

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ  
РАСПОЛОЖЕНИЯ ЕЁ ШКИВОВ**

**Литовченко П.И. , к.т.н., доц.; В.А. Сало, дтн., проф.**  
*Академия внутренних войск МВД Украины, г. Харьков*

*Предложен алгоритм автоматизированного поиска оптимального расположения шкивов ременной передачи, которое обеспечивает снижение силы предварительного натяжения и напряжений в ветвях ремня, радиальных усилий на валах, повышение надежности и увеличение срока службы передачи*

Многошківные ременные передачи нашли широкое применение в автотракторной и другой технике, используемой в сельском хозяйстве. В двигателях автомобилей и сельхозмашин такие передачи используются для привода агрегатов системы охлаждения, генератора, компрессора и т.п. В этой связи исследования, направленные на совершенствование конструкций многошківных ременных передач, являются актуальными.

Для повышения надежности работы и увеличения срока службы передачи, минимизации её габаритов, необходимо выполнить её оптимальную компоновку. Такой эффект может быть достигнут благодаря увеличению углов обхвата на шкивах передачи за счет подбора оптимального расположения шкивов, начального положения и траектории движения натяжного элемента (ролика или шкива).

В качестве объекта исследования в работе использован геометрический образ ременной передачи двигателей ЗМЗ-4061, ЗМЗ-4063 автомобилей семейства ГАЗЕЛЬ. Передача выбрана по той причине, что её геометрические характеристики наиболее типичны для передач, используемых в двигателях современных автомобилей.

Объектами оптимизации являются углы обхвата  $\alpha_1$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  ведущего шкива 1, шкивов привода генератора 3 и вентилятора с водяным насоса 4 (рис. 1).

Целью оптимизации является достижение максимальных значений углов обхвата на всех трех шкивах передачи при условии, что каждый из этих углов в отдельности не меньше нормативного (для клиноременных передач  $\alpha_H = 120^\circ$ ).

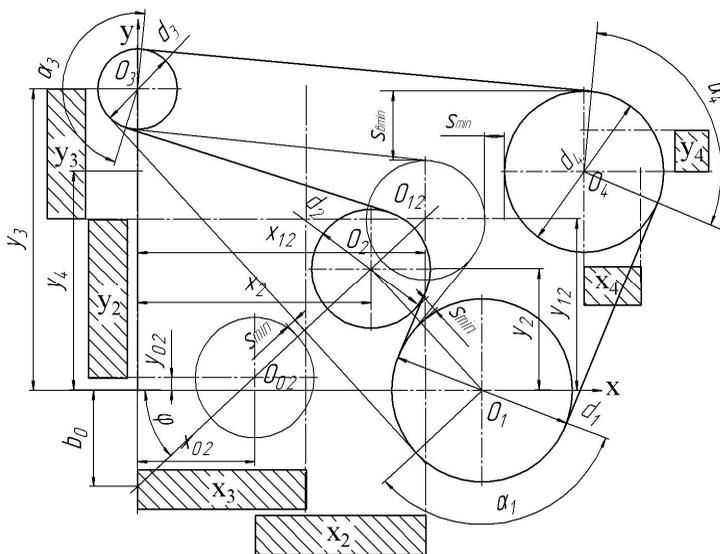


Рис. 1. Схема передачи и диапазоны значений координат центров шкивов

В этом случае целевая функция имеет вид:

$$F(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4) = \alpha_1 + \alpha_3 + \alpha_4, \quad (1)$$

где  $\alpha_1, \alpha_3, \alpha_4$  – углы обхвата, соответственно, ведущего и двух ведомых шкивов;  $x_1, y_1, x_3, y_3, x_4, y_4$  – координаты центров шкивов;  $x_2, y_2$  – координаты центра натяжного ролика.

