

**Висновки.** Стендові дослідження, проведені в заводських умовах, показали, що фрикційне зміцнення є простим і ефективним технологічним методом підвищення працездатності технологічного оснащення та деталей машин.

Отже, для підвищення зносостійкості напрямних технологічного оснащення достатньо зміцнювати лише одну з деталей пари тертя, інша повинна бути тільки шліфувана. За зміцнення обох деталей пари тертя ефект зміцнення нівелюється, а у деяких випадках можуть бути отримані негативні результати.

1. Ляшенко Б.А., Клименко С.А. Тенденции развития упрочняющей поверхностной обработкой и положение в Украине // *Сучасне машинобудування*. – 1999. – № 1. – С. 94 – 104. 2. Митрович В.П., Сахнева Р.И., Егоркина Н.Д. Влияние микроструктуры и твердости чугуна на износ корпусных деталей станков // *Станки и инструменты*. – 1981. – № 9. – С. 21 – 24. 3. Гриднев В.А., Трефилов В.И. Фазовые и структурные превращения и метастабильное состояние в металлах. – К.: *Наук. думка*, 1988. – 264 с. 4. Бабей Ю.И., Бутаков Б.И., Сысоев В.Г. Поверхностное упрочнение металлов – К.: *Наук. думка*, 1995. – 253 с. 5. Пилинский В.И. Производительность, качество и эффективность скоростного шлифования / В.И. Пилинский, И.П. Донец. – М.: *Машиностроение*, 1986. – 80 с. 6. Бреев Б.Т. Модернизация станков для скоростного шлифования / Б.Т. Бреев. – М.: *Машиностроение*, 1982. – 60 с.

УДК 621.833.002

Я.М. Литвиняк

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра технології машинобудування

## РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ РАДІАЛЬНО-КОЛОВОГО НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ ВІНЦІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

© Литвиняк Я.М., 2011

Викладено методику проектування профілю дискових інструментів, які використовуються у способі радіально-колового нарізання зубців циліндричних зубчастих коліс, що здійснюється за умови безперервного ділення за встановлення згаданого інструмента ексцентрично на інструментальній оправці зубофрезерного верстата. Отримані моделі створюють теоретичні передумови для заміни традиційних методів зубонарізання продуктивнішим та менш дорогим способом.

The article contains a design technique type of disk milling cutters. These instruments utilize a new method for cutting of gear-wheels indents . A method is carried out at the purveyance continuous rotation of gear-wheel. It will allow to replace the traditional methods of cutting cylinder gear-wheels .

**Постановка проблеми.** Зубчасті передачі, що становлять невід’ємну частину більшості сучасних машин, найчастіше визначають їх якість та надійність, які разом із їхніми техніко-економічними показниками закладаються загалом на етапі виробництва. Своєю чергою, у структурі виробничого процесу, найвагоміша частина належить технологічним процесам виготовлення таких достатньо складних деталей, як зубчасті колеса. Обробка зубчастих коліс здійснюється переважно методом обкату на спеціально призначених для цього універсальних зубофрезерних верстатах або методом копіювання із застосуванням в обох випадках інструментів складної форми. Сучасні напрями удосконалення технологічних операцій зубонарізання спрямовані здебільшого на

покращання традиційних інструментів. У цьому випадку намагаються створити високоефективні зуборізні інструменти, які характеризуються підвищеною надійністю, здатні забезпечити економічність процесу зубооброблення, а також реалізувати безперервне різання з інтенсивними і вирівняними навантаженнями на їхніх різальних зубцях. Одночасно прагнуть забезпечити виконання вимог із підвищення продуктивності і точності обробки, що часто супроводжується зростанням частки витрат у загальній собівартості виготовлення зубчастих коліс середніх та великих модулів.

