

І.Є.Грицай, Н.М.Юрчишин
Національний університет "Львівська політехніка"
кафедра технології машинобудування

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМОУТВОРЕННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ПОХИБКИ ПРОФІЛЮВАННЯ У РАДІАЛЬНО-КОЛОВОМУ МЕТОДІ НАРІЗАННЯ ГЛОБОЇДНИХ ЧЕРВ'ЯЧНИХ КОЛІС

© Грицай І.Є., Юрчишин Н.М., 2013

Встановлено закономірності формоутворення та розроблено залежності для розрахунку методичних похибок нарізуваних профілів зубців в радіально-коловому способі виготовлення глобоїдних черв'ячних коліс з радіальною подачею.

The regularities of formation and developed according to the calculation methodology errors of the made teeth profiles in radial-circular manner making hloboyidnyh worm wheels with radial serve.

Постановка проблеми. Глобоїдні черв'ячні передачі широко використовують в машинобудуванні, зокрема, у приводах підйомно-транспортних машин. Проте, їх переваги порівняно із циліндричними черв'ячними передачами – багатопарність зачеплення і підвищена навантажувальна здатність, кращі умови контакту зубців, здатність до самогальмування нівелюються підвищеною складністю інструментів і технології нарізання глобоїдних коліс, необхідністю у спеціальному обладнанні та жорсткими вимогам до точності його налагоджування. Існуюча технологія має вузьку спеціалізацію та не передбачає універсальності, бо для кожної глобоїдної пари потрібний власний комплект черв'ячних фрез і оснащення. Це обмежує область використання цієї технології великосерійним або масовим виробництвом.

Можливості, закладені у способі радіально-коловому зубонарізанню («метод Благута» [1]) можуть компенсувати відсутність на сьогодні у виробництві глобоїдних черв'ячних фрез і спеціальних верстатів для їх виготовлення та дають змогу використати для виготовлення коліс глобоїдних черв'ячних пар простих дискових фрез і серійного зубонарізного обладнання.

Аналіз публікацій та стану проблеми. Придатність радіально-коловому способу (РКС) для нарізання глобоїдних черв'ячних коліс дисковою фрезою на зубофрезерному верстаті розглянено в роботі [2]. Особливості геометрії глобоїдного зачеплення, які ускладнюють традиційну технологію полягають в наступному. Номінальні бокові поверхні глобоїдних лінійчастих черв'яків, які використовуються найширше в практиці зубчастих передач, утворюються коловим рухом прямолінійної твірної 1, яка обертається навколо профільного кола діаметром D_p та є дотичною до цього кола. Рух твірної 1 у немодифікованих глобоїдних черв'яків рівномірний та відбувається з постійною кутовою швидкістю ω_p . Виток такого черв'яка має прямолінійну форму в осьовому перерізі - площині 3 ділильного глобоїда 2 (рис.1 а). Профіль зубців глобоїдного колеса визначається конструкцією і розмірами глобоїдного черв'яка та глобоїдної черв'ячної фрези, яка відтворює верстатне глобоїдне зачеплення в процесі нарізання черв'ячного колеса. Прямолінійність гвинтової виробничої поверхні черв'яка зумовлює прямолінійність зубців колеса, а кут між твірними, що формують профіль черв'яка визначає ділильний кут профілю в його осьовому перерізі (рис.1 б).

Мета роботи: моделювання формоутворення та встановлення залежностей для розрахунку похибок профілів зубців глобоїдних коліс в радіально-коловому методі нарізання глобоїдних черв'ячних коліс дисковою фрезою для розроблення методики їх усунення.

Викладення основного матеріалу. Універсальність РК-способу забезпечує отримання заданих конструктивних параметрів черв'ячного колеса, оскільки в РК-способі кут зачеплення в передачі та, відповідно, ділильний кут профілю можна змінювати у широких межах – від 10^0 до 45^0

змінюю профільного кута дискової фрези (рис.2). Необхідна висота зубця колеса забезпечується вибором відповідного ексцентриситету фрези.

