

УДК 621.9.025

О. Р. Онисько, П. І. Войтенко, Н. О. Костюк*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу***АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ВІДХИЛЕННЯ ПРОФІЛЮ РІЗЬБИ ВИКОНАНОЇ РІЗЦЕМ З НЕНУЛЬОВИМ ЗНАЧЕННЯМ КУТА НАХИЛУ РІЗАЛЬНОЇ КРОМКИ**

В статті розглянуто визначення величини відхилення профілю різьби виконаної різцем з ненульовим значенням кута нахилу різальної кромки. Акцентовано увагу на те, що процес нарізання різьби різцем передбачає встановлення його різальної пластини під кутом, який дорівнює куту підйому різьби. Алгоритм передбачає функціональну залежність отриманого профілю від величини кута нахилу різальної кромки. Відхилення між отриманим профілем різьби і профілем, який є передбачений стандартом за своєю величиною перевищують допуск на висоту профілю у разі якщо кут нахилу є більший ніж 10° . Встановлені результати дозволяють зробити висновок, що при максимально-можливому куті підйому різьби величиною 5° радіальне відхилення отриманого профілю від заданого не перевищує $0,015\text{мм}$.

Ключові слова: Висота вихідного профілю, кут нахилу різальної кромки, різбовий різець, кут підйому різьби, різальна кромка.

Рис. 8. Табл. 1. Літ. 12.

О. Р. Онисько, П. И. Вотенко, Н. О. Костюк**АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ОТКЛОНЕНИЯ ПРОФИЛЯ РЕЗЬБЫ ВЫПОЛНЕННОЙ РЕЗЦОМ С НЕНУЛЕВЫМ ЗНАЧЕНИЕМ УГЛА НАКЛОНА РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ**

В статье рассматривается алгоритм расчета отклонения профиля резьбы резцом с ненулевым значением угла наклона режущей кромки. Особое внимание обращено на процесс нарезания при котором режущая пластина резца устанавливается под углом равным углу подъема резьбы. Алгоритмом учтено функциональную зависимость полученного профиля величины угла наклона режущей кромки. Отклонение полученное между профилем выполненной резьбы и ее заданным профилем по стандарту превышает допуск на высоту профиля если угол подъема резьбы больше 10° . Полученные результаты позволяют сделать вывод, о том, что при максимально-возможном угле подъема резьбы 5° радиальное отклонение полученного профиля от теоретического не превышает $0,015\text{мм}$.

Ключевые слова: Висота исходного профиля, угол наклона режущей кромки, розьбовой резец, угол подъема різьби, режущая кромка.

O. R. Onysko, P. I. Vojtenko, N. O. Kostuk**ALGORITHM FOR DETERMINING OF THE THREAD PROFILE DEVIATION DONE BY THE TOOL WITH NON-ZERO CUTTING EDGE INCLINATION ANGLE**

The article deals with the determination of the thread profile deviation done by the tool with non-zero cutting edge inclination angle. The attention is given to the threading cutting process which involves cutting plate setting at an angle equal to the thread lead angle. The algorithm provides functional dependence of the profile obtained from the cutting edge inclination angle. The deviation between the thread profile received by the tread tool and the profile provided by its standard size exceeds the tolerance of the profile height if the cutting edge inclination angle is greater than 10° . Received results suggest that if the maximum possible tread lead angle is equal to 5° then radial deviation obtained from the given standard does not exceed $0,015\text{mm}$.

Key words: The height of the original profile, cutting edge inclination angle, threading tool, lead angle, cutting edge.

Вступ. Технології нарізання різьбових поверхонь труб нафтогазового сортаменту зорієнтовані в основному на використання різьбових різців у середньосерійному типі виробництва і до застосування багатониткових різців, гребінок і різцевих різьбових головок у великосерійному та масовому типі виробництва [1]. В основі інструментального забезпечення вказаних технологій, так чи інакше, маємо різбовий різець, від якого залежить точність готової різьби. Продуктивність процесу різьбо нарізання теж значною мірою залежить від конструкції різця, у тому числі від величини його геометричних параметрів.

