

експериментальними роботами.

**Список літератури:** 1. Шишов В.П., Носко П.Л., Филь П.В. Теоретические основы синтеза передач зацеплением: Моногр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Далі, 2006. – 408с. 2. Шабанов И.Р. О зубчатой передаче с конхoidalной линией зацепления // Надежность и качество зубчатых передач. – НИИ ИНФОРМТЯЖМАШ. 18-67-106, 1967. – С.1-8. 3. Аникин Ю.В. Синусоидальное зацепление – Воронеж: изд-во ВГУ, 1975. – 56с. 4. Бошански М., Токоли П., Ваня Ф., Кожух И. Возможность использования невольвентного зацепления в коробках передач сельскохозяйственных машин // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2011. – №29. – С.21-30. 5. Шишов В.П., Носко П.Л., Муховатый А.А. Высоконагруженные зубчатые передачи // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2011. – №28. – С.180-186. 6. Протасов Р.В., Устиненко А.В. Исследование коэффициента перекрытия эвольвентных передач // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2011. – №29. – С.154-165. 7. Шишов В.П., Бурко В.В., Ревякина О.А., Муховатый А.А. Синтез зубчатых передач с пониженной энергоемкостью // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В.Далі. – 2012. – №13(184). – Ч.1. – С.117-123. 8. Муховатый А.А. Дифференциальные уравнения для синтеза исходных контуров зубьев невольвентных зубчатых передач // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В.Далі. – 2009. – №6(177). – С.240-246.

*Поступила в редакцію 12.04.2013*

УДК 621.833

**Об одном методе синтеза исходного контура зубьев невольвентных зубчатых передач с высокими значениями критериев нагрузочной способности / А.А. Муховатый // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – №41(1014). – С.76-82. – Бібліогр.: 8 назв.**

Запропонований новий метод синтезу початкового контуру зубів невольвентних зубчатих передач, дано приклад синтезу початкового контуру і проведений порівняльний аналіз критеріїв навантажувальної здатності невольвентної і евольвентної зубчастих передач.

**Ключові слова:** початковий контур, критерії, зубчаста передача, синтез, аналіз.

A new method of synthesis of basic rack noninvolute profile of gear has been suggested; comparative analysis of the load capacity criteria of noninvolute and involute gears has been carried out.

**Keywords:** basic rack profile, criteria, gear, synthesis, analysis.

УДК 621.9.20.001.24

**Е.В. НАДЕЇНА**, пошукач ДДМА, Краматорськ;

**О.О. КЛОЧКО**, к.т.н., доцент ДДМА;

**В.С. НАДЕЙН**, к.т.н., доцент каф. МВ та С КНТУ, Кіровоград

## **ГЕОМЕТРО-КІНЕМАТИЧНІ ПОКАЗНИКИ НАБЛИЖЕНОЇ СПІРОЇДНОЇ ПЕРЕДАЧІ**

Експериментально визначені геометро-кінематичні показники наближеної спіроїдної передачі. Показано, що такі передачі можуть бути використані в техніці.

**Ключові слова:** спіроїдна передача, геометрія зачеплення.

**Вступ.** В роботі [1] показано, що можна створити циліндричну спіроїдну передачу із змінним передаточним відношенням. Зачеплення таких передач завжди локалізоване, активні поверхні зубів її ланок не є спряженими. Такі зачеплення і передачі зводяться до звичайних наближеними [2, 3].

В роботі [1] та інших, в яких теоретично досліджено властивості вказаних циліндричних спіроїдних передач, показано, що такі передачі можуть мати технічні характеристики не менші, ніж у класичних спіроїдних.

**Актуальність дослідження.** Якщо зважити на те, що досліджені наближені спіроїдні передачі значно простіші у виготовленні, то перевірка результатів теоретичних розрахунків технічних характеристик досліджуваних передач є *актуальною* задачею визначення придатності таких передач для застосування в промисловості.