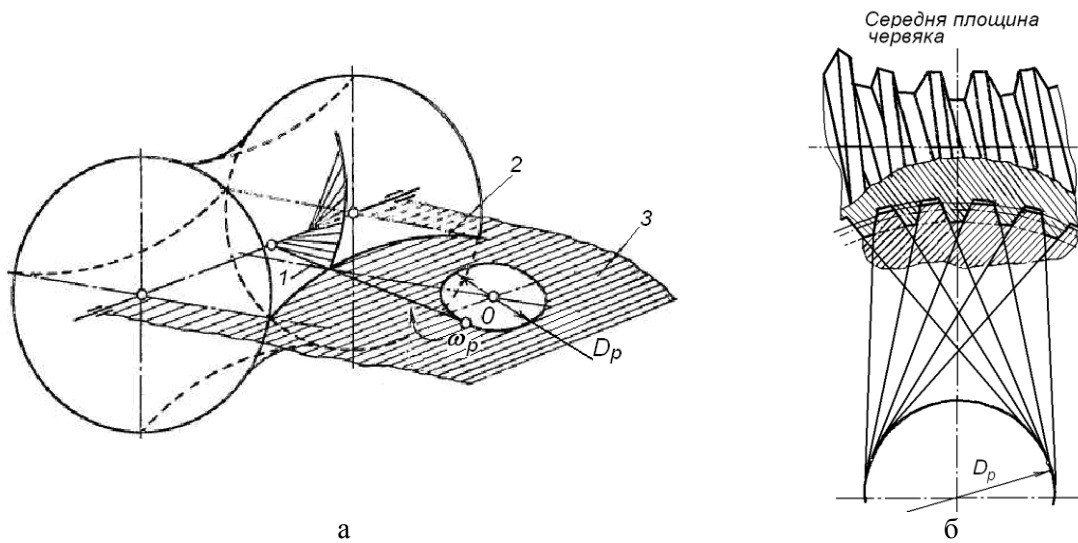


Рис.1. Утворення бокової поверхні витка глобоїдного черв'яка (а) та геометрія глобоїдного зачеплення (б)

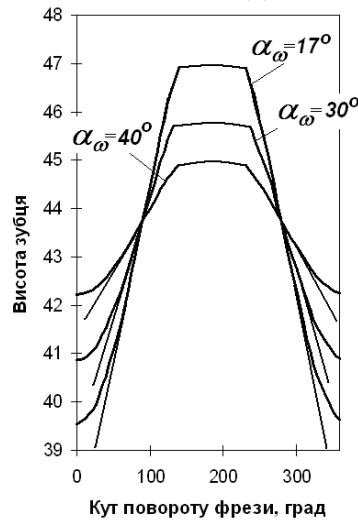


Рис.2. Зміна кута профілю зубця глобоїдного колеса, отриманого РК-способом залежно від кута профілю дискової фрези.

Особливості формоутворення в РК-способі нарізання глобоїдних черв'ячних коліс з радіальною подачею.

Як і при нарізанні глобоїдних черв'ячних коліс глобоїдною черв'ячною фрезою, в РК-способі (рис.3) різання відбувається з радіальною подачею. Особливості формоутворення у цьому способі такі, що в кожному i -ому положенні зубця дискової фрези в циклі радіальної подачі він здійснює рух по власному сліду, залишеному в його попередньому, i_{ST-1} -ому положенні в радіальному переміщенні інструменту. Це призводить до виникнення похибки профілів глобоїдних зубців, на яких залишаються сліди від радіальної подачі та колового руху зубців від обертання інструменту. На рис.4 показано початкове положення дискового інструменту відносно заготовки глобоїдного черв'ячного колеса, а на рис.5 наведено схему утворення профілів в одній впадині між зубцями (а) та положення зубців, сусідніх по діаметру інструмента, радіус-вектори яких змінюються по закону ексцентриситету.

