

УДК 621.867.42 – 001.24

О.Гурик, І.Гевко, А.Драган

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ДО ПИТАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМЕТРІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГВИНТОВИХ ЗМІШУВАЧІВ

Приведено формалізований опис гофрованих спіралей шнеків, які мають розширені функціональні можливості в технологічних процесах з сипкими і в'язкими середовищами. Параметрами опису рівнянь є конструктивні, технологічні параметри і фізико-механічні властивості самих матеріалів.

Умовні позначення

$r_0(t, x_0)$, $r_1(t, x_1)$, $r_2(t, x_2)$ – функціональні радіус-вектори;

x_j – умовна змінна;

α_p – кутова характеристика профілю;

α_i – кутова координата у площині поперечного перерізу профілю;

(dV/dt) , $(d\alpha/dt)$ – кутові швидкості оберткових відповідних функціональних радіусів-векторів [3];

$AF(t, x_F)$ – функція гофровидності поверхні;

A – амплітуда гофрів;

m – кількість поверхонь гофрованої спіралі (визначається згідно з правилами, поданими у роботі [3]);

C – параметр кроку гвинтової лінії $C = T(r_0, r_1, r_2) / 2\pi$;

θ, G, α_A – параметри гофрів;

A, β_0 – лінійна та кутова амплітуди гофрів;

$T(r_0, r_1, r_2)$ – функція кроку спіралі;

R і r_0 – радіус відповідно зовнішнього і внутрішнього контурів спіралі;

ρ_0 – радіальна координата;

H – товщина стрічки;

t – варійований параметр;

f_H і f_h – лінійні амплітуди гофрів відповідно зовнішніми і внутрішніми контурами спіралі;

L - ширина витка;

\tilde{m} - кількість гофрів одного витка спіралі;

Ω - показник степені: $\Omega = 2$ для додатного загального знаку розглядуваного добутку функцій,
 $\Omega = 1$ - для від'ємного.

У різних галузях народного господарства і в сільськогосподарському виробництві перспективу використання мають гофровані гвинтові стрічки (спіралі) різних шнекових робочих органів (особливо у конструкціях гвинтових змішувачів). Їх використання зумовлене такими основними характерними особливостями:

- у механізмах з невстановленим режимом руху, за умови максимального використання робочого об'єму, забезпечується значна інтенсифікація процесів перемішування та сепарації;
- підвищена міцність спіралей на згин;
- можливість впровадження прогресивних технологій навивання та прокатування у процесі виготовлення широкострічкових шнекових елементів.

Аналіз умов змішування сипких матеріалів та впливу на них особливостей конструктивного виконання шнекових робочих органів дав можливість виділити такі п'ять топологічних різновидів варіантів виконання гофрованих спіралей шнеків, які мають значні перспективи до використання:

- гвинтові спіралі, гофровані на зовнішній ділянці поверхні витка;
- гвинтові спіралі, гофровані на внутрішній ділянці поверхні витка;
- гвинтові спіралі, рівномірно гофровані усією поверхнею витка з постійною амплітудою гофрів;
- гвинтові спіралі, гофровані на усій поверхні витка із змінною амплітудою гофрів у радіальному напрямку;
- гвинтові спіралі, гофровані на цій поверхні із змінною амплітудою гофрів у радіальному напрямку та постійними зачепленнями параметрів.

Таким чином, існує необхідність у формалізованому описі їх геометрії. Серед наукових праць, які присвячені заданій тематиці, слід відзначити роботи [1–3]. Однак, на нашу думку, найпростішим методом опису їх геометрії є застосування методики, запропонованої в праці [3]. Так, зокрема, згідно з [3], узагальнене рівняння профільної поверхні гвинтової спіралі має вигляд:

$$\begin{aligned}
 x &= [r_0(t, x_0) + r_1(t, x_1) \cos(\alpha_0 + \alpha_p + (t/b)(dV/dt)) + \\
 &+ r_2(t, x_2) \sin(\alpha_0 + \alpha_p + (dV/dt))] \cdot \cos(V_0 + t(dV/dt)); \\
 y &= [r_0(t, x_0) + r_1(t, x_1) \cos(\alpha_0 + \alpha_p + (t/b)(dV/dt)) + \\
 &+ r_2(t, x_2) \sin(\alpha_0 + \alpha_p + (t/b)(dV/dt))] \cdot \cos(V_0 + t(dV/dt)); \\
 z &= [Z_0 + r_1(t, x_1) \sin(\alpha_0 + \alpha_p + (t/b)(dV/dt)) + \\
 &+ r_2(t, x_2) \cos(\alpha_0 + \alpha_p + (t/b)(dV/dt))] + cV + AF(t, x_F),
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де $b = (dV/dt)/(d\alpha/dt)$.

