

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕПІЦИКЛОЇДАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ ЦІВКОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ДЛЯ ЗАДАНОГО РУХУ РОБОЧОГО ОРГАНА

*Здійснено дослідження і розрахунок цівкової передачі у машині, що відрізняється від існуючих аналогів наявністю цівкової передачі. Математично визначена лінія зачеплення, геометричне місце точок, рівняння профілю зубців зірочки, кут повороту цівкового колеса від початку до кінця зачеплення, а також коефіцієнт торцевого перекриття. Використовуючи результати дослідження, здійснено виготовлення епіциклоїдального профілю зірочки.*

**Ключові слова:** цівкова передача, зірочка, епіциклоїда, коефіцієнт торцевого перекриття, еквідистанта.

**Постановка проблеми.** Український ринок обладнання засобів малої механізації знаходиться на етапі формування. Наявність на ньому продукції високої вартості ведучих європейських виробників негативно відбивається на розвитку вітчизняного виробника. Використання сучасного вітчизняного обладнання дозволило б значно знизити витрати, капітального ремонту та реконструкції, при забезпеченні високої якості виконаних робіт.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** При незначних обсягах будівництва та механізації опоряджувальних робіт ефективним є використання засобів малої механізації [1–6]. До них можна віднести розчинозмішувачі, штукатурні установки та агрегати, штукатурно-затирочні машини. Бажаним є застосування розчинозмішувальних установок у порівнянні зі звичайними розчинозмішувачами, тому що перші, окрім безпосереднього приготування штукатурного розчину на робочому місці, виконують його транспортування до місця укладки, а також нанесення на поверхню шляхом безкомпресорного соплування.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Існуючі конструкції циклічних горизонтальних розчинозмішувачів стрічково-шнекового типу із примусовим змішуванням в загальному випадку не мають конструктивних відмінностей. Обертний момент від електродвигуна передається на вал змішувача за допомогою редуктора та передачі з гнучким зв'язком (пасова передача) або без неї (через муфту). Вихідний вал редуктора у свою чергу з'єднується із валом змішувача за допомогою муфти [7, 8]. Недоліком існуючих конструкцій є те, що кінці вала з підшипниковими вузлами розташовуються за межами бункера, ущільнення в торцевих стінках бункера змішувача, з часом втрачають свої властивості. Наслідком цього є розгерметизація і витікання будівельного розчину.

**Постановка завдання.** Основною метою даної роботи є усунення вищезазначених недоліків. Кінці вала не повинні виходити за межі торцевих стінок бункера. Вони повинні спиратись на конічні підшипники ковзання, що регулюються. Ці підшипники необхідно розташовувати із внутрішньої сторони стінки бункера. Це стало можливим завдяки застосуванню у приводі шнекового змішувача розчинозмішувальної установки конструкції ПолтНТУ [9] цівкової передачі, що є частиною робочого органу і працює безпосередньо в робочому середовищі. Передача складається із цівкового колеса та зірочки. Зубці зірочки мають неевольвентний профіль [10]. Отже, перед нами була поставлена задача стосовно дослідження, визначення цього профілю, а також розрахунку геометричних параметрів передачі для подальшої практичної реалізації.

**Основний матеріал і результати.** Цівкове зачеплення (рис. 1) є різновидом циклоїдального. Додатковою центроїдою для утворення по Камусу циклічного профілю, слугує центроїда одного з коліс передачі – коло радіуса  $r_1$  (рис. 2). При перекочуванні кола радіуса  $r_1$  по колу радіуса  $r_2$  утворюються дві гілки епіциклоїди:  $Pa$  і  $P\beta$ . Таким чином, за про-

філі зубців коліс можна прийняти: а) точку  $P$ , пов'язану з колесом 1; б) криві  $P\alpha$  і  $P\beta$ , пов'язані з колесом 2 [10].

Для реального використання замість таких профілів необхідно використовувати еквідистантні їм: а) коло радіуса  $r_{\text{ц}}$ ; б) криві  $d-d$  і  $d-d'$ , еквідистантні відповідним гілкам епіциклоїди.