Науковий та виробничий досвід дав змогу виокремити напрям зосередження наукових досліджень, на якому очікується створення та розвиток нових способів безперервної обробки, у яких головний рух зуборізального інструмента (інструмент – конструктивно простий, оснащений сучасними інструментальними матеріалами) кінематично не залежить від формоутворювальних рухів виконавчих елементів технологічного обладнання (оснащення), які, своєю чергою, утворюють плавну та замкнену траєкторію руху зуборізального інструмента, а сукупність різних профілів первинної інструментальної поверхні забезпечує формування номінальної поверхні зубця зубчастого колеса. Розроблення нових процесів зубонарізання та відповідних математичних моделей для них є актуальним і дасть змогу здійснити ефективну їх апробацію на машинобудівних підприємствах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Реалізація процесів, у яких використовується дисковий інструмент та здійснюються незалежні головний рух різання і формоутворювальні рухи, знайшли своє відображення у способах контурної обробки та радіально-колового формоутворення, які мають багато інших переваг порівняно із традиційними методами зубооброблення, хоча на сучасному етапі досліджень для їх впровадження виявлена значна кількість нерозв'язаних задач [1, 2, 3]. Принципова складність у застосуванні першого способу зубооброблення полягає у необхідності використання точного, складного, надзвичайно дорогого чотирикоординатного оброблюваного центра з ЧПК. Вартість одиниці часу роботи такого верстата доволі висока і тому економічна доцільність застосування його як альтернативи універсальним зубофрезерним верстатам потребує для кожного зубчастого колеса детального розгляду, аналізу і звісно – обґрунтування [2].

Застосування способу радіально-колового нарізання зубчастих коліс (ЗК) дисковим інструментом (РКЗД) передбачає використання ексцентрикової інструментальної оправки. Основним технологічним чинником у цьому випадку є величина ексцентриситету  $e$ . За результатами виконаних досліджень встановлено, що утворюваний синусоподібний профіль зубців коліс суттєво залежить від ширини  $2\delta$  головного переднього різального ребра дискової фрези (ДФ), що спричиняє зменшення товщини отриманого зубця зубчастого колеса, а для отримання евольвентного, найпоширенішого профілю зубців коліс потрібні спеціальні технологічні та конструктивні заходи, які обмежують практичне застосування загалом перспективного способу обробки [1, 3]. Отже, актуальним є розроблення заходів для ефективного застосування способу РКЗД на операціях нарізання евольвентних циліндричних зубчастих коліс середніх та великих модулів.

**Формулювання цілей досліджень.** Мета виконаних досліджень полягала у моделюванні процесу безперервного радіально-колового формоутворення евольвентних зубців циліндричних зубчастих коліс ексцентрично встановленим дисковим лезовим інструментом і розроблення рекомендацій для розрахунку його конструктивних параметрів.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Особливість способу РКЗД полягає у нарізанні зубців коліс дисковою багатозубою фрезою (ДФ), що встановлена з ексцентриситетом  $e$  на шпindelній оправці універсального зубофрезерного верстата, на столі якого закріплена заготовка зубчастого колеса (ЗК). Заготовка ЗК та шпindelна оправка утворюють рівномірний, безперервний, обертовий, узгоджений між собою рух обертання. Періодично ДФ у радіальному напрямі ЗК заглиблюється і виходить із міжзубцевих западин, утворюючи бокові поверхні зубців ЗК [1, 3].

За результатами виконаного аналізу, для забезпечення відповідної ефективності процесу зубонарізання способом РКЗД запропоновано: головний коловий рух різального інструмента – ДФ



вектор точки евольвенти;  $R_b$  – радіус основного кола;  $R_w$  – радіус ділильного (початкового) кола ( $R_w = m \cdot z$ , де  $m$  та  $z$  – відповідно модуль і кількість зубців ЗК);  $\alpha_w$  – кут тиску евольвенти у точці перетину з ділильним колом (прийнято  $\alpha_w = 20^0$ );

