

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ФОРМИ ПРОФІЛЮ ВИХІДНОГО ТРИКУТНИКА ГВИНТОВОЇ ЗАМКОВОЇ НАРІЗІ ВІД ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗЦЯ

О.Р. Онисько, М.І. Псюк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727126,
e-mail: O. Onysko@nung.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 форма профілю нарізних конічних поверхонь значною мірою залежить від профілю різальної кромки різця та його геометричних параметрів. Отримані теоретичні дослідження уможливають визначити осьовий профіль вихідного трикутника гвинтової замкової нарізи у його функціональній залежності від геометричних параметрів різальної кромки нарізних різців. Використання отриманих теоретичних залежностей дасть змогу значно підвищити ефективність виготовлення нарізевих кінців на трубах нафтогазового сортаменту.

Ключові слова: замкова гвинтова нарізь, вихідний трикутник нарізи, конічна гвинтова поверхня, нарізний різець, кут нахилу різальної кромки.

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 форма профиля резьбовых конических поверхностей в значительной степени зависит от профиля режущей кромки резца и его геометрических параметров. Полученные теоретические исследования позволяют определить осевой профиль исходного треугольника винтовой замковой резьбы в его функциональной зависимости от геометрических параметров режущей кромки нарезных резцов. Использование полученных теоретических зависимостей позволит значительно повысить эффективность производства резьбовых концов на трубах нефтегазового сортамента.

Ключевые слова: замковая винтовая резьба, выходной треугольник резьбы, коническая винтовая поверхность, нарезной резец, угол наклона режущей кромки.

Tapered screw threads are widely used in engineering, particularly in oil and gas pipe designs. They are manufactured and repaired with the help of the screw turning tools, so the screw profile form of the conical surfaces largely depends on the tool cutting edge profile and its geometrical parameters. The obtained theoretical studies allow determining of the axial profile of the output triangle screw of the tool-joint screw thread in its functional dependence on geometrical parameters of the tool cutting edge. Use of the obtained theoretical dependencies will significantly increase the efficiency of manufacturing of the threaded pipe ends of oil and gas pipes.

Key words: tool-joint screw thread, output thread triangle, conical helical surface, threading tool, cutting edge inclination angle.

Вступ. Виробництво нарізевих кінців труб нафтогазового сортаменту як правило здійснюється на великих трубних компаніях шляхом застосування автоматизованих і спеціалізованих верстатів на яких профіль нарізи виконується за допомогою токарних нарізевих різців. Таким чином продуктивність і точність виготовлення нарізей бурових та обсадних труб значною мірою залежить від точності профілю та геометричних параметрів зазначених металорізальних інструментів.

Огляд досліджень і публікацій. Визначення профілю гвинтової нарізи у залежності від профілю та геометричних параметрів нарізевого різця описано у публікаціях [1,2,3,4,5,6]. Але проблематикою конічних гвинтових ліній зазначені публікації не охоплюють. Певною мірою вказану тему розглядають у публікаціях [7,8,9]. Попри певні теоретичні здобутки, у зазначених публікаціях не йдеться про відтворення форми профілю конічних гвинтових нарізей у залежності від профілю інструмента та його геометричних параметрів [10].

Згідно із даними [11] на рисунку 1 та таблиці 1 показано профіль трикутної замкової нарізи для муфт та ніпелів для усіх п'яти його форм. Найбільш проблематичними поверхнями цієї нарізи є звісно бічні поверхні профілю які власне і є гвинтовими конічними поверхнями, причому їхній профіль не є ані однаковим, ані дзеркальним.

Крок P вимірюють паралельно до осі гвинтової нарізи, а висоту вихідного трикутника нарізи H – перпендикулярно до цієї ж осі. Кут нахилу гвинтової нарізи ϕ вказано як кут між її середнім діаметром та віссю. K – конусність замкової гвинтової нарізи.