При теоретичних профілях лінією зачеплення є дуга кола радіуса  $r_1$ . При вказаних на рис. 2 напрямках обертання коліс і ведучій ланці – колесі 1 – робочою ділянкою лінії зачеплення буде слугувати дуга  $Pe$ .

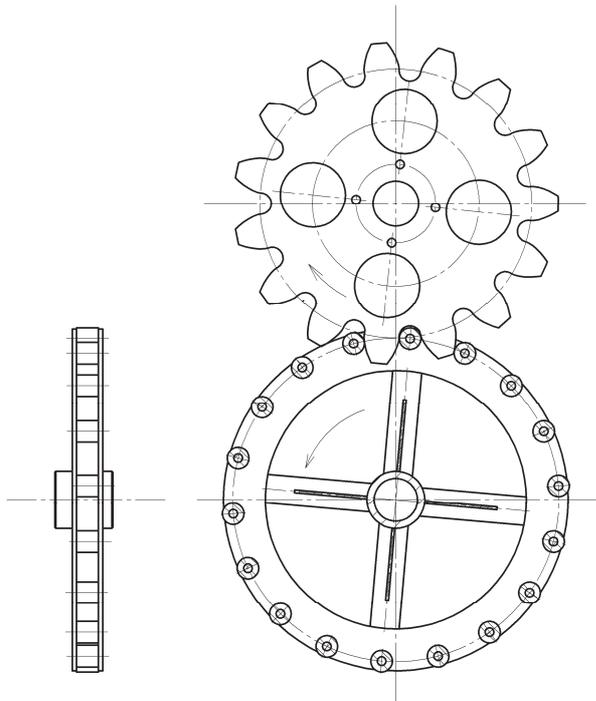


Рис. 1. Загальний вигляд цівкового зачеплення

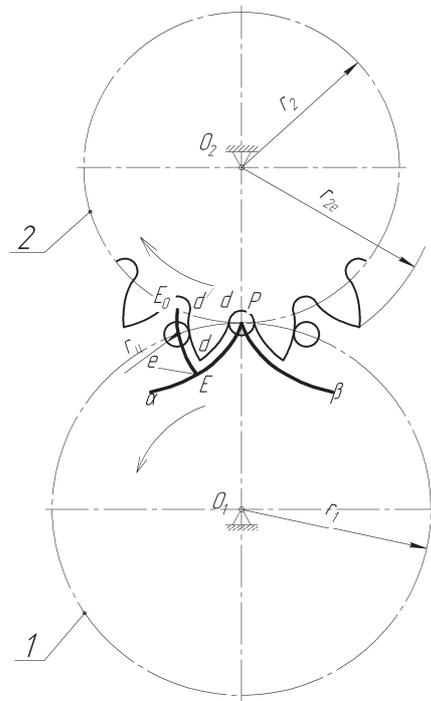


Рис. 2. Утворення цівкового зачеплення

При профілях, що еквідистантні теоретичним, лінією зачеплення слугує крива  $PM$  (рис. 3), що може бути знайдена, виходячи із наступних міркувань: нехай колесо 1 з цівкою повернулось на кут  $\varphi_1$  і центр цівки з положення  $P$  перемістився у  $P'$ . Цівка увійде в співдотик зі спряженим профілем такою точкою, котра лежить на профільній нормалі.

У теоретичних профілів, оскільки одним із них є епіциклоїда, нормаллю до профілів при співдотику їх в  $P'$  слугує хорда  $PP'$ . У реальних профілів (еквідистантні теоретичним) нормаль у точці їх співдотику та сама, що й у теоретичних. З цього виходить, що контактною точкою є точка  $M$ .