Радіус-вектор  $\rho$  залежить від кута тиску евольвенти  $\alpha$ , хоча для подальших досліджень доцільно отримати у полярних координатах залежність радіус-вектора  $\rho$  від аргумента – евольвентного кута  $\theta$ . Для цього застосовано методику побудови оберненої функції для заданої аналітичної функції [1]. Обернену функцію знаходимо у вигляді степеневого ряду за умови, що аналітична та обернена функції можуть бути розкладені в околі нульової точки у степеневий ряд. Використовуючи програмний математичний пакет «Maple», визначаємо для двох виразів (1) такі степеневі ряди:

$$\alpha = 3^{1/3} \cdot \theta^{1/3} + \frac{a_1}{b_1} \cdot \theta + \frac{a_2}{b_2} \cdot 3^{2/3} \cdot \theta^{5/3} + \frac{a_3}{b_3} \cdot 3^{1/3} \cdot \theta^{7/3} + \frac{a_4}{b_4} \cdot \theta^3 + \frac{a_5}{b_5} \cdot 3^{2/3} \cdot \theta^{11/3} + \frac{a_6}{b_6} \cdot 3^{1/3} \cdot \theta^{13/3} + \frac{a_7}{b_7} \cdot \theta^5, \quad (3)$$

де  $a_i$  та  $b_i$  – коефіцієнти ( $a_1 = -2, b_1 = 5; a_2 = 9, b_2 = 175; a_3 = -2, b_3 = 175; a_4 = -144, b_4 = 67375; a_5 = 3258, b_5 = 3128125; a_6 = -49711, b_6 = 153278125; a_7 = -1130112, b_7 = 9306171875$ );

$$\frac{1}{\cos \alpha} = 1 + \frac{c_1}{d_1} \cdot 3^{2/3} \cdot \theta^{2/3} + \frac{c_2}{d_2} \cdot 3^{1/3} \cdot \theta^{4/3} + \frac{c_3}{d_3} \cdot \theta^2 + \frac{c_4}{d_4} \cdot 3^{2/3} \cdot \theta^{8/3} + \frac{c_5}{d_5} \cdot 3^{1/3} \cdot \theta^{10/3} + \frac{c_6}{d_6} \cdot \theta^4, \quad (4)$$

де  $c_i$  та  $d_i$  – коефіцієнти ( $c_1 = 1, d_1 = 2; c_2 = 9, d_2 = 40; c_3 = -9, d_3 = 2800; c_4 = -479, d_4 = 112000; c_5 = 182079, d_5 = 86240000; c_6 = -4627503, d_6 = 22422400000$ ).

Використовуючи (1) та (4), отримаємо залежність величини радіус-вектора  $\rho$  від евольвентного кута  $\theta$ :

$$\rho = R_b \cdot \left( 1 + g_1 \cdot \theta^{2/3} + g_2 \cdot \theta^{4/3} + g_3 \cdot \theta^2 + g_4 \cdot \theta^{8/3} + g_5 \cdot \theta^{10/3} + g_6 \cdot \theta^4 \right), \quad (5)$$

де  $g_i$  – коефіцієнти, отримані після виконання відповідних обчислень над відповідними постійними множниками виразу (16) ( $g_1 = 1,040041911526; g_2 = 0,324506153319; g_3 = -0,003214285714; g_4 = -0,008896072779; g_5 = 0,003045029679; g_6 = -0,000206378577$ ).

Аналізуючи результати апроксимації степеневими рядами, встановлено, що для виразу (3) за збереження шести доданків (доданок з множником  $\theta^{11/3}$  включно) абсолютна похибка апроксимації для  $\alpha = 45^0$  становить  $6,324 \cdot 10^{-7}$ , а для виразу (4) за збереження шести доданків (доданок з множником  $\theta^{10/3}$  включно) абсолютна похибка апроксимації для  $\alpha = 45^0$  становить  $6,09 \cdot 10^{-7}$ .

Початкове та кінцеве розташування середини леза різального зубця ДФ (рис. 1) визначаються центральним кутом  $\varphi_{2f}$  між радіальними площинами симетрії відповідно зубця та міжзубцевої западини ЗК, а розміщення початку евольвенти (точка  $E_b$ ) стосовно радіальної площини симетрії зубця ЗК – центральним кутом  $\theta_s$ . Встановити відповідні співвідношення можна завдяки величинам половини ширини зубця  $s_w$  та половини ширини міжзубцевої западини  $e_w$  на дузі ділильного кола радіусом  $R_w$ , які також пов'язані із кроком зубців ЗК ( $s_w = e_w = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot m$ ) та центральним кутом на ділильному колі (дорівнює –  $s_w / R_w$ ). Отже, маємо такі залежності:

$$\theta_S = \operatorname{tg}\alpha_w - \alpha_w + \frac{s_w}{R_w} \quad \text{або} \quad \theta_S = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{z} - \frac{\pi}{9} + \operatorname{tg} \frac{\pi}{9}; \quad (6)$$

$$\varphi_{2f} = \frac{s_w + e_w}{R_w} \quad \text{або} \quad \varphi_{2f} = \frac{\pi}{z}. \quad (7)$$

