

УДК 621.81/.85

П. І. Літовченко, В. А. Сало, Л. П. Іванова, Д. О. Шелудько, А. Г. Скиба

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ БАГАТОШКІВНОЇ ПАСОВОЇ ПЕРЕДАЧІ З ОПУКЛИМ КОНТУРОМ ПАСА

*Запропоновано алгоритм побудови математичної моделі багатошківної пасової передачі з опуклим контуром паса. Отримана математична модель призначена для топологічного аналізу передачі з метою підвищення її експлуатаційних характеристик за рахунок раціонального розташування шківів.*

*К л ю ч о в і с л о в а:* клинопасова тришківна передача, математична модель, геометричні параметри, діапазони значень координат розташування шківів, кути обхвату шківів.

**Постановка проблеми.** До сучасних військових машин висувають підвищені вимоги щодо їх надійності, довговічності, працездатності в екстремальних умовах експлуатації, високих бойових та експлуатаційних якостей. Особливої актуальності ці вимоги набули під час проведення бойових операцій підрозділами Національної гвардії та Збройних Сил України у зоні АТО.

Для задоволення вказаних вимог необхідно підвищувати технічний рівень і ефективність виробництва машин. Одним з головних напрямків рішення цієї задачі є підвищення якості і скорочення термінів конструкторської й технологічної підготовки виробництва на основі максимального застосування автоматизованого проектування вузлів і агрегатів машин з пошуком оптимальних варіантів проектних рішень.

Пасові передачі використовуються у більшості машин, у тому числі у автотракторній техніці військового призначення у приводах агрегатів двигуна (вентиляторі, генераторі, гідронасосі, гідропідсилювачі керма, компресорі тощо), а також як елементи трансмісії. У переважній більшості це передачі з клиновим або поліклиновим пасом.

Відомо, що найбільш слабкою ланкою клинопасової передачі є саме пас, який має на порядок нижчий ресурс експлуатації, ніж інші елементи пасової передачі. Особливо складними для паса є умови експлуатації у багатошківних передачах.

Геометричні параметри пасової передачі (кути нахилу гілок паса, кути обхвату шківів, довжина) значно впливають на тягову здатність і довговічність паса. Своєю чергою вказані геометричні параметри залежать від взаємного розташування шківів передачі, яке визначається при її компонуванні. У зв'язку з цим вибір найкращого варіанта розташування шківів, при якому забезпечуються максимальна тягова здатність паса, зниження сил і напружень у ньому на основі створення узагальнених математичних моделей клинопасових передач та методів їх автоматизованого розрахунку й дослідження, є актуальною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Інформація про надійність та довговічність клинопасових передач є недостатньою [1, 2] з причини того, що ресурс клинових пасів характеризується великим розкидом. Найчастіше паси виходять з ладу внаслідок недбалої експлуатації, у більшості випадків через перевантаження або систематичне їх проковзування по шківях.

Як показують дослідження [2], одним з основних факторів, від яких залежить тягова здатність паса, є кут обхвату шківів пасом. Отже, найбільший кут обхвату на шківях передачі забезпечує максимальну тягову здатність паса.

У теорії пасових передач добре розроблені методи розрахунку всіх геометричних параметрів пасових передач з двома шківями, але дуже мало відомостей про розрахунок вказаних параметрів для пасових передач з трьома і більше шківями. Так, у працях [1, 2] йдеться, в основному, про залежності для розрахунку довжини паса, міжцентрових відстаней, кутів обхвату шківів передачі.

Авторами даної статті раніше послідовно вирішувались питання побудови плоского геометричного образу пасових передач з трьома і більше шківями, визначення координат взаємного розташування шківів передачі, при якому забезпечуються максимальні кути обхвату на всіх її шківях, отже, її максимальна тягова здатність. Тобто, по суті, автори вперше застосували і запропонували використовувати для дослідження передач подібного типу їх топологічний аналіз. Розроблений алгоритм розрахунку геометричних параметрів і топологічного аналізу тришківних пасових передач реалізований у комп'ютерній програмі *Geometry\_Belt\_Transmission* [3].