Визначимо математично лінію зачеплення  $PM$ . В нерухомій системі координат  $x, y$  (рис. 3) лінія зачеплення визначиться рівнянням (1).

$$x = PM \cos \alpha = (PP' - r_{\text{ц}}) \cos \alpha; \quad y = PM \sin \alpha = (PP' - r_{\text{ц}}) \sin \alpha. \quad (1)$$

$$\text{Але } PP' = 2r_1 \sin \frac{\varphi_1}{2}, \quad \alpha = \frac{\varphi_1}{2}.$$

Отже маємо, що

$$\begin{aligned} x &= \left( 2r_1 \sin \frac{\varphi_1}{2} - r_{\text{ц}} \right) \cos \frac{\varphi_1}{2}, \\ y &= \left( 2r_1 \sin \frac{\varphi_1}{2} - r_{\text{ц}} \right) \sin \frac{\varphi_1}{2}. \end{aligned} \quad (2)$$

При нарізанні зубців колеса 2 методом обкатки необхідно визначити профіль вихідного контуру. Нехай цівкове колесо повернулось на кут  $\varphi_1$ , а колесо 2 повернулось на кут  $\varphi_2$ . Вихідний контур (рейка), з яким пов'язана система координат  $x_p, y_p$ , займе положення, яке зображено на рис. 3. Профілі зубців цівкового колеса, колеса 2 і рейки будуть дотикатися у точці  $M$ . Профілі зубців вихідного контуру, як геометричне місце точок  $M$ , визначиться рівняннями

$$\left. \begin{aligned} x_p &= \left( 2r_1 \sin \frac{\varphi_1}{2} - r_{\text{ц}} \right) \cos \frac{\varphi_1}{2} - r_1 \varphi_1, \\ y_p &= \left( 2r_1 \sin \frac{\varphi_1}{2} - r_{\text{ц}} \right) \sin \frac{\varphi_1}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

При  $r_{\text{ц}} = 0$  профіль зубців рейки являтиме собою циклоїду.

Рівняння профілю зубців колеса 2 можна отримати, якщо записати рівняння лінії зачеплення в системі координат  $x_2, y_2$  (рис. 3), що зв'язана з цим колесом.

Матриця, що виражає перехід від координат  $x, y$  до координат  $x_2, y_2$

$$M_{20} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_2 & -\sin \varphi_2 & -r_2 \sin \varphi_2 \\ \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & r_2 \cos \varphi_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (4)$$

Перехід від системи  $S$  до  $S_2$  визначається матричним рівнянням

$$r_2 = M_{20} r.$$

У координатній формі

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x \cos \varphi_2 - y \sin \varphi_2 - r_2 \sin \varphi_2, \\ y_2 &= x \sin \varphi_2 + y \cos \varphi_2 + r_2 \cos \varphi_2, \\ t_2 &= t = 1. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Використовуючи вирази (2), після перетворень отримаємо

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= r_1 \sin(\varphi_1 + \varphi_2) - (r_1 + r_2) \sin \varphi_2 - r_{\text{ц}} \cos \left( \frac{\varphi_1}{2} + \varphi_2 \right), \\ y_2 &= -r_1 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) + (r_1 + r_2) \cos \varphi_2 - r_{\text{ц}} \sin \left( \frac{\varphi_1}{2} + \varphi_2 \right), \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де  $\varphi_2 = \varphi_1 i_{21}$ . При  $r_{\text{ц}} = 0$  рівняння (6) являє собою звичайну епіциклоїду.

Визначимо коефіцієнт перекриття цівкового зачеплення. Позначимо радіус кола виступів колеса 2 через  $r_{2e}$  (рис. 2), а кут повороту цівкового колеса, що відповідає кінцю зачеплення, через  $\varphi_{1e}$ . Нехай  $x_e, y_e$  – координати крайньої точки лінії зачеплення при  $\varphi_1 = \varphi_{1e}$ .