Если в формулу (1) подставить значения углов обхвата, выраженные через координаты расположения центров шкивов [1], получим следующий вид целевой функции:

$$F(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4) = \frac{3\pi}{2} + \arctg \frac{y_2}{x_1 - x_2} + \arctg \frac{x_2}{y_3 - y_2} +, \quad (2)$$

$$+ \arcsin \frac{d_1 + d_2}{2a_{12}} + \arcsin \frac{d_2 + d_3}{2a_{23}}$$

где  $d_1$  – диаметр ведущего шкива, установленного на коленчатом валу;  $d_3$  – диаметр шкива привода генератора;  $d_2$  – диаметр натяжного ролика;  $a_{12}, a_{23}$  – расстояние между центрами шкивов 1 и 2, 3 и 4, соответственно.

Скорректируем список варьируемых аргументов целевой функции (2). Координаты  $x_1, y_1$  шкива 1, связанного с коленвалом, являются базо-

выми и неизменными, поэтому исключаются из списков варьируемых аргументов.

Координаты  $x_2$ ,  $y_2$  центра натяжного ролика изменяются в функции от координат центров шкивов 1 и 3 в заранее выбранных границах, которые определяются конструкцией натяжного устройства и диаметрами шкивов, и определяются по зависимостям:

$$x_{02} = -\frac{b_0}{\operatorname{tg} \varphi} + \left( x_1 + \frac{b_0}{\operatorname{tg} \varphi} \right) \cos^2 \varphi - \frac{d_1 + d_2 + S_{\min}}{2} \cos \varphi \quad (3)$$

$$y_{02} = (x_1 \operatorname{tg} \varphi + b_0) \cos^2 \varphi - \frac{d_1 + d_2 + S_{\min}}{2} \sin \varphi \quad (4)$$

$$x_{12} = x_4 - \frac{d_2 + d_4 + 2S_{\min}}{2} \quad (5)$$

$$y_{12} = x_4 \operatorname{tg} \varphi - \frac{d_2 + d_4 + 2S_{\min}}{2} \operatorname{tg} \varphi + b_0 \quad (6)$$

где угол  $\varphi$  наклона траектории центра натяжного ролика к оси  $x$  и значение свободного члена  $b_0$  определяются из зависимостей:

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{y_3}{x_1} - \operatorname{arctg} \frac{d_1 - d_3}{2\sqrt{x_1^2 + y_3^2}}; \quad b_0 = -\left( x_1 - \frac{d_1 + d_2 + 2S_{12\min}}{2 \sin \varphi} \right) \operatorname{tg} \varphi, \quad (7)$$

где  $S_{\min}$  – минимальное расстояние между подвижными элементами передачи;  $S_{g\min}$  – минимальный зазор между верхней ветвью ремня и натяжным роликом.

Минимальное натяжение ремня, геометрически обеспечивается условием:

$$x_{02} + (S_{\min} + 5 \dots 10 \text{ мм}) \cdot \cos \varphi \leq x_2$$

тогда окончательно получим диапазоны значений координат центра натяжного ролика:

$$x_{02} + (S_{\min} + 5 \dots 10 \text{ мм}) \cdot \cos \varphi \leq x_2 \leq x_{12} \quad (8)$$

$$y_{02} \leq y_2 \leq y_{12} \quad (9)$$

Поскольку координаты центра натяжного ролика являются функциями координат центров шкивов, считаем эти координаты не варьируемыми.

Выбор оптимального расположения всех шкивов передачи достигается за счет варьирования положением шкивов 3 и 4, поскольку они установлены на навесном оборудовании двигателя, расположение которого относительно оси коленчатого вала можно изменять при компоновке двигателя. В этом случае координаты  $x_3$ ,  $y_3$ ,  $x_4$ ,  $y_4$  считаем варьируемыми.

ми и именно они составят окончательный список аргументов целевой функции (2).