© Е.В. Надеїна, О.О. Клочко, В.С. Надеїн, 2013

Таблиця 1 – Параметри зачеплення експериментальної спіроїдної передачі

Параметр	Означення	Значення
----------	-----------	----------

**Мета роботи.** Зі сказаного витікає мета даної роботи – експериментальне ви-

значення геометрико-кінематичних характеристик наближеної спіроїдної передачі.

**Зміст досліджень.** Для експериментального дослідження в якості дослідного зразку прийнято спіроїдний мотор-редуктор привода головного руху стрічкопилкового верстата для розрізування листкового прокату чорних і кольорових металів товщиною до 250мм і довжиною до 6 метрів, конструкторсько-технологічно підготовка випуску якого проводиться на ВФ "Астра", м. Кіровоград.

Параметри мотор-редуктора повинні задовольняти таким значенням:

- швидкість пиляльної стрічки для сталі (швидкість різання) –  $V=60\dots 80\text{м/хв}$ , для легких сплавів –  $V=120\dots 160\text{м/хв}$ ;
- електродвигун – двошвидкісний;
- потужність електродвигуна  $P=3,5\text{кВт}$  на першому ступені;
- розміри мотор-редуктора не більше  $(L\times B\times H)$   $700\times 300\times 400\text{мм}$ .

При таких значеннях параметрів і прийнятій конструкції привода на вихідному валу мотор-редуктора діятиме крутний момент до  $500\text{Н}\cdot\text{м}$  на кожному ступені швидкості різання. При цьому число обертів ротора електродвигуна на першому ступені (різання сталі) становить  $n=1420\text{об/хв}$  і швидкість різання (швидкість пилкової стрічки)  $v=1,26\text{м/с}$ , а на другому ступені  $n=2840\text{об/хв}$  і  $v=2,45\text{м/с}$  (при різанні алюмінієвих сплавів).

Відповідно до наведених технічних вимог було виготовлено спіроїдний редуктор, параметри якого наведені в таблиці 1.

Особливістю розробленого наближеного спіроїдного зачеплення є те, що витки черв'яка і зуб'я колеса мають симетричний профіль.

Головними геометричними показниками колеса наближеної спіроїдної передачі є форма профілю зуба, величина кута профілю, форма повздожньої лінії зуба, биття зубчастого вінця, шорсткість поверхні зуб'їв.

Профіль опуклої і угнутої сторін зуба спіроїдного колеса теоретично є прямолінійним, так як сама поверхня зуба є конічного. Для визначення профілю реального зуба в довільній точці його лінії необхідно розмістити вимірювальний елемент контролюючого прибору в осовій площині виробної поверхні різцевої головки, так як тільки в таких площинах профіль буде прямолінійним. Але таку площину на реальному колесі можна з достатньою точністю провести тільки в точках поверхні зуба, які одночасно належать і площині, нормальної до дотичної до лінії зуба на ділільному колі. Вимірювання проводилось на вимірювальній машині CONTRACER CR-02 на 10 довільно вибраних зуб'ях трьох нарізаних коліс. Вони свідчать про те, що профіль на обох сторонах зуба прямолінійний, а величина кута профілю коливається в межах  $20^\circ\dots 20^\circ 6'$ . Позитивним є те, що на поверхнях зубів немає повздожніх і поперечних ребер як слідів перетину поверхонь, утворених окремими різцями. Шорсткість поверхонь зубів визначали порівнянням зі зразками шорсткості за ГОСТ 2789-73. Згідно з ними шорсткість бокової поверхні зубів не перевищує  $R_a=2,5\dots 1,6\text{мкм}$ .

