

5. Кірик М.Д. Механічне оброблення деревини та деревних матеріалів : підручник [для студ. ВНЗ] / М.Д. Кірик. – Львів : Кольорове небо, 2006. – 412 с.

6. Кузнецов А.М. Теоретическое и экспериментальное исследование условий, обеспечивающих устойчивость ленточных пил : дис. ... канд. техн. наук: спец. 421 / Кузнецов Александр Михайлович. – Л., 1968. – 165 с.

7. Рожков Д.С. Исследование и разработка режимов пиления делительными пилами: [науч. отч. ЦНИИМОД 1954-1956 гг.] / Рожков Д. С., Феоктистов А. Е., Трусова Л. П. – Архангельск : Изд-во ЦНИИМОД, 1956. – 257 с.

8. Феоктистов А.Е. Исследования влияния некоторых факторов на устойчивость ленточных пил : дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.421 / Феоктистов Александр Ефимович. – Химки-Архангельск, 1959. – 220 с.

9. Ребезнюк І.Т. Розвиток наукових основ розпилювання деревини на стрічкопилкових верстатах : дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.05.04 / Ребезнюк Ігор Тарасович. – Львів, 2008. – 375 с.

**Ребезнюк І.Т., Дзюба Л.Ф., Пылыпьяк А.Б. Исходные положения аналитического исследования динамики процесса распиливания древесины на горизонтальном стричкопилковом станке**

Обоснованы исходные положения аналитического исследования динамики процесса распиловки древесины на горизонтальном стричкопилковом станке на основании разработанной структурной схемы эквивалентной динамической системы станка. Установлено, что структурная схема эквивалентной динамической системы стричкопилкового станка дает возможность выполнять расчеты относительно исследования характера и величины изменения угловых скоростей шкивов пыльцевого суппорта, изменения скорости продольной подачи каретки, а также динамических навантаг его ланок, в частности ленточной пилочки.

**Ключевые слова:** динамика процесса, распиловки древесины, стричкопилковый станок, эквивалентная динамическая система.

**Rebeznyuk I.T., Dzyuba L.F., Pylypyak A.B. The initial position of analytical study of dynamics of the process of sawing on horizontal band headrig sawing machine tools**

Substantiate the initial position of the analytical study of dynamics of the process of sawing wood on horizontal band headrig sawing machine tools based on the developed structural dynamic equivalent circuits of the machine. It is set that the flow diagram of the equivalent dynamic system of strichkopilkovogo machine-tool enables to execute calculations in relation to research of character and size of change of angulators of pulleys of antheriferous support, change of speed of longitudinal serve of carriage, and also dynamic nadvantag of his lanocs, in particular band saw.

**Keywords:** dynamic of the process, sawing wood, band headrig sawing machine tools, equivalent dynamic system.

УДК 621.81.001.6

Аспір. Р.Р. Івасечко<sup>1</sup> – Тернопільський НТУ

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН СПЕЦІАЛЬНОЇ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ  
З УРАХУВАННЯМ В'ЯЗКОГО ТЕРТЯ**

Розроблено модель спеціальної черв'ячної передачі з урахуванням в'язкого тертя її елементів. Наведено залежності для визначення деформацій елементів черв'ячної передачі. Отримано графічні залежності зміни черв'яка для конкретних параметрів передачі.

Надійність роботи черв'ячної передачі здебільшого визначається міцністю та жорсткістю контактуючої пари черв'як – колесо. Черв'як має малий

<sup>1</sup> Наук. керівник: проф. Б.М. Гевко, д-р техн. наук – Тернопільський НТУ

діаметр і значну відстань між опорами. Тому в процесі роботи спостерігаються значні деформації, що потребує розрахунку передачі на жорсткість та визначення зміни її елементів. Для визначення деформацій та зусиль, що виникають в елементах передачі, розглянемо її як дискретно-неперервну лінійну механічну систему [1]. Зусилля, що діють на черв'яка, призводять до значного поперечного прогину, який негативно впливає на зачеплення витків та зубців, і на роботу черв'ячної передачі загалом. Тому важливо правильно вибрати параметри спеціальної черв'ячної передачі [2] та призначити технологію виготовлення як черв'яка так і черв'ячного колеса.

