

УДК 621.82

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.115-125](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.115-125)

А. Є. Дячун, доц., канд. техн. наук, І. Б. Гевко, проф., д-р техн. наук, О. Ю. Стібайло, Р. Я. Лещук, доц., канд. техн. наук, Р. В. Комар, доц., канд. техн. наук,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна
E-mail: gevkoivan1@ukr.net

Теоретичне дослідження технологічного процесу оброблення зовнішньої крайки гвинтових елементів сільськогосподарської техніки

В даній роботі викладено теоретичне дослідження технологічного процесу оброблення зовнішньої крайки гвинтових елементів сільськогосподарської техніки. В процесі токарного оброблення та загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента переміщення ріжучих інструментів вздовж осі обертання гвинтового елемента з подачею, що дорівнює кроку витків, обертовий рух гвинтового елемента, геометричні параметри, їх відхилення та матеріал початкової заготовки визначають параметри якості формоутворення зовнішньої крайки гвинтового елемента. Крім цього, якість обробленої поверхні визначається: точністю оброблювальної системи (до якої входить інструмент, елементи базування та затиску заготовки, верстат), змінними параметрами сили різання, деформацією заготовки, зношенням інструменту, жорсткістю та вібростійкістю елементів системи оброблення заготовки. Встановлено, що збільшення ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента та відстані між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється, до центра круглої ріжучої пластини різця, призводить до зростання площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається, а відповідно і сили різання. Також встановлено, для забезпечення різного кута загострення крайки гвинтового елемента, а також для зміни навантаження на різець відстань між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється, до центра круглої ріжучої пластини різця потрібно забезпечити регульовану.

технологічний процес, дослідження, гвинтова спіраль, заготовка, різцетримач, точність оброблення, ріжучий інструмент, верстат, подача, елемент, заточування, крайка, операція

Постановка проблеми. Незважаючи на попередні дослідження проточування зовнішньої крайки гвинтових елементів, не було розглянуто динаміку проточування і заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента із врахуванням вібрацій заготовки, інструмента, елементів базування та закріплення заготовки, різцетримача верстата. Крім цього попередні дослідження пов'язані із проточування зовнішньої крайки гвинтового елемента із малою подачею прохідного різця (0,1...0,3 мм/об), відповідно довжина робочої крайки різця, що залучалась у процес різання у декілька разів є меншою, ніж при заточуванні зовнішньої крайки гвинтового елемента, що призводить до значного збільшення сили різання, а відповідно і до вібрацій інструмента та заготовки. А миттєве значення сили різання та її вплив на динамічні параметри процесу проточування зовнішньої крайки гвинтового елемента визначають якість обробленої поверхні та потребують подальшого теоретичного та експериментального дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичним та експериментальним дослідженням різноманітних технологічних процесів виготовлення та оброблення різних типів гвинтових спіралей присвячено багато праць. При цьому слід відмітити значний вклад таких вчених, як Гевко Б.М. [1, 2], Пилипець М.І. [3, 4], Васильків В.В. [3-6] та багатьох інших [7-21]. Вони використовували різні багатогранні методи для пошуку нових способів виготовлення та оброблення різних типів гвинтових спіралей. При цьому їхня увага концентрувалася на пошуку найбільш технологічно та економічно ефективних технологій, що давали найвищий ефект. Попри те ще багато питань пов'язаних

із пошуком та дослідженням різнотипних спіралей шнеків чекають свого вивчення.

Постановка завдання. Метою роботи є теоретичне дослідження технологічного процесу оброблення зовнішньої крайки гвинтових елементів сільськогосподарської техніки.

Виклад основного матеріалу. В процесі токарного оброблення та загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента переміщення ріжучих інструментів вздовж осі обертання гвинтового елемента з подачею, що дорівнює кроку витків, обертовий рух гвинтового елемента, геометричні параметри, їх відхилення та матеріал початкової заготовки визначають параметри якості формоутворення зовнішньої крайки гвинтового елемента. Крім цього, якість обробленої поверхні визначається: точністю оброблювальної системи (до якої входить інструмент, елементи базування та затиску заготовки, верстат), змінними параметрами сили різання, деформацією заготовки, зношенням інструменту, жорсткістю та вібростійкістю елементів системи оброблення заготовки.

В процесі проектування технологічного процесу виготовлення гвинтових елементів [10, 11] для операції заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента використано спеціальний інструмент, зображений на рис. 1, основною перевагою якого порівняно із прохідним різцем, є усунення можливості утворення заусенців на вершині обробленої крайки. Заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента 1, встановленого на оправці 4 із затискним елементом 3, виконується ріжучою пластиною 5 інструмента 2 (рис. 1). Ріжуча пластина 6 використовується для запобігання формуванню заусенців. Основними рухами є обертання гвинтового елемента із частотою n , та подача різця S , що дорівнює кроку витків гвинтового елемента.

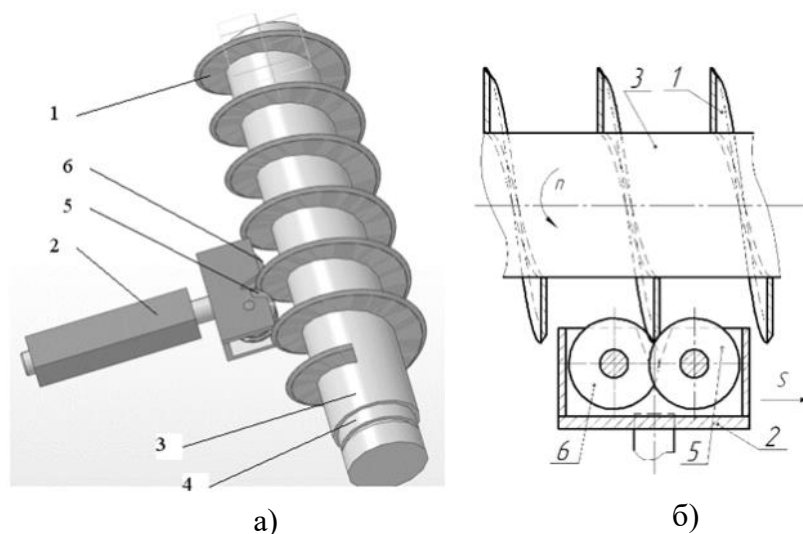


Рисунок 1 – Схема операції заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента:

а) трьохмірне зображення; б) переріз в зоні різання; 1 – заготовка гвинтового елемента; 2 – ріжучий інструмент; 3 – затискний елемент; 4 – оправка; 5 – ріжуча пластина для заточування крайки гвинтового елемента; 6 – ріжуча пластина для запобігання формуванню заусенців

Джерело: розроблено авторами

Дані миттєвих значень сили різання, одержаних в результаті експериментальних досліджень передавались на прикладне програмне забезпечення, при цьому визначалось середнє значення сили різання під час усталеного режиму заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента. Середнє значення складових сили різання можна апроксимували степеневими залежностями:

$$P_z = C_z H^{a_z} R_1^{b_z} V^{k_z}, \quad (1)$$

$$P_z = C_{1z} F^{m_z} V^{k_z}, \quad (2)$$

$$P_x = C_x H^{a_x} R_1^{b_x} V^{k_x}, \quad (3)$$

$$P_x = C_{1x} F^{m_x} V^{k_x}, \quad (4)$$

де $C_z, a_z, b_z, k_z, m_z, C_x, a_x, b_x, k_x, m_x$ – емпіричні коефіцієнти, що використовуються для апроксимації даних експериментальних досліджень складових сили різання; H – ширина зрізаної частини витка гвинтового елемента; R_1 – радіус ріжучої пластини різця; V – швидкість різання; F – середнє значення площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається.

Змінні значень величини сили різання при заточуванні гвинтових елементів можна представити залежністю:

$$P_z(t) = C_z H^{a_z} R_1^{b_z} V^{k_z} + \sum_{i=1}^j P_{zi} \sin(\omega_{zi} t + b_{zi}); \quad (5)$$

$$P_x(t) = C_x H^{a_x} R_1^{b_x} V^{k_x} + \sum_{i=1}^j P_{xi} \sin(\omega_{xi} t + b_{xi}); \quad (6)$$

$$P_y(t) = C_y H^{a_y} R_1^{b_y} V^{k_y} + \sum_{i=1}^j P_{yi} \sin(\omega_{yi} t + b_{yi}), \quad (7)$$

де P_{zi}, P_{xi}, P_{yi} – амплітуди коливань складових сили різання i -ї гармоніки; $\omega_{zi}, \omega_{xi}, \omega_{yi}$ – циклічні частоти коливань складових сили різання i -ї гармоніки; b_{zi}, b_{xi}, b_{yi} – початкові фази коливань складових сили різання i -ї гармоніки; j – кількість гармонік для апроксимації даних експериментальних досліджень зміни складових сили різання.