Сукупність слідів фрези по осьовій подачі можна відтворити в торці нарізаного колеса, як це відображено на рис.6,а. Міжцентрова віддаль у верстатному зачепленні в циклі радіальної подачі зменшується від початкової величини A_0 до A_{0k} , де k – кількість циклів різання при формуванні однієї впадини між зубцями.

$$k = \frac{2 \cdot e}{s_r};$$

$$A_{0k} = A_0 - k \cdot s_r, \quad (1)$$

де s_r – радіальна подача, мм/об. заготовки; e – ексцентриситет фрези, мм.

Після прорізання впадини на повну глибину синусоїдальні зубці будуть мати систематичну похибку Δf_1 профілів, яка притаманна даному способу зубонарізання. Цей висновок підтверджується експериментально. На рис. 7 показано фото зубців глобоїдного колеса з означеною похибкою профілів.

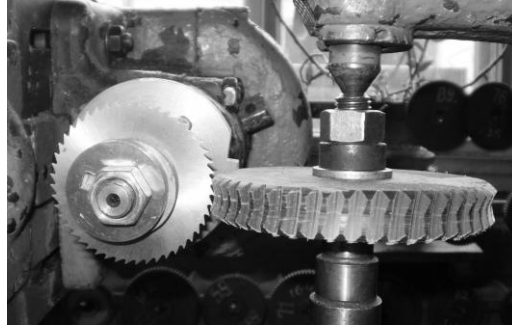


Рис. 3. Нарізання глобоїдного черв'ячного колеса дисковою фрезою на зубофрезерному верстаті

кількість зубців: колеса - $z_k=50$; фрези - $z_\phi=48$; матеріал колеса текстоліт, зовнішній діаметр $D_a=132$ мм

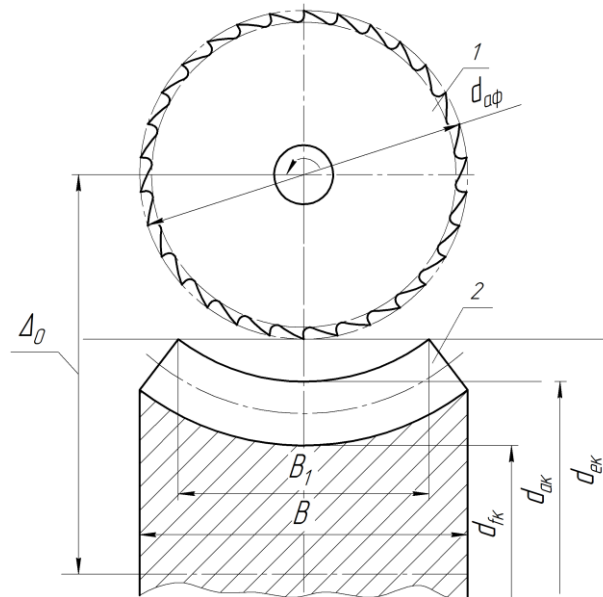


Рис. 4 Початкове положення дискової фрези 1 ($z=30$; $m=1,6$; $b=2$;) відносно оброблюваного глобоїдного червячного колеса 2.

Виходячи із наведеною схеми різання (рис. 5) величину похибки Δf_1 зубця глобоїдного колеса можна розрахувати із залежності:

$$\Delta f_1 = (y_i - y_{(i-1)}) \cdot \sin \left[\operatorname{atg} \left(\frac{b}{y_i - y_{(i-1)}} \right) \right] \quad (2)$$

де b – ширина дискової фрези; y_i, y_{i-1} – координати двох сусідніх точок профілю, утворених при різанні двома сусідніми зубцями дискової фрези.