Міжвісьова відстань, мм	$a$	50	
Модуль нормальний, мм	$m_n$	5	
Вихідний контур	–	ГОСТ 13755-81	
Кількість витків черв'яка	$z_1$	1	
Кількість зуб'ів спіроїдного колеса	$z_2$	23	
Кут підйому витка черв'яка ділильний, град	$\gamma$	6,079	
Кут нахилу зуб'ів спіроїдного колеса, град	$\beta$	46,021	
Напрямок витків черв'яка	–	правий	
Напрямок зуб'ів спіроїдного колеса	–	лівий	
Радіус стичного кола сторони зуба, мм	угнутої	$\rho_{уг}$	62,701
	опуклої	$\rho_{оп}$	64,091

Повздовжню форму зуба спіроїдного колеса визначали шляхом вимірювання координат повздовжньої лінії на вершині зуба, яку можна розташувати точно у фокальній площині окулярної

головки. Вимірювання проводили на інструментальному малому мікроскопі. Вимірювали координати трьох точок від центральної в зовнішню та внутрішню сторони. В таблиці 2 наведені виміряні і розраховані координати  $x$  повздовжньої лінії зуба для точок з однаковою координатою  $y$ .

Таблиця 2 – Порівняння координат теоретичної і реальної лінії зуба спіроїдного колеса наближеної спіроїдної передачі

Лінія зуба		Координата $x$ при координаті $y$						
		$y=-9$	$y=-6$	$y=-3$	$y=0$	$y=3$	$y=6$	$y=9$
угнута	Теоретична	3,41	2,38	1,25	0	1,25	2,38	3,41
	Реальна	3,42	2,39	1,24	0	1,26	2,37	3,39
	Різниця	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0,08	0,02
опукла	Теоретична	3,40	2,37	1,45	0	1,45	2,37	3,41
	Реальна	3,42	2,38	1,46	0	1,44	2,38	3,42
	Різниця	0,02	0,01	0,03	0	0,01	0,01	0,01

розташована активна лінія поверхні зубу спіроїдного колеса, по якій рахується центр миттєвого контактного еліпса. Результати вимірювання показали що биття знаходиться в межах  $F_r=0,04...0,06$ мм. На сусідніх зуб'ях биття не перевищувало 0,01мм.

Черв'яки для визначення геометричних показників наближеної передачі і її навантажувальній спроможності були виготовлені на ВФ "Астра" за технологією і на обладнанні, розробленими сумісно ВФ "Астра" і кафедрою "Металорізальні верстати та системи" КНТУ. Черв'яки виготовляли із сталі 40ХН, HRC=52...55. Поверхню витків шліфували після загартування і полірували вільним абразивом в гідроабразивному середовищі. Шорсткість поверхні витків становить  $R_a=0,63...0,32$ .

Похибки гвинтової поверхні витка черв'яка становили в межах обороту черв'яка  $f_h=0,007$ мм, на довжині нарізаної частини  $f_{hk}=0,015$ мм. Кут профілю нормальний  $\alpha_n=20^{\circ}03'$ . Такі параметри черв'яка відповідають 5-му ступеню точності черв'яка, що задовольняє умовам експериментального визначення спроможності створення з черв'яка і обробленого спіроїдного колеса рухомого зачеплення і закону руху наближеної спіроїдної передачі, що є головним підтвердженням наукових передумов дослідження.

Спроможність створення рухомого спіроїдного зачеплення була перевірена на горизонтально-фрезерному верстаті. Для цього черв'як закріплювали на валу і встановлювали в ділильній головці. Спіроїдне колесо встановлювали на валу, який закріпили в патроні на шпинделі верстата.

Попередньо вісь ділильної головки встановлювали перпендикулярно осі шпинделя, биття валів в межах 0,01...0,02мм і міжвісьову відстань  $a=50$ мм.

Для перевірки спроможності створена рухомого зачеплення з плавною

передачею руху черв'як вводили в зачеплення з колесом на глибину заходу зуб'їв  $h_f=11,25\text{мм}$ . Приводили колесо в рух обертанням черв'яка ділильною головкою. Спочатку шпindel верстата відключали від коробки швидкостей і обертали колесо практично без навантаження, а потім з'єднували шпindel з коробкою швидкостей і обертали шпindel, навантажений моментом опору обертанню валів її в режимі мультиплікатора.

Результати цих випробувань свідчать про те, що черв'як і спіроїдне колесо створюють рухому кінематичну пару. Рух від черв'яка передається плавно і без розриву контакту між поверхнями на фазі зачеплення і при переспряженні зуб'їв.

