

В.П. ШИШОВ, д-р. техн. наук, СНУ ім. В.Даля
Є.О. МАЗНЄВ, асп., СНУ ім. В.Даля

ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ КОРИСНОЇ ДІЇ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ПЕРЕДАЧИ З ОПУКЛО-ВГНУТИМ ПРОФІЛЕМ ВИТКІВ ЧЕРВ'ЯКА ЗА РАХУНОК ВИКЛЮЧЕННЯ ВУЗЛОВИХ ТОЧОК ІЗ ЗОНИ ЗАЧЕПЛЕННЯ

В статті розглянуті умови, при яких вузлові точки виключаються з зони контакту черв'яка та черв'ячного колеса для черв'ячних передач зі шліфованим опукло-вгнутих профілем витків черв'яка. Це призводить до поліпшення умов зачеплення та підвищення коефіцієнту корисної дії черв'ячної передачі.

The work is devoted to ground convexo-concave coils profile worm gear research. Conditions of central points excluding from a contact zone are considered. It improves gearing conditions and increases worm gear efficiency.

Постановка проблеми. Актуальною задачею удосконалення черв'ячних передач, як і передач зачепленням в цілому, є підвищення їх навантажувальної здатності та зменшення втрат енергії в них. Ці питання нерозривно пов'язані з питанням удосконалення геометрії робочих поверхонь черв'ячної передачі [1, 2].

Наряду з основними якісними показниками передач зачепленням, такими як відносна швидкість, приведена кривизна, сумарна швидкість, кут між вектором відносної швидкості й напрямком контактної лінії та ін. [3], важливим для черв'ячних передач є наявність вузлових точок в зоні контакту черв'яка та черв'ячного колеса. Виключення цих точок із зони контакту призводить як до поліпшення якості зачеплення в цілому, так і до підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) черв'ячної передачі, що призводить до зменшень втрат енергії та підвищення її довговічності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із нових видів черв'ячних передач є передачі в яких виткі черв'яка мають опукло-вгнутий боковий профіль. Питання вибору параметрів черв'ячної передачі з опукло-вгнутих профілем витків черв'яка розглядали чимало авторів, наприклад С.В. Шевченко, В.І. Подройко [4, 5, 6]. Основним недоліком цих робіт можна вважати те, що не розглядається засіб виготовлення поверхні витків черв'яка. Враховуючи то що для повноти контакту поверхонь зубців черв'яка та черв'ячного колеса необхідно забезпечити ідентичність черв'ячної фрези та черв'яка, що досягається простим технологічним шляхом – виготовленням черв'ячних передач з шліфованим черв'яком [7], ми вважаємо актуальним питання виключення вузлових точок з зони контакту для черв'ячної передачі зі шліфованим черв'яком.

Мета статті. Розглянути умови при яких вузлові точки для черв'ячних передач з опукло-вгнутих профілем витків черв'яка, виготовленого шліфуванням, будуть знаходитися поза межами зони контакту поверхонь зубців черв'яка та черв'ячного колеса.

Вклад основного матеріалу. Розглянемо черв'ячну передачу зі шліфованим черв'яком опукло-вгнутого профілю бокових витків черв'яка. Осьовий профіль шліфувального круга зображено на рис. 1.

