



Калетнік Г. М.

Кравченко І. Є.

Вінницький
державний
аграрний
університет

УДК 631.358.4

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ГИЧКИ ПОХИЛОЮ ЛОПАТТЮ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБІННОГО ГИЧКОРИЗА

В статті представлено кінематично-силового аналіз руху частини маси ботви по поверхні лопати вертикального турбінного робочого органу і отримана система рівнянь для визначення параметрів руху ботви.

The power analysis of motion of particle of mass of tops is presented kinematics on the surface of blade of vertical turbine working organ, the system of equalizations is got for determination of parameters of motion of tops.

Актуальність питання. Простота конструкції і порівняно невисока вартість шнекових робочих органів, мала трудомісткість робіт по їх виготовленню, можливість транспортування вантажів без втрат і без забруднення навколишнього середовища, забезпечення безпечних умов праці – все це зумовило широке застосування шнекових конвеєрів в багатьох областях промисловості, в тому числі і в сільському господарстві, де вони є складовою частиною комплектів устаткування, призначених для виконання певних технологічних процесів.

Проте основними недоліками роботи шнекових робочих органів залишаються порівняно висока енергоємність транспортування матеріалів вертикальними шнеками, надання шнековим валом матеріалу, який транспортується не тільки поступального руху вгору, але й обертового, що призводить до повертання матеріалу разом із шнеком, і, відповідно, до зниження продуктивності конвеєра [1].

Тому дослідження процесу переміщення гички по лопаті вертикального турбінного гичкоріза є актуальним завданням. Обґрунтування оптимальних конструктивних параметрів поверхні лопаті та кінематичних параметрів роботи турбінного гичкоріза

сприятиме мінімізації енерговитрат при транспортуванні зрізаної гички цукрових буряків.

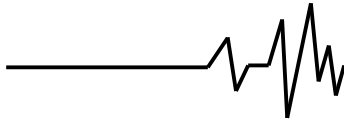
Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі наукові публікації по дослідженню шнекових робочих органів, в яких приводяться рекомендації по вибору основних параметрів шнека, таких як крок навивки спіралі, співвідношення діаметрів шнека і його сердечника, і обґрунтуванню режимів його роботи [2, 3, 4].

Аналіз літературних джерел показав, що практично відсутні публікації по вивченню процесу руху вантажів вертикальним турбінним гичкорізом, а саме ці процеси, роблять значний вплив на продуктивність і енергоємність транспортування.

Мета роботи. Метою роботи є подальший розвиток методів оптимізації параметрів технологічного процесу транспортування гички вертикальним турбінним гичкорізом.

Результати досліджень. У загальному випадку рівняння рівноваги точкової маси m , яка знаходиться на гвинтовій поверхні вертикального конвеєра та притиснена до стінки циліндра кожуха мають наступний вигляд [1]

$$\left. \begin{aligned} N \cos \alpha - F_m \sin \alpha - F_a - G - F_k \sin \beta &= 0; \\ F_k \cos \beta + F_m \cos \beta - F_m \cos \alpha - N \sin \alpha - F_\tau &= 0; \\ F_r + F_\tau - N_k - F_{rk} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$



де N - нормальна реакція лопаті шнека, Н; α - кут підйому гвинтової лінії шнека, рад.; F_m - сила тертя частки матеріалу по гвинтовій поверхні; F_a - аксіальна сила інерції частки матеріалу, Н; G - сила ваги частки матеріалу, Н; F_k - сила тертя частки матеріалу по поверхні кожуха, Н; β - кут між вектором абсолютної швидкості та віссю шнека, град.; F_r - відцентрова сила інерції, яка діє на частку матеріалу у радіальному напрямку, Н; F_τ - відцентрова сила інерції у відносному русі частки матеріалу, Н; N_k - нормальна реакція поверхні кожуха, Н; F_{rk} - сила Кориоліса, Н.

При цьому складові сил системи рівнянь (1) визначаються за залежностями [2]:

- сила тертя частки матеріалу по гвинтовій поверхні шнека

$$F_m = fN; \quad (2)$$

- аксіальна сила інерції частки матеріалу

$$F_a = ma \left(\frac{d^2\varphi}{dt^2} \right); \quad (3)$$

- сила ваги частки

$$G = mg; \quad (4)$$

- сила тертя частки матеріалу по поверхні кожуха

$$F_k = f_k N_k; \quad (5)$$

- відцентрова сила інерції, яка діє на частку матеріалу у радіальному напрямку

$$F_r = m\omega R^2; \quad (6)$$

- відцентрова сила інерції у відносному русі частки матеріалу

$$F_\tau = mR \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2; \quad (7)$$

- сила Кориоліса

$$F_k = 2mR\omega \frac{d\varphi}{dt}, \quad (8)$$

де S - крок шнека, м; R - радіус лопаті шнека, м; f - коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні лопаті шнека; m - маса частки матеріалу, кг; a - параметр конвеєра; $\varphi = f(t)$ - кут, на який відхиляється частка матеріалу при обертанні шнека з постійною кутовою швидкістю, рад/с, де t - час обертання, с; g - прискорення вільного падіння, м/с²; f_k - коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні кожуха; ω - кутова швидкість обертання шнека, рад/с; $\frac{d\varphi}{dt} = \omega'$ - кутова швидкість відносного руху частки матеріалу, рад/с.