На цій стадії експериментальних досліджень було визначено положення і розмір зони контакту поверхні зуба спіроїдного колеса і витка черв'яка. Для цього на поверхні двох сусідніх зубів колеса було нанесено шар фарби, яка є густою сумішшю порошку берлінської глазури з індустріальним мастилом. При обертанні черв'яка на поверхні його витків затримувалось деяка кількість фарби, яка, в свою чергу, переносилась на чисті поверхні зуб'їв і залишала на них відбиток. Цей відбиток приймався за зону контакту поверхні зуба колеса. Відбиток, який утворювався на поверхні витка черв'яка, приймався за контактну зону поверхні витка черв'яка.

Аналіз вказаних відбитків дозволив установити:

1) На поверхні зуба спіроїдного колеса контактна зона розташована в середині зуба і займає на висоті зуба приблизно 6мм і по довжині зуба 8мм;

2) На поверхні черв'яка контактна зона розташована на середині довжини нарізаної частини і займає по висоті витка приблизно 6мм, а по довжині перевищувала довжину одного витка приблизно на 20мм.

Такий же експеримент, виконаний з передачею, колеса якої було оброблена різцевими головками, діаметр яких було виконано на 1мм більше за розрахунковий для імітації похибки, показав, що візуально визначити зміни в положенні контактних зон на активних поверхнях черв'яка і колеса неможливо.

Експериментальне визначення закону руху наближеної спіроїдної передачі виконували на дослідному зразку спіроїдного редуктора із наближеним спіроїдним зачепленням.

Рухомість ланок наближеного зачеплення накладає деякі умови на активні поверхні їхніх зубів, основними з яких є: а) наявність зазору в парах зубів, які передують і ідуть слідом за парою зубів, що знаходяться в контакті; б) передатне відношення пари в моменти входу зубів в зачеплення і виходу з нього повинно бути меншим за номінальне. Для спіроїдної передачі з плоским колесом, яка досліджується, ці умови виконуються автоматично завдяки тому, що поверхні угнуті і опуклої сторін зубів колеса вигнуті відносно твірної, яка проходить через полюсну точку зачеплення, в тіло зуба. Оскільки полюсна точка поверхонь зуба колеса спряженої і наближеної спіроїдних передач співпадають, то в напрямку до торців зубчатого вінця зазор між цими поверхнями поступово зростає. Для того, щоб крайня точка ділильної лінії зуба колеса стала контактною, необхідно спіроїдне колеса повернути назустріч вітку черв'яка на

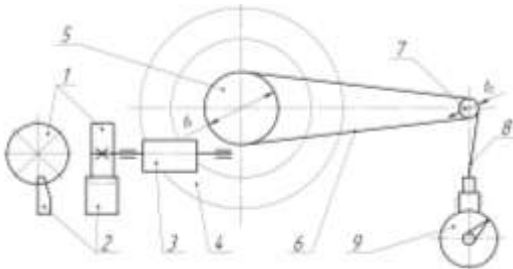


Рисунок 1 – Схема вимірювання для визначення закону руху

кут  $\Delta\varphi_2 = \delta/r$ , де  $\delta$  – котовий зазор між поверхнями зубів,  $r$  – радіус положення точки. При переміщенні точки контакту від зовнішнього торця вінця до внутрішнього колеса прискорює обертання навколо своєї осі, в полюсі зачеплення кутова швидкість його досягає максимуму, а при подальшому русі до внутрішнього торця швидкість колеса зменшується. Таким чином, при повороті спіроїдного колеса на кутовий крок передатне відношення змінне.

Схема призначення закону руху спіроїдної наближеної передачі показана на рисунку 1.