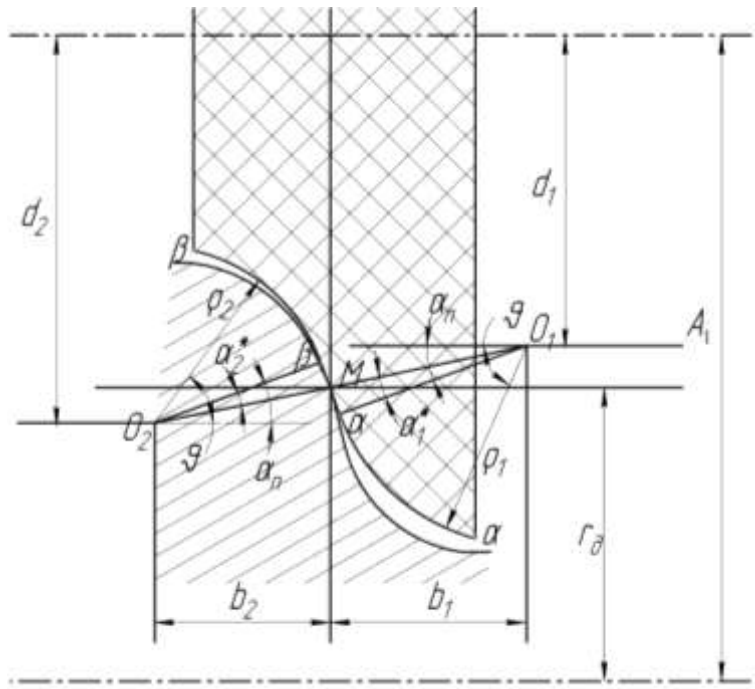


Рис. 1. Осьовий профіль шліфувального круга

В цьому випадку осьовий профіль складається з трьох ділянок:

- дуга окружності $\alpha - \alpha$, яка описується системою рівнянь

$$\left. \begin{aligned} x_a^I &= -\rho_1 \sin \vartheta, \\ y_a^I &= 0, \\ z_a^I &= \rho_1 \cos \vartheta. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

- дуга окружності $\beta - \beta$, яка описується системою рівнянь

$$\left. \begin{aligned} x_a^{II} &= \rho_2 \sin \vartheta, \\ y_a^{II} &= 0, \\ z_a^{II} &= -\rho_2 \cos \vartheta. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

- пряма $\alpha - \beta$, яка сполучена дугам $\alpha - \alpha$ та $\beta - \beta$, описується системою рівнянь

$$\left. \begin{aligned} y_a^{III} &= 0, \\ z_a^{III} &= x_a^{III} \operatorname{tg} \alpha_n. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Радіуси дуг окружностей відповідно дорівнюються:

$$\rho_1 = n_1 m_{oc1}, \quad \rho_2 = n_2 m_{oc1}, \quad (4)$$

де m_{oc1} – осьовий модуль передачі; n_1 та n_2 – додатні числа.

При шліфуванні кругом з таким осьовим профілем робоча поверхня витків черв'яка буде складатися з трьох ділянок (рис. 2):

- ділянка I – формується дугою $\alpha - \alpha$ і має увігнутий профіль;
- ділянка II – формується дугою $\beta - \beta$ і має опуклий профіль;
- ділянка III – перехідна ділянка, формується прямою $\alpha - \beta$.

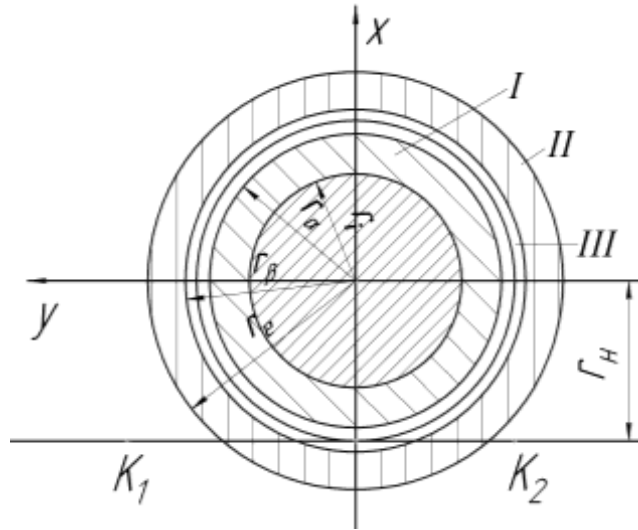


Рис. 2. Торцевий переріз черв'яка

Положення вузлових точок визначається формою поверхні ділянки II. Координати поверхні цієї ділянки у системі координат, пов'язаній з черв'яком, визначаються наступними рівняннями [9]:

$$\sin \vartheta K \sin \nu + b_2 \cos \nu + \cos \vartheta d_2 \cos \nu - A_i + r_\delta = 0; \quad (5)$$

$$x_1^{\text{II}} = \rho_2 \sin \vartheta - d_2 \cos \nu \cos \psi - \sin \nu \sin \psi \cos \gamma_i + \rho_2 \cos \vartheta + b_2 \sin \psi \sin \gamma_i + A_i \cos \psi; \quad (6)$$

$$y_1^{\text{II}} = -\rho_2 \sin \vartheta - d_2 \cos \nu \sin \psi + \sin \nu \cos \psi \cos \gamma_i + \rho_2 \cos \vartheta + b_2 \cos \psi \sin \gamma_i - A_i \sin \psi; \quad (7)$$

$$z_1^{\text{II}} = -\rho_2 \sin \vartheta - d_2 \sin \nu \sin \gamma_i - \rho_2 \cos \vartheta + b_2 \cos \gamma_i - p\psi, \quad (8)$$