Актуальність проблеми. Більшість виробників труб нафтогазового сортаменту, що представлені як крупні трубні компанії застосовують високопродуктивні одно і багато ниткові різьбові різця, кут нахилу різальної кромки яких дорівнюють куту підйому різьби [2,3]. Це так би мовити класика у різьбонарізних технологіях. Використання такого технологічного прийому пов'язано із потребою збереження рівномірності спрацювання лівої і правої сторін інструмента у процесі його експлуатації, що й власне позитивно впливає на його технологічну стійкість. При цьому майже відсутні дослідження впливу кута нахилу різальної кромки на точність відтворення профілю різьби, що є надзвичайно актуальним у різьбах, особливо на трубах нафтогазового

© О. Р. Онисько, П. І. Войтенко, Н. О. Костюк

сортаменту, де від точності профілю, окрім згвинчуваності та механічної міцності різбового з'єднання ще й вимагається його герметичність. Власне останній фактор найбільшою мірою залежить від точності відтворення профілю різьби [4,5,6].

Огляд публікацій і запропонованих рішень. Особливу увагу фактору точності інструмента як впливовому аргументу функції точності різьби приділяється у роботах [7,8]. У той сам час у вказаних працях відсутня достатня аргументація впливу саме величини кута нахилу різальної кромки на точність відтворення різьби. На рисунку 1 показана схема взаємного розміщення різбової поверхні і різальної пластинки з розміщеною під кутом λ твердосплавною різальною пластинкою. З рисунка видно, що ліва різальна кромка AB , як і права CD не лежать у площині, яка проходить через вісь різьби.

Кут підйому різьби не є постійною величиною, оскільки змінюється від найбільшого значення $\psi_{вн}$ у впадині різбової поверхні до найменшого значення ψ_3 на її виступі. У точках, які розміщені на середньому діаметрі різьби кут підйому матиме якесь своє значення $\psi_{середн.}$ Таким чином, значення кута λ повинно дорівнювати значенню кута $\psi_{середн.}$ Якщо значення кута λ є нульовим, тоді дійсні значення інших геометричних параметрів різбового різця стають залежними від значень кутів підйому.

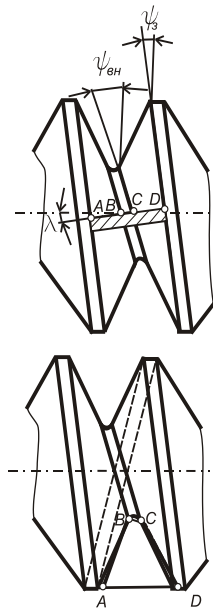


Рис. 1 Схема взаємного розміщення різбової поверхні і різальної пластинки, з розміщеною під кутом λ різальною пластинкою

У роботі [9] розглядається така схема, як одна із впливових схем, що спричиняє імовірні вагомні відхилення профілю отриманої різьби. Стаття носить оглядовий характер і не містить конкретних вимірів впливовості величини кута λ на отриману точність профіля різьби. Публікація [10], завдяки використанню створеного прикладного програмного застосунку, пропонує числові результати впливу одного із геометричних параметрів, а саме величини переднього кута різбового різця на точність відтвореного профілю різьби. Найближчими до теми цієї публікації є дані статті [11], у якій йдеться саме про різальну кромку, а точніше про вплив її розміщення на точність отриманого профілю різьби. У програмному застосунку тієї статті положення різальної кромки залежить від величини переднього кута, що відповідає схемі на рисунку 2.

Коли його значення відмінне від нуля, то різальна кромка AB чи CD не перетинаючи вісь різьби, фактично спричиняє створення не закритого гелікоїда (рис. 2а), як цього вимагає стандарт, а відкритого конволютного гелікоїда (рис. 2б).