В процесі токарного оброблення та загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента виникає зміна параметрів різання, зокрема глибини різання та миттєвої площі зрізування стружки. Це пов'язано із геометричними похибками попередньо сформованої гвинтової заготовки методом навивання на оправу та розтягу на крок, що зображено на рис. 2, а також за рахунок коливання ріжучої кромки різця.

Такі похибки включають:

1. Відхилення від ідеальної гвинтової поверхні ΔT , зокрема зростаючу, спадаючу, періодичну зміну кроку витків на декількох послідовних витках, хвилястість витків, похибку форми витків.

2. Відхилення зовнішнього радіуса витків ΔR , зокрема його хвилястість, огранку, відхилення від круглості, ексцентриситет, відхилення від циліндричності витка на всій довжині гвинтового елемента (конусність, бочкоподібність), шорсткість.

Зміна глибини різання та миттєвої площі зрізування стружки в процесі токарного оброблення та загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента призводить до зміни проєкцій сили різання та коливань різця і заготовки. Така складна взаємодія викликає необхідність дослідження динаміки загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента спеціальним різцем.

Величину миттєвої площі зрізування стружки в процесі ідеального загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента визначаємо із розрахункової схеми рисунка 3.

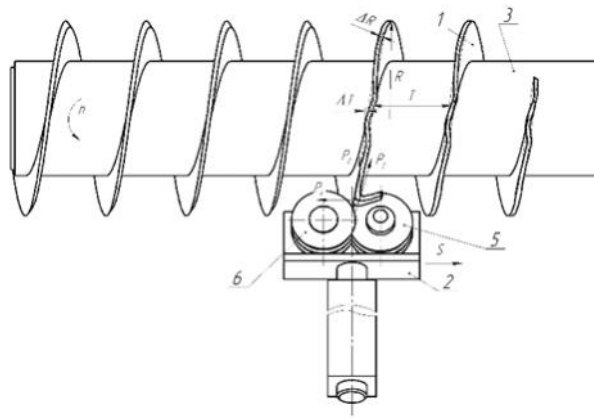


Рисунок 2 – Схема розташування похибок попередньо сформованої гвинтової заготовки методом навивання на оправу та розтягу на крок: 1 – заготовка гвинтового елемента; 2 – ріжучий інструмент; 3 – затискний елемент; 4 – оправка; 5 – ріжуча пластина для заточування крайки гвинтового елемента; 6 – ріжуча пластина для запобігання формуванню заусенців

Джерело: розроблено авторами

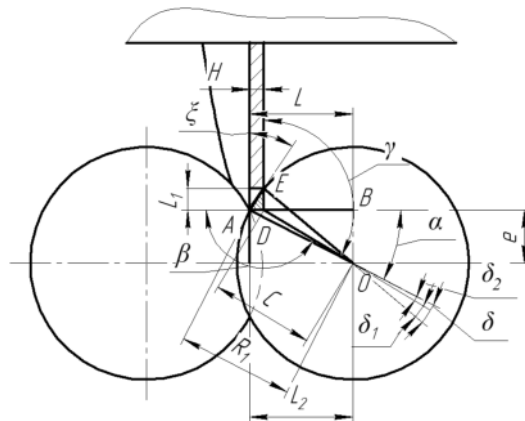


Рисунок 3 – Розрахункова схема для визначення миттєвої площі зрізування стружки в процесі ідеального загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента

Джерело: розроблено авторами

Площу зрізування стружки визначаємо як суму площі трикутника із сторонами L_1 , H та сектора зрізу із радіусом R_1 . Площу трикутника із сторонами L_1 , H визначаємо за відомою формулою:

$$F_t = \frac{HL_1}{2}. \quad (8)$$

Для визначення величини L_1 виконуємо ряд геометричних розрахунків. Визначаємо кут α трикутника OAB :

$$\cos \alpha = \frac{L_2}{R_1}, \quad (9)$$

де L_2 - відстань між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця.

