

УДК 621.88

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ ГВИНТОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ

*І. Гевко, к.т.н., А. Дячун, к.т.н.*

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

*Р. Грудовий*

*Житомирський національний агроекологічний університет*

**Ключові слова:** гвинтовий транспортер, момент інерції, сипкий вантаж.

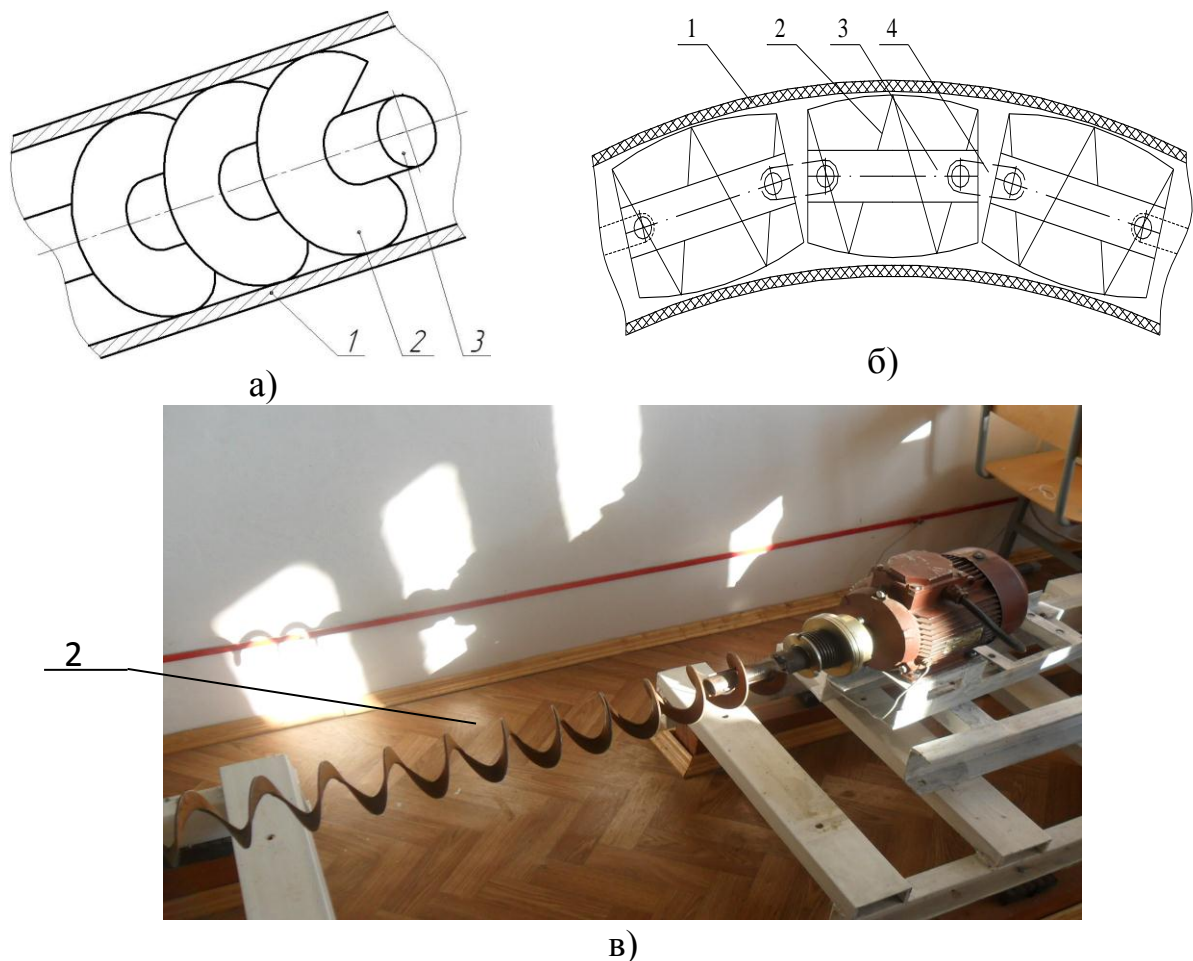
Представлено результати теоретичних досліджень моменту інерції тихохідних, середньошвидкісних і швидкісних гвинтових транспортерів. Визначено вплив властивостей транспортованого вантажу на динамічні характеристики гвинтового транспортера. Встановлено зв'язок між конструктивними особливостями та моментами інерції гвинтових транспортерів.