Розрахункову схему передачі зображено на рис. 1.

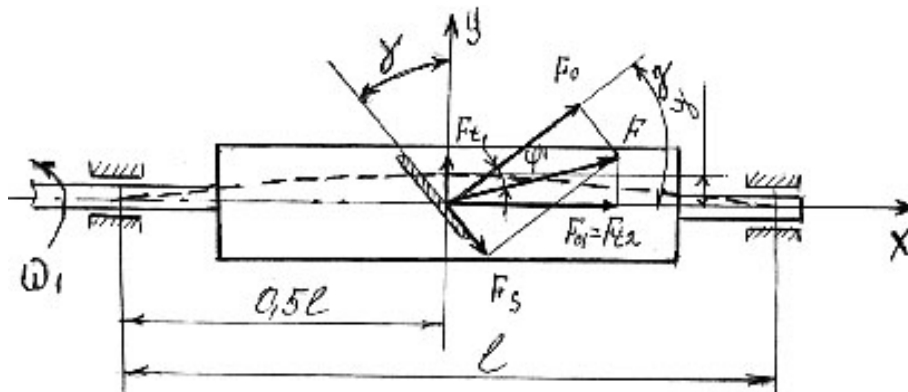


Рис. 1. Розрахункова схема черв'яка спеціальної передачі

Розглянемо зміну черв'яка. Тоді передачу можна представити, як механічну систему з одним ступенем вільності та в'язким тертям черв'яка і зубців черв'ячного колеса. Рух такої системи можна описати рівнянням Лагранжа другого роду [1, 3]:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} + \frac{\partial \Pi}{\partial q} = Q_s, \quad (1)$$

де:  $T$ ,  $\Pi$  – відповідно кінетична та потенціальна енергії системи;  $Q_s$  – узагальнена сила в'язкого тертя;  $t$  – час;  $q$  – узагальнена координата;  $\dot{q} = \frac{dq}{dt}$  – узагальнена швидкість.

Кінетичну енергію можна представити залежністю:

$$T = \frac{1}{2g} \sum_{i=1}^n F_i \cdot v_i^2, \quad (2)$$

де:  $g$  – прискорення вільного падіння ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ );  $F_i$  – зусилля, що діють в точці контакту черв'яка та черв'ячного колеса (рис. 1);  $v_i$  – швидкості руху точки контакту в напрямку заданих зусиль.

Якщо розташування точки контакту визначають радіусом – вектором  $r_i$ , тоді її швидкість можна виразити залежністю:

$$v_i = \frac{dr_i}{dt} = \frac{\partial r_i}{\partial q} \dot{q}, \quad (3)$$

тоді 
$$T = \frac{1}{2g} \sum_{i=1}^n F_i \left( \frac{\partial r_i}{\partial q} \right)^2 \cdot \dot{q}^2 = \frac{1}{2g} \dot{q}^2 \sum_{i=1}^n F_i \left( \frac{\partial r_i}{\partial q} \right)^2. \quad (4)$$

Введемо позначення:

$$A = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^n F_i \left( \frac{\partial r_i}{\partial q} \right)^2 = A(q). \quad (5)$$

Функцію  $A(q)$ , що є функцією узагальненої координати, розкладемо в ряд Маклорена в околі  $q = 0$ , [4, 5]:

$$A(q) = A(0) + A'(0)q + \frac{A''(0)}{2}q^2 + \dots; \quad (6)$$

де  $A'(0)$ ;  $A''(0)$ ; ... – відповідні похідні від функції  $A(q)$  за узагальненою координатою  $q$ .