Мета статті полягає в тому, щоб установити функціональну залежність вихідного трикутника гвинтової замкової нарізи від геометричних параметрів токарного різця.

Постановка задачі. Задача полягає у тому, щоб на основі геометричних методів здійснити побудову передньої поверхні різця у декартовій, а також циліндричній системі коор-

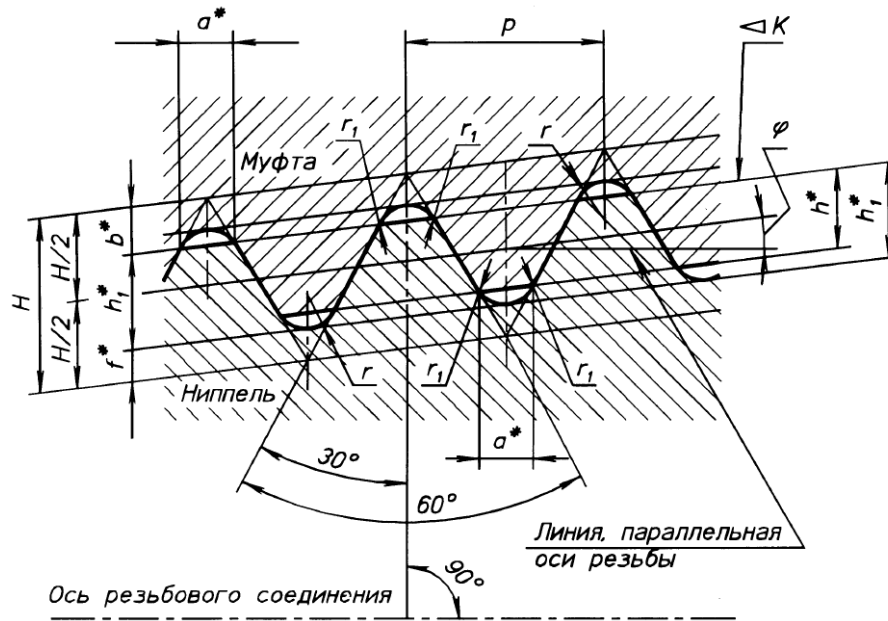


Рисунок 1 – Профіль зовнішньої (муфта) та внутрішньої (ніпель) гвинтової замкової нарізі згідно з міждержавним стандартом ГОСТ 28487–90

Таблиця 1– Розміри деяких елементів ніпеля і муфти до рисунка 1

Параметри і елементи нарізі	Форма профілю				
	I	II	III	IV	V
Кількість кроків на дюйм	4	5			
P	5,08	6,35			
$K(2\text{tg}\varphi)$	1:4		1:6	1:4	
H	4,376	5,471	5,487	5,471	

динат, з тим щоб вивести аналітичні залежності осевого профілю трикутної замкової нарізі від величини переднього кута та кута нахилу різальної кромки різця.

Виклад основного матеріалу. На рисунку 2 показано розрахункову схему профілю замкової гвинтової нарізі за стандартом [12]. Розглянемо вихідний трикутник ABD , у якого усі сторони та кути є різні за величиною. Відомо, що кут DAB має величину 60° . Тож можна визначити величину кута ABD за формулою:

$$\angle ABD = \pi / 2 - 30^\circ - \varphi. \quad (1)$$

В такий сам спосіб можна отримати значення іншого кута – ADB за формулою:

$$\angle ADB = \pi / 2 - 30^\circ + \varphi. \quad (2)$$

Користуючись теоремою синусів можна відшукати величину сторони AB :

$$|AB| = \frac{H \cdot \cos \varphi}{\sin(60^\circ - \varphi)}. \quad (3)$$

Аналогічно можна отримати вираз для розрахунку величини сторони AD :

$$|AD| = \frac{H \cdot \cos \varphi}{\sin(60^\circ + \varphi)}. \quad (4)$$

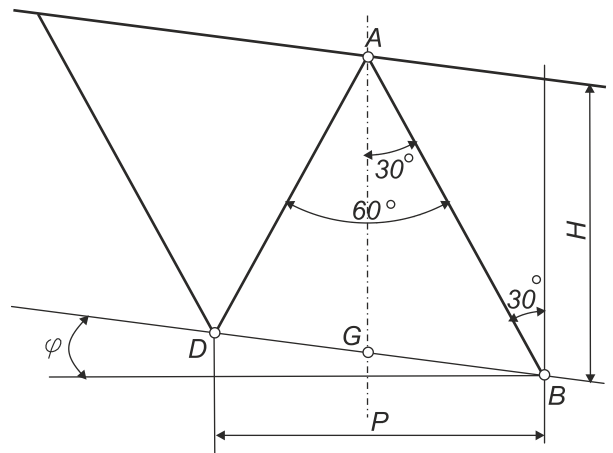


Рисунок 2 – Схема вихідного трикутника конічної гвинтової нарізі

Геометричні параметри різальної частини різального різця. На рисунку 3 зображено комплексне креслення площини ABD передньої поверхні різального різця. Площина проєкцій $\pi 1$ відповідає основній статичній площині у вершинній точці A . Через вершинну точку A проведена фронтально проєктуюча площина, таким чином створена пряма AG , що є лінією перетину цієї площини із передньою поверх-

нею ABD . Як результат у площині π_2 отримано кут $c'a'g'$, який відповідає статичному передньому куту γ_a у точці A . Через довільну точку передньої поверхні D проводимо площину, яка є паралельною до площини проєкцій π_3 . Як результат перетину маємо пряму SD і кут $s''d'n$, який відповідає повороту різця навколо своєї повздожньої осі. На рисунку цей кут позначено – λ_z . При обробці нарізей величина цього кута вибирається рівною куту підйому з метою забезпечення оптимальних значень його задніх і передніх кутів на лівій і правій різальних кромках.

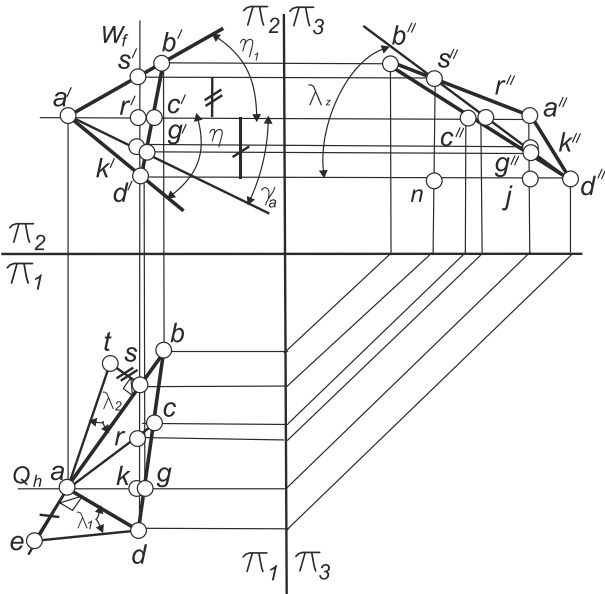


Рисунок 3 – Комплексне креслення площини передньої поверхні ABD різця з геометричними параметрами

Оскільки основна статична площина у точці A співпадає із осью площини гвинтової нарізи, то горизонтальна проєкція плоскої передньої поверхні різця adb повинна бути такою ж як вихідний трикутник ABD на рисунку 2 за стандартом [12]. Побудова натурального значення кута нахилу різальної кромки AB відбувається за відомим методом нарисної геометрії: у точку d опускається перпендикуляр до ad і на ньому відкладається різниця між фронтальними проєкціями точок a і d . Отриманий кут ade є дійсним кутом різальної кромки AD до основної статичної площини. Отже статичний кут λ_1 може бути визначений за формулою:

$$tg(\lambda_1) = \frac{|ae|}{|ad|}. \quad (5)$$

Визначення кута η є необхідним для подальшої побудови конічної гвинтової поверхні у циліндричних координатах. Це є кут нахилу фронтальної проєкції різальної кромки AD до площини π_1 . Його можна визначити із прямокутного трикутника $a'r'd'$. Катет $a'r'$ дорівнює по довжині відрізка ak , який з трикутника AKD можна визначити за формулою:

$$|ak| = |a'r'| \frac{|ad|}{\cos(\angle gad)},$$

де $\angle gad = 30^\circ$ (див. рисунок 2),
 $|ad|$ визначається за формулою 4.
 Отже,

$$|a'r'| = |ak| = \frac{2|ad|}{\sqrt{3}}. \quad (6)$$

Катет $r'd'$ дорівнює різниці між фронтальними проєкціями точок a і d . Отже його можна визначити як величину ae з рівняння 5. Тобто:

$$|r'd'| = |ae| \cdot tg(\lambda_1). \quad (7)$$

Отже використовуючи вирази 6,7 величину кута η визначатимемо за формулою:

$$\eta = \arctg \frac{|r'd'|}{|a'r'|} = \arctg \frac{2tg(\lambda_1)}{\sqrt{3}}. \quad (8)$$

Визначення функціональної залежності між кутами λ_z , λ_1 і λ_2 . Величина кута λ_2 визначена згідно за методикою, що прийнята у нарисній геометрії: на точку s опущений перпендикуляр ts , розмір якого дорівнює різниці фронтальних координат точок s' і r' . Отриманий кут tas має величину, що відповідає натуральному значенню кута нахилу різальної кромки AB . Таким чином цей кут можна визначити за формулою:

$$tg(\lambda_2) = \frac{|s'r'|}{|as|}, \quad (9)$$

де величину as можна визначити із трикутника asd за теоремою синусів і застосовуючи рисунок 2:

$$|as| = \sin(\angle ads) \frac{|ad|}{\sin(\angle asd)} = \frac{\sin 60^\circ |ad|}{\sin 60^\circ} = |ad|. \quad (10)$$

Отже на основі рівнянь 9,10 отримаємо:

$$|s'r'| = tg(\lambda_2) |ad|. \quad (11)$$

Для визначення величини $s'r'$ застосуємо наступні вирази:

$$tg(\lambda_z) = \frac{|s''n|}{|nd''|}, \quad (12)$$

де після застосування формули 7 отримаємо такий вираз:

$$|s''n| = |s'r'| + |r'd'| = |s'r'| + |ad|tg(\lambda_1). \quad (13)$$

Із комплексного креслення видно, що відрізок nd'' дорівнює відрізку sd , який можна визначити із трикутника asd , який судячи із рівняння 10 є рівностороннім. Значить:

$$|nd''| = |sd| = |ad|. \quad (14)$$

Використовуючи формули 12,13,14 отримаємо наступну:

$$|s'r'| = |s''n| - |ad|tg(\lambda_1) = tg(\lambda_z) |nd''| - |ad|tg(\lambda_1) = |ad|(tg(\lambda_z) - tg(\lambda_1)). \quad (15)$$

Якщо порівняти рівняння 11 і 15 то залишиться наступний вираз:

$$tg(\lambda_2) = tg(\lambda_z) - tg(\lambda_1). \quad (16)$$

Визначення кута η_2 є теж необхідним для подальшої побудови конічної гвинтової поверхні у циліндричних координатах. Із трикутника $a's'r'$ та за допомогою рівнянь 6, 11 його визначають за формулою:

$$\operatorname{tg}(\eta_1) = \frac{|s'r'|}{|a'r'|} = \frac{\sqrt{3}\operatorname{tg}(\lambda_2)}{2}. \quad (17)$$

Визначення функціональної залежності між величинами $\gamma_a, \lambda_1, \lambda_z$. Кут γ_a можна визначити із трикутника $ar'k'$ за таким рівнянням:

$$\operatorname{tg}\gamma_a = \frac{|r'k'|}{|a'r'|}.$$

Враховуючи те, що $|k'd'| = |k'j| = |jd''|\operatorname{tg}(\lambda_z) = |kd|\operatorname{tg}(\lambda_z)$ і водночас користуючись формулою 7 отримаємо вираз:

$$|r'k'| = |r'd'| - |k'd'| = |ad|\operatorname{tg}(\lambda_1) - |kd|\operatorname{tg}(\lambda_z).$$

Після підстановки цього виразу і користуючись формулою 6 і 7 отримаємо рівняння:

$$\operatorname{tg}\gamma_a = \frac{|r'k'|}{|a'r'|} = \frac{\operatorname{tg}(\lambda_1)\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{3}|kd|\operatorname{tg}(\lambda_z)}{2|ad|}.$$

Відрізок $|ad|$ визначимо за рівнянням 4, а $|kd|$ можна визначити за формулою:

$$|kd| = |ab|\sin 30^\circ = \frac{|ab|}{2} = \frac{H \cdot \cos \varphi}{2 \cdot \sin(60^\circ - \varphi)}.$$

Таким чином формула, що функціонально пов'язує величини $\gamma_a, \lambda_1, \lambda_z$ буде такою:

$$\operatorname{tg}\gamma_a = \frac{\operatorname{tg}(\lambda_1)\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{3}H \sin(\varphi + 60^\circ)}{4 \sin(60^\circ - \varphi)} \operatorname{tg}(\lambda_z). \quad (18)$$

Побудова передньої поверхні у циліндричних координатах. На рисунку 4 показано розрахункову схему, на якій ABD – площина передньої поверхні. У площині XOY розміщена полярна система координат, а вісь X – полярна вісь. Вказана полярна система є частиною циліндричної системи координат. Вісь Z – вісь концентричних циліндрів з радіусами r_a, r_b, r_d , які є складовими частинами циліндричної системи координат. На циліндрі з радіусом r_a розміщена точка A , з якою співпадає її фронтальна проекція з рисунку 3— a' . На циліндрі r_b розміщена точка B , а також її фронтальна проекція b' . Пряма (Bb') теж належить даному циліндрі і є паралельною до осі Z . На циліндрі r_d розміщена точка D , а також її фронтальна проекція b' . Пряма (Dd') теж належить даному циліндрі і є паралельною до осі Z . Пряма $a'b'$ відповідно до рисунку 3 є проекцією прямої AB на площину XOY . Пряма $a'd'$ відповідно до рисунку 3 є проекцією прямої AD на площину XOY . Кути нахилу вказаних прямих до площини ZOX позначені як η_1 і η_2 . Вони лежать у площині XOY . Величину відрізка Dd' можна визначити користуючись рисунком 3. З якого маємо, що величина його дорівнює відстані між точками d і k . Отже для даної величини підходить формула:

$$|Dd'| = |kd| = \frac{H \cdot \cos \varphi}{2 \cdot \sin(60^\circ - \varphi)}.$$

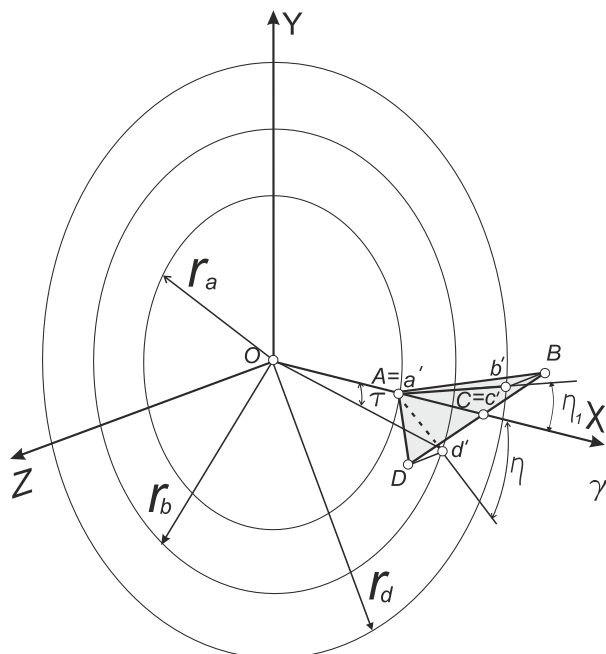


Рисунок 4 – Схема розміщення площини передньої поверхні різця ABD у циліндричній системі координат

Використовуючи цю формулу і вираз 4 можна визначити формулу розрахунку кута $\angle DAd'$:

$$\sin(\angle DAd') = \frac{|Dd'|}{|DA|} = \frac{\sin(60^\circ + \varphi)}{2 \sin(60^\circ - \varphi)}. \quad (19)$$

Значення відрізка $b'B$ можемо отримати як різницю горизонтальних проекцій точок b і g . Але оскільки різниця горизонтальних проекцій точок b і d дорівнює кроку P , а різниця проекцій точок d і k дорівнює довжині відрізка kd то можна написати наступний вираз щодо шуканого розв'язку:

$$|b'B| = P - |dk| = P - \frac{H \cos \varphi}{2 \sin(60^\circ - \varphi)}. \quad (20)$$

Використовуючи рівняння 20 і 3 визначимо величину кута $\angle b'AB$ за формулою:

$$\sin(\angle b'AB) = \frac{|b'B|}{|AB|} = \frac{2P \sin(60^\circ - \varphi)}{H \cos \varphi} - 1. \quad (21)$$

Для кращої ілюстрації ходу розв'язку поставленої задачі доповнимо статтю уточненим фрагментом рисунка 4, а саме побудуємо більш детально те, що розміщено у площині XOY тобто у полярній системі координат. Отже на рисунку 5 показано полярну вісь X і перпендикулярну до неї вісь Y . Пряма $a'd'$ є дотичною до кола з радіусом r_1 . Таким чином це коло називається основним. Точка m_1 розміщена на місці дотику прямої $a'd'$ до основного кола. Точка d' у полярній системі координат визначається кутом τ і довжиною відрізка od' . Аналогічно точка b' визначається параметрами: кут τ_1 і відрізок ob' .

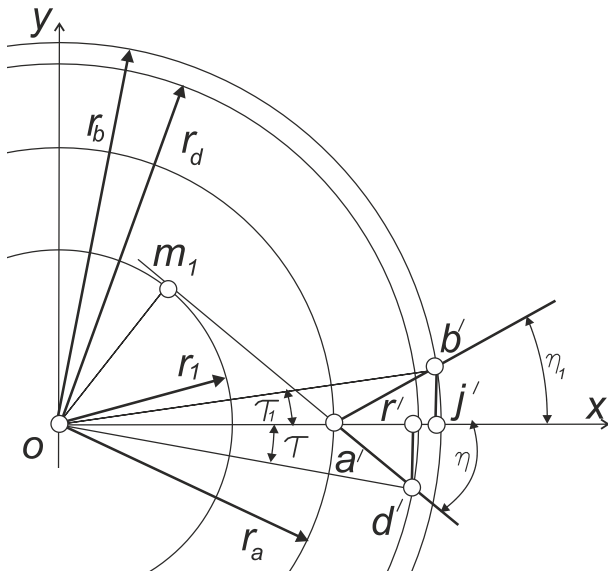


Рисунок 5 – Схема розміщення площини передньої поверхні різця ABD у полярній системі координат

Рівняння осевого перерізу конічної гвинтової поверхні може бути отримане з використанням методики 7, 12. Згідно із нею можна отримати значення аплікати z точок твірної AD у залежності від кута повороту τ і величини радіуса r_a .

$$z(\tau) = \operatorname{tg}(\alpha_1) x \frac{\sin \tau}{\sin \eta} - \frac{P}{2\pi} \tau, \quad (22)$$