Із трикутника OAD за теоремою косинусів визначаємо відстань від вершини ребра гвинтового елемента до центра ріжучої пластини різця:

$$C = \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HR_1 \cos \alpha}. \quad (10)$$

Із врахуванням (9):

$$C = \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2} . \quad (11)$$

Із трикутника OAD за теоремою косинусів визначаємо кут β :

$$\beta = \arccos \left(\frac{H^2 + C^2 - R_1^2}{2HC} \right), \quad (12)$$

Із врахуванням (11):

$$\beta = \arccos \left(\frac{H^2 - HL_2}{H\sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}} \right). \quad (13)$$

Визначаємо кут γ трикутника ODE :

$$\gamma = \frac{3}{2}\pi - \beta, \quad (14)$$

$$\gamma = \frac{3}{2}\pi - \arccos \left(\frac{H^2 - HL_2}{H\sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}} \right). \quad (15)$$

Із трикутника ODE за теоремою косинусів визначаємо величину L_1 :

$$L_1 = C \cos \gamma + \sqrt{C^2 (\cos^2 \gamma - 1) + R_1^2} . \quad (16)$$

$$L_1 = \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2} \cos \gamma + \sqrt{(H^2 + R_1^2 - 2HL_2)(\cos^2 \gamma - 1) + R_1^2} . \quad (17)$$

Із врахуванням того, що $\cos \gamma = -\sin \beta$, $\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta}$ рівняння (17) набуде вигляду:

$$L_1 = -\sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2} \sqrt{1 - \frac{(H^2 - HL_2)^2}{H^2(H^2 + R_1^2 - 2HL_2)}} + \sqrt{-\frac{(H^2 - HL_2)^2}{H^2} + R_1^2} . \quad (18)$$

Підставляємо дані у рівняння (8):

$$F_t = -\frac{H}{2} \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2} \sqrt{1 - \frac{(H^2 - HL_2)^2}{H^2(H^2 + R_1^2 - 2HL_2)}} + \sqrt{-\frac{(H^2 - HL_2)^2}{H^2} + R_1^2} . \quad (19)$$

Площу сектора зрізу із дугою AE і радіусом R_1 визначаємо за формулою:

$$F_d = \frac{R_1^2 (\delta - \sin \delta)}{2}, \quad (20)$$

де δ – кут сектора із дугою AE .

Кут сектора із дугою AE знаходимо як суму двох кутів:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2, \quad (21)$$

де δ_1 - кут між сторонами OD і OE трикутника ODE ; δ_2 - кут між сторонами OD і OA трикутника OAD .

Кут між сторонами OD і OE трикутника ODE визначаємо на основі теореми синусів:

$$\delta_1 = \arcsin\left(\frac{L_1 \sin \gamma}{R_1}\right). \quad (22)$$

Із врахуванням того, що $\sin \gamma = -\cos \beta$, рівняння (22) набуде вигляду:

$$\delta_1 = \arcsin\left(\frac{-L_1 \cos \beta}{R_1}\right); \quad (23)$$

$$\delta_1 = \arcsin\left(\frac{-L_1(H^2 - HL_2)}{R_1 H \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}}\right). \quad (24)$$

Кут між сторонами OD і OA трикутника OAD :

$$\delta_2 = \pi - \alpha - \beta; \quad (25)$$

$$\delta_2 = \pi - \arccos\left(\frac{L_2}{R_1}\right) - \arccos\left(\frac{H^2 - HL_2}{H \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}}\right). \quad (26)$$

Підставляємо дані у формулу (21):

$$\delta = \arcsin\left(\frac{-L_1(H^2 - HL_2)}{R_1 H \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}}\right) + \pi - \arccos\left(\frac{L_2}{R_1}\right) - \arccos\left(\frac{H^2 - HL_2}{H \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}}\right). \quad (27)$$

Кут загострення ξ крайки гвинтового елемента визначаємо за формулою:

$$\xi = \frac{\delta}{2} + \alpha. \quad (28)$$

$$\xi = \frac{1}{2} \left(\arcsin\left(\frac{-L_1(H^2 - HL_2)}{R_1 H \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}}\right) + \pi + \arccos\left(\frac{L_2}{R_1}\right) - \arccos\left(\frac{H^2 - HL_2}{H \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}}\right) \right). \quad (29)$$

