

ПОРІВНЯННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИНАМІКИ ПУСКУ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА-ЗМІШУВАЧА

В.С. Ловейкін, доктор технічних наук
В.М. Рибалко, кандидат технічних наук
А.В. Гудова, здобувач

В роботі представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень динаміки руху гвинтового конвеєра-змішувача під час пуску.

Динамічна модель, критерій оптимізації, надійність конструкції.

Постановка проблеми. Під час перехідних процесів в елементах конструкції та приводу виникають динамічні навантаження коливального характеру, які можуть в декілька разів перевищувати середні статистичні [1]. Дія цих динамічних навантажень може зменшити робочий ресурс машини і знизити надійність роботи конструкції, призвести до значних деформацій елементів конструкції [4].

Для усунення цього фактора пропонується зменшити динамічні навантаження шляхом вибору оптимальних законів руху.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Значні дослідження в області кінематики та динаміки руху гвинтових конвеєрів зроблені такими вченими як: Гевко Б. М. [15], Рогатинський Р. М. [11], Давидов Б. Л. [12], Комаров М. С. [13], Поліщук Л. К. [14]. Кінематичні і динамічні параметри системи гвинтовий конвеєр-вантаж і параметри ударного навантаження на гвинтовий робочий орган в період пуску показано в роботі [2]. Залежність ефективності роботи механізмів від характеристик режимів руху на ділянках перехідних процесів розглянуто в роботі [3].

Аналіз літературних джерел показує, що необхідно розширити дослідження впливу оптимізації режимів руху на роботу конвеєра-змішувача гвинтового типу.

Мета статті полягає в підтвердженні адекватності попередньо отриманих теоретичних результатів досліджень [6] з результатами експериментів, а також в установленні впливу оптимізації на зменшення динамічних навантажень.

Результати досліджень. Для теоретичного дослідження

динаміки руху гвинтового конвеєра-змішувача на ділянках перехідних процесів розроблена динамічна модель у вигляді чотиримасової пружно-коливальної системи з зосередженими масами і невагомими пружними ланками (рис.1), рух якої описується системою диференціальних рівнянь другого порядку (1) [5].

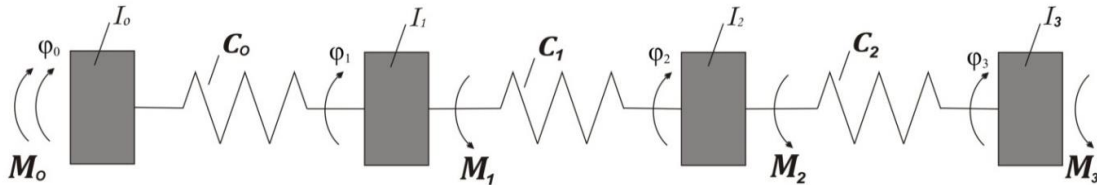


Рис. 1. Динамічна модель конвеєра-змішувача.

$$\begin{cases} I_0 \ddot{\varphi}_0 = M_0 - C_0 (\varphi_0 - \varphi_1); \\ I_1 \ddot{\varphi}_1 = C_0 (\varphi_0 - \varphi_1) - C_1 (\varphi_1 - \varphi_2) - M_1; \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 = C_1 (\varphi_1 - \varphi_2) - C_2 (\varphi_2 - \varphi_3) - M_2; \\ I_3 \ddot{\varphi}_3 = C_2 (\varphi_2 - \varphi_3) - M_3, \end{cases} \quad (1)$$

де I_0, I_1, I_2, I_3 – відповідно моменти інерції ланок приводного механізму і елементів гвинтового вала з вантажем, який транспортується, що приведені до осі гвинта; $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – узагальнені кутові координати повороту зосереджених мас відповідно приводного механізму і елементів гвинтового вала з вантажем; M_0 – рушійний момент на валу двигуна, приведений до осі гвинтового вала; M_1, M_2, M_3 – моменти сил опору переміщенню вантажу на ділянках гвинтового вала; C_0, C_1, C_2 – відповідно зведена до осі гвинтового вала жорсткість ланок приводного механізму і жорсткість ділянок гвинтового вала, які представлені окремими елементами.