Враховуючи вираз (1), рівняння поверхні гвинтової спіралі можна подати у вигляді:

$$\vec{R}_i = x_{1i} \vec{q} + x_{2i} \vec{k}, \tag{2}$$

де $\vec{q} = \cos(V_0 + t(dV/dt)) \vec{i} + \sin(V_0 + t(dV/dt)) \vec{j}$.

Тоді рівняння гвинтової спіралі набере вигляду:

$$\Pi = \left\{ \bigcup_{(i)} (x_{i1} \bar{q} + x_{i2} \bar{k}), i = \overline{1, m} \right\}. \quad (3)$$

Введемо позначення:

$$S = Z_0 + C(V_0 + (dV/dt)t); \quad \theta = \beta_0 \sin \left(\psi_0 + \left(\frac{d\psi}{dt} \right) t \right);$$

$$\alpha^* = \frac{\pi}{2} + \alpha_A \sin \left(\frac{\alpha_A \tilde{m} t}{\pi} \cdot \frac{dV}{dt} + \alpha_0 \right); \quad \tau^* = \pi + \alpha^*; \quad \tau^{**} = \frac{\pi}{2} + \alpha^*; \quad (4)$$

$$\alpha_A = \arctg \frac{f_H - f_h}{L};$$

$$G = A \sin (V_0 + t(dV/dt));$$

$$\xi_1^{\min} = -0,5H; \xi_1^{\max} = 0,5H.$$

Використовуючи вираз (3), та припустивши, що геометричні характеристики поперечного перерізу витка спіралі по її довжині є постійними, а поперечний переріз умовно описується багатокутником, складеним із сторін елементарних квадратів, одержано рівняння гофрованих спіралей шнеків, для різних топологічних варіантів їх виконання, які подані у таблицях 1 і 3.

Таблиця 1

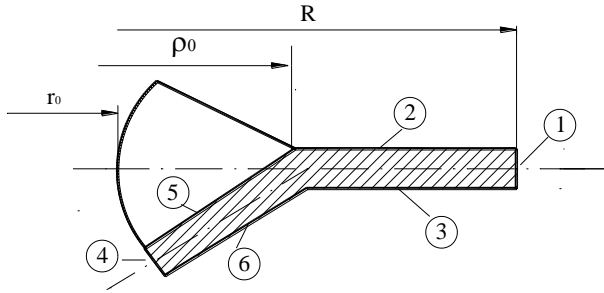
Параметри опису геометрії гвинтової спіралі, гофрованої на зовнішній ділянці поверхонь витка

i	x_{i1}	x_{i2}	Області визначення варійованих параметрів
1	r_0	$S + \xi_1$	$\xi_1 \in [-\xi_1^{\min}; \xi_1^{\max};]$
2	$r_0 + \xi_2$	$S + \xi_1^{\max}$	$\xi_2 \in [0; (\rho_0 + r_0);]$
3	$r_0 - \xi_3$	$S + \xi_1^{\min}$	$\xi_3 \in [(\rho_0 + r_0); 0]$
4	$\rho_0 + \xi_1^{\min} \sin \theta + \xi_4 \cos \theta$	$S + \xi_1^{\max} \cos \theta + \xi_4 \sin \theta$	$\xi_4 \in [\xi_1^{\max} \operatorname{tg} \theta; R - \rho_0 + \xi_1^{\max} \operatorname{tg} \theta]$
5	$\rho_0 + \xi_1^{\max} \sin \theta + \xi_5 \cos \theta$	$S + \xi_1^{\min} \cos \theta - \xi_5 \sin \theta$	$\xi_5 \in [\xi_1^{\min} \operatorname{tg} \theta; (\rho_0 - R)]$
6	$\rho_0 + (R - \rho_0) \cos \theta + \xi_6 \sin \theta$	$S + (R - \rho_0) \sin \theta - \xi_6 \cos \theta$	$\xi_6 \in [-\xi_1^{\min}; \xi_1^{\max};]$

Припустимо, що $H \neq H(r_0, r_1 \dots)$.