де (5) – рівняння зачеплення шліфувального круга з черв'яком; $K = A_i \operatorname{ctg} \gamma_i + p$; b_2 та d_2 – початкові параметри, які дорівнюють

$$b_2 = -\rho_2 \cos \alpha_n - l_2^* \sin \alpha_n, \quad d_2 = A_i - r_\delta + \rho_2 \sin \alpha_n - l_2^* \cos \alpha_n; \quad (9)$$

l_2^* – довжина відрізка $M\beta$ (рис. 1).

Координати поверхні в нерухомій системі координат визначаються рівняннями:

$$x^{\text{II}} = \cos \psi - \varphi_1 \left[\rho_2 \sin \vartheta - d_2 \cos \nu + A_i \right] + \sin \psi - \varphi_1 \left[-\rho_2 \sin \vartheta + d_2 \sin \nu \cos \gamma_i + \rho_2 \cos \vartheta + b_2 \sin \gamma_i \right]; \quad (10)$$

$$y^{\text{II}} = -\sin \psi - \varphi_1 \left[\rho_2 \sin \vartheta - d_2 \cos \nu + A_i \right] + \cos \psi - \varphi_1 \left[-\rho_2 \sin \vartheta + d_2 \sin \nu \cos \gamma_i + \rho_2 \cos \vartheta + b_2 \sin \gamma_i \right]; \quad (11)$$

$$z^{\text{II}} = -\rho_2 \sin \vartheta + d_2 \sin \nu \sin \gamma_i - \rho_2 \cos \vartheta + b_2 \cos \gamma_i - p\psi. \quad (12)$$

Розглянемо умови, при яких вузлові точки будуть лежати за межами робочої області зачеплення. На рис. 2 умовно показане положення лівої K_1 і правої K_2 вузлових крапок поверхні витків черв'яка.

Із рівнянь

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{\cos(\psi - \varphi_1) \cos \gamma_i + \sin \gamma_i \operatorname{ctg} \lambda_n}{\sin(\psi - \varphi_1)} \quad (13)$$

$$\operatorname{ctg} \vartheta = \frac{\sin \nu \cos \gamma_i - \cos \nu \operatorname{ctg}(\psi - \varphi_1)}{\sin \gamma_i} \quad (14)$$

$$r_n + A_i \cos(\psi - \varphi_1) + (\rho_2 \sin \vartheta - d_2) \cos \nu \sin \gamma_i [\cos(\psi - \varphi_1) \sin \gamma_i - \cos \gamma_i \operatorname{ctg} \lambda_n] + (\rho_2 \cos \vartheta + b_2) \operatorname{ctg} \nu \sin \gamma_i [\cos(\psi - \varphi_1) \cos \gamma_i + \sin \gamma_i \operatorname{ctg} \lambda_n] = 0 \quad (15)$$

знаходимо значення параметрів ϑ , ν та $\psi - \varphi_1$, які визначають положення вузлових точок зачеплення [9].

Для того, щоб вузлові крапки перебували за межами робочої поверхні зачеплення, необхідне виконання наступних умов

$$x^{\text{II}^2} + y^{\text{II}^2} > r_e^2, \quad (16)$$

$$x^{\text{II}^2} + y^{\text{II}^2} < r_\beta^2, \quad (17)$$

де x^{II} та y^{II} – координати вузлової точки зачеплення.

З огляду на наступні співвідношення (передача є не коригованою) [8]

$$\left. \begin{aligned} r_n &= r_\delta, \\ r_e &= r_\delta + m_{oc1}, \\ x'' &= -r_n, \\ 2r_\delta &= m_{oc1}q, \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