Результати дослідження динаміки пуску конвеєра-змішувача гвинтового типу показані на рис.2 [6].

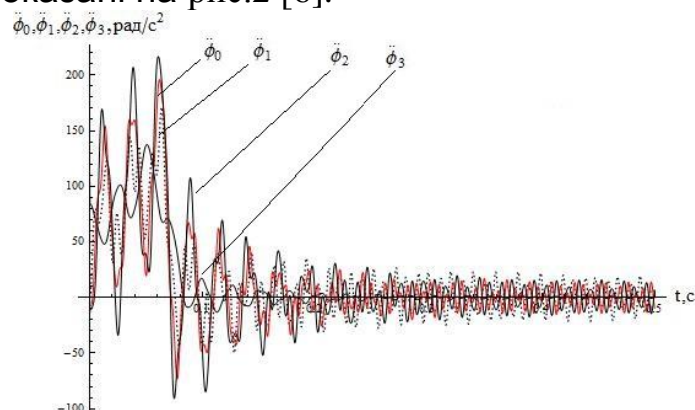


Рис. 2. Графік зміни кутових прискорень в процесі пуску конвеєра-змішувача гвинтового типу.

Отриманий графік показує коливальні процеси зміни прискорень мас конвеєра-змішувача на початку роботи. Наявність коливальних процесів призводить до виникнення динамічних навантажень в елементах конструкції і привода. Одним з способів зменшення навантажень є оптимізація режиму руху гвинтового конвеєра-змішувача на ділянці пуску.

Для оптимізації режимів руху обрано кількісну оцінку динамічних властивостей конвеєра-змішувача у вигляді інтегрального критерію, який відображає небажані властивості протягом всього циклу руху.

За критерій оцінки режиму руху змішувача на ділянці пуску приймемо середньоквадратичне відхилення кутових швидкостей другої $\dot{\varphi}_2$ і третьої $\dot{\varphi}_3$ мас:

$$\Delta\dot{\varphi}_{231} = \left[\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} f_{231} dt \right]^{1/2}, \quad (2)$$

де t – час; t_1 – кінцевий момент часу закінченого циклу руху

конвеєра-змішувача; $f_{231} = (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3)^2 = \left(\frac{I_3}{C_2} \ddot{\varphi}_3 \right)^2$ – квадрат відхилень

кутових швидкостей другої та третьої мас.

Умовою мінімуму критерію (2) виступає рівняння Ейлера-Пуассона [10]:

$$\frac{\partial f_{231}}{\partial \varphi_3} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f_{231}}{\partial \dot{\varphi}_3} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial f_{231}}{\partial \ddot{\varphi}_3} - \frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial f_{231}}{\partial \ddot{\varphi}_3} = 0. \quad (3)$$

Так як функція f_{231} залежить від $\ddot{\varphi}_3$, то рівняння (3) набуває вигляду:

$$\frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial f_{231}}{\partial \ddot{\varphi}_3} = 2 \cdot \left(\frac{I_3}{C_2} \right)^2 \varphi_3 = 0. \quad (4)$$

Рівняння (4) має сенс, коли $\varphi_3 = 0$. Тоді загальний розв'язок рівняння має такий вигляд:

$$\varphi_3 = \frac{1}{120} A_0 t^5 + \frac{1}{24} A_1 t^4 + \frac{1}{6} A_2 t^3 + \frac{1}{2} A_3 t^2 + A_4 t + A_5. \quad (5)$$

де $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ – постійні інтегрування, які визначаються з граничних умов руху системи: $t = 0 \rightarrow \varphi_3 = \dot{\varphi}_3 = \ddot{\varphi}_3 = 0$; $t = t_1 \rightarrow \dot{\varphi}_3 = w_y, \ddot{\varphi}_3 = \ddot{\varphi}_3 = 0$, де w_y – усталена швидкість руху гвинтового вала.

