

УДК 621.867.42

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ КОНВЕЄРА ІЗ ШНЕКОМ З ПОСТУПОВО ЗРОСТАЮЧИМ КРОКОМ ВИТКІВ У НАПРЯМК У РУХУ ВАНТАЖУ

С. М. Герук, канд. техн. наук, *ННЦ «ІМЕСГ»*; **А.Є. Дячун** канд. техн. наук, *Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*; **Р. С. Грудовий**, канд. техн. наук, *Житомирський національний агроекологічний університет*

Представлена наукова робота присвячена підвищенню ефективності гвинтових конвеєрів для транспортування зернових матеріалів при зменшенні їх травмування шляхом рівномірного збільшення міжвиткового простору в напрямку руху зернового матеріалу на основі мінімізації енерговитрат транспортування зернових матеріалів. Досліджено силові параметри на основі рівнянь руху матеріальних частинок у гвинтових швидкохідних конвеєрах із шнеками з поступово зростаючими кроками витків.

Ключові слова: *гвинтовий конвеєр, шнек, зерновий матеріал, енергоємність.*

Проблема. Гвинтові конвеєри (ГК) широко використовуються в народному господарстві для переміщення сипучих, шматкових, в'язко-пластичних та інших матеріалів і різних сумішей. Вони характеризуються простотою конструкції, зручністю в користуванні, великою надійністю [2,3]. Важливим є можливість поєднання функції транспортування із рядом технологічних процесів у відповідних транспортно-технологічних системах. Проте гвинтові конвеєри, порівняно із іншими, мають підвищену енергоємність і її зниження є важливою науково-технічною проблемою.

Для зменшення енергетичних витрат і травмування зерна та збільшення надійності гвинтових робочих органів розроблено ряд оригінальних конструкцій шнеків із змінним кроком витків. Застосування таких шнеків потребує

вирішення питань, пов'язаних з особливостями визначення навантажень на шнек, а також доцільності їх використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними показниками, що характеризують ефективність використання шнекових транспортерів із жорстким валом, є продуктивність, матеріаломісткість та енергоємність. Теоретичні основи визначення конструкційних, кінематичних, динамічних, функціональних, експлуатаційних та інших параметрів і їх вплив на характеристики гвинтових робочих органів викладені у великій кількості літературних джерел таких відомих вчених: В. В. Адамчук, А. П. Александров, О. Д. Алімов, К. В. Алферов, П. І. Басов, Е. Бернхардт, А. І. Бойко, А. А. Вайнсон, П. М. Василенко, Б. М. Гевко, Р. Б. Гевко, Х. Герман, А. М. Григор'єв, І. Е. Груздєв, Б. М. Гутьяр, В. П. Желтов, П. М. Заїка, Р. Л. Зенков, В. Г. Іванов, Л. М. Куцин, В. С. Ловейкін, Д. Мак-Келві, С. Н. Михайлов, І. В. Морін, О. О. Омельченко, Ю. А. Пертен, В. І. Пономарьов, П. А. Преображенский, В. Д. Ткач, М. І. Пилипець, Р. М. Рогатинський, А. О. Співаковський, А. Я. Соколов, Г. Шенкель, М. К. Штуков, В. Ф. Ярошенко та багато інших. Питанням структурної, динамічної та параметричної оптимізації транспортно-технологічних систем, їх захисту від перевантажень присвячені роботи І. І. Артоболовского, В. І. Брауде, А. Н. Голубенцева, О. В. Григорова, Б.Я. Левіна, В.С. Ловейкіна, А.А. Смехова, А.Г. Сухарева, М.М. Федорова та інших вчених.

Проте багато питань залишаються недослідженими, а саме оптимізація режимів роботи ГК із умови мінімізації їх енергоємності в загальній постановці та оптимальне навантаження в перехідних режимах. Це вимагає теоретичного й експериментального дослідження цілого комплексу питань.

Мета досліджень: провести дослідження впливу сипкого вантажу на навантаження на шнек з рівномірно збільшеним кроком у напрямку руху вантажу й вивести аналітичні залежності для визначення енергосилових параметрів;

Результати дослідження. Для встановлення характеру навантаження на складові частини конвеєра по всій його довжині розглянемо рух частинки вантажу в координатах xuz (рис. 1). Після встановлення характеру цього руху [1] і силових факторів визначимо характер навантажень на шнек та кожух під час переміщення вантажу.