Тоді, враховуючи (5)

$$r_{2e}^2 = (r_2 + y_e)^2 + x_e^2.$$

Використовуючи рівняння (2) після перетворення отримаємо

$$\sin^2 \frac{\varphi_{1e}}{2} - \frac{r_{\text{ц}}(r_2 + 2r_1)}{2r_1(r_2 + r_1)} \sin \frac{\varphi_{1e}}{2} + \frac{r_2^2 + r_{\text{ц}}^2 - r_{2e}^2}{4r_1(r_1 + r_2)} = 0. \quad (7)$$

З рівняння (7) знаходимо  $\varphi_{1e}$  – кут повороту колеса з цівками від початку до кінця зачеплення, знаючи, що радіус цівки  $r_{\text{ц}} = 15$  мм, радіус ділильного кола цівкового колеса  $r_1 = 225$  мм, радіус ділильного кола зірочки  $r_2 = 187,5$  мм, радіус кола виступів зірочки  $r_{2e} = 224$  мм.

Маємо, що  $\varphi_{1e} = 26^\circ$ .

Коефіцієнт перекриття знаходимо за формулою

$$\varepsilon = \frac{\varphi_{1e} \cdot Z_1}{2\pi}, \quad (8)$$

де  $z_1 = 18$  – кількість цівок. Отже,  $\varepsilon = 1,3 > 1$ .

Результати розрахунку геометричних параметрів конкретного цівкового зачеплення, якщо ведуче колесо – зірочка (рис. 4), а ведене колесо – цівкове, наступні: дільний діаметр кола ведучого колеса (зірочка),  $d_1$ , мм – 375 мм; дільний діаметр кола веденого колеса з цівками,  $d_2$ , мм – 450 мм; міжосьова відстань,  $A_w$ , мм – 412,5 мм; модуль зачеплення,  $m$ , мм – 25; коловий крок,  $t$ , мм – 78,5; кількість зубців ведучого колеса,  $Z_1$  – 15; кількість цівок веденого колеса,  $Z_2$  – 18; діаметр цівок,  $d_{ц}$ , мм – 30; зовнішній діаметр веденого колеса з цівками,  $d_2^a$ , мм – 480.

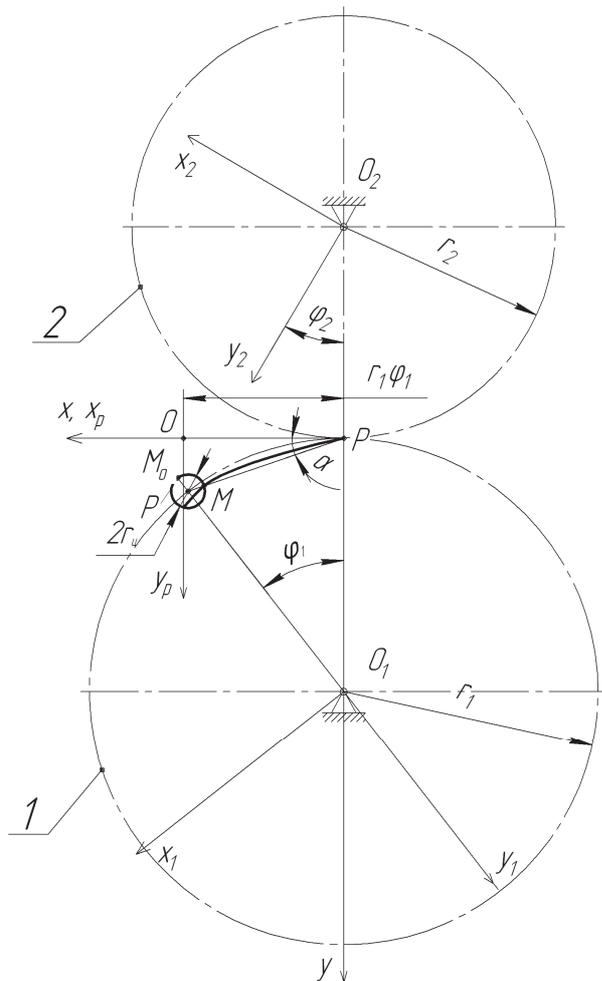


Рис. 3. Визначення лінії зачеплення  $PM$



Рис. 4. Зірочка цівкової передачі, отримана за результатами досліджень

**Висновки.** За результатами проведеного дослідження визначено дійсний епіциклоїдальний профіль зірочки цівкової передачі, коефіцієнт торцевого перекриття та інші характеристики. Вони свідчать про повну працездатність та плавність робочого процесу даного виду зачеплення. Розроблено технічне креслення із координатами робочого профілю, виготовлено передачу, яка успішно працює у складі розчинозмішувальної установки тривалий час.