Розташування характерних точок  $M$  та  $G$  леза різального зубця ДФ стосовно осі заготовки ЗК визначається радіус-векторами  $R_m$  та  $R_g$  (рис. 1). Відрізок  $b$  розташований на спільній нормалі у точці  $E$  контакту евольвенти з коловим профілем леза зубця ДФ радіусом  $r$ , а також є дотичним до основного кола радіусом  $R_b$ . Площина симетрії леза ДФ проходить через середину різального ребра – точку  $M$ . Центр колової ділянки різального ребра радіусом  $r$  знаходиться в точці  $G$ , що лежить на продовженні відрізка  $b$ , а відрізок  $\delta_1$ , довжина якого становить половину довжини прямолінійної частини різального ребра, перпендикулярний до радіус-вектора  $R_m$ . З геометричних співвідношень маємо:

$$b_g = b + r; \quad b^2 = \rho^2 - R_b^2; \quad \delta_1 = \delta - r; \quad R_g^2 = b_g^2 + R_b^2; \quad (8)$$

$$(R_m + r)^2 = R_g^2 - \delta_1^2. \quad (9)$$

Після відповідних дій отримаємо узагальнену залежність для параметра  $R_m$ :

$$R_m = -r + \sqrt{\rho^2 - \delta^2 + 2r\left(\delta + \sqrt{\rho^2 - R_b^2}\right)}. \quad (10)$$

Радіус-вектор  $R_m$  належить до визначальних параметрів, тому що встановлює положення стосовно середини зубця ЗК розташування середини леза зубця ДФ, яке визначається центральним кутом  $\varphi_2$ , а цей центральний кут, своєю чергою, залежить від центрального кута повороту  $\varphi_1$  ексцентрикової інструментальної оправки, на якій встановлена з ексцентриситетом ДФ. Співвідношення між згаданими центральними кутами повороту задаються жорстким кінематичним зв'язком ланцюга ділення зубофрезерного верстата і визначаються таким співвідношенням:

$$\varphi_2 = \frac{1}{z} \cdot \varphi_1. \quad (11)$$

Для забезпечення положення леза зубця ДФ, у якому це лезо торкається евольвентного профілю зубця ЗК (рис. 1), потрібно, щоб справджувались такі співвідношення між відповідними центральними кутами:

$$\varphi_2 = \theta_S - \theta + \beta_g + \beta_m, \quad (12)$$

де  $\beta_g$  та  $\beta_m$  – відповідно центральні кути між центром колової ділянки та серединою прямолінійної ділянки леза зубця ДФ.

Центральні кути  $\beta_g$  та  $\beta_m$  визначаємо із залежностей:

$$\beta_g = -\alpha + \operatorname{arctg}\left(\frac{b+r}{R_b}\right) \quad \text{або} \quad \beta_g = -\alpha + \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{R_b} \cdot \left(r + \sqrt{\rho^2 - R_b^2}\right)\right); \quad (13)$$

$$\beta_m = \operatorname{arctg}\left(\frac{\delta - r}{r + R_m}\right). \quad (14)$$

Вирази (3, 5, 10, 12 – 14), які встановлюють контакт леза різального зубця ДФ з евольвентною поверхнею зубця ЗК, залежать від характерного центрального кута  $\theta$  радіус-вектора  $\rho$  евольвенти основного кола.