Границы допустимых значений этих аргументов определены с учетом их влияния на значения углов обхвата и выражаются следующими ограничениями:

$$x_{12} + (d_2 + d_4)/2 + S_{min} \leq x_4 \leq x_{4max} \quad (10)$$

$$y_{12} + (d_1 + d_4)/2 + S_{min} \leq y_4 \leq y_3 - (d_4 - d_3)/2 \quad (11)$$

$$0 \leq x_3 \leq x_{12} + (d_2 + d_4)/2 + S_{min} \quad (12)$$

$$y_2 \leq y_3 \leq y_{3max} \quad (13)$$

Заметим, что при значениях ординаты  $y_3 < y_2$  будет наблюдаться недопустимый перегиб ремня, поэтому при расчетах между ординатами центров шкива 3 и натяжного ролика 2 постоянно должно выполняться соотношение  $y_3 \geq y_2$ .

Окончательно вид целевой функции:

$$F(x_3, y_3, x_4, y_4) = \frac{3\pi}{2} + \arctg \frac{y_2}{x_1 - x_2} + \arctg \frac{x_2}{y_3 - y_2} + \arcsin \frac{d_1 + d_2}{2a_{12}} + \arcsin \frac{d_2 + d_3}{2a_{23}} \quad (14)$$

Для поиска оптимального расположения шкивов использовался метод Хука-Дживса [2] поиска минимального значения функции  $F = -F(x_3, y_3, x_4, y_4)$ , модифицированный для случая наличия ограничений (8) – (13). Модификация (рис. 2) заключалась в том, что каждая точка, полученная в процессе поиска, проверялась на принадлежность области ограничений. Если это условие выполнялось, то значение функции рассчитывалось по формуле (14), иначе функции присваивалось заведомо большое значение.

На рис. 2 штриховыми линиями показаны изменения, внесённые авторами в алгоритм Хука-Дживса при его модернизации. Метод Хука-Дживса основан на поиске минимума функции в окрестностях некоторой заданной базовой точки [2]. Расчеты показали, что при этом методе поиска сходимость достигается в первой же точке границы. Учитывая это, был разработан следующий алгоритм поиска оптимального расположения шкивов:

- в области ограничений функции создается массив базовых точек с заданными значениями параметров  $x_{3i}, y_{3i}, x_{4i}, y_{4i}$ ;
- для каждой базовой точки выполняется поиск локального минимума  $F_{min i}$ , по результатам которого создается массив локальных минимумов с набором параметров  $x_{3min i}, y_{3min i}, x_{4min i}, y_{4min i}$ ;
- из массива найденных решений по заданным критериям выбирается наиболее рациональное из них.

Приведенный алгоритм реализован в программе Belt\_drive расчета геометрических параметров [1] многошкивных ременных передач. Программа была дополнена процедурой модернизированного метода Хука–

Дживса и графической процедурой, вычерчивающей совмещенные схемы вариантов передач.