Таблиця 2

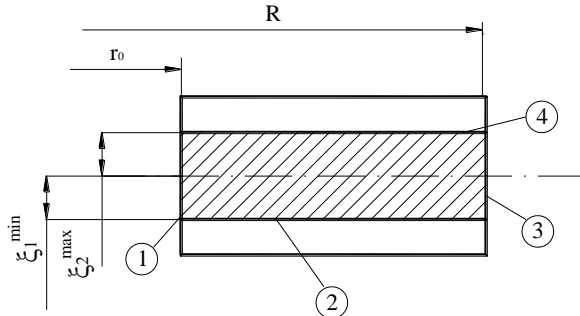
Параметри опису геометрії гвинтової спіралі, гофрованої на внутрішній ділянці поверхні витка



i	x_{i1}	x_{i2}	Області визначення варійованих параметрів
1	R	$S + \xi_1$	$\xi_1 \in [-\xi_1^{\min}; \xi_1^{\max}];$
2	$\rho_0 + \xi_2$	$S + \xi_1^{\max}$	$\xi_2 \in [0; (R - \rho_0)];$
3	$\rho_0 - \xi_3$	$S + \xi_1^{\min}$	$\xi_3 \in [(\rho_0 - R); 0]$
4	$\rho_0 + (\rho_0 - r_0)\cos\theta + \xi_4 \sin\theta$	$S + (\rho_0 - r_0)\sin\theta - \xi_4 \cos\theta$	$\xi_4 \in [\xi_1^{\min}; \xi_1^{\max}];$
5	$\rho_0 + \xi_1^{\min} \sin\theta + \xi_5 \cos\theta$	$S + \xi_1^{\max} \cos\theta - \xi_5 \sin\theta$	$\xi_5 \in [\xi_1^{\max} \operatorname{tg}\theta;$ $r_0 - \rho_0 + \xi_1^{\min} \operatorname{tg}\theta]$
6	$\rho_0 + \xi_1^{\max} \sin\theta + \xi_6 \cos\theta$	$S + \xi_1^{\min} \cos\theta + \xi_6 \sin\theta$	$\xi_6 \in [\xi_1^{\max} \operatorname{tg}\theta; (\rho_0 - r_0)]$

Таблиця 3

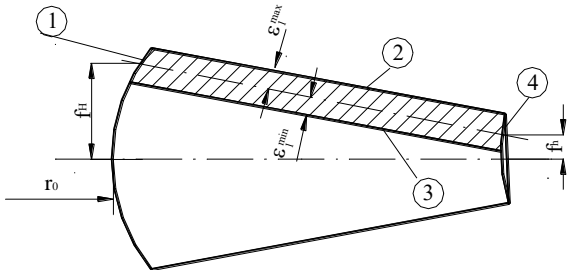
Параметри опису геометрії гвинтової спіралі, рівномірно гофрованої на всіх поверхнях витка із постійною амплітудою гофрів



i	x_{i1}	x_{i2}	Області визначення варійованих параметрів
1	r_0	$S + \xi_1$	$\xi_1 \in [-\xi_1^{\min}; \xi_1^{\max}];$
2	$r_0 + \xi_2$	$S + \xi_1^{\min} + G$	$\xi_2 \in [0; (R - \rho_0)];$
3	R	$S + \xi_3 + G$	$\xi_3 \in [\xi_1^{\min}; \xi_1^{\max}];$
4	$r_0 + \xi_4$	$S + \xi_1^{\max} + G$	$\xi_4 \in [0; (R - \rho_0)];$

Таблиця 4

Параметри опису геометрії гвинтової спіралі, гофрованої усією поверхнею витка із змінною амплітудою гофрів у радіальному напрямку