Розглянувши вертикальні зміни, отримаємо:

$$A(y) = A(0) + A'(0) \cdot y + \frac{A''(0)}{2} y^2 + \dots; \quad (7)$$

відповідно: 
$$\Pi(q) = \Pi(0) + \Pi'(0)q + \frac{\Pi''(0)}{2}q^2 + \dots \quad (8)$$

Під час малих змін можна обмежитися першим членом [4], тоді:

$$A(0) = a,$$

де  $a$  – інерційний коефіцієнт (зведена маса системи) [4].

Враховуючи, що черв'як здійснює обертовий рух і вертикальні зміни, вираз для кінетичної енергії набуде такого вигляду:

$$T = \frac{1}{2} \frac{F_{t1}}{g} \left( \dot{y} - r \cdot \dot{\varphi} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{F_{t2}}{g} \left( r^2 \cdot \dot{\varphi} \right)^2, \quad (9)$$

де:  $F_{t1}$ ;  $F_{t2}$  – статичні сили, що виникають в зачепленні під час роботи черв'яка [6];  $r$  – радіус черв'яка;  $\varphi$  – кут зачеплення черв'яка.

Звідси: 
$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} &= -\frac{F_{t1}}{g} \cdot r \left( \dot{y} - r \cdot \dot{\varphi} \right) + \frac{F_{t2}}{g} \cdot r^2 \cdot \dot{\varphi}, \\ \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} &= -\frac{F_{t1}}{g} \cdot \left( \dot{y} - r \cdot \dot{\varphi} \right). \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = \frac{\partial T}{\partial y} = 0.$$

Зусилля  $F_{t1}$  та  $F_{t2}$  можна виразити через обертовий момент  $M_{об}$  на валі черв'яка [6]. Тоді загальний розв'язок системи (10) можна представити в такому вигляді [7]:

$$y = y_1 + y_2, \quad (11)$$

де  $y_1$  – загальний розв'язок однорідного рівняння:

$$y_1'' + \kappa^2 y_1 = 0; \quad y_1 = A \cdot \sin(kt + a_\phi);$$

де:  $A$  – амплітуда коливань;  $a_\phi$  – початкова фаза;  $y_2$  – частинний розв'язок неоднорідного рівняння,  $y_2 = B$ . Якщо прийняти  $M_{об} = const$ , тоді

$$B = \frac{M_{об}}{\kappa^2 \cdot m_r \cdot r} + \frac{g}{\kappa^2},$$

де  $m_r$  – маса черв'ячного колеса.

Загальний розв'язок набуде вигляду

$$y = A \cdot \sin(kt + a_\phi) + \frac{M_{об}}{\kappa^2 \cdot m_r \cdot r} + \frac{g}{\kappa^2}. \quad (12)$$

Якщо обертовий момент змінюється за певним законом, наприклад  $M_{об} = M \cdot \sin(pt)$ , тоді:

$$y_2 = B \cdot \sin(pt) + D; \quad \dot{y}_2 = Bp \cdot \cos pt; \quad \ddot{y}_2 = -B \cdot p^2 \cdot \sin pt;$$

$$-B \cdot p^2 \cdot \sin pt + \kappa^2 \cdot B \cdot \sin pt + \kappa^2 \cdot D = \frac{M \cdot \sin pt}{m_r \cdot r} + g,$$

звідси:

$$-B \cdot p^2 + \kappa^2 \cdot B = \frac{M}{m_r \cdot r}; \quad B = \frac{M}{m_r \cdot r (\kappa^2 - p^2)}; \quad \kappa^2 \cdot D = g; \quad D = \frac{g}{\kappa^2}.$$

Тоді загальний розв'язок прийме вигляд:

$$y = A \cdot \sin(kt + a_\phi) + \frac{M_{об}}{m_r \cdot r \cdot (\kappa^2 - p^2)} \cdot \sin pt + \frac{g}{\kappa^2}, \quad (13)$$

де:  $\kappa$  – частота вільних коливань системи;  $p$  – частота вимушених коливань.

