

АНАЛІЗ РУХУ КОВШОВОГО ЕЛЕВАТОРА З ДИНАМІЧНОЮ МЕХАНІЧНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ ДВИГУНА

В. С. Ловейкін, доктор технічних наук

Л. Б. Ткачук, аспірант*

e-mail: lovvs@ukr.net

Анотація. Побудована динамічна модель ковшового елеватора з врахуванням динамічної механічної характеристики приводного двигуна. На основі побудованої динамічної моделі створено математичну модель з використанням принципу д'Аламбера. Для конкретного ковшового елеватора з продуктивністю 60т/год проведений динамічний аналіз з використанням статичної та динамічної характеристики приводного механізму. В результаті проведеного аналізу побудовані графічні залежності зміни кутової швидкості рухомих елементів елеватора, кутового відхилення ковшів, зусилля в тяговому органі при набіганні на привідний барабан та рушійного моменту при статичній та динамічній характеристиках двигуна. На основі отриманих графіків встановлено, що під час пуску ковшового елеватора мають місце значні коливні процеси, причому вони більш інтенсивні при використанні динамічної характеристики двигуна. Виявлені значні крутильні коливання ковшів є однією з причин висипання і пошкодження зерна. Тому в подальшому для дослідження перехідних процесів ковшового елеватора рекомендовано використовувати динамічну характеристику двигуна. Для зменшення динамічних навантажень, а також для мінімізації крутильних коливань ковшів під час пуску, доцільно здійснити процес оптимізації режиму руху елеватора.

Ключові слова: ковшовий елеватор, динамічна модель, математична модель, динамічна характеристика двигуна, режим пуску, динамічне навантаження

Постановка проблеми. Правильний вибір режиму руху механізму істотно впливає на ефективність не тільки окремого механізму, але й машини в цілому. Робота стрічкових ковшових елеваторів має три характерні періоди руху: період пуску, період усталеного руху, період гальмування. У процесі розгону й гальмування виникають значні динамічні навантаження як у системі

*Науковий керівник – доктор технічних наук В. С. Ловейкін

привода, так і в елементах його конструкції, що можуть значно перевищувати статичні. Вони виникають у результаті нерівномірного руху стрічки, що пов'язано із процесом зачерпування ковшами вантажу і його вивільненням при розвантаженні. Також в процесі пуску до цих навантажень додаються і динамічні навантаження від зростання швидкості барабанів і стрічки до моменту часу, коли система виходить на усталений рух. Щоб позбутися або зменшити значення динамічних навантажень, необхідно дослідити динаміку руху ковшового елеватора в найбільш навантаженому стані, тобто при завантажених ковшах робочої гілки в режимі пуску або гальмування. Зниження пускових і гальмівних динамічних навантажень є актуальним завданням, рішення якого підвищить надійність і термін служби транспортного механізму та забезпечить безаварійну експлуатацію.

Аналіз останніх досліджень. Моделюванню робочого процесу конвеєрів присвячені роботи Штокмана І. Г., Чугресва Л. І., Співаковського О. О., Хорольського І. М., Кондрахіна В. П. [1–10]. Розглянуті в даних працях математичні моделі для стрічкових конвеєрів, що використовуються переважно у важкій промисловості не відображають процес руху вертикальних елеваторів, які застосовуються у сільському господарстві. В роботі [11] побудована математична модель динаміки руху ковшового елеватора, де прийнята статистична характеристика приводного двигуна, яка не в повній мірі відображає процес руху елеватора. Тому виникає потреба в використанні динамічної характеристики приводного двигуна, яка достатньо відображає динамічні процеси в момент пуску.

Метою досліджень є аналіз руху ковшового елеватора з врахуванням динамічної характеристики приводного двигуна.

Результати досліджень. Побудована динамічна модель ковшового елеватора (рис. 1), де прийнято такі припущення:

- всі ланки вважаємо абсолютно твердими тілами, крім приводного механізму і тягового органу;
- динамічні процеси, які проходять в приводному механізмі описуються динамічною механічною характеристикою;
- ковші завантажені і порожні кріпляться до стрічки пружним зв'язком і представлені у вигляді дискретних мас, що з'єднані між собою пружними елементами, жорсткість яких визначається жорсткістю стрічки на ділянці між ковшами;
- проковзування між стрічкою і барабаном відсутнє, оскільки забезпечується необхідним зчепленням між стрічкою і барабаном та необхідним натягом стрічки;
- вважаємо, що процес розвантаження сипкого матеріалу не має суттєвого впливу на динаміку руху елеватора під час перехідного процесу.

