

УДК 621.86

ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ В ТЕЛЕСКОПІЧНИХ ГВИНТОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ

Гудь В.З., к.т.н.

(Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя)

У статті проаналізовано динамічні процеси, які виникають при роботі телескопічних гвинтових транспортерів.

Постановка задачі. Телескопічні гвинтові транспортери, які призначені для переміщення сипких середовищ, можуть обертаються із значними кутовими швидкостями (до 800 об/хв. і вище). Реально існуючі у середовищах окремі неоднорідні включення, несиметричність телескопічного гвинта та зовнішні збурення приводять в багатьох випадках до його коливань, а відтак до значних динамічних навантажень у ньому [1]. Їх величина зростає у так званих резонансних випадках. До того, гвинт транспортера здійснює, як правило, складні коливання: поєднання згинальних та крутильних. Дослідження таких складних процесів навіть за умови, що гвинт конвеєра можна вважати одновимірним пружним тілом, є складною задачею. Одночасно, як показують результати випробувань, у окремих випадках навіть без переміщення середовища, та дії зовнішніх періодичних збурень інтенсивність згинальних коливань значно зростає [1-3].

Мета досліджень. Метою досліджень є побудова математичної моделі динаміки телескопічний гвинт – сипке середовище.

Основні матеріали досліджень. У багатьох випадках в універсальних агрегатах-перевантажувачах сільськогосподарських вантажів для досягнення необхідної відстані перевантаження шнековий конвеєр виконується складним і розкладається-складається з допомогою гідро- чи пневмоустаткування, що робить його конструкцію надто складною і дорогою. Відтак використання принципу телескопу в шнекових транспортерах матиме широке застосування в різноманітних конструкціях сільськогосподарської та іншої техніки.

З метою аналізу функціонування телескопічних шнекових транспортерів проведено відповідні дослідження. У низці праць [4-7] проведено дослідження впливу руху суцільного потоку сипкого середовища на поздовжні чи згинальні коливання пружних тіл. На їх

базі можна стверджувати, що навіть стала швидкість переміщення сипкого середовища змінює основні динамічні характеристики одноформних (згинальних чи поздовжніх) коливань. Величина дії середовища значно зростає і з зростанням відносної кількості його руху.

Відомо [8], що математичною моделлю згинальних коливань пружного тіла, яке обертається вздовж нерухомої осі із сталою кутовою швидкістю Ω за умови, що вздовж нього рухається зі сталою відносною лінійною швидкістю V суцільний потік однорідного середовища нульової жорсткості, служить система диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned} & (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2\rho_2 V \frac{\partial^2 u}{\partial t \partial z} - 2(\rho_1 + \rho_2) \Omega \frac{\partial w}{\partial t} + \rho_2 V^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \\ & - 2(\rho_1 + \rho_2) \Omega \frac{\partial^3 w}{\partial t \partial z^2} + EI \frac{\partial^4 u}{\partial z^4} - (\rho_1 + \rho_2) \Omega^2 u = \text{ef} \left(u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma \right) \\ & (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + 2\rho_2 V \frac{\partial^2 w}{\partial t \partial z} + 2(\rho_1 + \rho_2) \Omega \frac{\partial u}{\partial t} + \rho_2 V^2 \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \\ & + 2(\rho_1 + \rho_2) \Omega \frac{\partial^3 u}{\partial t \partial z^2} + EI \frac{\partial^4 w}{\partial z^4} - (\rho_1 + \rho_2) \Omega^2 w = \text{eg} \left(u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma \right) \end{aligned} \quad (1)$$

У (1) $u(t, z), w(t, z)$ - проєкції вектора переміщення точки центральної осі з координатою z телескопічного гвинта в довільний момент часу t у проєкціях на осі нерухомої системи координат $OXYZ$. Вісь OZ вказаної системи відліку співпадає із недеформованим прямолінійним положенням гвинта шнеку, Ω - кутова швидкість обертання гвинта навколо вказаної осі, ρ_1, ρ_2 - відповідно маса одиниці довжини тіла та рухомого середовища, EI - його жорсткість на згин гвинта,

$f \left(u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma \right)$ та

$g \left(u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma \right)$ - 2π - періодичні за

$\gamma = \nu t + \gamma_0$ функції, які описують нелінійні складові відновлювальної сили, сили опору та інші сили, максимальне значення котрих є значно меншим від значення відновлюючої сили, на що вказує малий параметр ε . Нижче для простоти будемо вважати, що вказані

функції є многочленами за сукупністю змінних, а із фізичного їх змісту випливає, що вони мають бути зв'язані співвідношенням

$$f\left(u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial w}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma\right) = g\left(u, w, \frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial z}, \frac{\partial u}{\partial z}, \dots, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \frac{\partial^3 u}{\partial z^3}, \gamma\right)$$