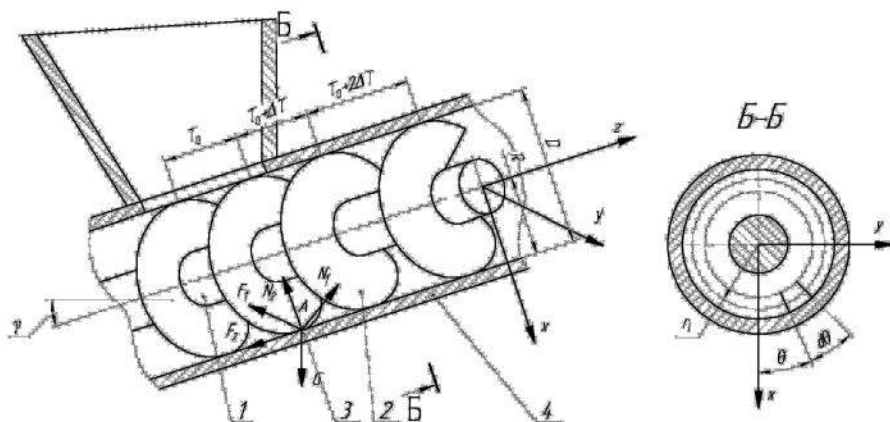


Рис. 1. Розрахункова схема переміщення частинки вантажу у нахиленому гвинтовому конвеєрі: 1 — привідний вал; 2 — шнек із поступово зростаючим кроком витків; 3 — частинка вантажу; 4 — кожух

Рівняння для визначення силових параметрів під час переміщення частинки згідно рис. 1 можна знайти на основі рівняння рівноваги всіх сил, що прикладені до неї:

$$\begin{cases} \sum x = N_{1x} + N_{2x} + F_{1x} + F_{2x} - m \ddot{x} + G_x = 0; \\ \sum y = N_{1y} + N_{2y} + F_{1y} + F_{2y} - m \ddot{y} + G_y = 0; \\ \sum z = N_{1z} + N_{2z} + F_{1z} + F_{2z} - m \ddot{z} + G_z = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де N_{1x}, N_{1y}, N_{1z} — проекції нормальної реакції від поверхні шнека відповідно на осі x, y, z, H ;

N_{2x}, N_{2y}, N_{2z} — проекції нормальної реакції від поверхні кожуха відповідно на осі x, y, z, H ;

F_{1x}, F_{1y}, F_{1z} — проекції сили тертя між частинкою та поверхнею шнека відповідно на осі x, y, z, H ;

F_{2x}, F_{2y}, F_{2z} — проєкції сили тертя між частинкою та поверхнею кожуха відповідно на осі x, y, z, H ;

m — маса частинки, кг;

G_x, G_y, G_z — проєкції сили ваги відповідно на осі x, y, z, H .

Нормальна реакція N_1 від поверхні шнека та поверхні кожуха N_2 направлена по вектору нормалі \vec{n} до цих поверхонь, тобто

$$\begin{cases} F_{1x} = -f_1 N_1 \frac{x_1}{|s_1|}; \\ F_{1y} = -f_1 N_1 \frac{y_1}{|s_1|}; \\ F_{1z} = -f_1 N_1 \frac{z_1}{|s_1|}; \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} F_{2x} = -f_2 N_2 \frac{x_2}{|s_2|}; \\ F_{2y} = -f_2 N_2 \frac{y_2}{|s_2|}; \\ F_{2z} = -f_2 N_2 \frac{z_2}{|s_2|}; \end{cases} \quad (3)$$

де f_1 — коефіцієнт тертя між частинкою і поверхнею шнека;

f_2 — коефіцієнт тертя між частинкою і поверхнею кожуха;

F_1, F_2 — сили тертя, що виникають між частинкою та відповідно з поверхнею шнека та поверхнею кожуха, Н;

\dot{s}_1 — модуль абсолютної швидкості руху частинки по шнеку, м/с;

\dot{s}_2 — модуль абсолютної швидкості руху частинки по кожуху, м/с;

$\dot{x}_1, \dot{y}_1, \dot{z}_1$ — швидкості руху частинки відносно шнека в напрямку осей x, y, z , м/с;

$\dot{x}_2, \dot{y}_2, \dot{z}_2$ — швидкості руху частинки відносно кожуха в напрямку осей x, y, z , м/с.

У загальному вигляді коефіцієнти тертя залежать від швидкості руху частинки і їх можна визначити за формулами:

$$f_1 = f_{01} + k |s_1|; \quad (4)$$

$$f_2 = f_{02} + k |s_2|, \quad (5)$$

де f_{01}, f_{02} — початкове значення коефіцієнтів тертя відповідно між вантажем і шнеком та між вантажем і кожухом;

k — коефіцієнт, що враховує величину зміни коефіцієнта тертя залежно від швидкості руху частинки.