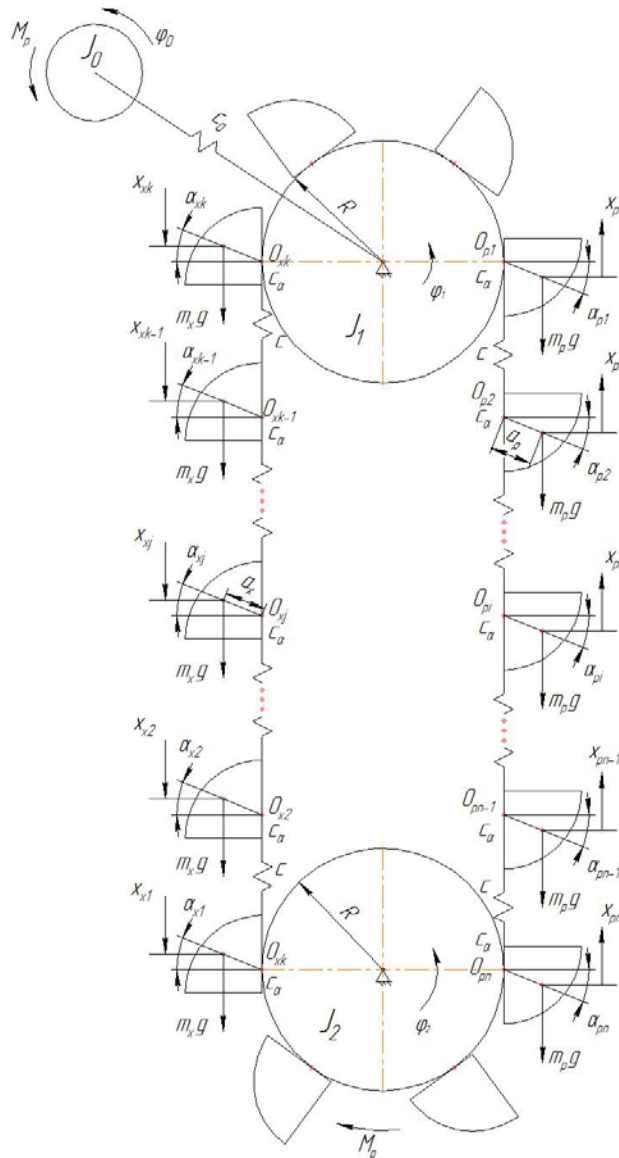


Рис. 1. Динамічна модель стрічкового ковшового елеватора.

Розроблена динамічна модель для загального випадку з довільною кількістю мас (n_p і n_x робочої та холостої гілки відповідно) показана на рис. 1. На схемі прийняті наступні позначення: J_0 – зведений до осі обертання барабана момент інерції електродвигуна, редуктора, муфти; J_1 – момент інерції приводного барабана; J_2 – момент інерції натяжного барабана; J_p – момент інерції завантаженого ковша відносно його центра мас; J_x – момент інерції розвантаженого ковша відносно його центра мас; M_p – зведений до осі обертання приводного барабана рушійний момент приводного механізму; M_o – зведений до осі обертання натяжного барабана момент сил опору переміщенню стрічки з ковшами та вантажем; m_p , m_x – зведені до тягового органа маси ковша з вантажем і без вантажу відповідно з урахуванням маси стрічки між ковшами; c_o – коефіцієнт жорсткості приводного механізму; c – коефіцієнт

На основі побудованої динамічної моделі створено математичну модель, що дає можливість здійснити динамічний аналіз руху елеватора. Для математичного опису системи застосовано метод рівноваги з використанням принципу д'Аламбера, де за узагальнені координати прийнято: $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2$ – кутові координати повороту зведеної маси приводного механізму, приводного і натяжного барабанів відповідно; $x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pn}, x_{x1}, x_{x2}, \dots, x_{xk}$ – вертикальні координати переміщення точок кріплення ковшів до стрічки на робочій та холостій гілках конвеєра відповідно; $\alpha_{p1}, \alpha_{p2}, \dots, \alpha_{pn}, \alpha_{x1}, \alpha_{x2}, \dots, \alpha_{xk}$ – кутові координати повороту завантажених і розвантажених ковшів відповідно.