Вказані задачі вирішувалися для передач з трьома шківів і механізмом натягу у вигляді натяжного ролика, тобто передач з увігнутим контуром паса. Перспективним є дослідження передач з механізмом натягу у вигляді відтяжного ролика, тобто з опуклим контуром паса.

**Метою статті** є створення математичної моделі багатозшківної пасової передачі з відтяжним роликом та визначення діапазонів значень її геометричних параметрів, що забезпечують область існування передачі в заданій конфігурації.

**Виклад основного матеріалу.** Для проведення досліджень у даній статті використано геометричний образ (рис.) пасової передачі з відтяжним роликом, яка застосовується у приводах агрегатів автомобільних двигунів, при цьому часто як натяжний ролик застосовують шків приводу одного з агрегатів, наприклад, генератора.

У результаті досліджень побудована узагальнена математична модель клинопасової передачі з опуклим контуром паса, яка являє собою сукупність математичних залежностей для визначення її основних геометричних параметрів, у тому числі координат взаємного розташування шківів і натяжного ролика, у деякій системі координат  $XOY$ .

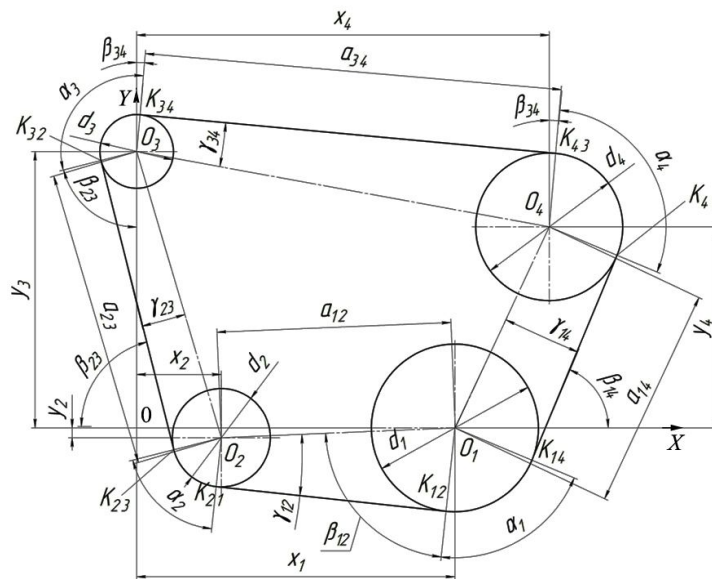


Рис. До побудови математичної моделі передачі

Розглянемо алгоритм побудови математичної моделі. На першому етапі на основі аналізу розрахункової схеми отримані залежності для розрахунку міжцентрових відстаней та кутів обхвату пасом всіх шківів:

$$\left. \begin{aligned} a_{12} &= \sqrt{y_2^2 + (x_1 - x_2)^2}; \quad a_{23} = \sqrt{(y_3 - y_2)^2 + x_2^2}; \\ a_{34} &= \sqrt{x_4^2 + (y_3 - y_4)^2}; \quad a_{14} = \sqrt{(x_4 - x_1)^2 + y_4^2}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Надалі для визначення кутів обхвату пасом шківів попередньо визначалися допоміжні кути.

1. Кути нахилу гілок паса до ліній, які з'єднують центри шківів, визначені як функції:

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{12} &= \arcsin \frac{d_1 + d_2}{2a_{12}}; \quad \gamma_{23} = \arcsin \frac{d_2 + d_3}{2a_{23}}; \\ \gamma_{34} &= \arcsin \frac{d_4 - d_3}{2a_{34}}; \quad \gamma_{14} = \arcsin \frac{d_1 - d_4}{2a_{14}}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