У випадку резонансу:

$$y_2 = B \cdot t \cdot \cos pt + D; \quad \dot{y}_2 = B \cdot \cos(pt) - B \cdot p \cdot t \cdot \sin pt.$$

Закон вимушених коливань при резонансі прийме вигляд:

$$y_2 = \frac{M}{m_r \cdot r \cdot 2p} \cdot t \cdot \cos pt. \quad (14)$$

За заданих основних параметрів передачі та режимі експлуатації можна обчислити частоти  $\kappa$  та  $p$  і вибрати відповідну масу черв'яка і кут зачеплення для уникнення явища резонансу в процесі роботи. Потенціальна енергія передачі визначається із стану рівноваги системи, тому зручно прийняти  $\Pi(O) = 0$  і відповідно  $\Pi'(O) = 0$ . Отже, вважаючи значення  $q = y$  малим, залежність (8) можна обмежити третім членом і записати:

$$\Pi = \frac{1}{2} cy^2, \quad (15)$$

де величина  $c = \Pi''(O)$  є параметром, який називають коефіцієнтом жорсткості, або коефіцієнтом квазіпружності.

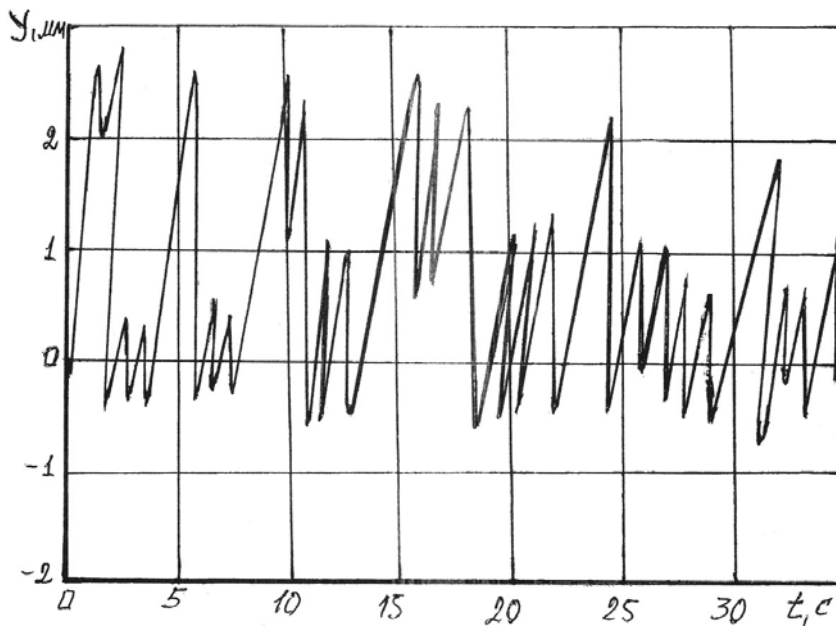


Рис. 2. Графік переміщення валу черв'яка

У разі в'язкого тертя на кожен матеріальну точку контакту між колесом і черв'яком діють сили:

$$R_i = -b_i \cdot v_i, \quad (16)$$

де  $b_i$  – коефіцієнт тертя.

Тоді узагальнена сила  $Q_\sigma$  (залежність 1) буде рівною:

$$Q_\sigma = \sum_{i=1}^n R_i \cdot \frac{\partial r_i}{\partial q}, \quad (17)$$

беручи до уваги співвідношення:

$$\frac{\partial r_i}{\partial q} = \frac{\partial v_i}{\partial \dot{q}},$$

отримаємо:

$$Q_\sigma = -\sum_{i=1}^n b_i \cdot v_i \cdot \frac{\partial r_i}{\partial q} = -\sum_{i=1}^n b_i \cdot v_i \cdot \frac{\partial v_i}{\partial \dot{q}}.$$

або

$$Q_\sigma = \frac{\partial}{\partial \dot{q}} \sum_{i=1}^n b_i \cdot \frac{v_i^2}{2}. \quad (18)$$