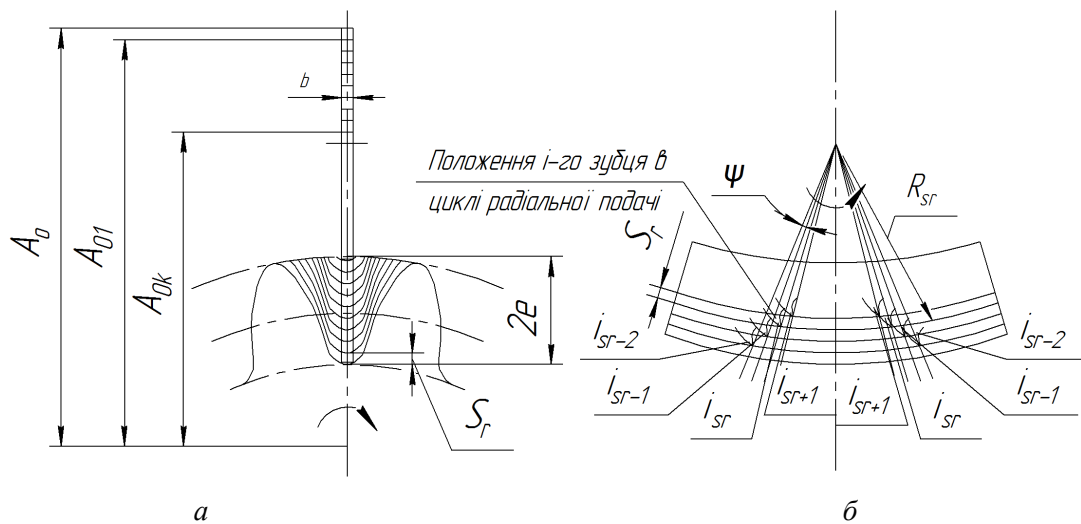


Рис.5 Розрахункова схема різання - формоутворення дискової фрези в циклі радіальної подачі в РК-способі

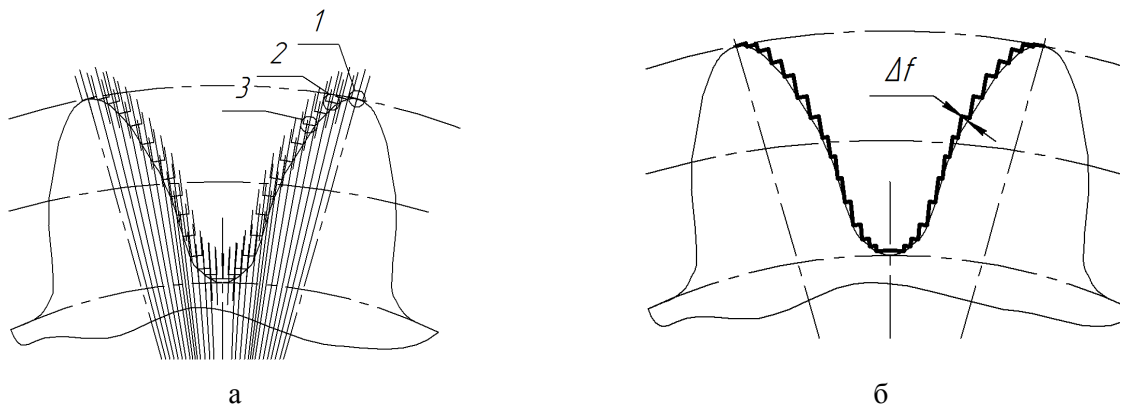


Рис. 6. Формування профілів зубців синусоїдального колеса в торцевому виді (а) та методична похибка профілів у РК-способі (б)