одержимо наступні умови, при яких вузлові точки будуть перебувати за межами робочої області зачеплення:

$$y'' > m_{oc1} \sqrt{1+q}, \quad (19)$$

$$y'' < \sqrt{r_\beta^2 - r_n^2}. \quad (20)$$

Координата y'' вузлової крапки знаходиться розв'язанням рівнянь (5), (13)-(15) та (11). Радіус r_β знаходиться з рівнянь (5)-(7); при $\vartheta = \alpha_n$ та $\psi = 90^\circ$ маємо:

$$\sin \alpha_n K \sin \nu + b_2 \cos \nu + \cos \alpha_n d_2 \cos \nu - A_i + r_\delta = 0; \quad (21)$$

$$\begin{aligned} r_\beta^2 &= A_i^2 + r_n + \rho_2 \cos \alpha_n \operatorname{tg} \alpha_2^* - A_i^2 [\cos^2 \nu + \sin^2 \nu \cos \gamma_i] + \\ &+ \rho_2 \sin \alpha_n \operatorname{tg} \alpha_2^{*2} + r_n + \rho_2 \cos \alpha_n \operatorname{tg} \alpha_2^* - A_i \times \\ &\times [2A_i \cos \nu + \rho_2 \sin \alpha_n \operatorname{tg} \alpha_2^* \sin \nu \sin 2\gamma_i]. \end{aligned} \quad (22)$$

З конструктивних міркувань необхідно виконання умови:

$$n_2 > \frac{m_{oc1} - l_2^* \cos \alpha_n}{m_{oc1} (1 - \sin \alpha_n)} \quad (23)$$

Таблиця 1

Результати обчислення умов виключення вузлових точок з зони контакту черв'яка та черв'ячного колеса

№	α_n , град	l_2^* , мм	n_2
1	20	0	$n_2 \geq 6$
2	20	1	$n_2 \geq 6$ та $1,4 \leq n_2 \leq 1,9$
3	20	3	$n_2 \geq 5,9$ та $1 \leq n_2 \leq 3,3$
4	15	0	$n_2 \geq 5,9$
5	15	1	$n_2 \geq 6$ та $1,2 \leq n_2 \leq 1,9$
6	15	3	$n_2 \geq 5,9$ та $0,9 \leq n_2 \leq 3,4$

В таблиці 1 наведено результати обчислення параметрів шліфувального круга за умовами (19)–(23) при $m_{oc1} = 8\text{мм}$, $q = 10$, $z_1 = 3$, $r_n = 40\text{мм}$, $A_i = 202\text{мм}$.

Висновки: отриманні залежності дозволяють оптимізувати черв'ячні передачі з шліфованим черв'яком опукло-вгнутого профілю бічної поверхні витків. В наслідок чого вузлові точки виключаються із зони контакту черв'яка та черв'ячного колеса, що поліпшує умови зачеплення та призводить до зменшення втрат енергії, збільшення ККД та довговічності черв'ячної передачі.

Список літератури: 1. *А.М. Каплун, В.М. Пузина.* Винтовые зубчатые передачи с улучшенными геометро-кинематическими показателями. // Вісник Східноукр. націон. ун-ту ім. В. Даля – Луганськ, 2003. №8 – 68-72 с. 2. *В.П. Шишов, А.М. Каплун, В.В. Бурко, В.П. Филь.* Повышение нагрузочной способности пространственных передач зацеплением. // Вісник Східноукр. націон. ун-ту ім. В. Даля – Луганськ, 2003. №12 – 15-18 с. 3. *И.И. Дусев.* Связь между геометрическими и кинематическими параметрами высшей кинематической пары. – «Известия СКНЦ ВШ», сер. «Технические науки», 1973, №3 – 28-32 с. 4. *В.И. Подрой ко.* Синтез червячных передач по экстремальным качественным показателям несущей способности и с локализованным контактом. // Дис... канд. техн. наук. – Ворошиловград – 1986. – 301 с. 5. *С.В. Шевченко.* Исследование червячных передач с выпукло-вогнутым профилем зуба. // Дис... канд. техн. наук. – Ворошиловград – 1974. – 153 с. 6. *С.В. Шевченко.* К выбору параметров выпукло-вогнутого профиля червяка. Известия ВУЗов. Машиностроение, 1974, №2 – с. 79-83. 7. *Литвин Ф.Л.* Теория зубчатых зацеплений. – М.: Наука, 1968, – 584 с. 8. *Литвин Ф.Л.* Новые виды червячных передач. М.-Л., Машгиз, 1962, 103 с. 9. *В.П. Шишов, Є.А. Мазнев.* Геометрия червячной передачи с выпукло-вогнутым профилем витков червяка и исключением узловых точек из зацепления. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ», Тематичний випуск «Проблеми механічного привода», №30 – 2004. – 184-191 с.