#### Література

1. Баладінський, В.Л. Будівельна техніка [Текст] / В.Л. Баладінський, І.І. Назаренко, О.Г. Онищенко. – К.-П.: КНУБА-ПНТУ, 2002. – 463 с.

2. Сухачев, В.П. Средства малой механизации для производства строительно-монтажных работ [Текст] / В.П. Сухачев, Р.А. Каграманов. – М.: Стройиздат, 1989. – 384 с.
3. Волков, Д.П. Строительные машины и средства малой механизации [Текст] / Д.П. Волков, В.Я. Крикун. – М.: Изд-во «Академия», 2002. – 480 с.
4. Popov, S. The designing of crank mechanism of piston pump [Text] / S. Popov, A. Vasilyev, S. Rymar // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2013. – № 1/7 (61). – P. 30–32.
5. Kalpakjian, S. *Manufacturing engineering and technology* [Text] / S. Kalpakjian. – Canada-USA: Addison-Wesley Publishing Company, 2006. – 1320 p.
6. Добронравов, С.С. Строительные машины и основы автоматизации [Текст] / С.С. Добронравов, В.Г. Дронов. – М.: Высшая школа, 2001. – 575 с.
7. Сівко, В.Й. Механічне устаткування підприємств будівельних виробів [Текст]: підручник / В.Й. Сівко. – К.: ІСДО, 1994. – 359 с.
8. Парфенов, Е.П. Опыт механизации строительно-отделочных работ в современных условиях [Текст] / Е.П. Парфенов, В.А. Украинцев, В.Ф. Попов // *Механизация строительства*. – 2003. – № 2. – С. 5–7.
9. Онищенко, О.Г. Розчинозмішувальна установка УРЗ-04 [Текст] / О.Г. Онищенко, С.В. Попов, В.У. Уст'янець // *Галузеве машинобудування, будівництво*. – Полтава: ПНТУ. – 2005. – С. 3–7.
10. Литвин, Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений [Текст] / Ф.Л. Литвин. – М.: Наука, 1968. – 585 с.

© С.В. Попов, А.В. Васильев

**С.В. Попов, к.т.н., доц., А.В. Васильев, к.т.н., доц.**

Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭПИЦИКЛОИДАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЦЕВОЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ЗАДАННОГО ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА**

*Проведено исследование и расчет цевочной передачи в машине, отличающейся от существующих аналогов наличием цевочной передачи. Математически определена линия зацепления, геометрическое место точек, уравнение профиля зубьев звездочки, угол поворота цевочного колеса от начала до конца зацепления, а также коэффициент перекрытия. Используя конечные результаты исследования, проведено изготовление эпициклоидального профиля звездочки.*

**Ключевые слова:** цевочная передача, звездочка, растворосмеситель, эпициклоида, коэффициент торцевого перекрытия, эквидистанта.

**S.V. Popov, Ph.D., Associate Professor, A.V. Vasilyev, Ph.D., Associate Professor**

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

### **THE RESEARCH OF PIN GEAR EPICYCLOIDAL TYPE FOR LABOUR BODY PRESCRIBED MOTION**

*The authors pay attention to research and calculation of pin gear in machine, different from existing anagoges is conducted by existence of pin gear. The gearing contact line, geometrical place of points, the equation of a profile of teethes of an asterisk, angle of rotation of a lantern wheel from beginning to end gearings, and also overlapping coefficient are defined mathematically. Using the end results of research, production of an epicycloidal profile of an asterisk is carried out.*

**Keywords:** pin gear, asterisk, epicycloid, overlapping coefficient, equidistant curve.