<i>i</i>	x_{i1}	x_{i2}	Області визначення варійованих параметрів
1	$L + r_0 + \frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + \left(\frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + L \right) \times \cos \tau^{**} + \xi_1 \sin \tau^{**}$	$S + \left(\frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + L \right) \times \sin \tau^{**} - \xi_1 \cos \tau^{**}$	$\xi_1 \in [-\xi_1^{\min}; \xi_1^{\max}]$
2	$L + r_0 + \frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + \xi_1^{\max} \cos \alpha^* + \xi_2 \sin \alpha^*$	$S + \xi_1^{\max} \sin \alpha^* - \xi_2 \cos \alpha^*$	$\xi_2 \in \left[\frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1}; \frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + L \right]$
3	$L + r_0 + \frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + \xi_1^{\min} \cos \tau^* + \xi_3 \sin \tau^*$	$S + \xi_1^{\min} \sin \tau^* - \xi_3 \cos \tau^*$	$\xi_3 = \xi_2$
4	$L + r_0 + \frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + \left(\frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} \right) \times \cos \tau^{**} + \xi_4 \sin \tau^{**}$	$S + \left(\frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} \right) \sin \tau^{**} - \xi_4 \cos \tau^{**}$	$\xi_4 \in [-\xi_1^{\min}; \xi_1^{\max}]$

Для випадків, коли зовнішня і внутрішня поверхні контурів характеризуються постійними значення параметрів їх розміщення відносно осі спіралі, то параметри опису геометрії шнека визначатимуться рівняннями, поданими в таблиці 5. Такі спіралі технологічно можна отримати проточуванням, фрезеруванням або іншими методами, зовнішнього і внутрішнього контурів спіралі, гофрованої усією поверхнею витка із змінною амплітудою гофрів у радіальному напрямку.

Таблиця 5

Параметри опису геометрії гвинтової спіралі, гофрованої на всій поверхні витка із змінною амплітудою гофрів у радіальному напрямку та постійними значеннями параметрів розміщення поверхонь зовнішнього та внутрішнього контурів відносно вісі спіралі

<i>i</i>	x_{i1}	x_{i2}	Області визначення варійованих параметрів
1	$L + r_0 + \frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + \left(\frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + L - (-1)^2 \xi_1^{\min} \operatorname{tg}(\tau^{**} - \pi) \right) \times \cos \tau^{**}$	$S + \left(\frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + L - (-1)^2 \xi_1^{\min} \operatorname{tg}(\alpha^*) \right) - \xi_1$	$\xi_1 \in \left[\frac{-\xi_1^{\min}}{\cos\left(\tau^{**} - \frac{\pi}{2}\right)}; \frac{\xi_1^{\min}}{\cos\left(\tau^{**} - \frac{\pi}{2}\right)} \right]$

i	x_{i1}	x_{i2}	Області визначення варійованих параметрів
2	$L + r_0 + \frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + \xi_1^{\max} \cos \alpha^* + \xi_2 \sin \alpha^*$	$S + \xi_1^{\max} - \xi_2 \cos \tau^*$	$\xi_2 \in \left[\frac{\frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + (-1)^2 \xi_1^{\min} \operatorname{tg} \left(\alpha^* - \frac{\pi}{2} \right)}{f_h}; \frac{L - \frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} - (-1)^2 \xi_1^{\min} \operatorname{tg} \left(\alpha^* - \frac{\pi}{2} \right)}{f_h} \right]$
3	$L + r_0 + \frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + \xi_1^{\min} \cos \tau^* + \xi_3 \sin \tau^*$	$S + \xi_1^{\min} \sin \tau^* - \xi_3 \cos \tau^*$	$\xi_3 \in \left[\frac{\frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + (-1)^2 \xi_1^{\min} \operatorname{tg} \left(\alpha^* - \frac{\pi}{2} \right)}{f_h}; L + \frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + (-1)^2 \xi_1^{\min} \operatorname{tg} \left(\alpha^* - \frac{\pi}{2} \right) \right]$
4	$L + r_0 + \frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1} + \left(\frac{\frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1}}{f_h} + (-1)^2 \xi_1^{\min} \operatorname{tg}(\tau^{**} - \pi) \right) \times \cos \tau^{**}$	$S + \left(\frac{\frac{L}{\frac{f_H}{f_h} - 1}}{f_h} + (-1)^2 \xi_1^{\min} \operatorname{tg}(\tau^{**} - \pi) \right) \sin \tau^{**} - \xi_4$	$\xi_4 \in \left[\frac{-\xi_1^{\min}}{\cos(\tau^{**} - \pi)}; \frac{\xi_1^{\max}}{\cos(\tau^{**} - \pi)} \right]$

Окрім розглянутих випадків виконання гофрованих спіралей, на практиці перспективними є використання спіралей, гофрованих лише на поверхнях зовнішніх або внутрішніх їх витків.