Що стосується складних коливань гвинта (поєднання згинальних та крутильних), то за умови, що останні описуються відомим законом $\mathcal{G}(z, t)$ (нижче вважається що крутильні відповідають найпростішим їх математичним моделям) система рівнянь (1) трансформується до вигляду

$$\begin{aligned} & (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2\rho_2 V \frac{\partial^2 u}{\partial t \partial z} - 2(\rho_1 + \rho_2) \left(\Omega + \frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t} \right) \frac{\partial w}{\partial t} + \rho_2 V^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \\ & - 2(\rho_1 + \rho_2) I \left(\Omega + \frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t} \right) \frac{\partial^3 w}{\partial t \partial z^2} + EI \frac{\partial^4 u}{\partial z^4} - (\rho_1 + \rho_2) \left(\Omega + \frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t} \right)^2 u - (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 \mathcal{G}(z, t)}{\partial t^2} w = \mathcal{F}_1 \left(u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \dots, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma \right), \\ & (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + 2\rho_2 V \frac{\partial^2 w}{\partial t \partial z} + 2(\rho_1 + \rho_2) \left(\Omega + \frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t} \right) \frac{\partial u}{\partial t} + \rho_2 V^2 \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \\ & + 2(\rho_1 + \rho_2) I \left(\Omega + \frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t} \right) \frac{\partial^3 u}{\partial t \partial z^2} + EI \frac{\partial^4 w}{\partial z^4} - (\rho_1 + \rho_2) \left(\Omega + \frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t} \right)^2 w + \\ & + (\rho_1 + \rho_2) \frac{\partial^2 \mathcal{G}(z, t)}{\partial t^2} u = \mathcal{F}_2 \left(u, w, \frac{\partial u}{\partial t}, \dots, \frac{\partial^3 w}{\partial z^3}, \gamma \right), \end{aligned} \quad (2)$$

Останні два доданки у лівих частинах рівнянь (2) виражають дотичні складові сил інерції умовно виділеного елемента телескопічного гвинта і вони зумовлені нерівномірним деформованим його обертанням (відносними крутильними коливаннями).

Динамічний процес гвинта шнеку залежить крім силових та кінематичних $\left(\frac{\partial \mathcal{G}(z, t)}{\partial t}, \frac{\partial^2 \mathcal{G}(z, t)}{\partial t^2}, \Omega, V \right)$ чинників ще й від способу закріплення. У випадку повільно регульованої його довжини останні приймають вигляд

$$\begin{aligned} u(t, z) \Big|_{z=0} = \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \Big|_{z=0} = 0, \quad w(t, z) \Big|_{z=0} = \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \Big|_{z=0} = 0, \\ u(t, z) \Big|_{z=l(\tau)} = \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \Big|_{z=l(\tau)} = 0, \quad w(t, z) \Big|_{z=l(\tau)} = \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \Big|_{z=l(\tau)} = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

і відповідають руху пружного гвинта у підшипниках віддалі між

котрими $l(\tau)$. Саме таким способом враховується у математичній моделі змінна довжина гвинта, причому $l(\tau) = l_0 + \varepsilon k_1 t$, k_1 - стала. Задача полягає у описанні основних параметрів згинальних коливань гвинта шнеку за умови що крутильні коливання описуються залежністю

$$\vartheta(x, t) = h \sin \frac{k\pi}{l(\tau)} z \cos \vartheta, \quad \vartheta = (\Theta t + \vartheta_0), \quad (4)$$

у якій a - їх амплітуда, $\Theta = \frac{k\pi}{l(\tau)} \sqrt{\frac{GJ_0}{I_0}}$ - частота, ϑ_0 - початкова фаза, I_0 - погонний момент інерції відносно нейтральної осі пружного тіла разом із середовищем, J_0 - його екваторіальний момент інерції, G - модуль зсуву.

Для дослідження принципу телескопії у гвинтових транспортерах на основі проведеного патентного пошуку та аналізу наукових літературних джерел і проведеного синтезу [9] було розроблено, спроектовано та виготовлено дослідну установку, яку зображено на рис. 1.

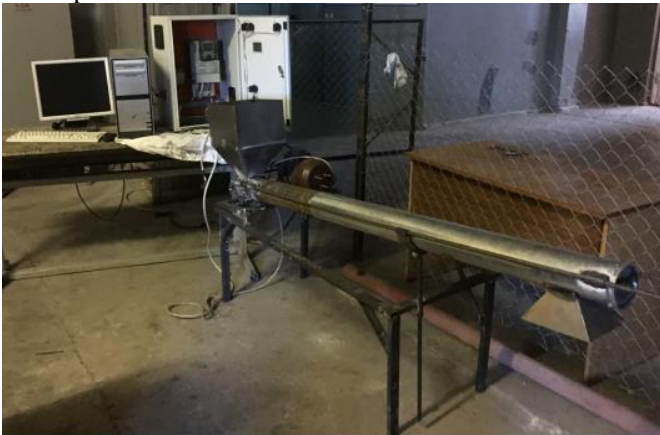


Рис. 1. Загальний вигляд стенду для дослідження характеристик телескопічних гвинтових транспортерів