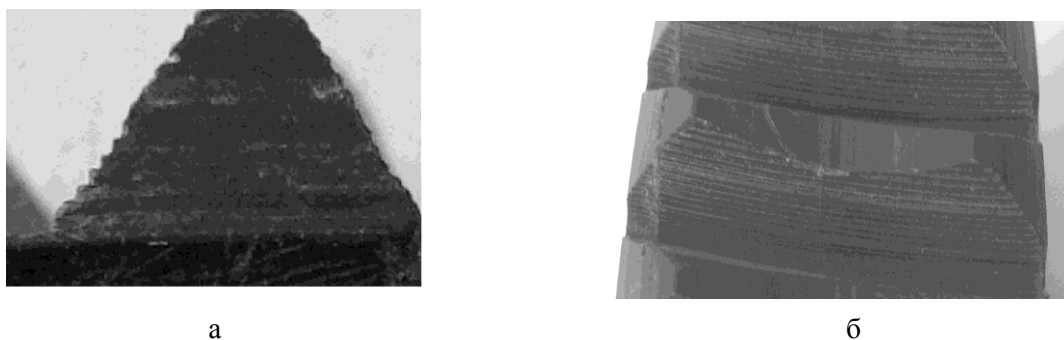


Рис. 7. Сліди інструментальної поверхні на профілях зубців черв'ячного глобоїдного колеса, нарізаного РК-способом з радіальною подачею.

а – вид з торця; б – сліди на ширині вінця

Перша методична похибка, притаманна РК-способу при нарізанні глобоїдних черв'ячних коліс.

Нижче наведено графіки цього відхилення у профілях зубців за один оберт фрези в функції від модуля (рис.8) та від кількості зубців колеса (рис.9).

Усунення означеної похибки профілів можливе або шляхом збільшення кількості зубців фрези, або зміною закону різання – розімкненням кінематичного ланцюга між обертанням заготовки і обертанням фрези. В останньому випадку це реалізовано введенням на осі фрези між

інструментальним верстатним шпинделем та віссю дискової фрези мультиплікатора, який дає змогу підвищити частоту обертання фрези в кількість разів, рівну його передавальному числу (рис.10) [2]. Відповідно у стільки ж разів збільшується кількість профілюючих різів, зменшується висота залишкових виступів на профілях колеса і підвищується якість оброблення. На рис.11 наведено графіки залежності похибки профілів глобоїдного колеса від слідів інструменту для тих же початкових даних, що й на рис.9 при використанні мультиплікатора, передавальне число якого дорівнює 3.

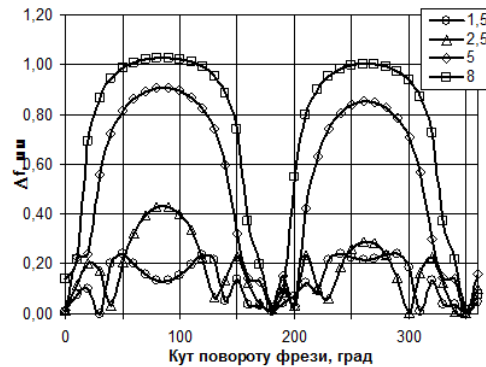


Рис.8. Похибки профілів глобоїдного колеса від слідів інструменту за радіальною подачею залежно від модуля

ширина фрези $b = 2 \text{ мм}$ рад подача $s_r = 0,2 \text{ мм/об.}$ Колеса; $D_{ак} = 125 \text{ мм}$; $D_{а_фр} = 80$; $m = 5 \text{ мм}$, $z_{фр} = 36$; $z_k = 25$

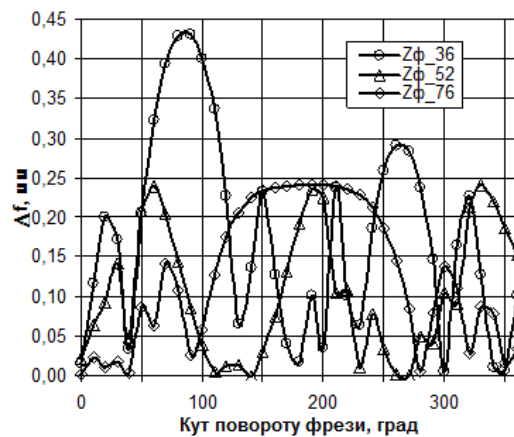


Рис.9. Похибки профілів глобоїдного колеса внаслідок слідів інструменту за радіальною подачею від кількості зубців дискової фрези