Складові параметри поданих рівнянь у процесі моделювання робочих органів гвинтових змішувачів доцільно визначати на основі конструктивних і технологічних характеристик та фізико-механічних властивостей їх робочого середовища.

Використовуючи запропоновані математичні залежності, було спроектовано і виготовлено гофровані спіралі шнеків, які використані у конструкції гвинтового стрічково-лопатевого змішувача [4]. Зокрема, шнек, гофрований на усій поверхні витка із змінною амплітудою гофрів у радіальному напрямку, зображений на рис. 1., а параметри його геометрії описуються математичними залежностями, поданими у таблиці 4. В результаті експериментальних досліджень підтверджено ефективність використання таких робочих органів.

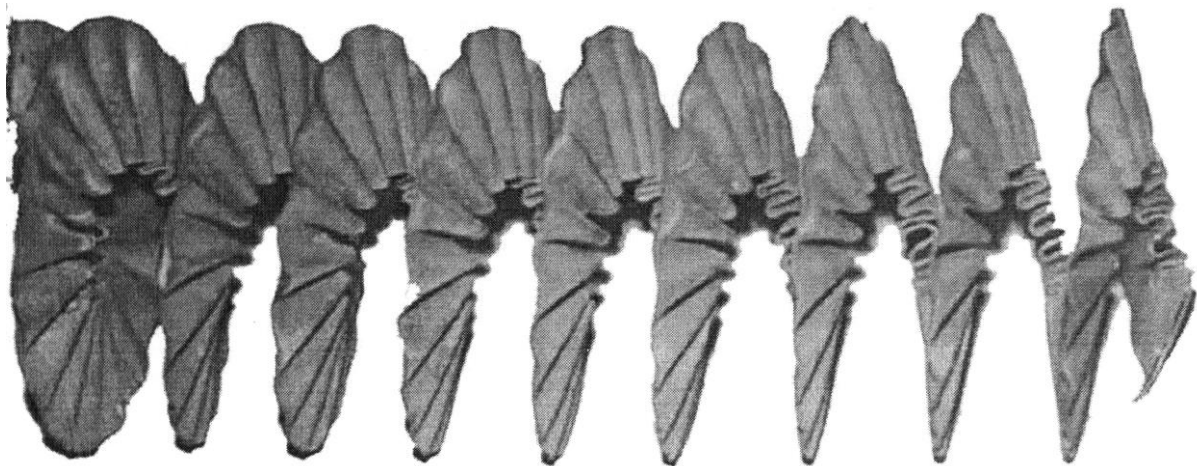


Рис. 1 Гофрований шнек зі змінною амплітудою гофрів у радіальному напрямку.

Загалом, у дослідженнях робочих органів машин із поглибленням оптимізації моделей різко зростає складність та об'єм витрат на їх створення та відпрацювання. Тому опис геометрії гофрованих спіралей шнеків, якими оснащені робочі органи змішувачів та інші виконавчі механізми транспортно-технологічних систем машин, за вказаною методикою, має велике значення, так як розвиток сучасної комп'ютерної техніки дозволяє здійснювати побудову запропонованих моделей та досліджувати їх, в тому числі і в режимі графічного відтворення, на різних рівнях із різним ступенем деталізації.

Formalized education description of the screw-corrugated spirals, which passed, broadens functions in the manufacturing processes in loose and viscous medium is presented.

The education description parameters are construction and technological ones as well as physical-mechanical properties of the materials themselves.

Література

1. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів із сировиною сільськогосподарського виробництва: Дис. док. техн. наук: 05.20.01, 05.05.05 – К., 1997. – 502 с.
2. Шпур Г., Фрунзе Ф.Л. Автоматизированное проектирование в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1988. – 648 с.
3. Васильків В.В., Пилипець М.І. Радик Д.Л. Опис геометрії різнопрофільних гвинтових заготовок // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2002. – Т.7, №2, - С 75-83.
4. Гевко І.Б., Гурик О.Я. Дослідження конструкторсько-технологічних параметрів зони переважанення гвинтових транспортно-технологічних систем // Збірник наукових праць НАУ “Механізація сільськогосподарського виробництва”. – 2002. – Т.8. -С. 184-190.

Одержано 20.03.2002 р.