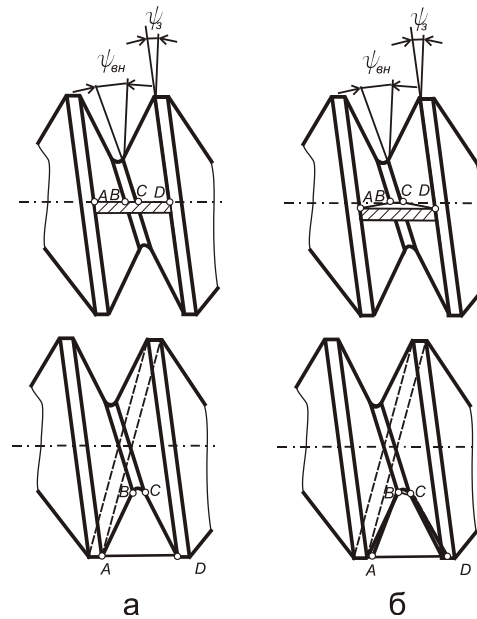


Рис. 2 Схема взаємного розміщення різбової поверхні і різальної пластинки, з розміщеною під кутом $I = 0$ передньою поверхнею, з кутом $g = 0$ (а), з кутом g що не дорівнює нулю (б)

На рисунку 3 показано графічну ілюстрацію, яка доводить те, що заданий за стандартом ГОСТ 632-80 профіль, може бути виконаний із значним відхиленням, якщо величина переднього кута сягає значення 15° . Основна цінність цієї статті полягає у тому, що вона подає алгоритм пошуку профілю різальної кромки різця, який би забезпечив теоретично точний профіль різби при заданому значенні переднього кута. Але вказаний алгоритм функціонально не пов'язаний із величиною кута нахилу різальної кромки.

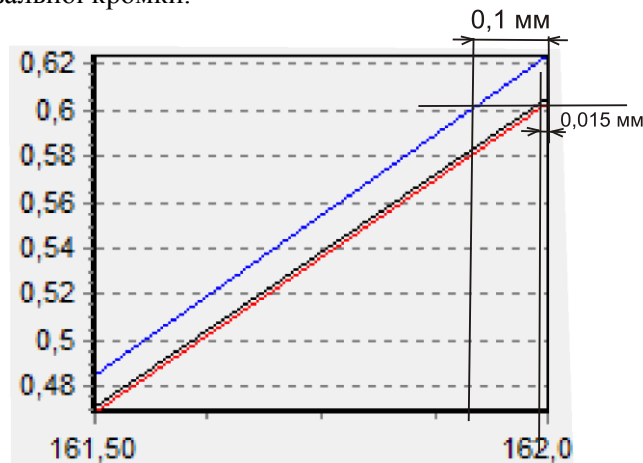


Рис. 3. Профіль заданої стандартом ГОСТ 632 – 80 різби (нижня лінія), графічна модель осьового перерізу трикутної різби отриманої різцем, передній кут якого при вершині різальної кромки становить 15° (верхня лінія) і лінія поруч із нижньою – осьовий переріз отриманий у результаті застосування різця з відкоректованим профілем різальної кромки різця

Мета роботи полягає у розрахунку точності отриманого профілю різби у залежності від величини кута нахилу різальної кромки.

Постановка задачі. Ліва і права різальна кромка різбового різця, як твірні забезпечують створення конволюотної гвинтової поверхні. Задача полягає у розробці алгоритму і створенні прикладної програми для розрахунку величини відхилення отриманого профілю конволюотної поверхні від заданого стандартом [12] профілю різби у залежності від величини кута нахилу різальної кромки різбового різця.

Виклад основного матеріалу. На рисунку 4 показана схема нарізання різцем трикутної різби, яка вживається у обсадних та бурильних трубах.