$$\begin{aligned}
J_0 \ddot{\phi}_0 &= M_p (\dot{\phi}_0) - c_0 (\phi_0 - \phi_1); \\
J_1 \ddot{\phi}_1 &= c_0 (\phi_0 - \phi_1) - c(\phi_1 R - x_{p1})R + c(x_{xk} - \phi_1 R)R; \\
m_p (\ddot{x}_{p1} - a_p \ddot{\alpha}_{p1}) &= c(\phi_1 R - x_{p1})R - c(x_{p1} - x_{p2}) - m_p g; \\
-m_p \ddot{x}_{p1} a_p + (J_p + m_p a_p^2) \ddot{\alpha}_{p1} &= m_p g a_p - c_\alpha \alpha_{p1}; \\
&\dots\dots\dots \\
m_p (\ddot{x}_{pi} - a_p \ddot{\alpha}_{pi}) &= c(x_{pi-1} - x_{pi}) - c(x_{pi} - x_{pi+1}) - m_p g; \\
-m_p \ddot{x}_{pi} a_p + (J_p + m_p a_p^2) \ddot{\alpha}_{pi} &= m_p g a_p - c_\alpha \alpha_{pi}; \\
&\dots\dots\dots \\
m_p (\ddot{x}_{pn} - a_p \ddot{\alpha}_{pn}) &= c(x_{pn-1} - x_{pn}) - c(x_{pn} - \phi_2 R) - m_p g; \\
-m_p \ddot{x}_{pn} a_p + (J_p + m_p a_p^2) \ddot{\alpha}_{pn} &= m_p g a_p - c_\alpha \alpha_{pn}; \\
J_2 \ddot{\phi}_2 &= c(x_{pn} - \phi_2 R)R - c(\phi_2 R - x_{x1})R - M_o (\dot{\phi}_2); \\
m_x (\ddot{x}_{x1} - a_x \ddot{\alpha}_{x1}) &= c(\phi_2 R - x_{x1})R - c(x_{x1} - x_{x2}) + m_x g; \\
-m_x \ddot{x}_{x1} a_x + (J_x + m_x a_x^2) \ddot{\alpha}_{x1} &= m_x g a_x - c_\alpha \alpha_{x1}; \\
&\dots\dots\dots \\
m_x (\ddot{x}_{xj} - a_x \ddot{\alpha}_{xj}) &= c(x_{xj-1} - x_{xj})R - c(x_{xj} - x_{xj+1}) + m_x g; \\
-m_x \ddot{x}_{xj} a_x + (J_x + m_x a_x^2) \ddot{\alpha}_{xj} &= m_x g a_x - c_\alpha \alpha_{xj}; \\
&\dots\dots\dots \\
m_x (\ddot{x}_{xk} - a_x \ddot{\alpha}_{xk}) &= c(x_{xk-1} - x_{xk})R - c(x_{xk} - \phi_1 R) + m_x g; \\
-m_x \ddot{x}_{xk} a_x + (J_x + m_x a_x^2) \ddot{\alpha}_{xk} &= m_x g a_x - c_\alpha \alpha_{xk}.
\end{aligned} \tag{1}$$

В даній системі рушійний момент описує статичну характеристику двигуна.

Для моделювання електромагнітного моменту двигуна використаємо диференціальні рівняння асинхронного двигуна у нерухомій відносно статора системі координат [12]:

$$\begin{cases} \frac{di_{1\alpha}}{dt} = \frac{1}{\delta L_1} (u_{1\alpha} - i_{1\alpha} R_1 + k_r e_{2\alpha}); \\ \frac{di_{1\beta}}{dt} = \frac{1}{\delta L_1} (u_{1\beta} - i_{1\beta} R_1 - k_r e_{2\beta}); \\ \frac{di_{2\alpha}}{dt} = -\frac{1}{\delta L_2} ((u_{1\alpha} - i_{1\alpha} R_1) k_s + e_{2\alpha}); \\ \frac{di_{2\beta}}{dt} = -\frac{1}{\delta L_2} ((u_{1\beta} - i_{1\beta} R_1) k_s - e_{2\beta}); \\ M_p = \frac{3}{2} p L_{12} (i_{1\beta} i_{2\alpha} - i_{1\alpha} i_{2\beta}), \end{cases} \quad (2)$$