**Постановка проблеми.** Робота більшості гвинтових транспортерів зазвичай супроводжується певними динамічними навантаженнями, які частково спричинені неточністю монтажу ланок кінематичного ланцюга певного механізму. У практиці транспортування сипких вантажів за допомогою гвинтового транспортера часто спостерігаються випадки його пуску в завантаженому стані, після попередньої зупинки без вивантаження вмісту, наприклад, у дозаторах або навантажувачах зерна, піску, інших матеріалів. Явища, які виникають у цьому випадку, суттєво відрізняються від пуску порожнього гвинтового транспортера. Крім того, зовнішні навантаження на робочі елементи транспортерів мають непостійний характер, то призводить до зростання динамічних навантажень на елементи транспортера, які можуть привести до виходу з ладу його конструктивних частин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [1], [2], та [3] представлено двомасові та тримасові динамічні моделі гвинтових транспортерів і машин, проведено аналіз складових елементів диференціальних рівнянь. Наведено результати розв'язку диференціальних рівнянь аналітичними та чисельними методами. Важливою складовою зазначених рівнянь є момент інерції шнекової частини гвинтового транспортера із вантажем. Аналіз публікацій показав, що цьому питанню приділено мало уваги, тому розв'язки диференціальних рівнянь не достатньо точно відображають динамічні характеристики гвинтових транспортерів.

**Постановка завдання.** Завдання дослідження - метою роботи є теоретично дослідити моменти інерції шнекової частини із вантажем тихохідних, середньошвидкісних та швидкісних гвинтових транспортерів.

**Виклад основного матеріалу.** Гвинтові транспортери за конструктивними особливостями можна поділити на три групи (рис. 1): жорсткі із внутрішнім валом або трубою (рис. 1 а), гнучкі секційні, гвинтові елементи яких з'єднані між собою шарнірами (рис. 1б) та гнучкі суцільні без внутрішнього вала (рис. 1в). Крім того, кожну групу за швидкістю обертання робочого органа можна поділити на тихохідні, середньошвидкісні та швидкісні гвинтові транспортери.



**Рис. 1. Гвинтові транспортери:** а) жорсткий із внутрішнім валом;  
 б) гнучкий секційний; в) гнучкий суцільний; 1 – кожух; 2 – шнек; 3 – вал;  
 4 - шарнір

Момент інерції шнекової частини з вантажем:

- для середньошвидкісного та швидкісного гвинтових транспортерів описують такою залежністю:

$$J_{po} = m_g \left( \frac{v_g}{\omega} \right)^2 + J_g \left( \frac{\omega_g}{\omega} \right)^2 + J_{ш}; \quad (1)$$

- для тихохідних гвинтових конвеєрів:

$$J_{po} = m_g \left( \frac{v_g}{\omega} \right)^2 + J_{ш}, \quad (2)$$

де  $m_g$  - маса вантажу, що піддається транспортуванню;

$v_g$  - осьова швидкість вантажу;

$\omega$  - кутова швидкість обертання шнека;

$J_g$  - момент інерції вантажу, що піддається транспортуванню;

$\omega_g$  - кутова швидкість обертання вантажу, що піддається транспортуванню;

$J_{ш}$  - момент інерції шнека.

Маса вантажу, що піддається транспортуванню:

$$m_g = \frac{\pi D^2 L \rho \varphi}{4}, \quad (3)$$

де  $D$  - зовнішній діаметр шнека;

$L$  – довжина шнека;

$\varphi$  – коефіцієнт заповнення міжвиткового простору;

$\rho$  - густина матеріалу, які піддаються транспортуванню.

Під час транспортування залежно від режиму роботи гвинтового транспортера відбувається переміщення вантажу по різних траєкторіях: для тихохідного режиму (до 200 об/хв) – по лінійній траєкторії, для швидкісного режиму (більше 700 об/хв) – по гвинтовій траєкторії, за середньошвидкісного режиму (від 200 об/хв до 700 об/хв) вантаж здійснює переміщення по складній траєкторії із частковим пересипанням в зворотному напрямку. Тоді знаходимо осьову швидкість вантажу:

- для середньошвидкісного режиму:

$$v_g = \frac{k_g \omega T}{2\pi}; \quad (4)$$

- для тихохідного і швидкісного режимів:

$$v_g = \frac{\omega T}{2\pi}, \quad (5)$$

де  $k_g$  - коефіцієнт відставання, що враховує пересипання вантажу в зворотному напрямку;

$T$  – крок витків шнека.

За усталеного переміщення вантажів годограф вектора швидкості вантажу описується залежністю, що відповідає прямій лінії:

$$\frac{2\pi v_g}{\omega T} + \frac{2v_k}{\omega D} = 1, \quad (6)$$

де  $v_k$  - колова швидкість вантажу.

Колову швидкість вантажу знаходимо за відомою залежністю:

$$v_k = \frac{\omega_g D}{2}. \quad (7)$$

Підставляючи значення формул (4) та (7) у рівняння (6) після перетворень одержимо:

$$\frac{\omega_g}{\omega} = 1 - k_g. \quad (7)$$

Для швидкісного режиму:

$$\frac{\omega_g}{\omega} = 1. \quad (8)$$

Момент інерції вантажу, що піддається транспортуванню для швидкісного та середньошвидкісного режимів визначається із залежності:

$$J_g = \frac{m_g r_i^2}{2}, \quad (9)$$

де  $r_i$  - радіус інерції вантажу.