де кут α_1 – це кут Dad' , який можна визначити за допомогою формули 19, або це кут $b'AB$, який можна визначити за формулою 21;

кут η може бути визначений за формулою 8, або 17;

τ – це одна із криволінійних координат різальної кромки, що визначається за формулою:

$$\tau = \eta - \arcsin\left(\frac{r_a \sin \eta}{x}\right).$$

Оскільки радіус r_a є постійною величиною згідно з [12], а у конічних гвинтових поверхнях аналогічні величини є змінними, то у даній формулі слід замінити величину r_a на $r_a(\tau)$, яку можна представити таким виразом:

$$r_a(\tau) = r_m + \frac{P \cdot \theta \cdot \operatorname{tg}(\beta)}{2\pi}, \quad (23)$$

де θ – кут повороту гвинтової поверхні навколо власної осі

З рисунка 5 можна за аналогією до [13] визначити залежність полярної координати $\rho(\tau)$, тобто відрізка $|Od'|$:

$$\rho(\tau) = \frac{r_a(\tau) \cdot \sin \eta}{\sin(\eta - \tau)}.$$

У площині XOZ міститься осевий переріз даної гвинтової поверхні з твірною AD . У цьому перерізі вектор $\rho(\tau)$ лежить на осі OX і відповідно параметр $\rho(\tau)$ дорівнює координаті x , отже попереднє рівняння можна подати у такому вигляді:

$$x(\tau) = \frac{r_a(\tau) \cdot \sin \eta}{\sin(\eta - \tau)}, \quad (24)$$

де $r_a(\tau)$ визначається за формулою 23.

Таким чином осевий переріз конічної гвинтової поверхні, враховуючи формули 22, 23, 24 розраховується за системою рівнянь:

$$z(\tau) = \operatorname{tg}(\alpha_1) r_a(\tau) \frac{\sin \tau}{\sin \eta} - \frac{P}{2\pi};$$

$$x(\tau) = \frac{r_a(\tau) \cdot \sin \eta}{\sin(\eta - \tau)}, \quad (25)$$

де $r_a(\tau) = r_m + \frac{P \cdot \tau \cdot \operatorname{tg}(\beta)}{2\pi}$.

Величину кута η визначають за формулою (8), а його залежність від величин кута нахилу різальної кромки та переднього кута — за формулами (17), (18).

Висновки

1. Отримана система рівнянь надає можливість для теоретичного розрахунку осевого профілю вихідного трикутника замкової нарізи заданого кроку P у залежності від величини переднього кута та кута нахилу різальної кромки інструмента, а також кута підйому нарізи.

2. На основі отриманої системи рівнянь можна вирішити обернену задачу, тобто визначити величину необхідного переднього кута нахилу різальної кромки, якщо відомий профіль вихідного трикутника нарізи, кут її підйому та заданий передній кут нарізного токарного різця.

У подальших розвідках слід розробити прикладну програму для автоматичного розрахунку параметрів різця і здійснити параметричне моделювання вказаного токарного різця.

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 резбонарезания [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.

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.

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

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

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

8 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.

9 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.

10 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. – 63 с.

11 ГОСТ 28487–90. Межгосударственный стандарт. Резьба коническая замковая для элементов бурильных колонн. Профиль. Размеры. Допуски [Текст]. Разработан и внесен Министерством нефтяной и газовой промышленности СССР, Государственным комитетом СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 27.03.90 № 614. Введен впервые. Издание с изменением № 1, утвержденным в июле 1992 г. (ИУС 10-92). – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2006. – 10 с.

12 Онисько О. Р. Теоретична основа технологічної неможливості відтворення теоретично точного профілю різьб на трубах нафтогазового сортаменту [Текст] / О.Р. Онисько, Я.В. Теліхович, Т.Р. Гнатик // Нафтогазова енергетика. – 2015. – № 1(23). – С. 94–99.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
02.06.16*

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