де: $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$ – проекції узагальненого вектора струму статора на нерухомі ортогональні координатні осі α і β ; $i_{2\alpha}$, $i_{2\beta}$ – проекції узагальненого вектора струму ротора на ортогональні координатні осі α і β ; L_1 , L_2 – індуктивності статорної та роторної обмоток; L_{12} – взаємодуктивність; k_r і k_s – коефіцієнти магнітного зв'язку ротора та статора відповідно ($k_r = L_{12} L_2^{-1}$; $k_s = L_{12} L_1^{-1}$); M_p – електромагнітний момент двигуна; p – кількість пар полюсів електричної машини; $u_{1\alpha}$, $u_{1\beta}$ – проекції узагальненого вектора напруги статора на координатні осі α і β ($u_{1\alpha} = U_{\max} \cos(2\pi \int f dt)$, $u_{1\beta} = U_{\max} \sin(2\pi \int f dt)$); $U_{\max}$ – амплітуда фазної напруги живлення двигуна; f – частота напруги живлення двигуна; $e_{2\beta}$, $e_{2\alpha}$ – ЕРС, що індукуються потокозчепленнями ротора по осях α і β відповідно ($e_{2\alpha} = p\omega_{\delta\delta}(L_2 i_{2\beta} + L_{12} i_{1\beta}) + i_{2\alpha} R_2$, $e_{2\beta} = p\omega_{\delta\delta}(L_2 i_{2\alpha} + L_{12} i_{1\alpha}) + i_{2\beta} R_2$); R_1 – активний опір статорної обмотки; R_2 – зведений до статора активний опір роторної обмотки; X_1 – індуктивний опір статорної обмотки; X_2 – зведений до статора індуктивний опір роторної обмотки; δ – коефіцієнт розсіювання ($\delta = 1 - (1 + X_1(2\pi f L_{12})^{-1})(1 + X_2(2\pi f L_{12})^{-1})^{-1}$); $\omega_{\delta\delta}$ – кутова швидкість двигуна.

Врахувавши динамічну характеристику приводного двигуна рушійний момент буде мати вигляд:

$$M_p = \frac{3}{2} p L (i_{1\beta} i_{2\alpha} - i_{1\alpha} i_{2\beta}) \cdot u \cdot \eta, \quad (3)$$

де: u і η – передаточне число та коефіцієнт корисної дії приводного механізму відповідно.

Основними динамічними навантаженнями ковшового елеватора є пружний момент в приводному механізмі, який визначається за формулою:

$$M_{01} = c_0 \cdot (\varphi_0 - \varphi_1), \quad (4)$$

а також зусилля в тяговому органі при набіганні на приводний барабан, яке представляється залежністю:

$$F_1 = c \cdot (\varphi_1 \cdot R - x_{p1}). \quad (5)$$

На основі системи диференціальних рівнянь (1) з урахуванням залежностей (2)–(5) в програмі Mathematica 9.0 виконано моделювання процесу пуску ковшового елеватора із завантаженою робочою гілкою. У якості прикладу прийнято стрічковий ковшовий елеватор з такими вихідними даними: $J_0=65 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_1=78,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_2=78,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_p=0,26 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_x=0,13 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $R=0,315 \text{ м}$, $c_0=2000 \text{ Н}\cdot\text{м/рад}$, $c=330000 \text{ Н/м}$, $c_a=80 \text{ Н}\cdot\text{м/рад}$, $M_{\max}=278,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $s_{кр}=0,4$, $u=26,8$, $\eta=0,9$, $\omega_0=5,7 \text{ рад/с}$, $n_1=32$, $n_2=32$, $m_e=9 \text{ кг}$, $m_k=9 \text{ кг}$, $m_{кл}=30 \text{ кг}$.

В результаті проведених розрахунків отримано графіки зміни кутових швидкостей приводного механізму, приводного і натяжного барабанів, лінійних та кутових швидкостей ковшів на робочій і холостій гілках. Також отримані графічні залежності зусилля в тяговому органі при набіганні на приводний барабан, моменту в приводному механізмі та рушійного моменту на валу електродвигуна з врахуванням статичної та динамічної характеристик приводного двигуна, які представлено на рис. 2, де: —динамічна механічна характеристика приводного двигуна; — статична механічна характеристика приводного двигуна.

З отриманих графічних залежностей видно, що найменше значення кутової швидкості на валу приводного механізму при статичній характеристиці складає $4,5 \text{ рад/с}$ через 1 с після пуску, в той час як при динамічній характеристиці це значення складає $5,5 \text{ рад/с}$. Через 2 с після пуску кутова швидкість при обох характеристиках виходить на номінальну та становить $5,7 \text{ рад/с}$. Графіки (б–в) показують, що кутова швидкість приводного і натяжного барабанів ковшового елеватора доволі різко зростають протягом 1 с і через 4 с виходять на усталений режим, проте мають яскраво виражений коливальний характер. Зусилля, яке створюється в тяговому органі при набіганні на приводний барабан при статичній характеристиці досягає максимального значення приблизно 11 кН протягом 1 с , тоді як при динамічній характеристиці за цей час, воно становить 12 кН , що є на 8% більшим. З наведених графіків (д–ж) можна побачити, що зміна швидкості першої та шістнадцятої мас на холостій гілці мають більшу частоту коливань, ніж на робочій гілці.

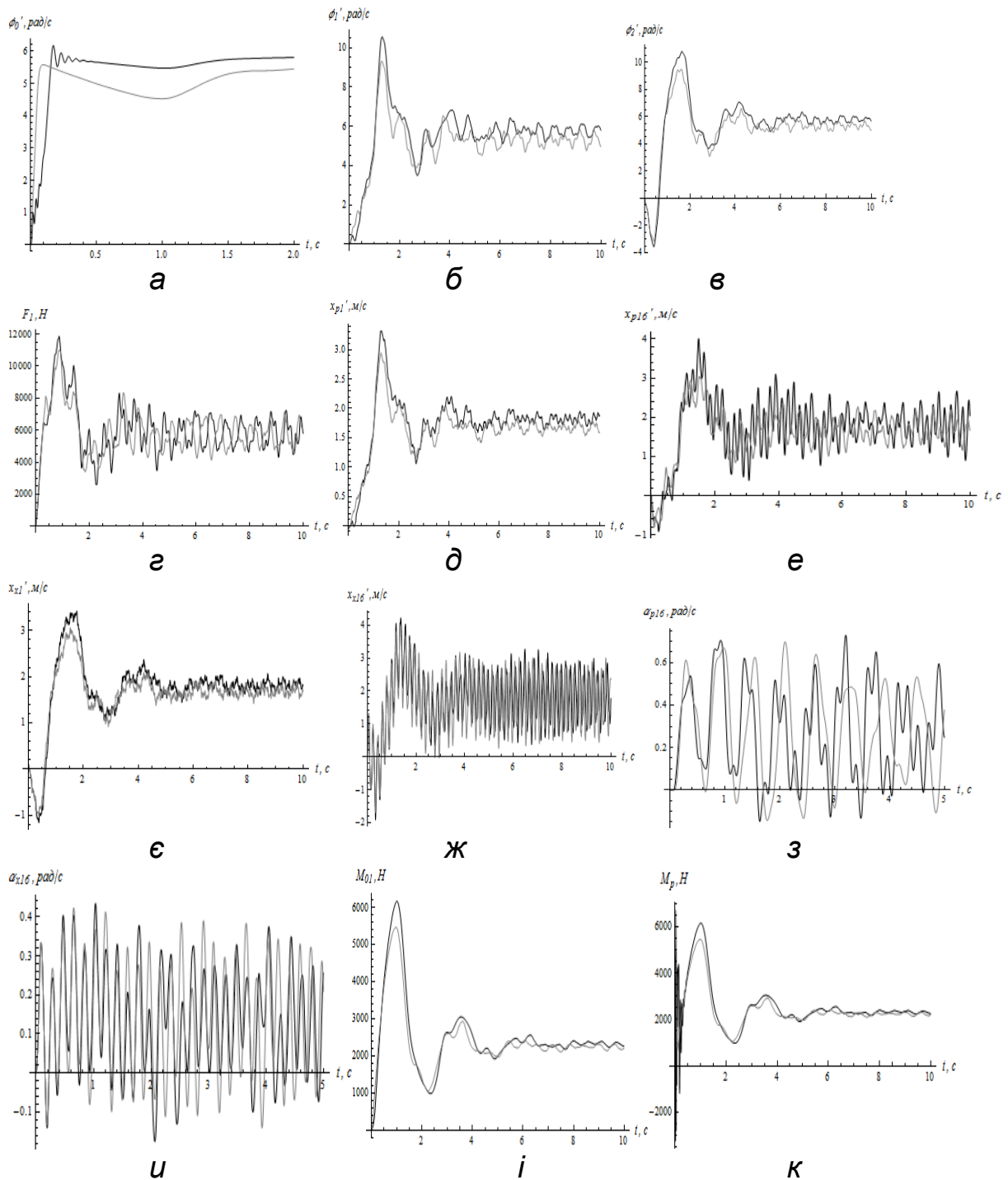


Рис. 2. Графічні залежності динаміки руху ковшового елеватора: а, б, в – зміна кутової швидкості на валу приводного механізму, приводного та натяжного барабана відповідно; г – зміна зусилля в тяговому органі при набіганні на приводний барабан; д, е – зміни швидкості першої та шістнадцятої маси на робочій гілці відповідно; ж, з – зміна швидкості першої та шістнадцятої маси на холостій гілці відповідно; и, у – зміна кутового відхилення кріплення ковша шістнадцятої маси на робочій та холостій гілках відповідно; і – зміна пружного моменту в приводному механізмі; к – зміна рушійного моменту на валу електродвигуна.

Необхідно відмітити й те, що крутильні коливання ковшів, на відміну від їх лінійних коливань, практично не затухають протягом всього періоду роботи ковшового елеватора. Зміна пружного моменту в приводному механізмі також має коливальний характер та стабілізується через 6с після пуску, але максимальне значення при динамічній характеристиці складає близько $6,4кН$, що на 15% є більшим ніж при статичній. Відповідно і рушійний момент на валу електродвигуна в період розгону на динамічній характеристиці перевищує цей же момент на статичній характеристиці та виходить на номінальний режим через 6 с.

Висновок. Розроблена математична модель динаміки руху вертикального стрічкового ковшового елеватора дозволяє проаналізувати режими руху як на ділянках неусталених процесів, так і на ділянці усталеного руху. З наведеного аналізу руху елеватора необхідно відмітити, що на ділянці пуску при динамічній характеристиці приводного двигуна лінійні та крутильні коливання ковшів на робочій і холостій гілках та коливання в основних динамічно навантажених елементах ковшового елеватора мають більші значення в порівнянні із статичною характеристикою. Тому в подальших розрахунках в режимі пуску потрібно використовувати динамічну характеристику двигуна, яка точніше відображає динамічні процеси. На усталеному режимі коливання зменшуються і практично співпадають як при динамічній, так і при статичній характеристиках двигуна. Коливання, які виникають в момент пуску, є небажаними для роботи конвеєра, оскільки приводять до значних динамічних навантажень, які негативно впливають на ковш та рухомі елементи конвеєра, зменшують надійність роботи елеватора, а в багатьох випадках призводять до руйнування опорних конструкцій та стрічки. Крім того, такий режим роботи приводить до втрати та пошкодження частини зернового матеріалу, що транспортується. Одним із способів зменшення динамічних навантажень у елеваторах є оптимізація режимів руху [13].

Список літаратури

1. Корнеев С. В. Динамика забойных серебряковых конвейеров с гидравлическими натяжными устройствами / С. В. Корнеев, В. Ю. Доброногова // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета, вып. 28. – Алчевск: ДонГТУ. – 2009. – С. 44–51.
2. Кондрахин В. П. Математическая модель для исследования нагрузок в двухскоростном многодвигательном приводе и тяговом органе скребкового забойного конвейера / В. П. Кондрахин, В. Ф. Борисенко, А. А. Мельник и др. // Наукові праці Донецького національного технічного університету, вип. 16, Серія: гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2008. – С. 132–140.
3. Кондрахин В. П. Моделирование пусковых режимов скребкового конвейера типа КСД / В. П. Кондрахин, В. Ф. Борисенко, А. А. Мельник и др. // Наукові праці