Встановлена з ексцентриситетом  $e$  на інструментальній оправці ДФ за взаємо узгоджених рухів із заготовкою ЗК забезпечує формування зубців із синусоподібним боковим профілем. Цей профіль відмінний від потрібного евольвентного профілю зубця ЗК [1]. Відмінність у профілях істотно підвищується із зростанням ширини леза  $2\delta$  різального зубця ДФ. Це відображається у значному зменшенні ширини синусоподібного зубця ЗК, що загалом унеможливує отримання

евольвентного профілю навіть під час використання процесу РКЗД для попереднього, чорнового зубооброблення (значення ексцентриситету  $e$  приймається таким, що дає змогу отримати на ділільному діаметрі ЗК кут профілю  $\alpha_w = 20^0$ ). Однак застосування процесу РКЗД для попереднього прорізання міжзубцевих западин у заготовці циліндричного ЗК доцільне лише за умови відсутності підрізання евольвентного зубця. Це можливо за збільшення величини ексцентриситету  $e$ . У цьому випадку величина  $e$  визначається цілком параметрами  $2\delta$  та  $r$  леза зубця ДФ.

Графоаналітичне моделювання процесу РКЗД дало змогу встановити, що відсутність підрізання евольвентних зубців ЗК можливе за такої величини ексцентриситету  $e$ , за якої забезпечується контакт криволінійної частини леза зубця ДФ лише у точці початку евольвенти  $E_b$  (див. рис. 1 та 2). У цьому випадку утворюваний ексцентрично встановленою ДФ синусоподібний профіль не інтерферує із евольвентним профілем зубців ЗК, а попереднє прорізання міжзубцевої западини евольвентного зубчастого колеса забезпечується. Тому виникає потреба у встановленні залежностей, за якими можна визначити величину ексцентриситету  $e$ , що забезпечить виконання згаданої умови.

За контакту леза зубця ДФ із початком евольвентного профілю зубця ЗК у точці  $E_b$  (рис. 2), використовуючи співвідношення отримаємо (параметри мають індекс  $b$ ):

$$\rho_b = R_b ; \quad R_{gb}^2 = r^2 + R_b^2 ;$$

$$\beta_{gb} = \arctg\left(\frac{r}{R_b}\right) ; \quad \beta_{mb} = \arctg\left(\frac{\delta - r}{r + R_{mb}}\right) ; \quad (15)$$

$$R_{mb}^2 = -r + \sqrt{R_{gb}^2 + (\delta - r)^2} \quad \text{або} \quad R_{mb}^2 = -r + \sqrt{r^2 + R_b^2 + (\delta - r)^2} \quad (16)$$