Середнє значення площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається:

$$F = F_t + F_d; \quad (30)$$

$$F = -\frac{H}{2} \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2} \sqrt{1 - \frac{(H^2 - HL_2)^2}{H^2(H^2 + R_1^2 - 2HL_2)}} + \sqrt{-\frac{(H^2 - HL_2)^2}{H^2} + R_1^2} + \frac{R_1^2(\delta - \sin \delta)}{2}. \quad (31)$$

На основі рівняння (31) побудовано графіки залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента (рис. 4), радіуса ріжучої пластини різця (рис. 5) та відстані між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця (рис. 6).

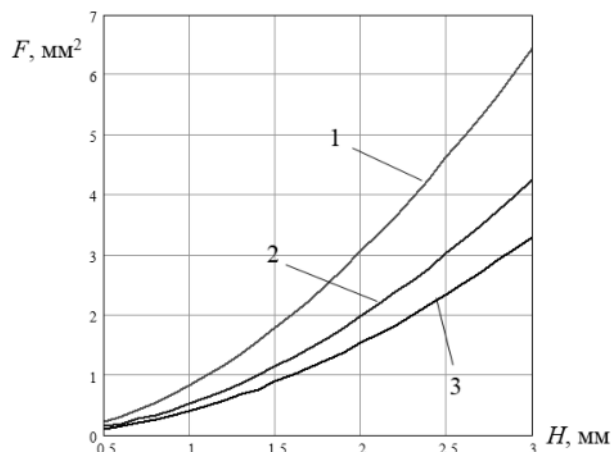


Рисунок 4 – Графічні залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента, $L_2=14$ мм: 1) $R_1=16$ мм; 2) $R_1=19$ мм; 3) $R_1=22$ мм
Джерело: розроблено авторами

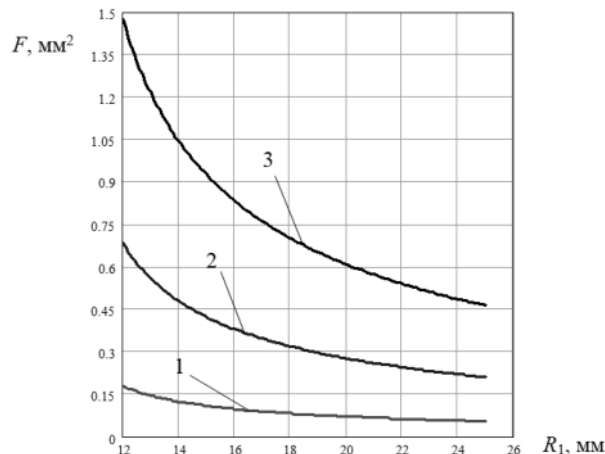


Рисунок 5 – Графічні залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від радіуса ріжучої пластини різця, $L_2=10$ мм: 1) $H=0,5$ мм; 2) $H=1$ мм; 3) $H=1,5$ мм
Джерело: розроблено авторами

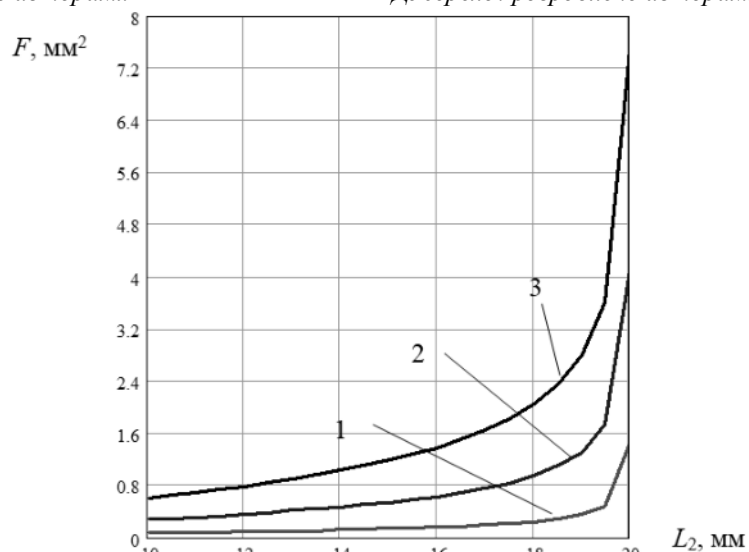


Рисунок 6 – Графічні залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від відстані між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця, $R_1=20$ мм: 1) $H=0,5$ мм; 2) $H=1$ мм; 3) $H=1,5$ мм
Джерело: розроблено авторами