Тоді переміщення частки матеріалу вздовж осі вертикального шнека після підстановки (2-8) у систему рівнянь (1) буде описуватися диференціальними рівняннями

$$\left. \begin{aligned} N \cos \alpha - fN \sin \alpha - ma \left(\frac{d^2\varphi}{dt^2} \right) - mg - f_k N_k \sin \beta &= 0; \\ f_k N_k \cos \beta - fN \cos \alpha - N \sin \alpha - mR \left(\frac{d^2\varphi}{dt^2} \right) &= 0; \\ mR\omega^2 + mR \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - N_k - 2mR\omega \frac{d\varphi}{dt} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Для нашого випадку, коли конструкція вертикального пристрою для зрізування та транспортування гички коренеплідів [5] не передбачає наявності циліндричного кожуха, тоді сила тертя частки маси гички по поверхні кожуха відсутня, тобто $F_k = 0$.

Тоді система рівнянь (9) матиме вигляд

$$\left. \begin{aligned} N \cos \alpha - fN \sin \alpha - ma \left(\frac{d^2\varphi}{dt^2} \right) - mg &= 0; \\ - fN \cos \alpha - N \sin \alpha - mR \left(\frac{d^2\varphi}{dt^2} \right) &= 0; \\ mR\omega^2 + mR \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - 2mR\omega \frac{d\varphi}{dt} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$



Для подальшого аналізу процесу приймаємо базове припущення, що перехідний процес транспортування не є визначальним, тому що його тривалість складає доли секунди, тому вважатимемо процес транспортування стаціонарним, тобто

$$\frac{d\varphi}{dt} = const, \quad \frac{d^2\varphi}{dt^2} = 0. \quad (11)$$

У цьому випадку переміщення частки маси гички в стаціонарному режимі після перетворення (10) із врахуванням (11) може бути записано у вигляді

$$\left. \begin{aligned} N \cos \alpha - fN \sin \alpha - mg &= 0; \\ -fN \cos \alpha - N \sin \alpha &= 0; \\ mR\omega^2 + mR\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 - 2mR\omega\frac{d\varphi}{dt} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

Система рівнянь (13, 14) описує переміщення частинки гички масою m , яка притиснена до поверхні лопаті вертикального

турбінного гичкоріза.

З початком руху вертикальної турбіни, яка обертається з кутовою швидкістю ω та одночасно переміщується у горизонтальному напрямку з поступальною швидкістю $V_i = cons$ (рис. 1), точкова маса m зрізаної гички, яка знаходиться на віддалі R від осі обертання за час Δt також одночасно переміщується у горизонтальному напрямку з швидкістю V_i на відстань $L = V_i \Delta t$ та повернеться на кут $\omega\Delta t$ при одночасному ковзанні у вертикальному напрямку вздовж лопаті. У цьому випадку маємо рух, коли точкова маса m приймає участь:

- у горизонтальному переміщенні – у напрямку поступального руху турбіни з швидкістю V_i ;
- у відносному русі – вздовж поверхні лопаті турбіни з швидкістю $V_{\dot{a}}$;
- у переносному русі – разом з лопаттю, V_n .

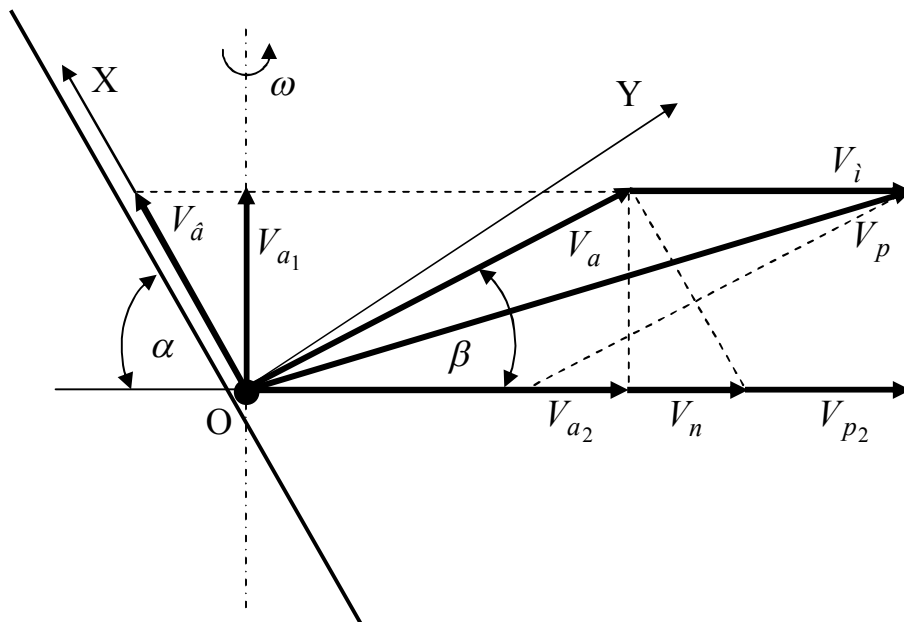
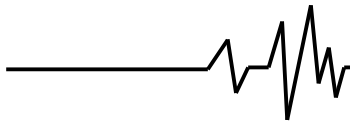