Оскільки швидкість обертання шнека змінюється не в значних інтервалах, коефіцієнт тертя прийемо постійною величиною.

Проекції нормальних реакцій від поверхні шнека та поверхні кожуха на осі координат x, y, z

$$\begin{cases} N_{1x} = -N_1 \cdot \sin \alpha \sin \theta; \\ N_{1y} = N_1 \cdot \cos \alpha \cos \theta; \\ N_{1z} = N_1 \cdot \cos \alpha; \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} N_{2x} = -N_2 \cdot \cos \theta; \\ N_{2y} = -N_2 \cdot \sin \theta; \\ N_{2z} = 0, \end{cases} \quad (7)$$

де α — середній кут нахилу витків шнека, рад; θ — кутовий параметр частинки, рад.

Кут нахилу витків шнека

$$\alpha = \frac{k_{T2} + k_{T1}}{2\pi}, \quad (8)$$

де k_{T1} , k_{T2} — коефіцієнти кроку шнека на першому і останньому витку.

Проекції сили ваги частинки на осі координат x, y, z :

$$\begin{cases} G_x = mg \cdot \cos \gamma; \\ G_y = 0; \\ G_z = -mg \cdot \sin \gamma, \end{cases} \quad (9)$$

де γ — кут нахилу осі шнека, рад; g — прискорення вільного падіння, m/c^2 .

Враховуючи (6), (7) і (9), рівняння (1) набуде вигляду:

$$\begin{cases} \sum x = N_1 \left(-\sin \alpha \sin \theta - f_1 \frac{\dot{x}_1}{|\dot{s}_1|} \right) + N_2 \left(-\cos \theta - f_2 \frac{\dot{x}_2}{|\dot{s}_2|} \right) - m\ddot{x} + G_x = 0; \\ \sum y = N_1 \left(\sin \alpha \cos \theta - f_1 \frac{\dot{y}_1}{|\dot{s}_1|} \right) + N_2 \left(\sin \theta - f_2 \frac{\dot{y}_2}{|\dot{s}_2|} \right) - m\ddot{y} + G_y = 0; \\ \sum z = N_1 \left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) + N_2 \left(-f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|} \right) - m\ddot{z} + G_z = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (10), знаходимо нормальні реакції від поверхонь шнека і кожуха.

Вказана система рівнянь відносно параметра θ в загальному випадку немає розв'язку і її аналіз проводиться на ЕОМ, застосовуючи чисельний метод Рунге-Кутта. Оскільки коефіцієнт внутрішнього тертя вантажу, що піддається транспортуванню в основному значно перевищує коефіцієнт тертя між вантажем та кожухом і шнеком, то рух потоку вантажу в першому наближенні можна розглядати як рух частинок з незмінними характеристиками зовнішніх зв'язків, що не залежать від внутрішніх взаємодій частинок [5].

Із третього рівняння системи (10) отримаємо:

$$N_2 = \frac{-N_1 \left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) + m\ddot{z} - G_z}{-f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|}}. \quad (11)$$

Із першого і третього рівнянь системи (10) отримаємо:

$$N_1 = \frac{\frac{m\ddot{z} - G_z}{f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|}} \left(-\cos \theta - f_2 \frac{\dot{x}_2}{|\dot{s}_2|} \right) + m\ddot{x} - G_x}{-\sin \alpha \sin \theta - f_1 \frac{\dot{x}_1}{|\dot{s}_1|} + \frac{\left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) \left(-\cos \theta - f_2 \frac{\dot{x}_2}{|\dot{s}_2|} \right)}{f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|}}}. \quad (12)$$

Розглянемо стабільний режим транспортування у швидкохідному конвеєрі (рис. 1), в якому вантаж рухається по гвинтовій траскторії і за певних умов [1]. Тоді нормальна реакція від поверхні шнека на основі рівняння (12) з врахуванням кінематики вантажу [1] буде становити:

$$N_1 = \frac{m \left(\frac{\Delta T}{2\pi^2} \omega_0 (\omega - \omega_0) - g \cdot \sin \gamma \left(-\cos(\omega_0 t) - f_2 \frac{\dot{x}_2}{|\dot{s}_2|} \right) + R\omega_0 \cos(\omega_0 t) (\omega - \omega_0) - g \cdot \cos \gamma \right)}{-\sin \alpha \sin(\omega_0 t) - f_1 \frac{\dot{x}_1}{|\dot{s}_1|} + \frac{\left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) \left(-\cos(\omega_0 t) - f_2 \frac{\dot{x}_2}{|\dot{s}_2|} \right)}{f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|}}}. \quad (13)$$

де ΔT — приріст кроку шнека на кожному наступному витку,
 ω_0 — кутова швидкість обертання вантажу, рад/с;
 ω — кутова швидкість обертання шнека, рад/с.