2. Кути нахилу гілок паса до осі  $x$ :

$$\left. \begin{aligned} \beta_{12} &= \arctg \frac{y_2}{x_1 - x_2} + \gamma_{12} - 90^\circ; \quad \beta_{23} = 90^\circ - \arctg \frac{x_2}{y_3 - y_2} - \gamma_{23}; \\ \beta_{34} &= 90^\circ - \arctg \frac{x_4}{y_3 - y_4} - \gamma_{34}; \quad \beta_{14} = \arctg \frac{y_4}{x_4 - x_1} + \gamma_{14}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Остаточно отримані залежності для розрахунку кутів обхвату на всіх шківках передачі, включаючи відтяжний ролик:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= 90^\circ + \beta_{12} + \beta_{14}; & \alpha_2 &= 90^\circ + \beta_{12} - \beta_{23}; \\ \alpha_3 &= 180^\circ - \beta_{23} + \beta_{34}; & \alpha_4 &= 180^\circ - \beta_{34} - \beta_{14}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Остаточно отримали залежність для визначення розрахункової довжини паса:

$$L_P = a_{12} \cos \gamma_{12} + a_{23} \cos \gamma_{23} + a_{34} \cos \gamma_{34} + a_{14} \cos \gamma_{14} + \frac{d_1}{2} \alpha_1 + \frac{d_2}{2} \alpha_2 + \frac{d_3}{2} \alpha_3 + \frac{d_4}{2} \alpha_4. \quad (5)$$

У наведених формулах параметри мають такий зміст:

$x_1, \dots, x_4, y_1, \dots, y_4$  – координати центрів шківів у системі координат  $XU$  (див. рис.);

$d_1, \dots, d_4$  – діаметри шківів передачі;

$a_{12}, a_{23}, a_{34}, a_{14}$  – міжцентрові відстані;

$\gamma_{12}, \gamma_{23}, \gamma_{34}, \gamma_{14}$  – кути нахилу гілок паса до ліній, що з'єднують центри шківів;

$\beta_{12}, \beta_{23}, \beta_{34}, \beta_{14}$  – кути нахилу гілок паса до осі  $x$ ;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  – кути обхвату пасом шківів;

$L_P$  – розрахункова довжина паса.

На наступному етапі визначались діапазони параметрів передачі, в яких отримані залежності дають достовірні результати, що характеризують область існування передачі. Так, була визначена область можливих значень координат розташування шківів. Головною вимогою при цьому було збереження конфігурації вказаної схеми, яке забезпечується такими обмеженнями координат розташування шківів:

$$x_3 = 0; 0 < x_2 < x_1 < x_4; \quad (6)$$

$$y_1 = 0; 0 < y_2 < y_3; y_2 < y_4. \quad (7)$$

Обмеження, що накладаються на діаметри шківів, повинні забезпечувати відсутність нерегламентованого контакту рухомих елементів передачі між собою. Задача створення таких обмежень і отримання області існування передачі є темою окремого аналітичного дослідження. Крім того, нерівності (6) і (7) накладають лише загальні обмеження на розташування елементів передачі, а визначення більш точних обмежень є темою іншої роботи.

За результатами даних досліджень модернізована програма *Geometry\_Belt\_Transmission*, в яку доданий модуль розрахунку і аналізу передач з опуклим контуром паса.

### Висновки

Для оцінювання можливостей покращення експлуатаційних характеристик багатошківних пасових передач використано топологічний аналіз їх геометрії.

Розроблена узагальнена схема багатошківної пасової передачі з опуклим контуром паса і на цій основі запропонована її математична модель у вигляді сукупності математичних залежностей для розрахунку геометричних параметрів передачі, в тому числі координат розташування її шківів. Визначені діапазони значень координат розташування шківів, в яких зберігається конфігурація передачі.

Для забезпечення можливості розрахунку і аналізу пасових передач з опуклим контуром паса модернізована комп'ютерна програма *Geometry\_Belt\_Transmission*.

### Список використаних джерел

1. Мартынов, В. К. Геометрический расчет ременных передач с натяжным роликом [Текст] / В. К. Мартынов, М. А. Надольский // Известия вузов. Машиностроение. – 1997. – № 10–12. – С. 26–28.
2. Буланов, Э. А. К расчету угла обхвата [Текст] / Э. А. Буланов // Известия вузов. Машиностроение. – 1994. – № 10–12. – С. 28–32.
3. Литовченко, П. И. К расчету геометрических параметров ременной передачи с тремя шкивами [Текст] / П. И. Литовченко // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов : сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”. – Х. : НАКУ, 2006. – Вып. 1 (44). – С. 131–136.

Стаття надійшла до редакції 08.12.2015 р.