Рис. 1. План швидкостей руху точкової маси m зрізаної гички

Таким чином, точкова маса m має складний рух, при цьому із плану швидкостей (рис. 1) вектор результуючої швидкості \vec{V}_p

точкової маси m зрізаної гички рівний векторній сумі

$$\vec{V} = \vec{V}_a + \vec{V}_i = V_a \vec{i} + V_i \vec{j}, \quad (13)$$



де \vec{V}_a - вектор абсолютної швидкості точкової маси гички;

\vec{V}_i - вектор горизонтальної швидкості точкової маси;

\vec{i}, \vec{j} - одиничні вектори.

Також з плану швидкостей (рис. 1) вектор абсолютної швидкості \vec{V}_a точкової маси m зрізаної гички рівний векторній сумі

$$\vec{V}_a = \vec{V}_{\hat{a}} + \vec{V}_n = V_{\hat{a}}\vec{u} + V_n\vec{t}, \quad (14)$$

або

$$\vec{V}_a = \vec{V}_{a_1} + \vec{V}_{a_2} = V_{a_1}\vec{u} + V_{a_2}\vec{t}, \quad (15)$$

де $\vec{V}_{\hat{a}}$ - вектор відносної швидкості руху точкової маси гички по поверхні лопаті;

\vec{V}_n - вектор переносної швидкості руху точкової маси гички разом із поверхнею лопаті;

\vec{u}, \vec{t} - одиничні вектори;

\vec{V}_{a_1} - вектор осьової складової абсолютної швидкості V_a , м/с;

\vec{V}_{a_2} - вектор дотичної складової швидкості, яка характеризує колову швидкість точкової маси в абсолютному обертальному русі, м/с.

Тоді згідно (13-15) маємо

$$\vec{V}_p = \vec{V}_{\hat{a}} + \vec{V}_n + \vec{V}_i = V_{\hat{a}}\vec{u} + V_n\vec{t} + V_i\vec{j}, \quad (16)$$

або

$$V_p = \sqrt{V_a^2 + V_i^2} = \sqrt{(\sqrt{V_{\hat{a}}^2 + V_n^2})^2 + V_i^2} = \sqrt{(\sqrt{V_{a_1}^2 + V_{a_2}^2})^2 + V_i^2}, \quad (17)$$

де V_p - результуюча швидкість точкової маси гички, м/с;

V_a - абсолютна швидкість переміщення точкової маси гички, м/с;

$V_{\hat{a}}$ - відносна швидкість руху точкової маси гички по поверхні лопаті, м/с;

V_n - переносна швидкість руху точкової маси гички разом із поверхнею лопаті, м/с;

V_{a_1} - осьова складова абсолютної швидкості V_a , м/с;

V_{a_2} - дотична складова швидкості, яка характеризує колову швидкість точкової маси в абсолютному обертальному русі, м/с.

Величина переносної швидкості руху точкової маси гички дорівнює

$$V_n = R_o \frac{d\varphi}{dt} = R_o \omega, \quad (18)$$

де $\frac{d\varphi}{dt} = \omega'$ - кутова швидкість відносного руху частки матеріалу, рад/с.

$\varphi = f(\Delta t)$ - кут, на який повернеться точкова маса гички при обертанні лопаті, рад.;

t - час повороту лопаті, с;

ω - кутова швидкість обертання лопаті турбіни, або приводного вала турбіни, рад/с;

R_o - віддаль від точкової маси до осі обертання лопаті турбіни або приводного вала, м.