Нормальна реакція від поверхні кожуха на основі (11):

$$N_2 = \frac{-N_1 \left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) + m \left(\frac{\Delta T}{2\pi^2} \omega_e (\omega - \omega_e) + g \cdot \sin \gamma \right)}{-f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|}}. \quad (14)$$

Важливою складовою для визначення енергосилових параметрів гвинтових конвеєрів є маса вантажу m_v , яка піддається одночасному транспортуванню, і якщо рух потоку вантажу в першому наближенні можна розглядати як рух частинок, то у вищенаведених формулах, можна замість маси частинки m використовувати масу вантажу m_v , яку можна визначати за формулою [5]:

$$m_v = \frac{\pi \cdot i (D^2 - d^2)}{4} \varphi_0 T_0 \rho, \quad (15)$$

де d — діаметр вала шнека, м;

D — зовнішній діаметр шнека, м;

i — загальна кількість робочих витків шнека;

T_0 — початковий крок шнека, м;

φ_0 — коефіцієнт завантаження, що формується у завантажувальному отворі;

ρ — густина вантажу, кг/м³.

Крутний момент на шнекові визначаємо за виразом:

$$M = N_1 \cdot R (\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) + N_2 R f_2. \quad (16)$$

Після підстановки залежність (16) набере вигляду:

$$M = \frac{\frac{\pi \cdot i (D^2 - d^2)}{4} \varphi_0 T_0 \rho \left(\frac{\frac{\Delta T}{2\pi^2} \omega_e (\omega - \omega_e) - g \cdot \sin \gamma}{f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|}} \left(-\cos(\omega_e t) - f_2 \frac{\dot{x}_2}{|\dot{s}_2|} \right) + \right)}{-\sin \alpha \sin(\omega_e t) - f_1 \frac{\dot{x}_1}{|\dot{s}_1|} + \frac{\left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) \left(-\cos(\omega_e t) - f_2 \frac{\dot{x}_2}{|\dot{s}_2|} \right)}{f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|}}} \times$$

$$\begin{aligned} & \times R(\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) + \\ & + \left[N_1 \left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) - \frac{\pi \cdot i (D^2 - d^2)}{4} \varphi_0 T_0 \rho \left(\frac{\Delta T}{2\pi^2} \omega^2 + g \cdot \sin \gamma \right) \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

Потужність на приводі шнека:

$$N = \frac{\frac{\pi \cdot i (D^2 - d^2)}{4} \varphi_0 T_0 \rho \left(\frac{\Delta T}{2\pi^2} \omega_s (\omega - \omega_s) - g \cdot \sin \gamma \left(-\cos(\omega_s t) - f_2 \frac{\dot{x}_2}{|\dot{s}_2|} \right) + \right)}{+ R \omega_s \cos(\omega_s t) (\omega - \omega_s) - g \cdot \cos \gamma} \times$$

$$- \sin \alpha \sin(\omega_s t) - f_1 \frac{\dot{x}_1}{|\dot{s}_1|} + \frac{\left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) \left(-\cos(\omega_s t) - f_2 \frac{\dot{x}_2}{|\dot{s}_2|} \right)}{f_2 \frac{\dot{z}_2}{|\dot{s}_2|}}$$

$$\begin{aligned} & \times R(\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) \omega + \\ & + \left[N_1 \left(\cos \alpha - f_1 \frac{\dot{z}_1}{|\dot{s}_1|} \right) - \frac{\pi \cdot i (D^2 - d^2)}{4} \varphi_0 T_0 \rho \left(\frac{\Delta T}{2\pi^2} \omega^2 + g \cdot \sin \gamma \right) \right] R \omega. \end{aligned} \quad (18)$$

Продуктивність конвеєра

$$Q = \psi \cdot k_\gamma \cdot \varphi_0 \cdot \dot{z}_2 \frac{(4R^2 - d^2)}{4}, \quad (19)$$

де ψ — коефіцієнт, що враховує пересипання вантажу в зворотному напрямку під час транспортування, $\psi = f(k_\gamma, \gamma, \omega)$, k_γ — коефіцієнт, що враховує кут нахилу конвеєра; \dot{z}_2 — осьова швидкість руху вантажу, м/с; R — зовнішній радіус шнека, м.

Питомі енерговитрати на переміщення вантажу

$$w = \frac{N}{Q \cdot L}, \quad (20)$$

де L — довжина робочої частини шнека, м.

Шляхом комп'ютерного моделювання на основі формул (13), (16), використовуючи відому формулу для визначення потужності $N = Mn/9750$, побудовано порівняльні графіки (рис. 2, 3) енергосилових параметрів гвинтових конвеєрів з постійними та змінними кроками витків шнеків під час транспортування пшениці ($\rho=700\text{кг/м}^3$) швидкохідним конвеєром.

Із графіків, побудованих на рисунку 2 і 3 бачимо, що зі збільшенням кута нахилу конвеєра, зростають величини енергосилових параметрів конвеєра, а збільшення кроку витків шнека в напрямку руху матеріалу призводить до зниження енергосилових параметрів на 8-10 %. Реальне значення величини крутного моменту є більшим унаслідок особливостей вантажу, що переміщується, неточності виготовлення гвинтової транспортної системи, тертя в опорах.

Проведемо порівняльний аналіз швидкохідних гвинтових конвеєрів із змінними та постійними кроками під час транспортування пшениці на основі графіків на рис. 4-9.

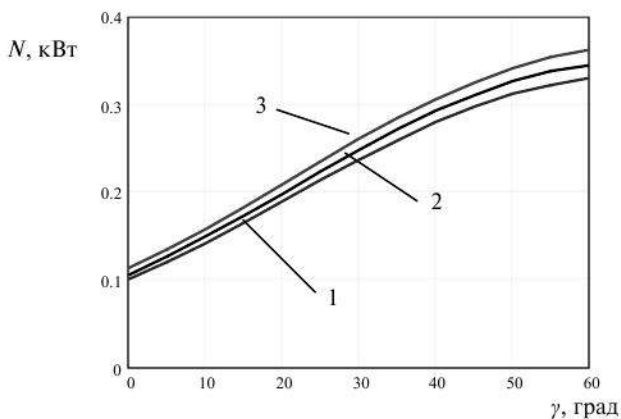


Рис. 2. Графіки залежності потужності на приводі конвеєра від кута нахилу швидкохідного конвеєра $R=0,075\text{ м}$, $L=1\text{ м}$, $d=0,04\text{ м}$:

1 — $k_{T1} = 0,8$, $k_{T2} = 1,2$, $\Delta T = 0,011\text{ м}$;

2 — $k_{T1} = 0,8$, $k_{T2} = 1,1$, $\Delta T = 0,0075\text{ м}$;

3 — $k_{T1} = 0,8$, $k_{T2} = 1,0$, $\Delta T = 0,0047\text{ м}$

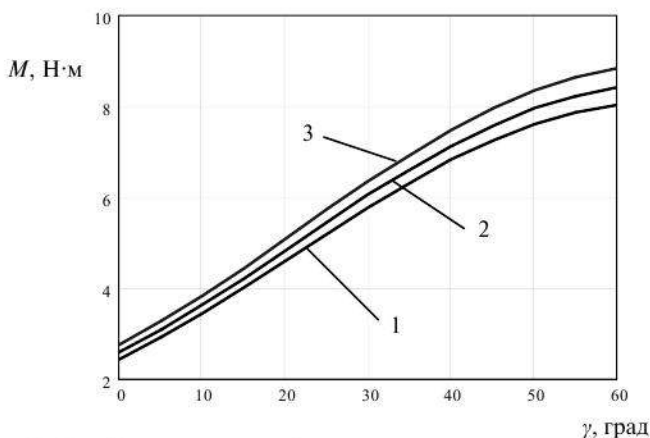


Рис. 3. Графіки залежності крутного моменту шнека від кута нахилу швидкохідного конвеєра $R=0,075$ м, $L=1$ м, $d=0,04$ м:

- 1 — $k_{r1}=0,8$, $k_{r2}=1,2$, $\Delta T=0,011$ м;
 2 — $k_{r1}=0,8$, $k_{r2}=1,1$, $\Delta T=0,0075$ м;
 3 — $k_{r1}=0,8$, $k_{r2}=1,0$, $\Delta T=0,0047$ м