На основі залежностей (1) і (5) з урахуванням постійних інтегрування визначені оптимальні режими руху, які представлені у вигляді графіків на рис. 3.

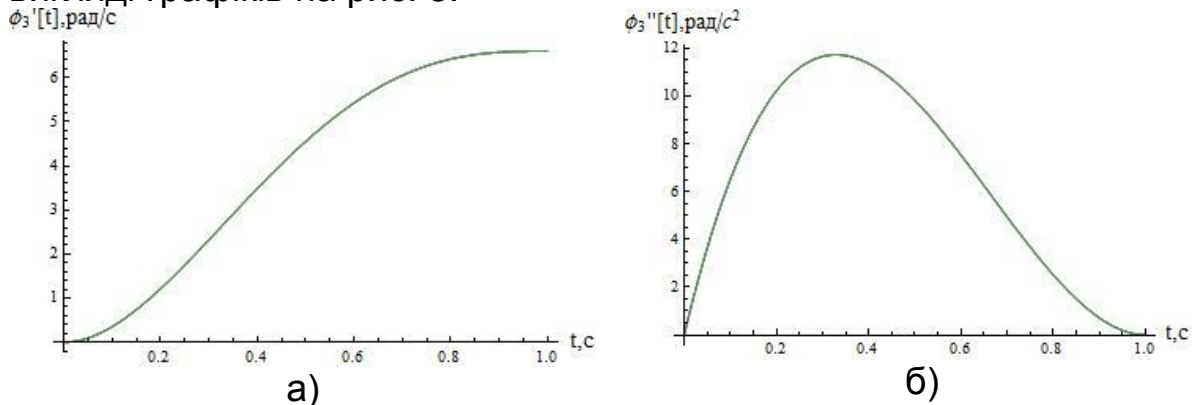


Рис. 3. Графіки зміни швидкості (а) і прискорення (б) оптимального режиму пуску конвеєра-змішувача гвинтового типу

Проаналізуємо результати дослідження динаміки пуску конвеєра-змішувача гвинтового типу без (рис. 2) і з (рис. 3,б) проведенням оптимізації.

За оптимального режиму руху (рис. 3,а) швидкість плавно збільшується від нуля до номінального значення. Номінальна швидкість досягається за 1 с.

Графік рис. 3,б наочно показує, що в початковий момент запуску змішувача момент зрушення вантажу супроводжується плавним збільшенням прискорення до максимального значення 12 рад/с^2 за $0,4 \text{ с}$, яке з часом плавно зменшується. В той же час на рис. 2 крива прискорень має виражений коливальний характер. Прискорення досягає максимального значення (200 рад/с^2), потім зменшується до значення -100 рад/с^2 , а далі амплітуда коливань поступово затухає. Отримані дані показують, що при оптимальному режимі пуску максимальне прискорення ланок системи в 16 раз менше відповідних прискорень при неоптимальному режимі, що призводить до більш, як на порядок зменшення динамічних навантажень в елементах конструкції.

Аналізуючи приведені результати, бачимо, що завдяки оптимізації зменшені до мінімуму коливання ланок системи, і, як наслідок, практично зникає дія динамічних навантажень, як в елементах привода, так і гвинтового вала конвеєра-змішувача.

Для реалізації оптимальних режимів руху використано частотний перетворювач, який здатний керувати струмом, напругою або частотою, тим самим забезпечуючи плавну безступінчасту зміну частоти обертання асинхронного двигуна. Це дозволяє зменшувати ударні перевантаження шляхом зниження пускових струмів; знизити

ймовірність перегріву двигуна; реалізувати оптимальний плавний пуск змішувача (навантаженого чи ненавантаженого) [7].

Результати досліджень. Для підтвердження результатів теоретичних досліджень проведено експеримент, для здійснення якого розроблена лабораторна установка (рис. 4).

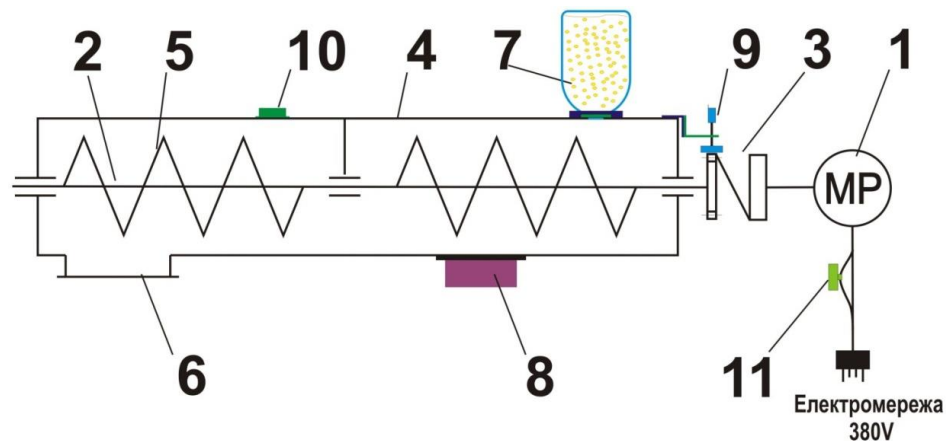


Рис. 4. Схема розробленої лабораторної установки.

Установка складається з гвинтового конвеєра-змішувача і привода, який змонтований на зварній рамі. Привод моделі здійснюється від трифазного електродвигуна змінного струму 1, потужністю 2,2 кВт і частотою обертання ротора 1420 об/хв через планетарний редуктор з передаточним відношенням 22,5.

Конвеєр-змішувач має гвинт 5, жолоб 4, розвантажувальне вікно 6, систему подачі матеріалу 7 і вібратор 8. Установка дозволяє проводити повноцінні експериментальні дослідження по визначенню динамічних навантажень під час пуску гвинтового змішувача.

Потужність на приводному валу вимірювалась через значення струму і напруги, які отримали за допомогою датчика струму 11 і мультиметра відповідно. Кутова швидкість на ведучому валу вимірювалась за допомогою датчика кутової швидкості 9. Вимірювання вібрації здійснювалось акселерометром 10, прикріпленого до кутиків жолоба. Оптимізація режиму руху реалізована за допомогою частотного перетворювача. Для зчитування сигналів з цих датчиків застосовувався підсилювач-перетворювач і персональний комп'ютер.

Експерименти по дослідженню динаміки руху проводились для таких комбінацій як: режим пуску змішувача без навантаження і з навантаженням; моделювався ударний режим роботи (який трапляється тоді, коли змішувач відновлює свою роботу після аварійної зупинки, тобто з заповненим жолобом). Здійснені різні режими пуску, а саме: ручний (різкий) і автоматичний (плавний).

Результати експериментальних досліджень динаміки пуску конвеєра-змішувача, представлені графіком зміни прискорення для реального режиму пуску конвеєра у навантаженому стані (рис. 5) і залежностями кутової швидкості і прискорення для оптимального режиму пуску (рис. 6).

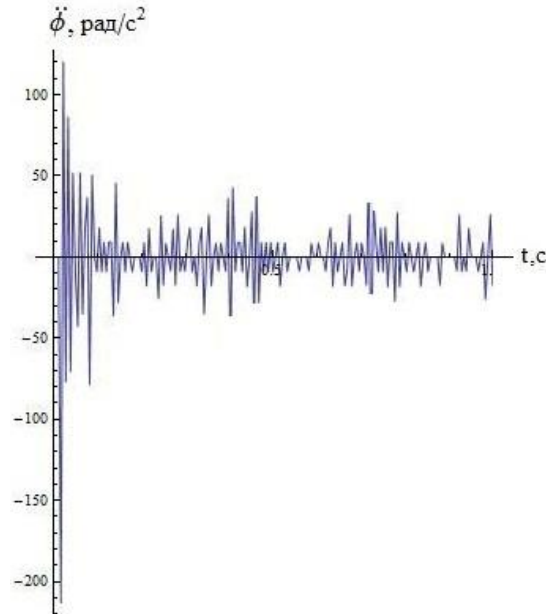


Рис. 5. Графік зміни кутового прискорення вала при пуску (реальний режим).

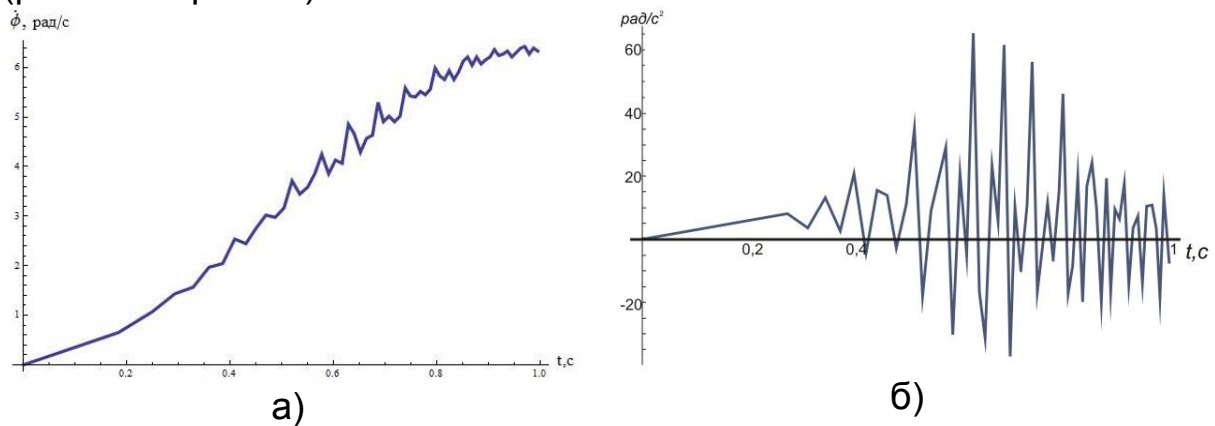


Рис. 6. Графіки зміни кутової швидкості (а) і прискорення (б) гвинтового вала при пуску (оптимальний режим).

Виходячи з графіків (рис.5 і рис.6,б), прискорення мають змінний коливальний характер як для першого, так і для другого режиму з амплітудою коливань від -200 до 100 рад/с² для реального режиму пуску і від -35 до 65 рад/с² для плавного режиму пуску.

При співставленні експериментальних даних з дослідженням динаміки руху змішувача, що отримані теоретично, бачимо, що в основному теоретичні і експериментальні криві близькі за величиною і характером змін. Виключення складає лише графік зміни прискорення під час оптимального режиму, де по даним

експерименту (рис. 6,б) спостерігається велика амплітуда коливань в порівнянні з відповідним графіком (рис. 3,б), отриманим теоретично, де крива має більш плавний характер зміни. Така різниця в отриманих результатах виникла через зроблені припущення в теоретичних розрахунках і через похибки експериментального обладнання.

В цілому ж порівняння теоретичних і експериментальних результатів підтвердило адекватність запропонованих математичних моделей, правомірність зроблених в результаті досліджень висновків і ефективність впровадження оптимальних режимів руху (так як плавність руху при пуску сприяє зменшенню динамічних навантажень).