- Донецького національного технічного університету, вип. 13, Серія: гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2008. – С. 132–140.
4. *Сливаковский А. О.* Теория ленточных конвейеров / *А. О. Сливаковский, В. Г. Дмитриев.* – М., 1982. – 192 с.
 5. *Хорольський І. М.* Динаміка ланцюгових систем і замкнутих контурів машин неперервного транспорту / *І. М. Хорольський.* – Л.: Вид-во держ. ун-ту «Лвівська політехніка», 1999. – 194 с.
 6. *Чугреев Л. И.* Динамика конвейеров с цепным тяговым органом / *Л. И. Чугреев.* – М.: Недра, 1976. – 256 с.
 7. *Штокман И. Г.* Динамика тяговых цепей рудничных конвейеров / *И. Г. Штокман.* – М.: Углетехиздат, 1959. – 290 с.
 8. *Ловейкін В. С.* Теорія технічних систем : навч. посібник / *В. С. Ловейкін, І. І. Назаренко, О. Г. Онищенко.* – Київ-Полтава: ПДТУ, 1998. – 175 с.
 9. *Чиликин М. Г.* Общий курс электропривода : учебник [для студентов вузов] / *М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер.* – [6-е изд., доп. и перераб.]. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
 10. *Турчин В. С.* Обоснование конструктивно-режимных параметров элеваторов ковшового типа для транспортировки сыпучих материалов: Дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01/ *Турчин Вячеслав Семёнович.* – Оренбург, 2005. – 187 с.
 11. *Ловейкін В. С.* Динаміка режиму руху вертикального ківшового елеватора із завантаженою гілкою / *В. С. Ловейкін, В. А. Бортун* // Підйомно-транспортна техніка. – 2011. – №1(37). – С. 67–78.
 12. *Ловейкін В. С.* Динаміка машин / *В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич.* – К.: ЦП «Компринт», 2013. – 227 с.
 13. *Ловейкін В. С.* Динамічна оптимізація підйомних машин / *В. С. Ловейкін, А. П. Нестеров.* – Х.: ХНАДУ, 2002. – 291 с.

References

1. *Korneev, S. V., Dobronogov, V. Y.* (2009). Dynamyka zaboynix serebkovix konvejerov s gydravlycheskymy natyazhnymy ustrojstvamy [Bottomhole terebkova conveyor hydraulic tensioning device]. Collection of scientific works of Donbass state technical University, vol. 28. Alchevsk: DonSTU, 44–51.
2. *Kondrakhin, V. P., Borisenko, V. F., Miller, A. A.* (2008). Matematycheskaya model dlya yssledovanyya nagruzok v dvuxskorostnom mnogodvygatelnom pryvode y tyagovom organe skrebkovogo zaboynogo konvejera [Mathematical model to investigate loads in two-speed multi-drive and traction on the scraper face conveyor]. Scientific works of Donetsk national technical University, vol. 16, Series: mining and Electromechanical. Donetsk: DonNTU, 132–140.
3. *Kondrakhin, V. P., Borisenko, V. F., Miller, A. A.* (2008). Modelyrovanye puskovix rezhymov skrebkovogo konvejera typu KSD [Modeling of start-up modes of the scraper conveyor type KSD]. Scientific works of Donetsk national technical University, vol. 13, Series: mining and Electromechanical. Donetsk: DonNTU, 132–140.
4. *Spivakovsky, A., Dmitriev, V. G.* (1982). Teoryya lentochnix konvejerov [Theory of belt conveyor]. M., 192.
5. *Khorol's'kyi, I. M.* (1999). Dynamika lancyugovyx system i zamknutyx konturiv mashyn neperernvogo transport [Dynamics of chain systems and closed loops of continuous transport]. L.: Publishing house of state University-Tu "Lvivska Politehnika", Lviv, 194.
6. *Chugreev, L. S.* (1976). Dynamyka konvejerov s cepnim tyagovim organum [Dynamics of chain conveyors with a traction body]. M.: Nedra, 256.
7. *Stockman, S. G.* (1959). Dynamyka tyagovyx cepej rudnychnix konvejerov [Dynamics of traction chains for mining conveyors]. M.: Whiteheat, 290.