ширина фрези: $b = 2 \text{ мм}$; рад подача $s_r = 0,2 \text{ мм/о.}$ Колеса: $D_{ак} = 125 \text{ мм}$; $m = 2,5 \text{ мм}$; $z_k = 25$

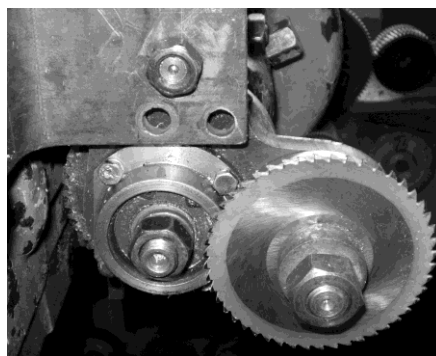


Рис. 10. Нарізання глобоїдного черв'ячного колеса дисковою фрезою на зубофрезерному верстаті з мультиплікатором та зі зміною закону формоутворення.



Рис. 11. Похибки профілів глобоїдного колеса від слідів інструменту в радіальній подачі від кількості зубців дискової фрези при різанні з мультиплікатором.

ширина фрези $b = 2$ мм рад подача $s_r = 0,2$ мм/об. Колеса; $D_{ак} = 125$ мм; $m = 2,5$ мм $z_k = 25$

Друга методична похибка профілів зубців глобоїдного черв'ячного колеса.

В межах робочої висоти головки синусоїдального зубця, рівної $+0,6e$, де e – ексцентриситет фрези, має місце відхилення прямої, що збігається з боковою поверхнею глобоїдного зубця в ділильній площині від фактичного профіля, який отримують в РК-способі (рис. 12); (активна висота зубця 6,75 мм; межі висоти $\pm 0,6 \cdot e$ відмічені на графіку штриховими лініями).

Лінія, що збігається з боковою лінією профілю зубця в осьовому перерізі колеса є прямою, дотичною до синусоїди в точці перетину профілю з ділильним діаметром колеса. Кутовий коефіцієнт цієї прямої отримуємо з рівняння похідної до синусоїди у цій точці, тобто:

$$k = \left. \frac{d\rho}{d\varphi} \right|_{\varphi=\pi/2} = -e = \operatorname{tg} \alpha_x; \quad (3)$$

тоді рівняння дотичної :

$$y = -e \cdot x + b, \quad (4)$$

де e – ексцентриситет фрези; $b = \frac{m \cdot z + e \cdot \pi}{2}$.

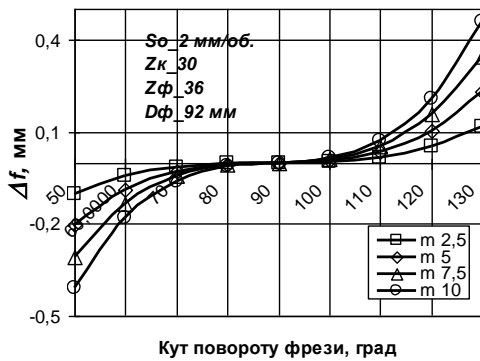
Рис. 12. Теоретичний та дійсний профілі зубця глобоїдного черв'ячного колеса.

еквівалентний модуль, – 7,5 мм; кількість зубців: фрези 20, колеса – 20; осьова подача 2 мм/об.; кут зачеплення $2\alpha_x = 40^\circ$; активна висота зубця – 6,75 мм (межі відмічені штриховими лініями; ділильний діаметр колеса – 150 мм; зовнішній діаметр фрези – 92 мм.