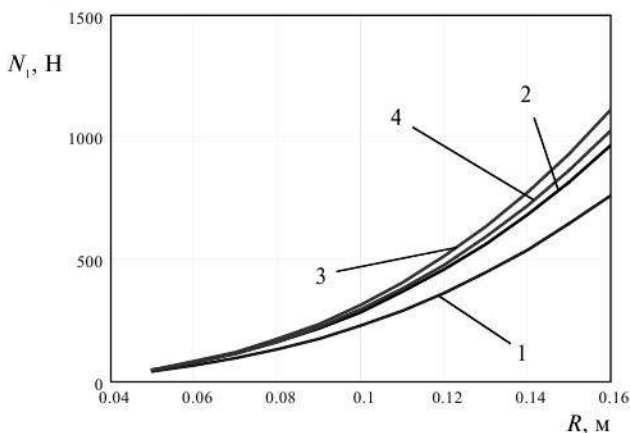


Рис. 4. Графіки залежності нормальної реакції поверхні шнека від радіуса шнека: $\gamma=30$ град, $L=1,5$ м, $d=0,04$ м, $n=400$ об/хв:

- 1 — $k_{r1}=0,8$, $k_{r2}=1,2$, $\varphi_0=0,5$; 3 — $k_{r1}=1,2$, $k_{r2}=1,2$, $\varphi_0=0,42$;
 2 — $k_{r1}=0,8$, $k_{r2}=0,8$, $\varphi_0=0,5$; 4 — $k_{r1}=1,0$, $k_{r2}=1,0$, $\varphi_0=0,45$

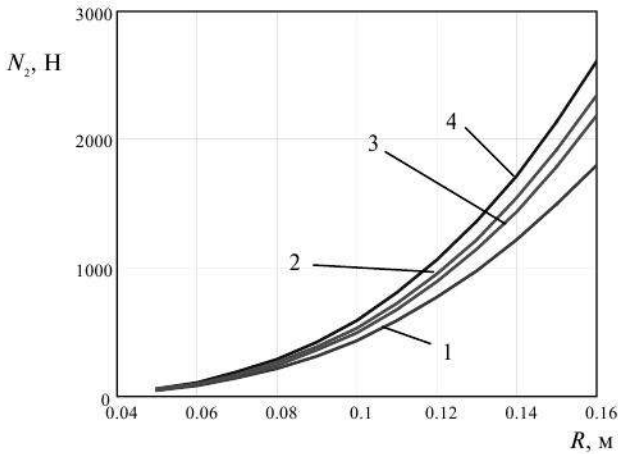


Рис. 5. Графіки залежності нормальної реакції поверхні кожуха від радіуса шнека: $\gamma=30$ град, $L=1,5$ м, $d=0,04$ м, $n=400$ об/хв:

- | | |
|---|--|
| 1 — $k_{r1}=0,8, k_{r2}=1,2, \varphi_0=0,5$; | 3 — $k_{r1}=1,2, k_{r2}=1,2, \varphi_0=0,42$; |
| 2 — $k_{r1}=0,8, k_{r2}=0,8, \varphi_0=0,5$; | 4 — $k_{r1}=1,0, k_{r2}=1,0, \varphi_0=0,45$ |

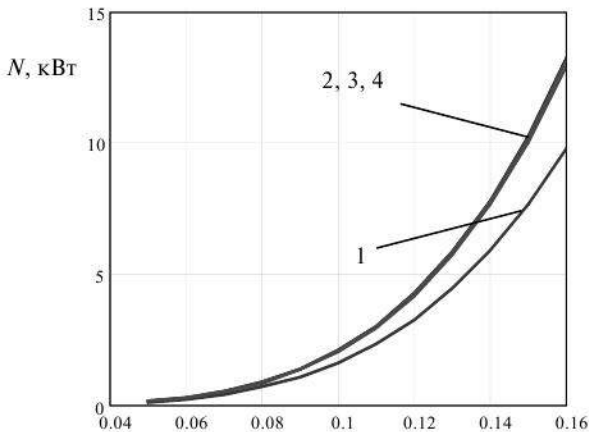


Рис. 6. Графіки залежності потужності привода від радіуса шнека: $\gamma=30$ град, $L=1,5$ м, $d=0,04$ м, $n=400$ об/хв:

- | | |
|---|--|
| 1 — $k_{r1}=0,8, k_{r2}=1,2, \varphi_0=0,5$; | 3 — $k_{r1}=1,2, k_{r2}=1,2, \varphi_0=0,42$; |
| 2 — $k_{r1}=0,8, k_{r2}=0,8, \varphi_0=0,5$; | 4 — $k_{r1}=1,0, k_{r2}=1,0, \varphi_0=0,45$ |