8. Loveikin, V. S., Nazarenko, I. I., Onishchenko, A. G. (1998). Teoriya texnichnyx system : navch. posibnyk [Theory of technical systems : textbook. manual]. Kiev-Poltava: PSTU, 175.
9. Chilikin, M. G., Sandler, A. C. (1981). Obshhyj kurs elektropriyvoda : uchebnyk [dlya studentov vuzov]. [General course of the drive : tutorial [for students]. [6th ed., EXT. and Rev.]. M.: Energoizdat, 576.
10. Turchin, V. S. (2005). Obosnovanye konstruktivno-rezhymnix parametrov elevatorov kovshovogo tipa dlya transportirovki sipuchyx materiyalov: Dys. ... kand. texn. nauk. [Substantiation of constructive-regime parameters of the elevators bucket type for conveying bulk materials]: Dis. kand. tech. Sciences : 05.20.01. Turchin Vyacheslav Semenovich. Orenburg, 187.
11. Loveikin, V. S., Borton, V. A. (2011). Dynamika rezhymu ruxu vertykalnogo kivshovogo elevatora iz zavantazhenoyu gilkoju. [Dynamics of the flow regime vertical kuskovogo of the Elevator with the loaded branch. Handling equipment], 1(37), 67–78.
12. Loveikin, V. S., Tomasevic, J. A. (2013). Dynamika mashyn. [Dynamics of machines]. K.: CPU "Komprint", 227.
13. Loveikin, V. S., Nesterov, A. P. (2002). Dynamichna optymizaciya pidjomnyx mashyn. [Dynamic optimization of lifting machines]. H.: HNADU, 291.

АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ КОВШОВОГО ЭЛЕВАТОРА С ДИНАМИЧЕСКОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ДВИГАТЕЛЯ

В. С. Ловеikin, Л. Б. Ткачук

Аннотация. Построена динамическая модель ковшового элеватора с учетом динамической механической характеристики приводного двигателя. На основе построенной динамической модели создана математическая модель с использованием принципа д'Аламбера. Для конкретного ковшового элеватора с производительностью 60т/ч проведен динамический анализ с использованием статической и динамической характеристики приводного механизма. В результате проведенного анализа, построены графические зависимости изменения угловой скорости подвижных элементов элеватора, углового отклонения ковшей, усилия в тяговом органе при набегании на приводной барабан и движущего момента при статической и динамической характеристиках двигателя. На основе полученных графиков установлено, что при пуске ковшового элеватора имеют место значительные колеблющиеся процессы, причем они более интенсивные при использовании динамической характеристики двигателя. Обнаружены значительные крутильные колебания ковшей, которые являются одной из причин высыпания и повреждения зерна. Поэтому в дальнейшем для исследования переходных процессов ковшового элеватора рекомендуется использовать динамическую характеристику двигателя. Для уменьшения динамических нагрузок, а также для минимизации крутильных колебаний ковшей при пуске, целесообразно осуществить процесс оптимизации режима движения элеватора.

Ключевые слова: ковшовой элеватор, динамическая модель, математическая модель, динамическая характеристика двигателя, режим пуска, динамическая нагрузка

ANALYSIS OF MOVEMENT OF BUCKET ELEVATOR WITH DYNAMIC MECHANICAL CHARACTERISTIC OF ENGINE

V. S. Loveykin, L. B. Tkachuk

Abstract. *Built bucket elevator dynamic model with the dynamic mechanical properties of the drive motor. Constructed the mathematical model which based on the dynamic model with the d'Alamber's principle. For specific bucket elevator with a capacity of 60t/h has been performed dynamic analysis with static and dynamic characteristics of the drive mechanism. Constructed graphic changes depending on the angular velocity of moving parts elevator buckets, angular deviation of buckets, efforts in the traction body on the drive drum and driving torque of static and dynamic characteristics of the engine. Based on the schedules during the start-up bucket elevators the significant oscillating processes has been established, and they are more intensive in the use of dynamic characteristics of the engine. Discovered significant torsional vibrations of the buckets which are cause rashes and damage the grain. Therefore, recommended the dynamic characteristics of the engine for study transients of the bucket elevator in the future. To reduce dynamic loads and minimize torque of the buckets during start-up, it is advisable to implement process optimization mode of movement of the elevator.*

Keywords: *bucket elevator, dynamic model, mathematical model, dynamic characteristics of engine, start-up mode, dynamic load*

УДК 631.2

CHANGES OF BLADE SHAPE OF AGRICULTURAL TOOLS DURING DETERIORATION

**Oleksii Kozachenko, Oleksandr Shkregal, Volodymyr Kadenko,
Oleh Bleznyuk**

**Kharkiv National Technical University of Agriculture
named after Petro Vasylenko
e-mail: kozachenko1@rambler.ru**

Abstract. *The paper analyses the ways technical condition of working parts of agricultural tools can be improved. It focuses more*

© Oleksii Kozachenko, Oleksandr Shkregal, Volodymyr Kadenko, Oleh Bleznyuk, 2016