В дослідній установці зовнішній діаметр шнека становить 97 мм; внутрішній діаметр нерухомого патрубку - 100 мм; зовнішній - 107 мм; внутрішній діаметр рухомого патрубку - 109 мм. Рухомий

патрубок виконано із оцинкованого листа, а тому він містить з'єднувальний шов і овальності та нерівності по усій довжині, що впливало на швидкість скручування і розкручування телескопічної частини гвинтового транспортера.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що найбільшою проблемою в телескопічних гвинтових транспортерах є збереження однакового зазору між кожухом та спіраллю в різних секціях телескопа, що значно впливає на час викочування та заочування рухомої в осьовому напрямку частини шнека на нерухому та на появу і величину крутильних і згинальних коливань. Також встановлено, що продуктивність перевантаження сільськогосподарських вантажів телескопічним гвинтовим транспортером не відрізняється від продуктивності перевантаження цих матеріалів традиційними гвинтовими конвеєрами.

Висновки.

1. Встановлено, що найбільшою проблемою в телескопічних гвинтових транспортерах є збереження однакового зазору між кожухом та спіраллю в різних секціях телескопа, що значно впливає на час викочування та заочування рухомої в осьовому напрямку частини шнека на нерухому та на появу і величину згинальних і крутильних коливань під час переміщення сипких вантажів.

2. Встановлено, що продуктивність перевантаження сільськогосподарських вантажів телескопічним гвинтовим транспортером є аналогічною продуктивності перевантаження цих вантажів традиційними гвинтовими конвеєрами, і не змінюється від величини викочування та видовження телескопічної частини гвинтового конвеєра.

Список літератури

1. Рогатинський Р. М. та інші Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів. / Рагатинський Р. М., Гевко І. Б., Дячун А. Е., Тернопіль, 2014. – 280 с.

2. Гевко І. Експериментальні дослідження змішування сипких матеріалів змішувачем з пересипом/ І. Гевко, Р. Любачівський, А. Дячун// Міжвузівський зб.(за напрямом “Інженерна механіка”) “Наукові нотатки” ЛНТУ.- Луцьк, 2011.- Вип.5.-С. 51-55.

3. Oleg Lyashuk Longitudinal-angular oscillation of wheeled vehicles with non-linear power characteristics of absorber system// Oleg Lyashuk, Tetyana Pyndus, Olexandr Marunych MSokil/. Вісник Тернопільського національного технічного університету. Scientific

Journal of the Ternopil National Technical University.- 2016.№2(83).- 82-89

4. Сокіл Б.І. Вимушені коливання гнучких трубчастих тіл, вздовж яких рухається суцільний потік середовища. // Сокіл Б.І., Сокіл М.Б. // Вісник національного університету “Львівська політехніка” Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. 2017-№866.-с.60-65

5. Сокіл Б.І. Вплив швидкості поздовжнього руху на напруження у гнучких елементах систем приводів за резонансу. // Сокіл Б.І., Хитряк О.І. // Вісник НУ “ЛП” “Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні”, №702.-2011, с. 76-83.

6. Сокіл М.Б. Застосування хвильової теорії руху та асимптотичного методу для дослідження динаміки деяких класів поздовжньо-рухомих систем // Сокіл М.Б. А.І. Андрухів, О.І. Хитряк // Вісник НУ “ЛП” Динаміка, міцність та проектування машин і приладів, Львів, 2012, № 730. - С.114-118

7. Сокіл М.Б. Згинні нелінійні коливання одновимірних тіл, які характеризуються поздовжньою швидкістю руху, і наближене їх дослідження // Сокіл М.Б. // Вісник НУ “ЛП” Динаміка, міцність та проектування машин і приладів, Львів, 2010, №678. - С.97-102.

8. Федосьев В. И. О колебаниях и устойчивости трубы при протекании через нее жидкости / В.И. Федосеев // Инженерный сборник.– 1951.– Т.10.– С. 251–257.

9. Синтез телескопичних гвинтових конвеєрів [І. Гевко, В. Гудь, І. Шуст та ін.] // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві» – 2016. – Випуск №168, С. 85-91.

Аннотация

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ ВИНТОВЫХ ТРАНСПОРТЕРАХ

В статье проанализированы динамические процессы, возникающие при работе телескопических винтовых транспортеров..

Abstract

DYNAMIC PROCESSES IN TELESCOPIC SCREW CONVEYORS

The article analyzes the dynamic processes that occur during the operation of telescopic screw conveyors.