$$\varphi_{2b} = \theta_s + \beta_{gb} + \beta_{mb} . \quad (17)$$

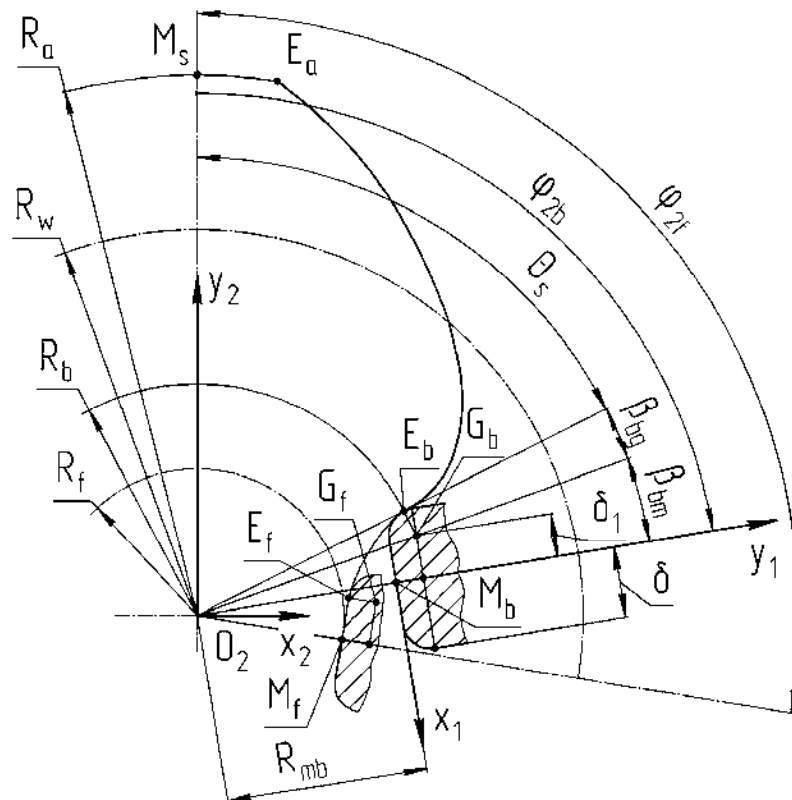


Рис. 2. Схема формування міжзубцевої западини ЗК

Для процесу РКЗД характерною точкою профілюючої поверхні ДФ (поверхню отримано як сукупність положень лез різальних зубців під час обертання ДФ навколо своєї осі) є точка  $M$ , що розташована на площині міжосьового перпендикуляра найближче до осі заготовки ЗК і найбільш віддалено від осі ДФ. Площина міжосьового перпендикуляра містить вісь обертання інструментальної ексцентрикової оправки і точку перетину з віссю заготовки ЗК. Положення характерної точки  $M$  постійно змінюється і залежить від проекції  $e_1$  відрізка ексцентрисистету на площину міжосьового перпендикуляра:

$$e_1 = e \cdot \cos \varphi_1 . \quad (15)$$

Найкоротша відстань  $A_2$  у площині міжосьового перпендикуляра між осями обертання заготовки ЗК та інструментальної ексцентрикової оправки визначаємо за двома залежностями:

$$A_2 = R_f + R_1 + e ; \quad (16)$$

$$A_2 = R_m + R_1 - e_1 , \quad (17)$$

де  $R_f$  – радіус кола западин ЗК;  $R_1$  – радіус ДФ (відповідає радіусу кола, на якому розташована середина лез різальних зубців, точка  $M$ ).

Прирівнюючи (16) та (17), виражаємо величину ексцентриситету  $e$  через відповідні конструктивні параметри:

$$e = \frac{R_m - R_f}{1 + \cos \varphi_1} . \quad (18)$$

Беручи до уваги вирази (11), (16) – (18) для контактної точки  $E_b$ , шукана величина ексцентриситету  $e_b$ , за якого не очікується інтерференція синусоподібного та евольвентного профілю, може бути визначена за залежністю:

$$e = \frac{R_{mb} - R_f}{1 + \cos(z \cdot \varphi_{2b})} . \quad (18)$$

Для того, щоб скористатися наведеними залежностями, потрібно встановити ширину леза  $2\delta$  зубця ДФ. Орієнтовно значення  $2\delta$  можна визначити із профілю інструментальної рейки. Цей профіль застосовують для профілювання традиційних зуборізальних інструментів як черв'ячні фрези, довбачі, гребінки тощо. Інструментальний профіль, своєю чергою, знаходять, використовуючи стандартизований вихідний контур зубчастої рейки. Враховуючи геометричну побудову, товщина зубця  $S_{ra}$  інструментальної рейки на повній висоті її зубця буде

$$S_{ra} = \frac{1}{2} \cdot P - 2 \cdot h_{fr} \cdot \operatorname{tg} \alpha_w , \quad (19)$$

де  $P$  – крок інструментальної рейки (дорівнює  $P = \pi \cdot m$ );  $h_{fr}$  – висота ніжки інструментальної рейки (приймається такою, що дорівнює висоті ніжки зубця ЗК, наприклад,  $h_{fr} = 1,25 \cdot m$ ).

Шукане значення  $2\delta$  визначаємо за розрахованою величиною  $S_{ra}$ , яку потрібно заокруглити до меншого ближчого із ряду переважальних чисел, або до стандартного значення товщини (ширини) твердосплавної пластини відповідного типу, які планується застосувати як різальні у корпусі ДФ. На цьому етапі потрібно призначити величину  $r$ , або вибираючи її із міркувань загострення, встановити для певного типу вибраної твердосплавної пластини.

