Ключові слова: *черв'як, колесо, зачеплення, контакт, профіль, рівняння.*

WORM GEARING OF THE GENERAL VIEW SYNTHESIS

Strelnikov V.N., Sukov G.S., Voloshin A.I., Sukov M.G. (Joint-Stock Company "NKMZ", Kramatorsk, Ukraine)

The Abstract. *Results of synthesis of a general view worm gearing to any way set axial section of a worm profile are stated. The mathematical model assuming enhancement of worm gear load capacity is offered.*

Keywords: *worm, gear, gearing, contact, a profile, the equation.*

Надійшла до редколегії 18.01.2011.

УДК 621.833.3

ОБЩЕЕ РЕШЕНИЕ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЧЕРВЯЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ

Стрельников В. Н., Суков Г. С., Волошин А. И., Суков М. Г. *(ЗАО "НКМЗ" г. Краматорск, Украина)*

+38 (06272) 2-53-91; Факс: +38 (06264) 7-22-49; E-mail: rs@nkmz.donetsk.ua

Аннотация. *Поучены уравнения контактных линий и поверхности зацепления червячной передачи общего вида, у которой поверхность витка червяка образуется винтовым движением произвольной кривой, расположенной в осевой плоскости червяка, что обусловлено производственной необходимостью разработки программного продукта и управляющей программы к обрабатывающему центру, для нарезки рабочих поверхностей червяка и зубьев червячного колеса универсальным инструментом.*

Ключевые слова: *зацепление, передача, модель, поверхность, червяк, синтез.*

1. Введение

В тяжелом машиностроении находят применение крупные червячные передачи. В нажимных устройствах листопрокатных станов используются глобоидные червячные передачи с модулем $m = 36\ мм$. Интенсивный износ и малый ресурс работы таких передач повышает издержки и снижает качество продукции прокатного производства. Попытки ученых повысить технические характеристики крупных глобоидных передач не привели к ощутимым положительным результатам.

Однако, как показывает практический опыт, скрытые резервы технических возможностей червячных передач далеко не исчерпаны. Так, например, благодаря исследованиям ЦНИИТМАШ, выполненным совместно и на промышленной базе ПО НКМЗ, получено оригинальное техническое решение, позволившее в значительной мере повысить нагрузочную способность и ресурс работы червячной передачи с линейчатой винтовой поверхностью червяка [1, 2].

Выполненные исследования направлены на совершенствование геометрических форм активных поверхностей элементов червячной пары в целях повышения ее технических характеристик. При этом результаты виртуального моделирования реализуются в разработках компьютерных технологий и создании рабочих программ для многокоординатных обрабатывающих центров.

2. Основное содержание и результаты работы

Теория зацепления, созданная Х. И. Гохманом, обладает уникальным свойством: она обеспечивает возможность получения уравнений характеристики – текущей линии касания поверхностей сопряженных звеньев, в системе отсчета, связанной с одним из элементов зацепления [3]. Следуя теории Х. И. Гохмана, на основе контактных линий легко решить основную задачу зацепления – получение уравнений взаимоогибаемых поверхностей, удовлетворяющих условию постоянства заданного передаточного отношения, а также определить поверхность зацепления. При этом исключается необходимость решения ряда промежуточных задач, связанных с выполнением громоздких математических преобразований, что существенно упрощает методику синтеза передач, расширяет возможности совершенствования их технических характеристик.

Уравнения контактной линии для пространственного зацепления общего вида запишем исходя из теории Х. И. Гохмана [4]

$$\left.\begin{aligned} &F_1(x_1, y_1, z_1) = 0, \\ &\frac{\partial F_1}{\partial \varphi_1}\left[x_1(x_2, y_2, z_2, i_{21}, \varphi_1),\ y_1(x_2, y_2, z_2, i_{21}, \varphi_1),\ z_1(x_2, y_2, z_2, i_{21}, \varphi_1)\right] = 0, \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

где x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2 – подвижные системы координат, соответственно, связанные с червяком и червячным колесом; φ_1 – угол поворота червяка; i_{21} – передаточное отношение червячной передачи.

