішене актуальне науково-технічне завдання дослідження процесу керування багатодвигунного електроприводу скребкового конвеєру в перехідних режимах пуску і стопоріння тягового органу.

Проведено дослідження особливостей технологічного процесу регулювання швидкості двохдвигунного електроприводу, встановлення параметрів процесу керування.

Удосконалена математична модель регулювання частотного регулювання швидкості взаємозв'язкового електроприводу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Герман-Галкин С. Г. *Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК : учеб. пособ.* / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : Корона-Век, 2008. – 368 с. – ISBN 978-5-903383-39-9.
2. *Скребковые конвейеры нового технического уровня* / Андреев Г. В., Косарев И. В., Лелека И. Т., Довженко В. И. // *Уголь Украины*. – 2003. – ЛГ°9. – С. 36–38.
3. *Экспериментальные исследования распределения нагрузки между приводами скребкового конвейера с двухскоростными асинхронными электродвигателями* / Кондрахин А. А., Косарев В. В., Стадник Н. И., Косарев И. В. // *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. – Донецьк : ДонНТУ, 2006. – Вип. 113. – С. 131–138. – (Серія: Електромеханічна).
4. *Войтех А. А. Моделирование переходных процессов в полюспереключаемых асинхронных двигателях* / А. А. Войтех, А. Н. Попович. – Киев : Наук, думка, 1989. – 152 с.
5. *Моделирование пусковых режимов двухдвигательного привода на базе двухскоростных асинхронных электродвигателей* / Кондрахин В. П., Борисенко В. Ф., Мельник А. А., Косарев В. В., Стадник Н. И., Косарев И. В. // *Наукові праці Донецького національного технічного університету* Донецьк. – ДонНТУ, 2005. – Вип. 99. – С. 104–110.