Ввівши поняття узагальненого коефіцієнта в'язкості –  $b$ , [4] рівняння для визначення узагальненої сили в'язкого тертя буде таким:

$$Q_\sigma = -b \cdot \dot{q}. \quad (19)$$

На основі залежностей (9), (15), (19) рівняння, що описує малі вільні зміни системи за наявності в'язкого тертя, можна записати так:

$$a \cdot \ddot{q} + b \cdot \dot{q} + c \cdot q = 0. \quad (20)$$

Аналіз залежностей (9); (15); (19) та рівняння (20) дасть змогу оцінити зміни елементів черв'яка в процесі роботи.

Для прикладу, наведемо графік змін черв'яка за наступних вихідних параметрів:  $l = 200$  мм; модуль черв'яка  $m = 3$ ; коефіцієнт діаметра черв'яка  $q = 10$ ; кількість витків  $z_1 = 1$ ; матеріал черв'яка сталь Ст. 45. Розрахунок виконано на комп'ютері із застосуванням стандартної підпрограми чисельного методу Рунге-Кутта.

Вибір оптимальних параметрів черв'ячної передачі дасть змогу запобігти виникненню явища резонансу в процесі роботи і підвищить довговічність та надійність контактуючої пари черв'як – колесо.

### Література

1. **Гащук П.** Лінійні моделі дискретно-неперервних механічних систем / П. Гащук, Л.М. Зщрій. – Львів : Українські технології, 1999. – 372 с.
2. **Патент** України. Черв'ячна передача / Гевко І.Б., Лящук О.Л., Івасечко Р.Р., Дзюра В.О. – Патент № 35248, МПК F 16 H1/16. Бюл. № 17. – 10.09.2008 р.
3. **Лютій Є.М.** Елементи теорії технічних систем / Є.М. Лютій, М.П. Мартинців, Л.О. Тисовський. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ, 2003. – 181 с.
4. **Василенко Н.В.** Теорія коливань. – К. : Вид-во "Вища шк.", 1992. – 429 с.
5. **Тимошенко С.П.** Колебания в инженерном деле : пер. с англ. / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, I. Yuber. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1985. – 472 с.
6. **Павлище В.Т.** Основи конструювання та розрахунок деталей машин. – Львів : Вид-во "Афіша", 2003. – 558 с.
7. **Мартинців М.П.** Хвильові процеси в однорідних нелінійно-пружних системах і методи їх дослідження / М.П. Мартинців, Б.І. Сокіл, М.Б. Сокіл // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2003. – Вип. 28. – С. 81-89.

#### ***Ивасечко Р.Р.* Исследование изменений специальной червячной передачи с учетом вязкого трения**

Разработана модель специальной червячной передачи с учетом вязкого трения ее элементов. Приведены зависимости для определения деформаций элементов червячной передачи. Получены графические зависимости изменения червяка для конкретных параметров передачи.

#### ***Ivasechko R.R.* Research of vibrations of the special worm-gear taking into account a viscid friction**

The model of the special worm-gear is developed taking into account the viscid friction of its elements. Dependences are resulted for determination of deformations of worm-gear elements. Graphic dependences of oscillation of worm are got for the concrete parameters of transmission.

УДК 004.773.2 Мол. наук. співроб. О.Л. Березко<sup>1</sup> – НУ "Львівська політехніка"

### АЛГОРИТМ АКТИВНОЇ РЕФЕРАЛЬНОЇ ПЕРСОНІФІКАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОГО НАПОВНЕННЯ WORLD WIDE WEB

Розглянуто суспільні акції як метод активної реферальної персоніфікації інформаційного наповнення у World Wide Web та запропоновано алгоритм такої персоніфікації з використанням графічних позначок як персоніфікаційних вставок, який пе-

<sup>1</sup> Наук. керівник: проф. А.М. Пелешин, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка"