

## АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ТОЧКИ РІЗАЛЬНОЇ КРОМКИ РІЗЬОВОГО РІЗЦЯ У ПРОЦЕСІ ФОРМОУТВОРЕННЯ КОНІЧНОЇ ГВИНТОВОЇ НАРІЗИ НА ТРУБАХ НАФТОГАЗОВОГО СОРТАМЕНТУ

О.Р. Онисько

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15;  
e-mail: O. Onysko@nuing.edu.ua

Конічні гвинтові нарізи широко застосовуються у техніці, зокрема у конструкціях труб нафтогазового сортаменту. Їх виготовлення та ремонт здійснюється за допомогою нарізних токарних різців, тож точність нарізних конічних поверхонь значною мірою залежить від точності різальної кромки різця та точності його переміщень відносно деталі. У векторній формі отримано аналітичні вирази руху точки різальної кромки, виконані із застосуванням кругових векторних функцій. Це дає можливість максимально наблизити теоретичні дослідження до практичного їх використання щодо визначення траєкторій рухів точок різальної кромки нарізного різця, векторів їхніх швидкостей та складових частин цих швидкостей: швидкості головного руху, а також рухів повздожньої та поперечної подач. На базі зазначених векторних формул у статті отримано формули розрахунку кута підйому гвинтової конічної лінії, а також кут між вектором головного руху та вектором результуючого руху точки різальної кромки різця.

Ключові слова: конічна гвинтова нарізь, кут підйому нарізі, конічна гвинтова поверхня, кругова векторна функція, нарізний різець.

Конические винтовые резьбы широко применяются в технике, в частности в конструкциях труб нефтегазового сортамента. Их изготовление и ремонт осуществляется с помощью резьбовых токарных резцов, поэтому точность резьбовых конических поверхностей в значительной степени зависит от точности режущей кромки резца и точности его перемещения относительно детали. В векторной форме получены аналитические зависимости движения точки режущей кромки, выполненные на основе применения круговых векторных функций. Это позволяет максимально приблизить теоретические исследования к практическому их использованию по определению траекторий движений точек режущей кромки резьбового резца, векторов их скоростей и составных частей этих скоростей: скорости главного движения и движений продольной и поперечной подач. На базе указанных векторных формул в статье получены формулы расчета угла подъема винтовой конической линии, а также угол между вектором главного движения и вектором результирующего движения точки режущей кромки резца.

Ключевые слова: коническая винтовая резьба угол подъема резьбы, коническая винтовая поверхность, круговая векторная функция, резьбовой резец.

The taper screw thread is widely used in engineering, particularly in the construction of gas and oil pipe assortments. Their manufacture and repair are performed by using turning tools, so precision of the taper helical surfaces largely depends on the accuracy of the turning tool cutting edge and its movement relative to the detail. In the article the analytical dependence of the cutting edge point movement was determined in the vector form using circular vector functions, thus making it possible to bring theoretical research close to practical application and determine the point movement trajectory of the turning tool cutting edge, velocity vectors and velocity components: the principal movement velocity and movements of longitudinal and transverse motion. On the basis of these vector formulas, the lead angle of the tapered line and the angle between the principal motion vector and resulting motion vector of the turning tool cutting edge point was determined in the article.

Key words: taper screw thread, lead angle, taper helical surface, circular vector function, thread turning tool.

**Вступ.** Конічні гвинтові нарізи набули широкого застосування у побуті й техніці, у мережах водо-газогонів і особливо у трубних з'єднаннях нафтогазовидобувного комплексу. Від якості цих з'єднань значною мірою залежать продуктивність процесу згвинчування, герметичність колони і її механічна міцність. На сучасному етапі розвитку виробництва труб нафтогазового сортаменту формування їхніх різьових кінців займає вагомому частку процесу виготовлення. У більшості трубних компаній цей процес представлений технологією різоточіння. Теоретичним підґрунтям забезпечення точності виконання конічної гвинтової нарізі може слугувати аналітичний опис взаємного руху інструмента і деталі. Складовою частиною

цього опису, очевидно, мав би бути аналітичний опис траєкторії і швидкості руху вершини різця відносно поверхні тіла заготовки.

**Огляд досліджень і публікацій.** Теоретичні дослідження гвинтових ліній і гвинтових поверхонь були предметом розгляду ряду публікацій, які стосувалися як чисто геометричних пошуків, так і досліджень, спрямованих у русло теорії формування гвинтової нарізі. Публікація [1] обмежена вивченням формування звичайних (тобто циліндричних, а не конічних) гвинтових поверхонь. Дослідження [2] стосуються гвинтових нарізей нафтогазового сортаменту, але абсолютно не стосуються теорії гвинтових ліній загалом і конічних зокрема. У ро-

ботах [3, 4, 5, 6] частково застосовується теоретична основа гвинтових ліній чи гвинтового руху, але тільки щодо циліндричних поверхонь. У роботах [7, 8, 9, 10] йдеться саме про геометричні та аналітичні дослідження гвинтових ліній. Зокрема робота [7] цікава застосуванням колових векторних функцій, завдяки яким доволі легко отримано аналітичні залежності, які описують гвинтову лінію, але цей опис обмежений гвинтовою лінією тільки на циліндричній поверхні. Найбільш всебічною, з точки зору формоутворення гвинтових поверхонь, є робота [8], у якій частково йдеться про кінчну гвинтову лінію зі сталим кутом підйому. На наш погляд, ця лінія не є утилітарною, оскільки відомі у техніці кінчні нарізи ґрунтуються на теорії кінчних гвинтових ліній зі сталим кроком, а не підйомом.

**Кінчна гвинтова лінія зі сталим кроком.** На рисунку 1 у декартовій системі координат  $OXYZ$  показано конус із віссю  $OO_1$ , що збігається з віссю  $Z$ . Радіус основи конуса має значення  $R$ . На поверхні конуса розміщена гвинтова лінія  $M_0N_0M_1N_1M_2$  зі сталим кроком  $P$ , що визначається у напрямку, паралельному до осі  $Z$ . Від звичайної (тобто циліндричної) гвинтової загалом лінії відрізняється тим, що кожна із її точок розміщена на поверхні радіус якої має значення відмінне від інших. Наприклад точка  $N_0$  розміщена на колі з радіусом  $r_0$ , а точка  $M_0$  — на колі з радіусом  $R$ . У роботі [9] отримано аналітичний вираз, який функціонально узалежнює кут підйому  $\theta$  кінчної гвинтової лінії від її кроку  $P$ , діаметра основи  $d$  і половинного кута при вершині  $\beta$ :

$$\theta = \arcsin \frac{1}{\sqrt{\pi^2 d^2 / P^2 + 1 / \cos^2 \beta}} \quad (1)$$

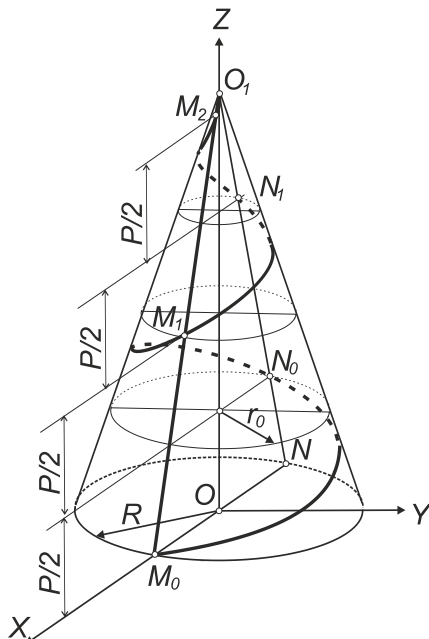


Рисунок 1 – Схема кінчної гвинтової лінії  $M_0N_0M_1N_1M_2$  зі сталим кроком  $P$  у декартовій системі координат  $OXYZ$

На рисунку 1 кут  $\alpha$  відповідає куту нахилу твірної конуса  $M_0M_2$  до його осі, тобто  $\beta = \angle M_0O_1O$ , діаметр основи –  $d = |M_0N|$ .

На наш погляд, робота [9] містить такі недоліки:

- рівняння 1 не дає можливості визначити напрям підйому гвинтової лінії;
- вектор-функція, годографом якої є дана гвинтова лінія, описаний у координатах  $OXYZ$ :

$$\vec{r}(t) = \frac{P \cdot \operatorname{tg} \beta}{2\pi} \varphi \cdot \cos \varphi \cdot \vec{i} + \frac{P \cdot \operatorname{tg} \beta}{2\pi} \varphi \cdot \sin \varphi \cdot \vec{j} + \frac{P \cdot \varphi}{2\pi} \vec{k}, \quad (2)$$

де  $\varphi$  – кут повороту точки  $M$ , яка належить гвинтовій лінії навколо осі  $OZ$ .

Незручність даного рівняння полягає у тому, що тут не враховані вектори радіального і тангенціального переміщень точки  $M$ , які, очевидно, є складовими руху вершини різця у процесі нарізання кінчних гвинтових нарізів.

Аналогічне рівняння (2) представлено у роботі [10]. Розрахунок кута підйому кінчної гвинтової лінії у цій роботі пропонують проводити за наступним рівнянням:

$$\theta = \operatorname{arctg} \left[ \frac{P}{\sqrt{P^2 \operatorname{tg}^2 \beta + \pi^2 (d_1 + 2l \cdot \operatorname{tg} \beta)^2}} \right], \quad (3)$$

де  $l$  – поточна відстань у напрямку від меншої основи конуса до більшої;

$d_1$  – діаметр меншої основи конуса. Якщо  $\beta=0$  то матимемо формулу розрахунку кута підйому циліндричної гвинтової лінії.

У роботі [7] подається поняття **кругових векторних функцій**, які можна прийняти за теоретичну базу для опису траєкторій руху, який складається із тангенціальних та радіальних переміщень. На рисунку 2 у прямокутних координатах  $XOY$  зображено два одиничних вектори  $\vec{e}(\varphi)$  і  $\vec{g}(\kappa)$ , які із віссю  $OX$  утворюють кути  $\varphi$  і  $\pi/2 + \varphi$ . Оскільки значення вектора цілком визначається величиною кута  $\varphi$ , то він є функцією цього кута. Своєю назвою його названо круговою векторною функцією  $\vec{e}(\varphi)$ .

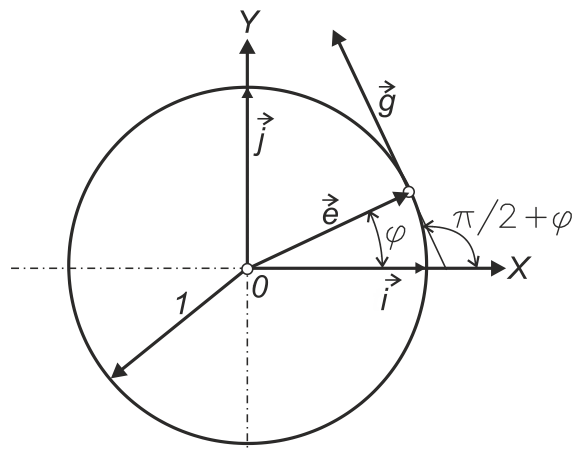


Рисунок 2 – Схема розміщення кругових векторних функцій

Іншу кругову векторну функцію це  $\vec{g}(\varphi)$  можна виразити у такий спосіб:

$$\vec{g}(\varphi) = \vec{e}\left(\varphi + \frac{\pi}{2}\right).$$

З іншого боку, оскільки вектор  $\vec{g}(\varphi)$  є дотичним до одиничного кола, то:

$$\vec{g}(\varphi) = \frac{d\vec{e}}{d\varphi}. \quad (4)$$

**Мета статті** полягає у тому, щоб аналітичний опис конічної гвинтової лінії складався із суми тангенціального, радіального і осьового переміщень точки різальної кромки різьбового різця.

**Постановка задачі.** Для досягнення поставленої мети слід побудувати теоретичну гвинтову конічну лінію у кругових координатах на основі одиничних векторів: радіального одиничного вектора  $\vec{e}$ , тангенціального одиничного вектора  $\vec{g}$ , Для осьового вектора слід застосувати орт  $\vec{k}$ .

**Виклад основного матеріалу.** На рисунку 3 показано схему утворення конічної гвинтової лінії як результату гвинтового руху точки  $M$ , яку можна задати за допомогою радіус-вектора  $\vec{r}$ . Як бачимо з рисунку, параметром руху точки  $M$  є  $\varphi$  – кут повороту навколо осі конуса – осі  $Z$ . Точка  $D$  є проекцією точки  $M$  на площину  $XOZ$ . Положення цієї точки можна визначити параметром  $\varphi$  і параметром  $a$  – радіусом кола, на якому вона лежить. Застосовуючи поняття кругових векторних функцій, можна визначити положення точки  $D$  за допомогою радіус-вектора  $\vec{AD} = \vec{e}(\varphi) \cdot a$ . В такому разі можемо визначити радіус-вектор  $\vec{r}$ :

$$\vec{r} = a \cdot \vec{e}(\varphi) + \vec{DM}.$$

Якщо застосувати поняття параметра гвинта  $p = \frac{h}{\varphi}$ , де  $h$  – величина осьового переміщення довільної точки  $M$  на гвинтовій лінії, то вектор  $\vec{DM} = \vec{k}p\varphi$ . Таким чином, визначити радіус-вектор руху точки  $M$  можна за формулою

$$\vec{r} = a \cdot \vec{e}(\varphi) + \vec{k}p\varphi. \quad (5)$$

Саме така формула подається у [8] для визначення радіус-вектора руху точки  $M$  по циліндричній гвинтовій лінії, тобто якщо  $a=R=const$ . У роботі [8] ця формула має назву векторне рівняння звичайної гвинтової лінії. Під звичайною гвинтовою лінією там прийнято вважати циліндричну гвинтову лінію зі сталим кроком. У випадку із конічною гвинтовою лінією величина  $a$  є змінною, яка залежить від певних параметрів, наприклад від параметра –  $\varphi$ .

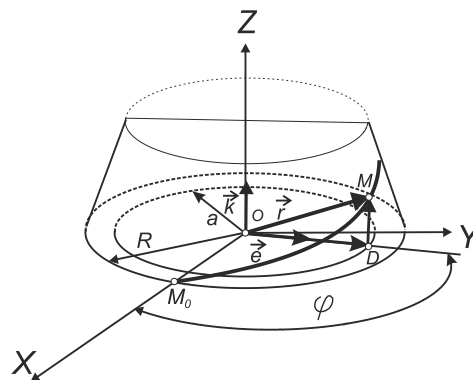


Рисунок 3 – Схема гвинтового руху точки  $M$  по конічній поверхні у кругових векторних функціях

**Векторне рівняння конічної гвинтової лінії зі сталим кроком.** Оскільки  $a = f(\varphi)$ , то рівняння 5 для конічної гвинтової лінії набуде такого вигляду:

$$\vec{r} = \vec{e}(\varphi) \cdot a(\varphi) + \vec{k}p\varphi; \quad (6)$$

якщо гвинт зі сталим кроком  $P$ , то параметр гвинта  $p$  визначатиметься за формулою:

$$p = \frac{P}{2\pi}; \quad (7)$$

якщо  $a(\varphi) = const$  то гвинтова лінія є звичайною циліндричною.

На рисунку 4 зображено фронтальну проекцію конічної гвинтової лінії із рисунку 1. Для довільної точки  $M$ , що лежить на гвинтовій лінії із параметром  $p$  можна визначити змінну величину  $a(h)$  за формулою:

$$a(h) = R - \Delta a = R - h \cdot \text{tg}(\beta), \quad (8)$$

де  $\beta$  – половинний кут при вершині конуса.

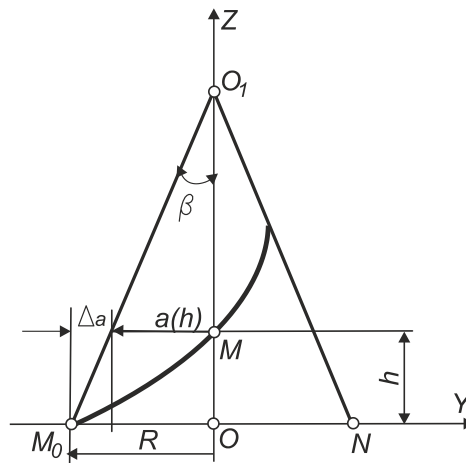


Рисунок 4 – Фронтальна проекція конічної гвинтової лінії зі сталим кроком

Оскільки  $h = p\varphi$  (див.[8]), то формулу 8 можна подати у такому вигляді:

$$a(\varphi) = R - p\varphi \cdot \text{tg}(\beta). \quad (9)$$

Якщо розрахунок вести щодо меншої основи зрізаного конуса із радіусом  $r$ , тоді формула набуде такого вигляду:

$$a(\varphi) = r + p\varphi \cdot \text{tg}(\beta). \quad (10)$$

Підставивши формули 9 або 10 у рівняння 6, отримаємо такі варіанти векторного рівняння конічної гвинтової лінії зі сталим кроком:

$$\vec{r} = \vec{e}(\varphi) \cdot (R - p \cdot \varphi \cdot \operatorname{tg}(\beta)) + \vec{k} p \varphi; \quad (11)$$

або, якщо переміщення здійснюється у протилежному напрямку:

$$\vec{r} = \vec{e}(\varphi) \cdot (r + p \cdot \varphi \cdot \operatorname{tg}(\beta)) - \vec{k} p \varphi, \quad (12)$$

де  $R$  – більша основа зрізаного конуса;  
 $r$  – менша основа зрізаного конуса;  
 $\beta$  – половинний кут при вершині конуса;  
 $p$  – параметр гвинта, що визначається за формулою 7.

**Векторне рівняння швидкості руху довільної точки гвинтової конічної лінії.** Вектор швидкості довільної точки  $M$  на конічній гвинтовій лінії, спрямований по дотичній до цієї лінії у даній точці. На рисунку 5 показано дотичну ( $MU$ ) до гвинтової конічної лінії у її точці  $M$ . У точці  $D$  на даному рисунку, окрім орта  $\vec{k}$ , проставлено ще і круговий одиничний вектор  $\vec{g}$ , який є дотичний до кола з радіусом  $a(\varphi)$ . Відрізок ( $DJ$ ) є проекцією вектора швидкості  $\vec{MU}$  на площину  $XOY$ .

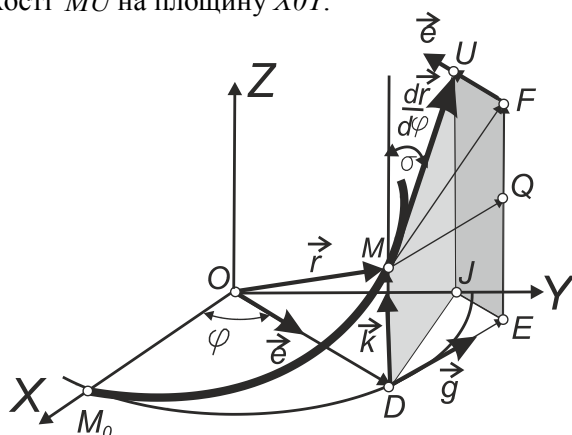


Рисунок 5 – Схема розміщення вектора швидкості довільної точки M конічної гвинтової лінії

Якщо взяти похідну від функції  $\vec{r}(\varphi)$ , тобто продиференціювати по  $d\varphi$  рівняння 6, то отримаємо векторне рівняння швидкості довільної точки  $M$  конічної гвинтової лінії. Воно набуде наступного вигляду:

$$\frac{d\vec{r}}{d\varphi} = a'(\varphi) \cdot \vec{e}(\varphi) + a(\varphi) \cdot \frac{d\vec{e}}{d\varphi} + \vec{k} p, \quad (13)$$

де залежить від того у якому напрямку здійснюється гвинтовий рух:

– від більшої основи конуса до меншої:

$$a'(\varphi) = -p \cdot \operatorname{tg}(\beta),$$

від меншої – до більшої:

$$a'(\varphi) = p \cdot \operatorname{tg}(\beta).$$

Якщо у рівняння 13 підставити формулу 4, то воно набуде такого вигляду:

$$\frac{d\vec{r}}{d\varphi} = -p \cdot \operatorname{tg}(\beta) \cdot \vec{e}(\varphi) +$$

$$+ (R - p \cdot \varphi \cdot \operatorname{tg}(\beta)) \vec{g}(\varphi) + p \vec{k};$$

або

$$\frac{d\vec{r}}{d\varphi} = p \cdot \operatorname{tg}(\beta) \cdot \vec{e}(\varphi) +$$

$$+ (r + p \cdot \varphi \cdot \operatorname{tg}(\beta)) \vec{g}(\varphi) - p \vec{k}.$$

**Складові швидкості руху довільної точки конічної гвинтової лінії** фактично присутні у рівняннях 14 і 15. Отож, виходячи із вказаних рівнянь і користуючись рисунком 5, визначимо радіальну, тангенціальну і осьову складові вектора швидкості руху довільної точки конічної гвинтової лінії.

Радіальна складова  $\vec{V}_r$  відповідає вектору  $\vec{UF}$ , який може бути спрямований і у протилежному напрямку:

$$|\vec{V}_r| = \pm p \cdot \operatorname{tg}(\beta). \quad (16)$$

Тангенціальна складова  $\vec{V}_t$  відповідає вектору  $\vec{MQ}$ , який, у свою чергу, дорівнює вектору  $\vec{DE}$ :

$$|\vec{V}_t| = R - p \cdot \varphi \cdot \operatorname{tg}(\beta),$$

або

$$|\vec{V}_t| = r + p \cdot \varphi \cdot \operatorname{tg}(\beta). \quad (17)$$

Осьова складова  $V_a$  відповідає вектору  $\vec{QF}$ :

$$|\vec{V}_a| = \pm p. \quad (18)$$

Отримана формула розрахунку осьової складової швидкості руху відповідає аналогічній складовій швидкості руху довільної точки циліндричної гвинтової лінії зі сталим кроком. Формула 16 доводить постійний характер радіальної складової. У випадку, якщо кут  $\beta$  має нульове значення, таке ж значення матиме і радіальна складова. Тобто вона відсутня, якщо гвинтова лінія є циліндричною. Тангенціальна складова, як бачимо із формули 17, є змінною величиною і залежить від величини  $\varphi$ , причому ця залежність є лінійною.

**Рухи інструмента і заготовки при виконанні конічної гвинтової нарізи.** Формула осьової складової швидкості руху, якщо у неї підставити формулу 4, отримає наступний вигляд:

$$|\vec{V}_a| = \pm \frac{P}{2\pi}.$$

Тобто це – формула для розрахунку подачі на оберт  $S_{об}$ , (мм/об). Напрямок вказує на застосування правого, або лівого різця.

Формула 16 після такої ж підстановки набуде такого вигляду:

$$|\vec{V}_r| = \pm \frac{P}{2\pi} \cdot \operatorname{tg}(\beta).$$

Тобто це – формула для розрахунку поперечної подачі, що припадає на один оберт (мм/об). Формула враховує як доцентрове, так і відцентрове переміщення різця.

Формули 17 відповідають розрахунку швидкості головного руху, якщо підставити у них формулу:

$$\varphi = 2\pi n t,$$

то:

$$|\vec{V}_t| = R - p \cdot \varphi \cdot \operatorname{tg}(\beta) = R - \frac{P}{2\pi} 2\pi n t \cdot \operatorname{tg}(\beta) = R - P n t \cdot \operatorname{tg}(\beta).$$

Тобто головний рух у випадку точіння конічної гвинтової нарізі можна розрахувати за формулами:

$$V_b = R - P n t \cdot \operatorname{tg}(\beta), \text{ (мм/хв)}$$

або

$$V_b = r + P n t \cdot \operatorname{tg}(\beta), \text{ (мм/хв)} \quad (19)$$

де  $n$  – частота обертання,  $\text{хв}^{-1}$ ,  
 $t$  – час,  $\text{хв}$ .

Згідно із [11] результуючий рух визначається як сума головного руху і руху подачі, тому, очевидно, формули 14 і 15 описують у векторній формі результуючий рух  $\vec{V}_e$ . Скалярне значення цієї швидкості, виходячи із формул 14 і 15, а також рисунку 5, можна визначити у такий спосіб:

$$V_e = \sqrt{p^2 \operatorname{tg}^2(\beta) + (R - p \operatorname{tg}(\beta))^2 + p^2},$$

або

$$V_e = \sqrt{p^2 \operatorname{tg}^2(\beta) + (r + p \operatorname{tg}(\beta))^2 + p^2}. \quad (20)$$

**Визначення кута підйому конічної гвинтової лінії зі сталим кроком.** Враховуючи, що

$\varphi = \frac{h}{p}$  (див. рис. 4), формули 14 і 15 можна подати у такому вигляді:

$$r'(h) = -\frac{P}{2\pi} \cdot \operatorname{tg}(\beta) \cdot \vec{e}(z) + (R - h \cdot \operatorname{tg}(\beta)) \cdot \vec{g}(z) + \frac{P}{2\pi} \cdot \vec{k}; \quad (21)$$

$$r'(h) = \frac{P}{2\pi} \cdot \operatorname{tg}(\beta) \cdot \vec{e}(z) + (r + h \cdot \operatorname{tg}(\beta)) \cdot \vec{g}(z) + \frac{P}{2\pi} \cdot \vec{k}, \quad (22)$$

де  $h$  – відстань точки  $M$  від більшої чи меншої основи зрізаного конуса.

На рисунку 5 зображено кут  $\sigma$  нахилу дотичної до гвинтової лінії у довільній точці  $M$ . Цей кут лежить у площині  $DMUJ$ . Кут нахилу гвинтової лінії  $\theta$  лежить у тій самій площині і  $\theta = \pi/2 - \sigma$ . Користуючись рисунком, можна, застосовуючи теорему Піфагора констатувати наступне:

$$|DJ| = \sqrt{|JE|^2 + |DE|^2}.$$

З іншого боку,

$$\operatorname{tg}(\theta) = \frac{|QF|}{|DJ|}.$$

Оскільки  $|QF| = p = \frac{P}{2\pi}$ ,  $|JE| = \frac{P \cdot \operatorname{tg}(\beta)}{2\pi}$ , а

$|DE| = R - h \cdot \operatorname{tg}(\beta)$ , або  $|DE| = r + h \cdot \operatorname{tg}(\beta)$ , то кут підйому  $\theta$  можна визначити за формулою:

$$\theta = \arctg \left[ \frac{P}{\sqrt{P^2 \operatorname{tg}^2(\beta) + \pi^2 (2R - 2h \cdot \operatorname{tg}(\beta))^2}} \right],$$

або

$$\theta = \arctg \left[ \frac{P}{\sqrt{P^2 \operatorname{tg}^2(\beta) + \pi^2 (2r + 2h \cdot \operatorname{tg}(\beta))^2}} \right]. \quad (23)$$

Отримана формула відповідає рівнянню 3, яке запропоноване у [10], але вона, на відміну від думки авторів [10], не може слугувати для розрахунків налаштування інструментів для обробки гвинтових нарізей. Це пов'язано із тим, що кут  $\theta$  розміщений у площині  $MDUJ$ , яка є дотичною до гвинтової лінії у даній точці  $M$ . По суті, це є кут між швидкістю переміщення точки  $M$  і проекцією вектора  $\vec{g}$  на вказану площину.

**Кут між статичною та кінематичною основними площинами** у довільній точці  $M$  різальної кромки різьбового різця.

На рисунку 6 показано комплексне креслення конічної гвинтової лінії, яка відображена на схемах з рисунків 4, 5. Довільна точка  $M$  цієї лінії на кресленні є одночасно довільною точкою різальної кромки.

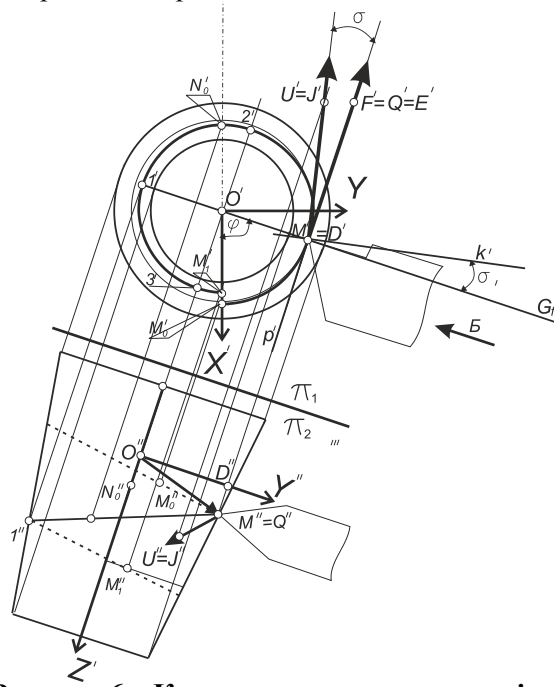


Рисунок 6 – Комплексне креслення конічної гвинтової лінії

У точці М проставлено такі вектори:  
 –  $\vec{M'Q'}$ , який відповідає вектору головного руху  $\vec{V}_b$ ;

–  $\vec{M'U'}$ , який є проекцією результуючого вектора  $\vec{V}_e$  на площину XY.

У фронтальній площині проєкцій  $\pi_1$  через точку М проведено наступні прямі:

– перпендикулярно до  $\vec{V}_b$  проведено фронтальний слід  $Gf$  статичної основної площини;

– перпендикулярно до вектора  $\vec{M'U'}$  фронтальна проєкція прямої  $k$ , яка разом із прямою  $p$  відображають кінематичну основну площину.

Величину кута  $\sigma$  між означеними векторами можна визначити із трикутника  $DEG$  (рисунк 5), користуючись формулами 16, 17, за таким виразом:

$$\sigma = \arctg \frac{|EG|}{|DE|} = \arctg \left( \frac{\pm p \cdot \operatorname{tg}(\beta)}{R - p\varphi \cdot \operatorname{tg}(\beta)} \right),$$

або

$$\sigma = \arctg \left( \frac{\pm p \cdot \operatorname{tg}(\beta)}{r + p\varphi \cdot \operatorname{tg}(\beta)} \right). \quad (24)$$

Дійсне значення кута  $\psi$  між векторами головного та результуючого руху можна знайти із уявного прямокутного трикутника  $MQU$  (рисунк 5):

$$\psi = \arctg \frac{|UQ|}{|MQ|} = \arctg \left[ \frac{\sqrt{|FQ|^2 + |FU|^2}}{|MQ|} \right] =$$

$$= \arctg \left( \frac{\sqrt{p^2 \operatorname{tg}^2 \beta + p^2}}{R - p\varphi \cdot \operatorname{tg}(\beta)} \right),$$

або

$$\psi = \arctg \left( \frac{\sqrt{p^2 \operatorname{tg}^2 \beta + p^2}}{r + p\varphi \cdot \operatorname{tg}(\beta)} \right) = \arctg \left( \frac{p\sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta + 1}}{r + h \cdot \operatorname{tg}(\beta)} \right) =$$

$$= \arctg \left( \frac{P\sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta + 1}}{2\pi(r + h \cdot \operatorname{tg}(\beta))} \right), \quad (26)$$

або

$$\psi = \arctg \left( \frac{P\sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta + 1}}{2\pi(R - h \cdot \operatorname{tg}(\beta))} \right), \quad (27)$$

де  $h$  – відстань від більшої, або меншої основи конуса різі уздовж її осі.

Оскільки статичні і кінематичні основні площини у певній точці різальної кромки є перпендикулярними до векторів головного і результуючого рухів відповідно у цій точці, то отримані формули можуть слугувати для розрахунку кута між вказаними основними площинами.

Формула розрахунку кута нахилу різця відповідно до підйому гвинтової лінії. Відомо,

що заради збереження однакових передніх і задніх кутів на правій і лівій гранях різьові різці нахилиють відповідно до кута підйому різальної кромки. Це справедливо тільки щодо циліндричних різей. У даному випадку для визначення даного кута слід знайти кут між вектором головного руху і проекцією вектора результуючого руху на площину, яка містить одиничні вектори  $\vec{g}$  і  $\vec{k}$  (див. рисунок 5). Ця проєкція відповідає вектору  $\vec{MF}$ . Із трикутника  $FMQ$  визначаємо величину цього кута  $\delta$  за таким виразом:

$$\delta = \arctg \left( \frac{|FQ|}{|MQ|} \right) = \arctg \left( \frac{p}{R - p\varphi \cdot \operatorname{tg}(\beta)} \right) =$$

$$= \arctg \left( \frac{P}{2\pi(R - h \cdot \operatorname{tg}(\beta))} \right)$$

або

$$\delta = \arctg \left( \frac{P}{2\pi(r + h \cdot \operatorname{tg}(\beta))} \right). \quad (28)$$

На рисунку 7, який зображено як вигляд Б рисунку 6 через точку М, проведено вектор  $\vec{M'''Q'''}$ , який відповідає векторові головного руху і вектор  $\vec{M'''F'''}$ , що є проєкцією вектора швидкості результуючого руху на площину, яка містить одиничні вектори  $\vec{g}$  і  $\vec{k}$  (тобто площину  $XOZ$ ).

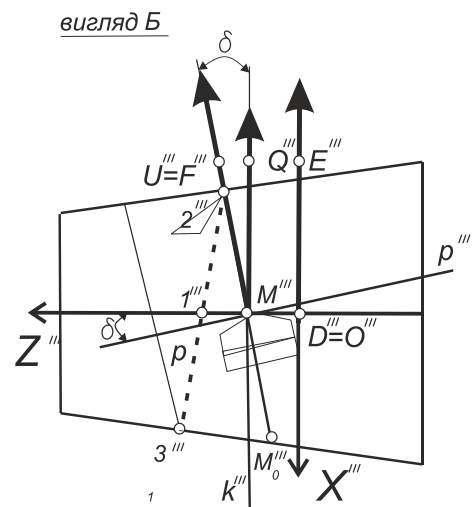


Рисунок 7 – Ілюстрація кута  $\delta$

### Висновки

1. Отриманих вектор-функції руху та швидкості переміщення точки різальної кромки є лінійними рівняннями, якщо кут при вершині конуса вважати константою.

2. Отримані вектор-функції дають можливість розраховувати величини векторів швидкостей головного і результуючого руху а також рухів подач довільної точки різальної кромки у довільний момент часу (при довільній величині кута повороту заготовки).

3. Отримані вектор-функції дають можливість у кожний момент часу отримати величину кута між статичною та кінематичною основними площинами.

В подальшому на основі отриманих функцій планується провести аналітичне дослідження точності виконання конічної гвинтової поверхні у нарізей на трубах нафтогазового сортаменту

### Література

1 Равська Н.С. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці. [текст]: навчальний посібник для студентів спеціальностей 7.090202 – «Технологія машинобудування», 7.090203 – «Металорізальні верстати та системи», 7.090204 – «Інструментальне виробництво» / Н.С. Равська, П.Р. Родін, Т.П. Ніколаєнко, П.П. Мельничук. – Житомир: ЖІТІ, 2000. – 332 с.

2 Мочернюк Д.Ю. Исследование и расчет резьбовых соединений труб, применяемых в нефтедобывающей промышленности [текст] / Д.Ю. Мочернюк. – М.: Недра, 1970. – 137 с.

3 Фомин Е. В. Повышение стойкости и точности резьбовых резцов на основе моделирования процесса резьбонарезания [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 : защищена 22.03.07 : утв. 24.09.07 / Фомин Евгений Владимирович, – М., 2007. – 206 с. – Библиогр.: с. 194–202. – 003653715.

4 Прокофьев А. Н. Технологическое обеспечение и повышение качества резьбовых соединений [Текст]: дис. ... докт. техн. наук : 05.02.08 : защищена 01.07.08 / Прокофьев Александр Николаевич, – Брянск, 2008. – 304 с. – Библиогр.: с.298–302. – 00319276.

5 Смолковский Ф.А. Исследование мнопроходного резьботочения полукруглого (арочно-го) профиля с канавкой в условиях массового производства шариковых винтовых пар. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Смолковский Феликс Анатоліевич, – М., 1983. – 238 с. – Библиогр.: с. 172–176. – 003653715.

6 Орлов Е. М. Совершенствование процесса и инструмента резьботочения. Орлов Евгений Маркович. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Орлов Евгений Маркович. – М., 2004. – 175 с. – Библиогр.: с. 153–165.

7 Норден А.П. Краткий курс дифференциальной геометрии [текст] / А.П. Норден. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1958. – 244с.

8 Люкшин В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов [текст] / В.С.Люкшин. – М.: Машиностроение, 1967. – 372 с.

9 Чернов Б.О. Підвищення експлуатаційних характеристик обсадних колон шляхом удосконалення конструкцій різьбових з'єднань. [текст] / Б.О.Чернов, В.Б.Чернов, М.Є.Чернова, В.Д.Яцишин. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. –2011. – № 1(38). – С. 91-95

10 Роп'як Л.Я. Теоретичне дослідження зміни кута підйому гвинтової лінії конічних різьб [текст] / Л.Я.Роп'як, М.В.Маковійчук, О.В. Рогаль // Резание и инструмент в технологических системах. – 2015. – № 85. – С.252–262.

11 ДСТУ 2249-93. Оброблення різанням. Терміни, визначення та позначення: Обработка резанием. Термины, определения и обозначения: чинний від 1995-01-01. Офіц. вид. – К. : Держстандарт України, 1994. – 63с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
25.04.16*

*Рекомендована до друку  
професором **Мойсишиним В.М.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором **Никифорчиним О.Р.**  
(Прикарпатський національний університет  
ім. В. Стефаника, м. Івано-Франківськ)*