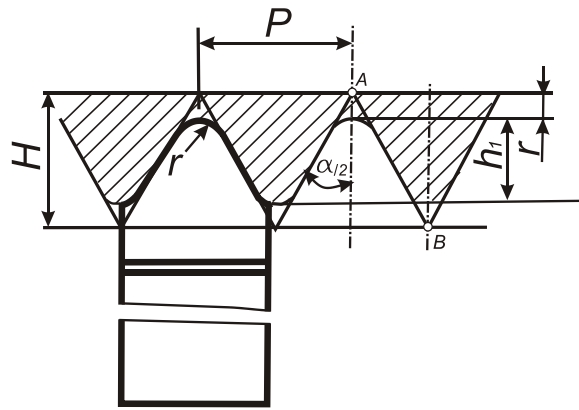


Рис. 4. Схема різьбоутворення трикутної різьби за ГОСТ 632-80 з допомогою різьбонарізного різця

Вказана схема виконана згідно із ілюстрацією, вміщеною у стандарт ГОСТ 632-80 [12]. На основі цього стандарту нижче представлена таблиця 1, яка пояснює схему різьби з позиції термінів та точності виконання елементів різьби.

Таблиця 1. Параметри і граничні відхилення від номінальних розмірів трикутної різьби за стандартом ГОСТ 632-80

Параметр різьби	Норма
Крок різьби P	3,175 мм
Висота вихідного профілю H	2,750 мм
Висота профілю h_1	$1,810_{-0,1}^{+0,05}$ мм
Кут нахилу сторони профілю $\alpha/2$	$30^\circ \pm 1^\circ 15'$
Радіус заокруглення вершини профілю r	$0,508^{+0,045}$ мм

На рисунку 5 представлено схему для складання алгоритму розрахунку величини відхилення отриманого профілю конволюотної поверхні від заданого стандартом [12] профілю різьби у залежності від величини кута нахилу різальної кромки різьбового різця. Схема побудована у циліндричних координатах. Вісь Z координатної системи співпадає з віссю гвинта. Величина r_1 позначає радіус основного циліндра на якому розміщена напрямна геліса конволютного гвинта, а r_2 і r_3 є відповідно внутрішнім і зовнішнім радіусами різьби. Площина XY є перпендикулярною до осі Z і містить точку початку координат O .

Твірна AB конволютного гвинта перетинає вісь X у точці A , а до площини XY вона нахилена під кутом $\frac{\alpha_1}{2}$. Проекцією твірної AB на площину координат XY є пряма AM , котра з віссю X утворює кут η . Відрізок AB належить твірній і є лівою різальною кромкою різця. Права різальна кромка AD вкупі із правою – AB утворюють пласку передню поверхню різця BAD , яка виділена сірим кольором. Площина BAD нахилена до площини XZ під кутом λ .

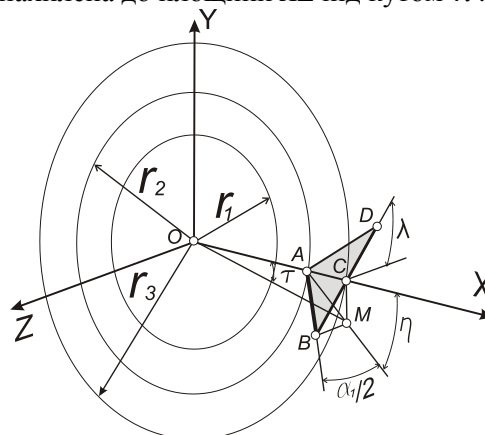


Рис. 5. Схема до розрахунку величини відхилення отриманого профілю конволюотної поверхні від заданого профілю різьби

У полярних координатах, які є частиною циліндричної системи, пряму AM можна задати кутом повороту τ довільної точки M , що лежить на цій прямій навколо початку системи координат O , а також довжиною радіус-вектора OM .