На черв'як 3 установлений ділильний диск 1, кутове положення якого фіксується фіксатором 2. На вал колеса 4 установлено різьбовий ролик 5, який зв'язаний тросиковою передачею 6 з різьбовим роликом 7. З роликом 7 зв'язаний тросиком 8 штюк індикатора 9. При повороті черв'яка на деякий кут  $\varphi_1$  колесо повернеться на кут  $\varphi_2$  і поверне на кут  $\varphi_3$  ролик 7. При цьому повороті на ролик 7 намотується частина тросику 8, який перемістить штюк індикатора 9 на величину  $l$ . Величина переміщення штюка  $l$ , зафіксована індикатором, дорівнює коловому переміщенню точки шківів 5, знаючи яке можна визначити кут повороту спіроїдного колеса і миттєве передатне відношення. Якщо величина  $l$  мала, то на вісь ролика 7 встановлюється диск більшого діаметра і тросик 8 зв'язується з ним. Це дозволить підвищити точність вимірювання. На рисунку 2 показаний підготовлений до експерименту редуктор з встановленим пристроєм для визначення закону руху зачеплення.



Рисунок 2 – Спіроїдний редуктор, налагоджений для перевірки закону руху механізму

Параметри вказаного пристрою було прийнято такими, щоб хід штока індикатора був дещо більшим за ділильний крок зуб'їв колеса для того, щоб можна було зафіксувати моменти переспряження поверхонь зуб'їв і витків черв'яка. Для досліджуваного зачеплення ділильний крок колеса  $r_f=22,6988\text{мм}$  при ході штока індикатора  $t=25\text{мм}$ , що задовольняє умовам експерименту. Результати експериментального визначення функції  $\varphi_2=\varphi_2(\varphi_1)$  показано на рисунку 3.



Рисунок 3 – Графік функції  $\varphi_2=\varphi_2(\varphi_1)$

Графік свідчить про те, що в точках А входу і В виходу активних поверхонь із зачеплення кут  $\varphi_2$  повороту колеса менший, ніж у спряженої передачі, а сама крива  $\varphi_2=\varphi_2(\varphi_1)$  лежить нижче лінії  $i_{12}=\text{const}$ . Цей факт свідчить про те, що закіннювання передачі неможливе.

### Висновки:

1. Запропонована спіроїдна передача має змінне миттєве передатне відношення на фазі зачеплення.
2. Миттєві передатні відношення в точках входу в зачеплення і виходу з нього майже однакові і менше за передатне число, що усуває удар активних поверхонь при переспряженні.
3. Інші геометро-кінематичні показники спіроїдної передачі задовольняють умовам роботи наближених передач.

**Список літератури:** 1. *Надеина Э.В.* Формообразование поверхностей зубьев плоского колеса приближенной спиральной передачи / Э.В. Надеина // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2003. – Вып.65. – С.105-110. 2. *Гуляев К.И.* Закон передаточного отношения при синтезе приближенной передачи / К.И. Гуляев, Г.А. Лифшиц // Механика машин. – М.: Наука, 1974. – Вып.45. – С.50-54. 3. *Литвин Ф.Л.* Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л. Литвин. – М.: Наука, 1968 – 584с.

Надійшла до редколегії 13.04.2013

УДК 621.9.20.001.24

**Геометро-кінематичні показники наближеної спіроїдної передачі / Е.В. Надсіна, О.О. Ключко, В.С. Надсін // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – №41(1014). – С.83-87. – Бібліогр.: 3 назв.**

Експериментально определены геометро-кинematicкие показатели приближенной спиральной передачи. Показано, что такие передачи могут быть использованы в технике.

**Ключевые слова:** спиральная передача, геометрия зацепления.

The experimentally determined geometric-kinematic indicators approximate spiroid gear is shown that such programs can be used in the technique.

**Keywords:** spiroid gear, mesh geometry.

УДК 621.9.04

**В.А. НАСТАСЕНКО**, к.т.н., профессор каф. ЕСЭУ и ОП ХДМА, Херсон

## ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАЛОЗАХОДНЫХ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ЧЕРВЯКОВ

Работа относится к области технологии производства червяков, в частности – гиперболоидных. Пред-

© В.А. Настасенко, 2013