На основі рівняння (29) побудовано графіки залежності кута загострення ξ крайки гвинтового елемента, що зрізається від радіуса ріжучої пластини різця (рис. 7) та відстані між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця (рис. 8).

Із аналізу графіків рис. 4 – 8 встановлено, що збільшення ширини H зрізаної частини витка гвинтового елемента та відстані L_2 між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється, до центра круглої ріжучої пластини різця, призводить до

зростання площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається, а відповідно і сили різання, при цьому збільшення радіуса R_1 ріжучої пластини різця призводить до зменшення величини вказаних параметрів.

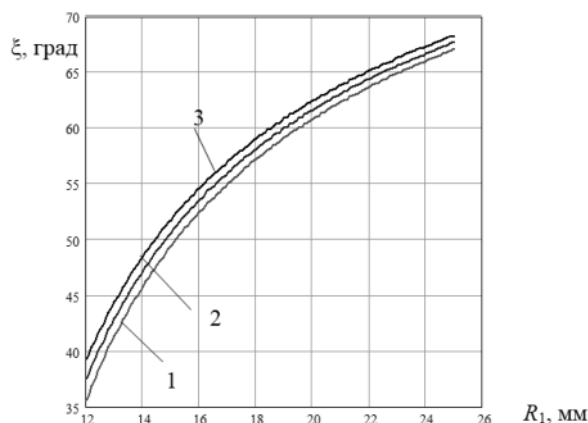


Рисунок 7 – Графічні залежності кута загострення кромки гвинтового елемента від радіуса ріжучої пластини різця, $L_2=10$ мм:

1) $H=0,5$ мм; 2) $H=1$ мм; 3) $H=1,5$ мм

Джерело: розроблено авторами

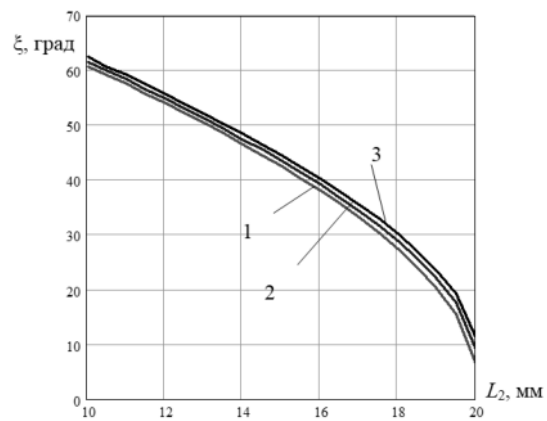


Рисунок 8 – Графічні залежності кута загострення кромки гвинтового елемента від відстані між вершиною кромки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця, $R_1=20$ мм: 1) $H=0,5$ мм; 2) $H=1$ мм; 3) $H=1,5$ мм

Джерело: розроблено авторами

Суттєве зростання площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається, а отже і сили різання спостерігається при наближенні величини L_2 до значення радіуса R_1 ріжучої пластини різця (рис. 6) із співвідношенням $R_1/L_2 < 1,1$. Одночасно збільшення радіуса R_1 ріжучої пластини різця призводить до збільшення кута загострення кромки гвинтового елемента, а збільшення величини L_2 – до зменшення. Тому раціональними співвідношеннями R_1/L_2 у конструкції різця є величини від 1,4 до 1,8, що дозволяють зменшити площу частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від 1,54 до 2,21 рази, забезпечуючи кут загострення кромки гвинтового елемента від 47 градусів до 57 градусів. Ширина зрізаної частини витка гвинтового елемента має незначний вплив на кут загострення кромки гвинтового елемента. Також, для забезпечення різного кута загострення кромки гвинтового елемента, а також для зміни навантаження на різець відстань між вершиною кромки гвинтового елемента, що загострюється, до центра круглої ріжучої пластини різця потрібно забезпечити регульованою.