Визначаємо радіус інерції вантажу:

- для середньошвидкісного режиму аналогічно [2]:

$$r_i = \frac{k_m D}{4} (1 + \sqrt{1 - \varphi}), \quad (10)$$

де  $k_m$  - коефіцієнт зміни траєкторії руху вантажу в радіальному напрямку;

- для швидкісного режиму [1]:

$$r_i = \frac{D}{4} (1 + \sqrt{1 - \varphi}). \quad (11)$$

Підставляючи значення формули (10), (11), (3) у рівняння (9), Знаходимо момент інерції вантажу:

- для середньошвидкісного режиму:

$$J_g = \frac{\pi D^4 L \varphi r k_m^2 (1 + \sqrt{1 - \varphi})^2}{128}; \quad (12)$$

- для швидкісного режиму:

$$J_{\epsilon} = \frac{\pi D^4 L \varphi \rho (1 + \sqrt{1 - \varphi})^2}{128}. \quad (13)$$

Момент інерції гнучкого секційного шнека:

$$J_{uu} = \frac{m_{uu} (R^2 - r^2)}{2}, \quad (14)$$

де  $m_{uu}$  - маса витків;

$R$  – зовнішній радіус шнека;

$r$  - внутрішній радіус шнека.

Визначаємо масу витків:

$$m_{uu} = n \rho_1 h (R - r) \sqrt{\pi^2 (R + r)^2 + T^2}, \quad (15)$$

де  $\rho_1$  - густина матеріалу витків;

$n$  - кількість витків шнека;

$h$  - товщина поперечного січення витка шнека.

Момент інерції жорсткого шнека:

$$J_{uu} = \frac{m_{uu} (R^2 - r^2) + m_T (R_1^2 - r_1^2)}{2}, \quad (16)$$

де  $m_T$  - маса труби;

$R_1$  – зовнішній радіус труби;

$r_1$  - внутрішній радіус труби.

Визначаємо масу труби:

$$m_T = \pi \rho_2 L (R_1^2 - r_1^2), \quad (17)$$

де  $\rho_2$  - густина матеріалу труби.

Момент інерції гнучкого секційного шнека:

$$J_{uu} = \frac{k_c (m_{uu} (R^2 - r^2) + m_T (R_1^2 - r_1^2))}{2}, \quad (18)$$

де  $k_c$  - коефіцієнт, що враховує конструктивні особливості шарнірів.

Підставляючи значення формул (3.74) у (3.73) знаходимо момент інерції гнучкого секційного шнека:

$$J_{ш} = \frac{n\rho_1 h(R-r)\sqrt{\pi^2(R+r)^2 + T^2}(R^2 - r^2)}{2}. \quad (19)$$

Підставляючи значення формул (15), (17) у формулу (16), знаходимо момент інерції жорсткого шнека:

$$J_{ш} = \frac{n\rho_1 h(R-r)\sqrt{\pi^2(R+r)^2 + T^2}(R^2 - r^2) + \pi\rho_2 L(R_1^2 - r_1^2)^2}{2}. \quad (20)$$

Аналогічно, підставляючи значення формул (15), (17) у формулу (18), знаходимо момент інерції гнучкого секційного шнека:

$$J_{ш} = \frac{k_c \left( n\rho_1 h(R-r)\sqrt{\pi^2(R+r)^2 + T^2}(R^2 - r^2) + \pi\rho_2 L(R_1^2 - r_1^2)^2 \right)}{2} \quad (21)$$

Підставляючи відповідні складові у формули (1) і (2), знаходимо 9 варіантів для визначення моменту інерції шнекової частини з вантажем, що представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Визначення моменту інерції шнекової частини транспортера з вантажем

Тип шнека	Тихохідний
Гнучкий суцільний	$J_{po} = \pi D^2 L \rho \frac{T^2}{16\pi^2} + \frac{n\rho_1 h(R-r)\sqrt{\pi^2(R+r)^2 + T^2}(R^2 - r^2)}{2}$
Жорсткий	$J_{po} = \pi D^2 L \rho \frac{T^2}{16\pi^2} + \frac{n\rho_1 h(R-r)\sqrt{\pi^2(R+r)^2 + T^2}(R^2 - r^2) + \pi\rho_2 L(R_1^2 - r_1^2)^2}{2}$