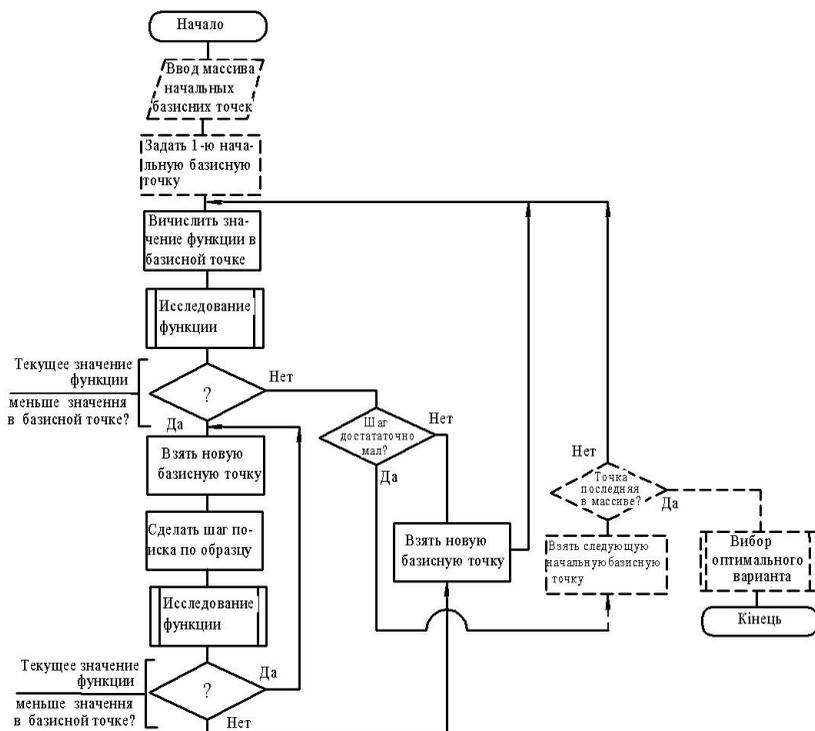


Рис. 2. Модернизированный алгоритм метода Хука-Дживса

Расчетные эксперименты показали, что наилучшей результат достигается при оптимизации вокруг базовой точки со значениями координат  $x_3=0$ ;  $y_3=121$ ;  $x_4=315$ ;  $y_4=115$  (табл. 1).

Таблица 1. Результаты оптимизации расположения шкивов передачи

Варианты передачи	$a_{12}$ , мм	$a_{23}$ , мм	$a_{34}$ , мм	$a_{14}$ , мм	$\alpha_1$ , °	$\alpha_3$ , °	$\alpha_4$ , °	$L_{min}$ , мм
Базовый	115,23	202,54	314,84	167,29	182,33	169,86	107,87	1156,6
Оптимизированный	117,08	179,73	349,23	194,22	171,46	175,67	126,91	1200,4

Увеличение угла обхвата  $\alpha_4$  позволило снизить на 9% силу предварительного натяжения ремня при неизменном передаваемом вращающем моменте, на 7% напряжения в ветвях ремня, радиальную нагрузку на вал водяного насоса – на 3%. Это позволяет прогнозировать увеличение срока службы и снижение вероятности отказа передачи из-за преждевремен-

ного выхода из строя ремня.

### **Выводы**

Разработан алгоритм поиска координат оптимального расположения шкивов многошкивной ременной передачи, которое обеспечивает максимальные углы обхвата ремнем всех шкивов, снижение силы предварительного натяжения ремня, напряжений в ветвях ремня, радиальной нагрузки на валы, а, следовательно, повышение надежности работы и срока службы передачи.

### **Список использованных источников**

1. Литовченко П.И. Математическая модель и расчет параметров трехшкивной ременной передачи с натяжным роликом // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов. Сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Э. Жуковского «ХАИ». Вып. 2(53). – Харьков: НАКУ, 2008. – с.99-104

2. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: Пер с англ. - М.: Радио и связь, 1998. – 128 с.

### **Анотація**

#### **ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ Й ДОВГОВІЧНОСТІ ПАСОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗТАШУВАННЯ ЇЇ ШКІВІВ**

**П.И. Літовченко, В. А. Сало**

*Запропоновано алгоритм автоматизованого пошуку оптимального розташування шківів пасової передачі, що забезпечує зниження сили попереднього натягу й напруження у гілках пасу, радіальних зусиль на валах, підвищення надійності й збільшення терміну служби передачі.*

### **Abstract**

#### **INCREASE OF RELIABILITY AND DURABILITY BELT DRIVE BY OPTIMIZATION OF THE ARRANGEMENT OF ITS PULLEYS**

**P. Litovchenko, V. Salo**

*The algorithm of the automated search of an optimum arrangement of pulleys of a belt drive which provides decrease in force of a preliminary tension and pressure in branches of a belt, radial efforts on shaft, increase of reliability and increase in service life of transfer is offered.*