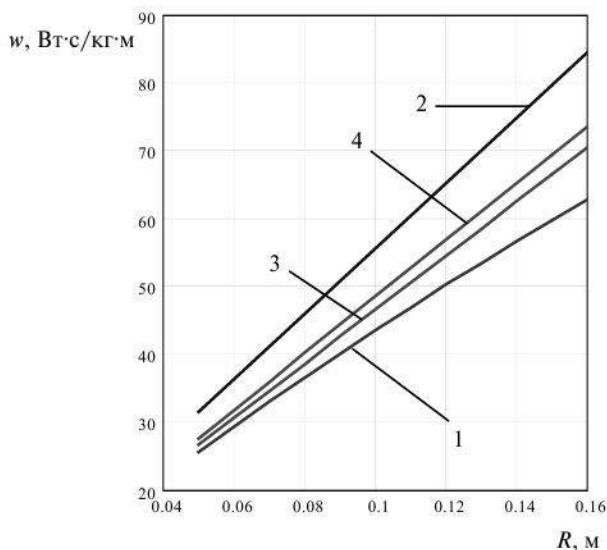


Рис. 8. Графіки залежності питомих енерговитрат конвеєра під час транспортування вантажу від радіуса шнека: $\gamma=30$ град, $L=1,5$ м, $d=0,04$ м, $n=400$ об/хв:

1 — $k_{T1}=0,8, k_{T2}=1,2, \varphi_0=0,5$;

3 — $k_{T1}=1,2, k_{T2}=1,2, \varphi_0=0,42$;

2 — $k_{T1}=0,8, k_{T2}=0,8, \varphi_0=0,5$;

4 — $k_{T1}=1,0, k_{T2}=1,0, \varphi_0=0,45$

Аналізуючи графіки, робимо висновки, що використання шнеків з поступово зростаючим кроком витків (з коефіцієнтами кроку від $k_{T1} = 0,8$ до $k_{T2} = 1,2$) дозволяє зменшити питомі енерговитрати під час транспортування вантажу порівняно із шнеками, крок витків яких відповідає коефіцієнту кроку $k_{T1} = 0,8$ на 15-25 %, та на 1-9 % порівняно із шнеками, коефіцієнт кроку яких відповідає $k_{T2} = 1,2$. Водночас перевага шнеків з поступово зростаючим кроком збільшується у процесі підвищення коефіцієнта швидкохідності, також під час використання шнеків із збільшеним зовнішнім діаметром і високою частотою обертання. Ця перевага передусім досягається зменшенням ваги вантажу, що одночасно піддається транспортуванню. Ефективне використання шнеків з поступово зростаючим кроком витків можливе, якщо виконується умова:

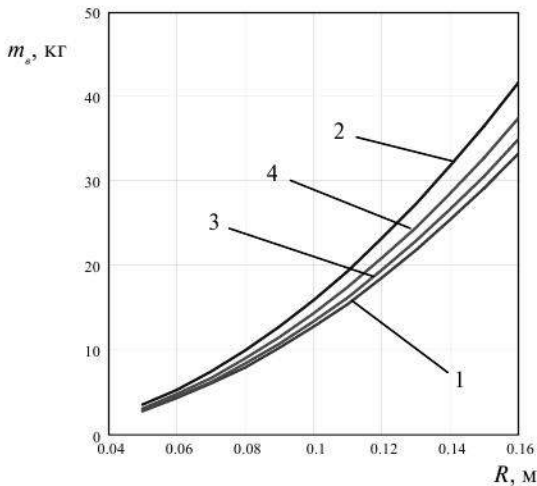


Рис. 7. Графіки залежності маси вантажу, що одночасно перебуває у конвеєрі від радіуса шнека: $\gamma=30$ град, $L=1,5$ м, $d=0,04$ м, $n=400$ об/хв:

- | | |
|---|--|
| 1 — $k_{r1}=0,8$, $k_{r2}=1,2$, $\varphi_0=0,5$; | 3 — $k_{r1}=1,2$, $k_{r2}=1,2$, $\varphi_0=0,42$; |
| 2 — $k_{r1}=0,8$, $k_{r2}=0,8$, $\varphi_0=0,5$; | 4 — $k_{r1}=1,0$, $k_{r2}=1,0$, $\varphi_0=0,45$ |

$$\frac{\psi_{01}\varphi_{01}k_{r1}}{\psi_{02}\varphi_{02}k_{r2}} > 1, \quad (21)$$

де φ_{01} — коефіцієнт завантаження для шнека з мінімальним кроком витків;
 φ_{02} — коефіцієнт завантаження для шнека з максимальним кроком витків;
 ψ_{01} — коефіцієнт, що враховує пересипання вантажу у зворотному напрямку для шнеків із змінним кроком витків;
 ψ_{02} — коефіцієнт, що враховує пересипання вантажу у зворотному напрямку для шнеків з максимальним кроком витків. $\psi_{02} \leq \psi_{01} \leq 1$.