Отже твірна AB дана рівняннями у циліндричних координатах:

$$\begin{aligned} \rho &= f(\tau); \\ Z &= F(\tau) \end{aligned} \quad (1)$$

де проекція AM) визначається формулою (1), що є рівнянням у полярних координатах:

$$\rho = f(\tau),$$

де ρ —відстань довільної точки відрізка AM до точки O , то рівняння гвинтової поверхні у скалярній формі записують у вигляді такої системи рівнянь [11]:

$$\begin{cases} x = f(\tau)\cos(\tau + \nu); \\ y = f(\tau)\sin(\tau + \nu); \\ z = F(\tau) + p\nu, \end{cases}$$

де:

— параметри τ і ν визначають положення точки на поверхні і є її криволінійними координатами. Параметр ν визначає величину повороту твірної AB навколо осі Z ;

— величина p є параметром гвинта і визначається за формулою:

$$p = \frac{P}{2\pi},$$

де P — крок гвинта.

У площині XZ отримаємо аналітичний вираз осьового перерізу конволютної гвинтової поверхні:

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

де:

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

$$\tau = \eta - \arcsin\left(\frac{r_2 \sin \eta}{x}\right); \quad (3)$$

— P крок заданої різьби;

Оскільки вхідними даними є кут нахилу різальної кромки λ і кут профілю різьби α , то ж слід виявити функціональні залежності від них величин η і $\frac{\alpha_1}{2}$.

Отже з рисунку 5 очевидним є рівність $|BC| = \frac{P}{2}$, а також рівність $|AC| = H$. Із трикутника

$$CBM \text{ маємо: } |CM| = \frac{P \sin \lambda}{2};$$

Із трикутника ACM маємо: $\tan \eta = \frac{|CM|}{|AC|}$. Отже:

$$\tan \eta = \frac{P \sin \lambda}{2H}; \quad (4)$$

Із трикутника BAM отримаємо такі співвідношення:

$$\tan \frac{\alpha_1}{2} = \frac{|BM|}{|AM|}; \text{ В той сам час: } |BM| = |BC| \cos \lambda; |AM| = H \cos \eta;$$

Отже:

$$\tan \frac{\alpha_1}{2} = \frac{P \cos \lambda \cos \eta}{2H} = \frac{P \cos \lambda}{2H} \cos(\arctan \frac{P \sin \lambda}{2H}); \quad (5)$$

Таким чином отримані аналітичні залежності (3,4,5,6) є основою алгоритму для розв'язку поставленої задачі.

На рисунку 6 зображено фрагмент застосунку побудованого на основі зазначеного алгоритму. Представлений графік містить дві лінії:

верхня – відповідає вихідному профілю заданої різьби – аналогічно до прямої АВ на рисунку 4;

нижня – відповідає формулі 2, тобто профілю прямолінійної частини різьби, отриманої різцем із заданим половинним кутом профілю $\alpha/2=30^\circ$ (згідно із таблицею 1), і кутом $\lambda=23^\circ$ та діаметром різьби – 114 мм.

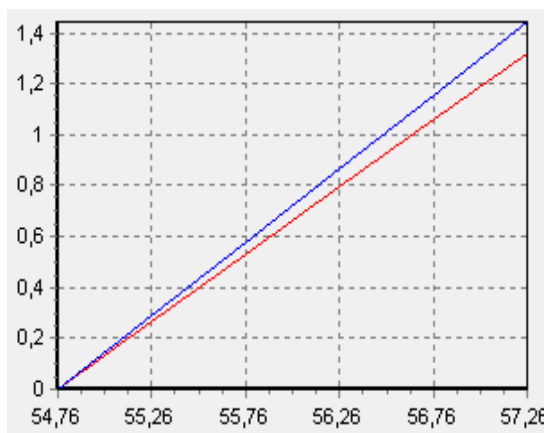


Рис. 6. Фрагмент прикладної програми, верхня лінія відповідає теоретично заданому вихідному профілю різьби, нижня – профілю отриманому різцем з кутом $\lambda=23^\circ$ на різьбі з діаметром 114 мм

Фрагмент вказує на максимальне відхилення ліній між собою у радіальному напрямі – 0,25 мм. Відхилення між лініями у осьовому напрямку сягає понад 0,1 мм. Радіальне відхилення як бачимо значно перевищує допуск на висоту профілю h_1 який згідно із таблицею 1 становить 0,1 мм.