Висновки

1. В результаті виконаних теоретичних досліджень отримані графіки реального і оптимального режиму руху гвинтового конвеєра-змішувача.

2. Порівняння результатів теоретичних досліджень динаміки руху з експериментальними даними підтвердило адекватність запропонованих математичних моделей і правомірність зроблених в результаті досліджень висновків.

Список літератури

1. *Давыдов Б. Л.* Статика и динамика машин / *Б. Л. Давыдов, Б. А. Скородумов.* – М.: Машиностроение, 1967. – 431 с.
2. Динаміка гвинтових конвеєрів / *В. С. Ловейкін, О. Р. Рогатинська, Л. Р. Рогатинська [та ін.]* // Вісник ТНТУ. – 2010. – Том 15. – № 3. – С. 100–105. – (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).
3. *Ловейкин В. С.* Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин : уч. пос. / *В. С. Ловейкин.* – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.
4. *Паламарчук І. П.* Динамічні навантаження коливального характеру в гнучких спіральньо-фасонних конвеєрах поступального руху / *І. П. Паламарчук, М. В. Любін, О. А. Токарчук* // Вібрації в техніці та технологіях. – 2010. – №1(57). – С. 46-48.
5. Динамические нагрузки машин и механизмов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: http://www.onlain-library.ru/teoriya_elektroprivoda.html. – Назва з екрану.
6. *Ловейкин В. С.* Багатомасова модель динаміки руху кормозмішувача гвинтового типу зі змінним опором / *В. С. Ловейкін, А. В. Яворська* // Motrol. – 2011. – Том 13В. – С. 124–129.
7. Проектирование электропривода [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://powergroup.com.ua/SEW-EURODRIVE-proectirovanie-electroprivoda> - Назва з екрану.
8. Процессы смешивания на комбикормовых предприятиях [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://samenkorn.ru/dosing-and-mixing-feed-components/85-mixing-processes-in-feed-factories.html> - Назва з екрану/

9. Ведомственные нормы технологического проектирования кормоцехов для животноводческих предприятий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://files.stroyinf.ru/Data1/9/9286/>- Назва з екрану.
10. Гурик О. Я. Обгрунтування параметрів транспортерів-змішувачів сипких матеріалів: Дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11/ Гурик Олег Ярославович. – Тернопіль, 2003. – 188 с.
11. Ляшук О. Л. Дослідження динаміки процесу роботи гвинтового секційного конвеєра / О. Л. Ляшук, А. Є. Дячун // Науковий вісник ХДМУ. – 2011. – №1 (4). – С.215–221.
12. Гевко Б. М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатынский. – Львов: Вища школа, 1989. – 176 с.
13. Давыдов Б. Л. Статика и динамика машин / Б. Л. Давыдов, Б. А. Скородумов. – М.: Машиностроение, 1967. – 431 с.
14. Комаров М. С. Динамика механизмов и машин / М. С. Комаров. – М.: Машиностроение, 1969. – 296 с.
15. Поліщук Л. К. Дослідження динаміки привода конвеєра зі змінним навантаженням / Л. К. Поліщук, О. О. Адлер // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 3(55). – С. 35–37.
16. Гевко І. Б. Динамічна модель процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром / І. Б. Гевко, А. О. Вітровий, О. Я. Гурик // Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. – 2001. – Вип. 8. – С. 72–82.

В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований динамики движения винтового конвейера-смесителя во время пуска.

Динамическая модель, критерий оптимизации, надежность конструкции.

In paper results of theoretical and experimental studies of dynamics of motion screw conveyor-mixer are presented.

Dynamic model, optimization criterion, reliability of construction.

УДК 621.867.133

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИНАМІКИ РУХУ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА

***В.С. Ловейкін, доктор технічних наук
В.М. Рибалко, кандидат технічних наук
О.Ю. Ткаченко, асистент***

© В.С. Ловейкін, В.М. Рибалко, О.Ю. Ткаченко, 2013