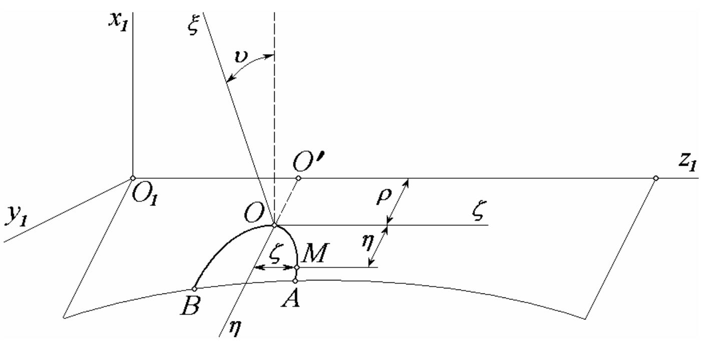

Рис. 1. Схема образования поверхности витка червяка

Для получения контактных линий червячной передачи общего вида, в соответствии с системой уравнений (1), выполним ряд операций. Полагая $\xi = 0$ (рис. 1), из уравнений (2)

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= \xi \cos\upsilon - (\eta + \rho)\sin\upsilon, \\ y_1 &= \xi \sin\upsilon + (\eta + \rho)\cos\upsilon, \\ z_1 &= p\upsilon + \zeta, \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

определим частные производные $\frac{\partial x_1}{\partial \varphi_1}$, $\frac{\partial y_1}{\partial \varphi_1}$, $\frac{\partial z_1}{\partial \varphi_1}$, где заменим $\frac{\partial \eta}{\partial \varphi_1}$ и $\frac{\partial \upsilon}{\partial \varphi_1}$ их значениями

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi_1} &= -\frac{\partial x_1}{\partial \varphi_1}\sin\upsilon + \frac{\partial y_1}{\partial \varphi_1}\cos\upsilon, \\ \frac{\partial \upsilon}{\partial \varphi_1} &= -\frac{1}{\eta + \rho}\left(\frac{\partial x_1}{\partial \varphi_1}\cos\upsilon + \frac{\partial y_1}{\partial \varphi_1}\sin\upsilon\right), \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

и после преобразований получим равенство

$$\frac{\partial z_1}{\partial \varphi_1} + \frac{\partial x_1}{\partial \varphi_1}\left(\frac{p}{\eta + \rho}\cos\upsilon + \frac{\partial \zeta}{\partial \eta}\sin\upsilon\right) + \frac{\partial y_1}{\partial \varphi_1}\left(\frac{p}{\eta + \rho}\sin\upsilon - \frac{\partial \zeta}{\partial \eta}\cos\upsilon\right) = 0. \quad (4)$$

В уравнение (4) заменим частные производные $\frac{\partial x_1}{\partial \varphi_1}$, $\frac{\partial y_1}{\partial \varphi_1}$, $\frac{\partial z_1}{\partial \varphi_1}$ их значениями из системы уравнений (5)

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial x_1}{\partial \varphi_1} = y_1 + i_{21} z_1 \cos\varphi_1, \\
&\frac{\partial y_1}{\partial \varphi_1} = -x_1 - i_{21} z_1 \sin\varphi_1, \\
&\frac{\partial z_1}{\partial \varphi_1} = -i_{21}\left(x_1 \cos\varphi_1 - y_1 \sin\varphi_1 + a\right),
\end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

после чего вставим значения x_1, y_1, z_1 по формулам (2), полагая $\xi = 0$, и запишем уравнение

$$\frac{p}{i} - a + (\eta + \rho)\sin(\upsilon + \varphi_1) + (p\upsilon + \zeta)\left[\frac{p}{\eta + \rho}\cos(\upsilon + \varphi_1) + \frac{\partial \zeta}{\partial \eta}\sin(\upsilon + \varphi_1)\right] = 0, \qquad (6)$$

где a – межосевое расстояние.

Полученное уравнение (6) отображает связь между параметрами η и υ, характерную для точек контакта. Уравнения (2) $(\xi = 0)$ и (6), при совместном рассмотрении, определяют семейство контактных линий на поверхности червяка общего вида, заданного с помощью некоторой плоской кривой линии *AOB*, совпадающей с осевым сечением поверхности червяка.