Практика застосування різьбових різців і рекомендації від провідних виробників різальних інструментів [1,2] засвідчують, що максимальний кут підйому різьби на трубах нафтогазового сортаменту становить 5° . На рисунку 7 представлений фрагмент прикладної програми, де на графіку представлено вихідний профіль заданої трикутної різьби за ГОСТ 632-80 (верхня лінія) і нижня лінія відповідає прямолінійній частині профілю, що отримана різцем різальна пластинка якого установлена під кутом 5° .

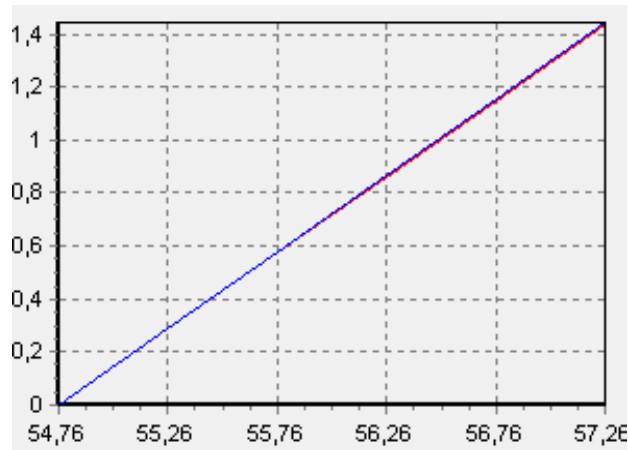


Рис. 7. Фрагмент прикладної програми, верхня лінія відповідає теоретично заданому вихідному профілю різьби, нижня – профілю отриманому різцем з кутом $\lambda = 5^0$ на різьбі з діаметром 114 мм

Оскільки вказаний фрагмент не дає можливості візуально визначити величину відхилення отриманого профілю різьби від заданого в силу його малого значення, у прикладній програмі передбачено додаткове вікно візуалізації зі збільшенням зони різьби, в якій відхилення є максимальними (рисунок 8).

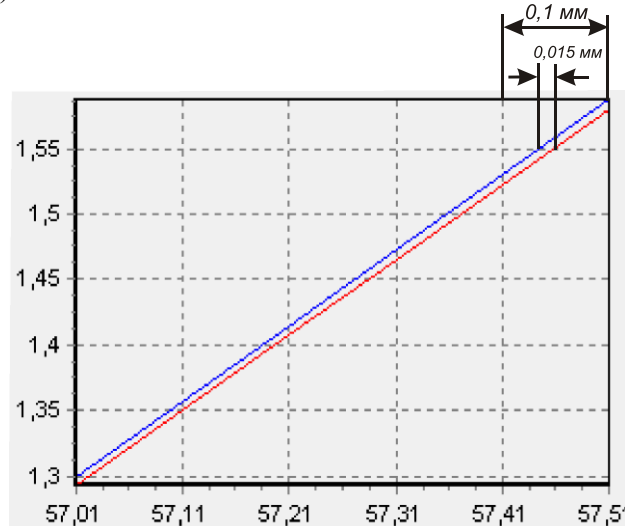


Рис. 8. Фрагмент прикладної програми зі збільшенням зони різьби в районі максимального значення її діаметру, верхня лінія відповідає теоретично заданому вихідному профілю різьби, нижня – профілю отриманому різцем з кутом $\lambda = 5^0$ на різьбі з діаметром 114 мм

Як видно із ілюстрації на рисунку 8 максимальне відхилення отриманого профілю від теоретичного сягає 0,015 мм у радіальному напрямку, що значно уступає допуску на розмір висоти профілю h_l .