Висновок. Умова (21) виконується для конвеєрів із високим коефіцієнтом швидкохідності. Тому ефективно використання шнеків із поступово зростаючим кроком витків можливе, якщо виконується умова 21.

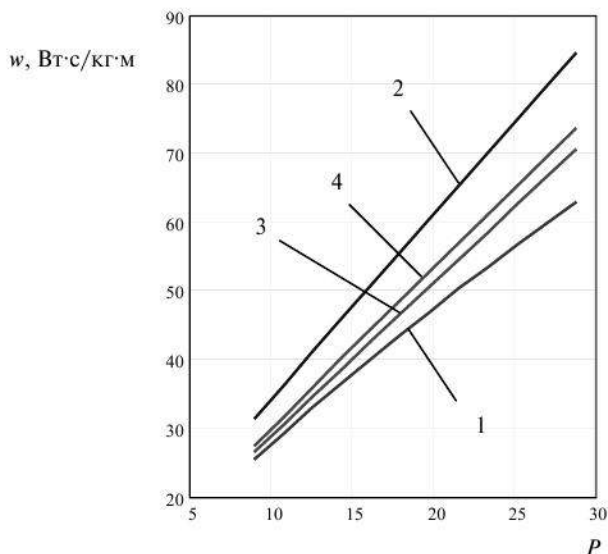


Рис. 9. Графіки залежності питомих енерговитрат конвеєра під час транспортування вантажу від коефіцієнта швидкості: $\gamma=30$ град, $L=1,5$ м, $d=0,04$ м, $n=400$ об/хв:

1 — $k_{r1}=0,8, k_{r2}=1,2, \varphi_0=0,5$;

3 — $k_{r1}=1,2, k_{r2}=1,2, \varphi_0=0,42$;

2 — $k_{r1}=0,8, k_{r2}=0,8, \varphi_0=0,5$;

4 — $k_{r1}=1,0, k_{r2}=1,0, \varphi_0=0,45$

Бібліографія

1. *Гевко Б. М.* Дослідження кінематики зернового вантажу у конвеєрі із шнеком з поступово зростаючим кроком витків у напрямку руху вантажу / Б. М. Гевко, А. Є. Дячун, Р. С. Грудовий, І. Б. Гевко // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. — Луцьк: Ред. — вид. відділ ЛНТУ, 2013. — Вип. № 26. — С. 3-12.
2. *Григорьев А. М.* Винтовые конвейеры / А. М. Григорьев. — М.: Машиностроение, 1972. — 184 с.
3. *Гевко І. Б.* Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання / І. Б. Гевко. — Тернопіль: ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. — 307 с.

4. *Гевко І.* Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи / І. Гевко // Вісник ТНТУ. — 2011. — Т. 16, № 1. — С. 69-77.
5. *Рогатинський Р. М.* Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: дис.... докт. техн. наук: 05.20.01, 05.05.05 / Рогатинський Роман Михайлович. — К., 1997. — 502 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕЙЕРА СО ШНЕКОМ С ПОСТЕПЕННО ВОЗРАСТАЮЩИМ ШАГОМ ВИТКОВ В НАПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗА

Представленная научная работа посвящена повышению эффективности винтовых конвейеров для транспортировки зерновых материалов при уменьшении их травмирования за счет равномерного увеличения пространства между витками в направлении движения зернового материала на основе минимизации энергетических затрат транспортировки зерновых материалов. Исследованы энергосиловые параметры на основе уравнений движения материальных частиц винтовых быстроходных конвейеров со шнеками с постепенно увеличивающимися шагами витков.

Ключевые слова: *винтовой конвейер, шнек, зерновой материал, энергоёмкость.*

RESEARCH ENERGY-POWER PARAMETERS IN CONVEYORS WITH AUGER WITH GRADUALLY GROWING CLIMBING STEP TOWARDS MOVEMENT OF GOODS

Scientific work is devoted to the rise of efficiency of spiral conveyers for transporting corn materials with a reduction of their injuring due to the even increase of space between coils in direction of motion of corn material on the basis of minimization of energy consumption during transporting corn materials. Power parameters on the basis of equations of material particles motion at spiral high-speed conveyers with augers with the gradually growing steps of coils are explored.

Key words: *spiral conveyer, auger, corn material, energy consumption.*