Представляя уравнение (6) относительно параметра υ, в качестве решения получим значение υ_{12}, удовлетворяющее уравнению (6), т. е.

$$\upsilon_{12} = \frac{1}{p}\left[-\zeta - \frac{\dfrac{p}{i_{21}} - a + (\eta + \rho)\sin(\upsilon + \varphi_1)}{\dfrac{p}{\eta + \rho}\cos(\upsilon + \varphi_1) + \dfrac{\partial \zeta}{\partial \eta}\sin(\upsilon + \varphi_1)}\right]. \qquad (7)$$

Если значение υ_{12} по формуле (7) подставить в уравнения (2) и положить $\xi = 0$, получим координатные функции для контактных линий исследуемой червячной передачи

$$\left.\begin{aligned}
&x_{12} = -(\eta + \rho)\sin\upsilon_{12}, \\
&y_{12} = (\eta + \rho)\cos\upsilon_{12}, \\
&z_{12} = p\upsilon_{12} + \zeta.
\end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

Следует отметить, что координатные линии, заданные уравнениями (2), (6) и (7), (8), можно реально получить только при ”остановленном“ червяке, когда $\varphi = 0$.

В процессе функционирования червячной пары, контактные линии перемещаются, и при этом отображают некоторую поверхность в неподвижном пространстве, которая является поверхностью зацепления. Поверхность зацепления также можно представить как совокупную последовательность контактных линий, определенную в неподвижных координатах. Можно заключить, что поверхность зацепления имеет идентичную принадлежность к рабочим поверхностям сопряженных звеньев участвующих в зацеплении.

Таким образом, параметрические уравнения поверхности зацепления червячной передачи общего вида можно получить на основе контактных линий, описываемых уравнениями (2) и (6). При этом поверхность зацепления будем рассматривать как геометрическое место линий касания взаимоогибаемых поверхностей в неподвижной системе отсчета, для чего выразим соответствующие уравнения контактных линий (2) и (6) в неподвижной системе координат x, y, z

$$\left.\begin{aligned} x &= -(\eta+\rho)\sin(\upsilon+\varphi_1), \\ y &= (\eta+\rho)\cos(\upsilon+\varphi_1), \\ z &= \frac{a-\dfrac{p}{i_{21}}-(\eta+\rho)\sin(\upsilon+\varphi_1)}{\dfrac{p}{\eta+\rho}\cos(\upsilon+\varphi_1)+\dfrac{\partial\zeta}{\partial\eta}\sin(\upsilon+\varphi_1)}. \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

Уравнения поверхности зацепления червячной передачи общего вида можно выразить и в координатной форме. Воспользуемся системой уравнений (9), из которой получим ряд необходимых зависимостей

$$\left.\begin{aligned} \eta &= \sqrt{x^2+y^2}-\rho, \\ \sin(\upsilon+\varphi_1) &= -\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}, \\ \cos(\upsilon+\varphi_1) &= \frac{y}{\sqrt{x^2+y^2}}. \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

Функция ζ в системе уравнений (9) – сложная и зависит от двух параметров $\zeta=\zeta(x,y)$. Поэтому ее частная производная имеет вид

$$\frac{\partial\zeta}{\partial\eta}=\frac{\partial\zeta(x,y)}{\partial x}\cdot\frac{\partial x}{\partial\eta}=\frac{\partial\zeta(x,y)}{\partial y}\cdot\frac{\partial y}{\partial\eta}. \quad (11)$$

Входящие значения частных производных $\dfrac{\partial x}{\partial\eta}$ и $\dfrac{\partial y}{\partial\eta}$ получим с помощью уравнений (10) и подставим в исходное уравнение частной производной функции ζ

$$\frac{\partial\zeta}{\partial\eta}=\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{x}\cdot\frac{\partial\zeta(x,y)}{\partial x}=\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{y}\cdot\frac{\partial\zeta(x,y)}{\partial y}. \quad (12)$$

С учетом значений частных производных (10) и (12) преобразуем уравнения (9), в результате чего получим уравнения поверхности зацепления червячной передачи общего вида в координатной форме

$$z=\frac{a-\dfrac{p}{i_{21}}+x}{\dfrac{p\,y}{x^2+y^2}-\dfrac{\partial\zeta(x,y)}{\partial x}}. \quad (13)$$

3. Заключение

1. Полученные результаты обеспечивают возможность получения трехмерных компьютерных моделей червячного зацепления, в том числе с учетом деформаций несущих элементов под нагрузкой, а также построение контактных линий и пятна контакта.