Застосовуваний для процесу РКЗД інструмент – ДФ передбачається споряджати різальними зубцями двох типів. Перший тип – прорізувальні зубці ДФ. Методику розрахункового вибору їх параметрів наведено вище. Однак ці зубці ДФ здійснюють лише зняття основного припуску із міжзубцевої западини заготовки ЗК. Для кінцевого надання зубцям ЗК евольвентного профілю пропонується застосовувати другий тип зубців – профільні зубці ДФ. Евольвентний профіль зубця ЗК утворюється загалом методом копіювання у момент часу, коли відбувається контакт прорізувальних зубців із початком евольвенти, тобто у точці  $E_b$  (рис. 2). Доцільно координати профілю профільних зубців ДФ встановити у системі координат  $X_1M_bY_1$ , яка суміщена із точкою

$M_b$  різального леза. Для цього потрібно знайти в системі координат  $X_2O_2Y_2$ , проекція однієї осі якої збігається з площиною симетрії зубця ЗК, координати точки евольвенти  $E$  :

$$\begin{aligned}x_2 &= \rho \cdot \cos(\theta_S - \theta) ; \\y_2 &= \rho \cdot \sin(\theta_S - \theta) .\end{aligned}\quad (20)$$

Використовуючи операції повороту та прямолінійного переміщення системи координат, запишемо координати точки евольвенти зубця ЗК у системі координат  $X_1M_bY_1$  профільного зубця:

$$\begin{aligned}x_{12} &= x_2 \cdot \cos(\varphi_{2b}) - y_2 \cdot \sin(\varphi_{2b}) ; \\y_{12} &= x_2 \cdot \sin(\varphi_{2b}) + y_2 \cdot \cos(\varphi_{2b}) .\end{aligned}\quad (21)$$

$$x_1 = x_{12} ; \quad y_1 = y_{12} - R_{mb} .\quad (22)$$

Отримаємо вирази для визначення координат профілю різальних лез профільних зубців ДФ у системі координат зубців:

$$\begin{aligned}x_2 &= \rho \cdot \cos(\theta_S - \theta + \varphi_{2b}) ; \\y_2 &= -R_{mb} + \rho \cdot \sin(\theta_S - \theta + \varphi_{2b}) .\end{aligned}\quad (23)$$

Залежності (23) дають змогу повністю розрахувати координати різальної частини лез групи профільюючих зубців ДФ. Загальний вигляд залежностей свідчить про те, що профіль лез зубців не залежить від зовнішнього діаметра ДФ, що має позитивне значення для практичного застосування ДФ, оскільки, здійснюючи в процесі експлуатації ДФ перезагострення профільюючих зубців можна не остерігатися зменшення діаметральних розмірів ДФ, а відтак впливу перезагострення на параметри точності профілю зубців ЗК.

#### **Висновки:**

1. Розроблені передумови створення нової концепції проектування дискових зуборізних інструментів, які належать до групи комбінованих за функціональним застосуванням різальних зубців – прорізувальних та профільних, розташованих відповідно на периферії та торцевих ділянках інструмента.

2. Обґрунтована доцільність застосування дискових профільних фрез за умови безперервного ділення на операціях зубонарізання евольвентних циліндричних зубчастих коліс, які виконують на зубофрезерних верстатах, замість модульних дискових фрез, що працюють за методом копіювання за дискретного ділення.

3. Отримані математичні моделі, які дають змогу спроектувати дисковий профільний зуборізальний інструмент та вибрати основні технологічні параметри для реалізації безперервного процесу радіально-колового зубонарізання на зубофрезерних верстатах, забезпечуючи підвищення продуктивності праці та знижуючи частку вартості зуборізального інструмента у технологічній собівартості операції.

1. Литвиняк Я.М. Підвищення ефективності операції виготовлення циліндричних евольвентних зубчастих коліс радіальним формоутворенням зубців / Я.М. Литвиняк, І.Є. Грицай // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2009. - № 642: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – С. 18 – 24. 2 Пастернак С.І., Данильченко Ю.М., Сторчак М.Г., Кривошея А.В. Експериментальне дослідження контурної обробки зубчастих коліс дисковим інструментом // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: зб. наук. пр. Тематичний випуск «Проблеми механічного приводу». – Харків, 2010. – №26. – С. 94–101. 3. Литвиняк Я.М. Інструментальне забезпечення отримання евольвентного профілю зубців циліндричних коліс способом радіально-колового формоутворення / Я.М. Литвиняк, І.Є. Грицай // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2010. – № 679: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – С. 14–21.