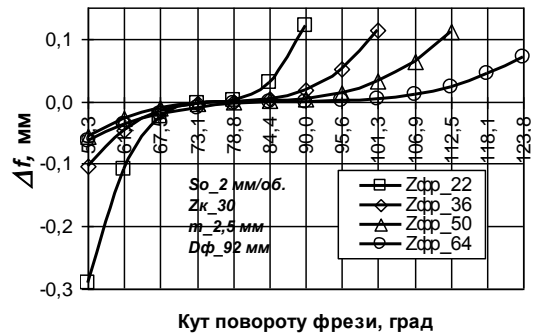


Відхилення синусоїдального профілю від дотичної до цього профілю в межах $\pm 0,6e$ залежно від модуля, кількості зубців фрези та кута зачеплення (кута профілю фрези) наведено на рис.13.

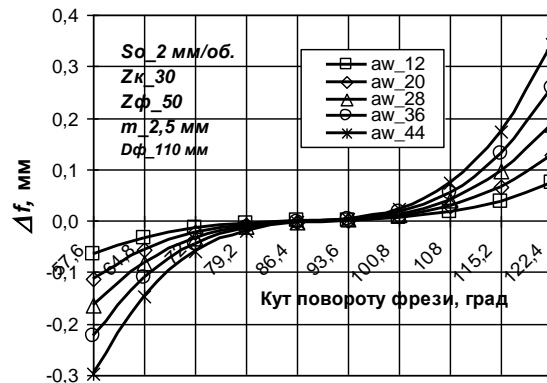
Як виходить із наведених даних, максимальне відхилення дійсного профілю від теоретичного припадає на крайні ділянки активних поверхонь і для досліджуваних параметрів лежить у межах 0,08 - 0,4 мм. В глобоїдному зачепленні контакт колеса і черв'яка відбувається по висоті зубця, а не по його ширині, внаслідок цього вказана похибка буде призводити до відсутності контакту черв'ячного колеса з глобоїдним черв'яком біля вершин зубців колеса та збільшення контактного тиску в ділянці ділильного колеса.



а



б



в

Рис. 13. Залежність відхилення профілів зубців від модуля (а), кількості зубців фрези (б) та кута зачеплення (в)

Усунення другої методичної похибки зубообробки можливе або зміною швидкості різання з частотою, рівною кількості зубців черв'ячного колеса, або періодичною зміною швидкості обкочування стола верстата з заготовкою. При використанні зубофрезерного верстата з ЧПК компенсація цієї похибки можлива зміною програми, а на універсальних верстатах з ручним керуванням – введенням в привід зворотно-поступального руху фрези копіювального пристрою, в якому профіль кулачка виконано з урахуванням цієї похибки і закону її зміни за один оберт фрези.

Висновки. 1. Досліджено процес формоутворення профілів зубців глобоїдальних черв'ячних коліс дисковими фрезами у радіально-коловому методі з радіальною подачею та закономірності виникнення двох методичних похибок зубонарізання, притаманних цьому методу. Присутність похибки внаслідок руху дискової фрези в радіальній подачі підтверджено експериментом. 2. Розроблено математичні залежності для розрахунку та моделювання методичних похибок, досліджено їх закономірності в залежності від параметрів процесу. 3. Окреслено шляхи компенсації похибок профілювання використанням мультиплікатора та зміною закону різання і формоутворення, а також введенням кулачкового пристрою для компенсації відхилення профілів.

1. Патент України №73550: МПК7 В23Р15/14: Благут Е.М. Спосіб нарізки зубчастих коліс синусоїдальної передачі Благута. Бюл. № 8, 2005 р. 2. Грицай І.Є., Литвинок Я.М. Нарізка глобоїдальних черв'ячних коліс дисковим інструментом в умовах обкочування. Зб.: "Ефективність реалізації наукового, ресурсного і промислового потенціала в сучасних умовах". - Матеріали дев'ятої щорічної Промислової конференції. - 9-13 лютого 2009 г., п. Славск, Карпати. Київ: ІНТТ. - 2009. - С. 97 - 99.