2. В процессе виртуального моделирования, методом варьирования, устанавливаются рациональные значения параметров червячной передачи, в том числе форма линий контакта поверхностей зубьев червяка и червячного колеса, исходя из оптимизации условий образования гидродинамического масляного клина, а также формируется пятно контакта таким образом, чтобы устранить интерференцию зубьев при высоких нагрузках.

Список литературы: **1.** Разработать и испытать новую конструкцию и технологию зубообработки червячной передачи для нажимных устройств прокатных станов: Отчет о НИР (заключительный) / НПО ЦНИИТМАШ; план – заказ № 27.15.3085.00; № ГР 01.85.0064903. – М., 1985. – 53 с. **2.** Попов В. А. Цилиндрические червячные передачи с повышенными эксплуатационными свойствами. // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – № 3. – С. 105 – 110. **3.** Гохман Х. И. Теория зацеплений, обобщенная и развитая путем анализа.- Одесса. - 1886. - 232 с. **4.** Колчин Н. И., Литвин Ф.Л. Методы расчета при изготовлении и контроле зубчатых изделий. – М. – Л.: Машгиз, 1952. – 269 с.

ЗАГАЛЬНЕ РІШЕННЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ

Стрельніков В. М., Суков Г. С., Волошин А. И., ., Суков М. Г.
(ЗАТ "НКМЗ" м. Краматорськ, Україна)

Анотація: *Отримано рівняння контактних ліній і поверхні зачеплення черв'ячної передачі загального виду, у якої поверхня витка черв'яка утвориться гвинтовим рухом довільної кривої, розташованої в осьовій площині черв'яка, що обумовлено виробничою необхідністю розробки програмного продукту й керуючої програми до обробного центра, для нарізки робочих поверхонь черв'яка й зубів черв'ячного колеса універсальним інструментом.*
Ключові слова: *Зачеплення, передача, модель, поверхня, черв'як, синтез.*

CALCULATION OF WORM GEARING PARAMETERS THE GENERAL SOLUTION

Strelnikov V. N., Sukov G. S., Voloshin A. I., Sukov M. G.
(Joint-Stock Company "NKMZ", Kramatorsk, Ukraine)

The Abstract: *The equations of a contact line and action surface of a worm gearing of a general view at which the surface of a worm thread is organised by a helical motion of any curve in a worm axial plane are obtained. That is caused by industrial necessity of software working out and CNC control data, for cutting of a worm and worm wheel by the universal tool.*
Keywords: *gearing, transmission, model, surface, worm, synthesis.*

Надійшла до редколегії 18.01.2011.

УДК 621.833

ИССЛЕДОВАНИЕ КПД И РЕСУРСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ РЕДУКТОРА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

Стрельников Ю. В. *(ВНУ им. В. Даля, г. Луганск, Украина)*
+38 (06272) 2-53-91; Факс: +38 (06264) 7-22-49; E-mail: rs@nkmz.donetsk.ua

Аннотация. *В статье представлены данные экспериментальных исследований к.п.д. редуктора с промежуточными телами качения в зависимости от частоты вращения входного вала и крутящего момента на выходном валу. Изложены результаты ресурсных испытаний опытных образцов указанных редукторов. По результатам выполненных исследований предложены рекомендации по совершенствованию конструкции редукторов с промежуточными телами качения.*
Ключевые слова: *редуктор, стенд, ролик, тензорезистор, нагрузка.*

1. Введение

Редукторы являются неотъемлемой частью большинства машин и оборудования, они преобразуют кинематические и силовые параметры вращения к заданным значениям. Наличие высших кинематических пар в зацеплении обеспечивает наиболее высокие потребительские характеристики редукторов, определяют их уникальные возможности