Гнучкий секційний	$J_{po} = \pi D^2 L \varphi \rho \frac{T^2}{16\pi^2} +$ $+ \frac{k_c \left( n \rho_1 h (R - r) \sqrt{\pi^2 (R + r)^2 + T^2} (R^2 - r^2) + \pi \rho_2 L (R_1^2 - r_1^2)^2 \right)}{2}$
Гнучкий суцільний	$J_{po} = \pi D^2 L \varphi \rho \left( \frac{T^2}{16\pi^2} + \frac{D^2 (1 + \sqrt{1 - \varphi})^2}{128} \right) +$ $+ \frac{n \rho_1 h (R - r) \sqrt{\pi^2 (R + r)^2 + T^2} (R^2 - r^2)}{2}$
Жорсткий	$J_{po} = \pi D^2 L \varphi \rho \left( \frac{T^2}{16\pi^2} + \frac{D^2 (1 + \sqrt{1 - \varphi})^2}{128} \right) +$ $+ \frac{n \rho_1 h (R - r) \sqrt{\pi^2 (R + r)^2 + T^2} (R^2 - r^2) + \pi \rho_2 L (R_1^2 - r_1^2)^2}{2}$
Гнучкий секційний	$J_{po} = \pi D^2 L \varphi \rho \left( \frac{T^2}{16\pi^2} + \frac{D^2 (1 + \sqrt{1 - \varphi})^2}{128} \right) +$ $+ \frac{k_c \left( n \rho_1 h (R - r) \sqrt{\pi^2 (R + r)^2 + T^2} (R^2 - r^2) + \pi \rho_2 L (R_1^2 - r_1^2)^2 \right)}{2}$
Тип шнека	<b>Середньошвидкісний</b>



Гнучкий суцільний	$J_2 = \pi D^2 L \varphi \rho \left( \frac{1}{4} \left( \frac{k_g T}{2\pi} \right)^2 + \frac{D^2 k_m^2 (1 + \sqrt{1 - \varphi})^2}{128} (1 - k_g)^2 \right) +$ $+ \frac{n \rho h (R - r) \sqrt{\pi^2 (R + r)^2 + T^2} (R^2 - r^2)}{2}$
Жорсткий	$J_2 = \pi D^2 L \varphi \rho \left( \frac{1}{4} \left( \frac{k_g T}{2\pi} \right)^2 + \frac{D^2 k_m^2 (1 + \sqrt{1 - \varphi})^2}{128} (1 - k_g)^2 \right) +$ $+ \frac{n \rho_1 h (R - r) \sqrt{\pi^2 (R + r)^2 + T^2} (R^2 - r^2) + \pi \rho_2 L (R_1^2 - r_1^2)^2}{2}$
Гнучкий секційний	$J_2 = \pi D^2 L \varphi \rho \left( \frac{1}{4} \left( \frac{k_g T}{2\pi} \right)^2 + \frac{D^2 k_m^2 (1 + \sqrt{1 - \varphi})^2}{128} (1 - k_g)^2 \right) +$ $+ \frac{k_c \left( n \rho_1 h (R - r) \sqrt{\pi^2 (R + r)^2 + T^2} (R^2 - r^2) + \pi \rho_2 L (R_1^2 - r_1^2)^2 \right)}{2}$

**Висновки.** Представлено результати теоретичних досліджень моменту інерції тихохідних, середньошвидкісних і швидкісних гвинтових транспортерів. Визначено вплив властивостей транспортованого вантажу на динамічні характеристики гвинтового транспортера. Встановлено зв'язок між конструктивними особливостями та моментами інерції гвинтових транспортерів.

#### Бібліографічний список

1. Гевко І. Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання [Текст] / Гевко І. Б. — Тернопіль : ТДТУ. 2008. - 307 с.

2. Гевко Б. М. Винтовые подающие механизмы сельськохозяйственных машин [Текст] / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатынский. - Львов : Вища шк., 1989.- 176 с.

3. Комаров М. С. Динамика машин [Текст] / Комаров М. С. М. : Машиностроение, 1979. -342 с.

**Gevko I., Dyachun A., Grudovyy R. Research of moment of inertia of spiral conveyers**

The results of theoretical researches of moment of inertia of slow, middle speed and speed spiral conveyers are presented. Influence of properties of the transported cargo on dynamic characteristics of spiral conveyer is definite. Communication between structural features and moment of inertia of spiral conveyers is set.

**Key words:** spiral conveyer, moment of inertia, hulk cargo.

**Гевко И., Дячун А., Грудовой Р. Исследование момента инерции винтовых транспортеров**

Представлены результаты теоретических исследований момента инерции тихоходных, среднескоростных и скоростных винтовых транспортеров. Определено влияние свойств транспортированного груза на динамические характеристики винтового транспортера. Установлена связь между конструктивными особенностями и моментами инерции винтовых транспортеров.

**Ключевые слова:** винтовой транспортер, момент инерции, сипучий груз.