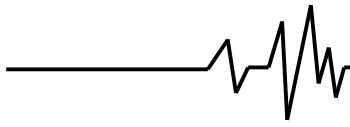
Величина осьової складової V_{a_1} абсолютної швидкості V_a точкової маси гички дорівнює

$$V_e = a \frac{d\varphi}{dt} = R_o \operatorname{tg} \alpha \frac{d\varphi}{dt} = V_a \sin \beta = \frac{R_o \omega \sin \alpha \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)} = R_o \omega \operatorname{tg} \alpha, \quad (19)$$

де a - параметр турбіни;

β - кут між векторами абсолютної V_a та переносної V_n швидкостей точкової маси гички, град.

$\cos \beta = \frac{R_o \left(\omega - \frac{d\varphi}{dt} \right)}{V_a}$ - тригонометрична функція параметра турбіни.



Величина дотичної складової V_{a_2} швидкості, яка характеризує колову швидкість точкової маси в абсолютному обертальному русі дорівнює

$$V_{a_2} = R_o \left(\omega - \frac{d\varphi}{dt} \right) = V_a \sin \beta = \frac{R_o \omega \sin \alpha \sin \beta}{\cos(\beta - \alpha)}, \quad (20)$$

де $\sin \beta = \frac{a \frac{d\varphi}{dt}}{V_a}$ - тригонометрична функція параметра турбіни.

Тоді, згідно (2.1-2.8) абсолютна V_a та результуюча V_p швидкість руху точкової маси m зрізаної гички маємо по лопаті турбіни вертикального гичкоріза будуть визначатися

$$V_a = \frac{R_o \omega \sin \alpha}{\cos(\beta - \alpha)}; \quad (21)$$

$$V_p = \sqrt{\left(\frac{R_o \omega \sin \alpha}{\cos(\beta - \alpha)} \right)^2 + V_i^2}. \quad (22)$$

Складову V_{a_1} абсолютної швидкості V_a можливо подати у вигляді добутку абсолютної кутової швидкості ω_a обертального руху точкової маси гички на радіус R_o , тобто

$$V_{a_1} = R_o \omega_a, \quad (23)$$

де ω_a - кутова швидкість абсолютного обертального руху точкової маси гички, рад/с.

Тоді з врахуванням (23)

$$\omega_a = \frac{V_{a_1}}{R_o} = \omega - \frac{d\varphi}{dt} = \frac{V_a \cos \beta}{R_o} = \frac{\omega \sin \alpha \cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (24)$$

Із плану швидкостей (рис. 1) вектор абсолютної швидкості \vec{V} частинки маси гички рівний векторній сумі

$$\vec{V} = \vec{V}_o + \vec{V}_n = V_o \vec{j} + V_n \vec{j}, \quad (25)$$

де \vec{V}_o - вектор відносної швидкості руху частинки маси гички по гвинтовій поверхні; \vec{V}_n -

вектор переносної швидкості руху частинки маси гички разом із гвинтовою поверхнею.

Величина переносної швидкості руху частинки маси гички дорівнює $V_n = \omega R$.

Згідно рис. 1 маємо

$$V = \frac{R \omega \sin \alpha}{\cos(\beta - \alpha)};$$

$$V_z = V \cos \beta = \frac{R \omega \sin \alpha \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)}; \quad (26)$$

$$V_y = V \sin \beta = \frac{R \omega \sin \alpha \sin \beta}{\cos(\beta - \alpha)}.$$

Складову V_z абсолютної швидкості V можливо подати у вигляді добутку абсолютної кутової швидкості ω_a обертального руху частинки маси гички на радіус R , тобто $V_z = R \omega_a$, або з врахуванням (26) кутова швидкість абсолютного обертального руху ω_a (рад/с) частинки маси гички буде визначатися

$$\omega_a = \frac{V_z}{R} = \frac{R \omega \sin \left(\arctg \frac{S}{2\pi R} \right) \sin \beta}{\cos \left[\beta - \left(\arctg \frac{S}{2\pi R} \right) \right]}. \quad (27)$$

Висновки. На основі проведеного кінематично-силового аналізу руху частинки маси гички по поверхні лопаті вертикального турбінного робочого органу одержано систему рівнянь для визначення параметрів руху гички.

Література

1. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. – М.: Машиностроение. – 1972. – 248 с.
2. Гутьяр Е.М. Элементарная теория вертикального винтового транспортера. – Труды Моск. ин-та. мех. и электр. с.х. – Т. 2. – 1956. – С. 102-122.
3. Александр Л.М. Теория вертикального шнека. – Труды цент. науч.-иссл. инст. речного флота. – Вып. VII. – С. 27-46.
4. Рыбаков И.Я. Теория и расчет вертикальных шнеков. Торфяная промышленность. – № 8. – 1951. – С. 27-30.
5. Патент №41457 Україна, МПК А01D23/02. Турбіна гичкоріза: Осуховський В.М., Кравченко І.Є. (Україна) № u210814233; Заявл.10.12.2008; Оpubл.25.05.2009, Бюл.№10.