Висновки. Дані, отримані від використання прикладної програми для визначення величини відхилення профілю різьби виконаної різцем з ненульовим значенням кута нахилу різальної кромки у процесі виготовлення трикутної різьби труб нафтогазового сортаменту свідчать про наступне:

- величина відхилення функціонально залежить від кута нахилу різальної кромки .
- величина відхилення сягає значних розмірів, що перевищує допуск на розмір висоти h_l у випадку коли величина кута нахилу різальної кромки перевищує 10^0 .
- у разі застосування кута нахилу різальної кромки, що дорівнює куту підйому різьби відхилення профілю різьби від заданого становить $\sim 0,015$ мм.

1. Каменецкий Л. И. Твердосплавный резбонарезной инструмент для обработки резьб нефтяного и газового ассортимента // Сфера. Нефтегаз. Трубы. Трубопроводы. Всероссийский отраслевой информационно-технический журнал. СПб.:2010 №2 с. 182-183.
2. Ultra-rigid thread turning for all types of threads – internal and external. [Електронний ресурс]: – Електорон. дан. (1 файл). Sandvik Coromant. Site. Режим доступу: www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/corothread_266/Pages/default.aspx. – Назва з екрана.
3. Katalog 2011-2012 ZCC-CT. Гедион-Альфа Официальный дистрибьютор инструмента ZCC-CT в России. [электронный ресурс]: – електорон. дан.–М.: «Гедион Альфа», 2013 (1 файл). Режим доступа: www.g-alfa.ru/tochenie_2012.pdf – Назва з екрана.
4. Ковалев С.Ф. Герметичность и прочность конических резобовых соединений труб нефтяного сортамента [текст] / С.Ф. Ковалев. - М. : Недра, 1965 - 170 с.
5. Мочернюк Д.Ю. Исследование и расчет резбовых соединений труб, применяемых в нефтедобывающей промышленности [текст] / Д.Ю. Мочернюк - М. : Недра, 1970 -137 с.
6. Билык С.Ф. Билык Герметичность и прочность конических резобовых соединений труб нефтяного сортамента [текст] / С.Ф.Билык. - М. : Недра, 1981 – 237 с.
7. Прокофьев А. Н. Технологическое обеспечение и повышение качества резбовых 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.

8. 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. – 003653715.
9. Онисько О. Р. Методи забезпечення точності виготовлення різьбових кінців труб нафтогазового сортаменту [Текст] / О. Р. Онисько, // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківськ –2014.– №3(52).– С.107–115.
10. Онисько О. Р. Програмна реалізація розрахунку форми різальної кромки різьбового різця залежно від значення величини його переднього кута та діаметра різьби [Текст] / О. Р. Онисько, Л. О. Борушак, С. О. Рязанов // Вісник національного університету «Львівська політехніка». –2013.–№772.– С.129–134.
11. Онисько О. Р. Порівняльний аналіз графічних моделей бічних профілів трикутної різьби: заданого стандартом і отриманого за допомогою різця з ненульовим значенням переднього кута. [Текст]/О.Р.Онисько, П. М. Процак // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія «Технології у машинобудуванні» – Харків – 2015. – №4(1113) . С. 33–36.
12. ГОСТ 632–80. Межгосударственный стандарт. Трубы обсадные и муфты к ним [Текст]. Разработан и внесен Министерством черной металлургии СССР, нефтяной промышленности СССР. Утвержден и внесен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 05.06.80 № 2578. Взамен ГОСТ 632–64. Издание (апрель 2010 г.) с Изменением № 1, №2, №3, №4 утвержденными в октябре 1082 г., январе 1986 г., январе 1988 г., мае 1989 г. июле 1992 г. (ИУС 2-83, 5-86, 4-88,8-89); М.: «Стандартинформ», 2010. — 75с.

Стаття прийнята до друку 25.03.2015.