Висновки. Проведено теоретичне дослідження технологічного процесу оброблення зовнішньої кромки гвинтових елементів сільськогосподарської техніки. В процесі токарного оброблення та загострення зовнішньої кромки гвинтового елемента переміщення ріжучих інструментів вздовж осі обертання гвинтового елемента з подачею, що дорівнює кроку витків, обертовий рух гвинтового елемента, геометричні параметри, їх відхилення та матеріал початкової заготовки визначають параметри якості формоутворення зовнішньої кромки гвинтового елемента. Крім цього, якість обробленої поверхні визначається: точністю оброблювальної системи (до якої входить інструмент, елементи базування та затиску заготовки, верстат), змінними параметрами сили різання, деформацією заготовки, зношенням інструменту, жорсткістю та вібростійкістю елементів системи оброблення заготовки.

Встановлено, що збільшення ширини H зрізаної частини витка гвинтового елемента та відстані L_2 між вершиною кромки гвинтового елемента, що загострюється, до центра круглої ріжучої пластини різця, призводить до зростання площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається, а відповідно і сили різання, при цьому збільшення радіуса R_1 ріжучої пластини різця призводить до зменшення величини

вказаних параметрів. Суттєве зростання площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається, а отже і сили різання спостерігається при наближенні величини L_2 до значення радіуса R_1 ріжучої пластини різця із співвідношенням $R_1/L_2 < 1,1$. Одночасно збільшення радіуса R_1 ріжучої пластини різця призводить до збільшення кута загострення крайки гвинтового елемента, а збільшення величини L_2 – до зменшення. Тому раціональними співвідношеннями R_1/L_2 у конструкції різця є величини від 1,4 до 1,8, що дозволяють зменшити площу частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від 1,54 до 2,21 рази, забезпечуючи кут загострення крайки гвинтового елемента від 47 градусів до 57 градусів. Ширина зрізаної частини витка гвинтового елемента має незначний вплив на кут загострення крайки гвинтового елемента. Також, для забезпечення різного кута загострення крайки гвинтового елемента, а також для зміни навантаження на різець відстань між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється, до центра круглої ріжучої пластини різця потрібно забезпечити регульованою.

Список літератури

1. Гевко Б. М., Пилипець М. І., Васильків В. В., Радик Д. Л. Технологічні основи формоутворення різнопрофільних гвинтових заготовок деталей машин. Тернопіль : ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. 457 с.
2. Гевко Б. М., Ляшук О. Л., Гевко І. Б., Драган А. П., Новосад І. Я. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових деталей. Тернопіль : ТДТУ ім. І. Пулюя, 2008. 367 с.
3. Пилипець М. І., Васильків В. В., Радик Д. Л., Пилипець О. М. Передумови розроблення комбінованих операцій виготовлення гвинтових і шнекових заготовок методом обробки металів тиском. *Перспективні технології та прилади*. 2021. Вип. 18. С. 112–123.
4. Vasylyk V., Pylypets M., Danylchenko L., Radyk D. Investigation of deflections of winded screw flights and auger billets in the processes of their manufacture. *Scientific Journal of TNTU*. 2021. Vol. 104, № 4. P. 33–43. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.04.033
5. Васильків В. В. Розвиток науково-прикладних основ розроблення технологій виробництва гвинтових і шнекових заготовок з використанням уніфікації : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.08. Львів, 2015. 48 с.
6. Васильків В. В., Радик Д. Л., Гевко І. Б. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових заготовок з листового прокату. *Наукові нотатки*. ЛДТУ. 2004. Вип. 14. С. 12–18.
7. Hevko I. B., Dyachun A. Ye., Lyashuk O. L., Martsenko S. V., Gypka A. B. Research the force parameters of forming the screw cleaning elements. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 49, № 2. P. 77–82.
8. Hevko I., Diachun A., Lyashuk O., Vovk Yu., Hupka A. Study of dynamic and power parameters of the screw workpieces with a curved profile turning. In: *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV: Proc. of the 4th Int. Conf. DSMIE 2021*. Lviv, 2021. Vol. 1. P. 385–394.
9. Lyashuk O., Rogatynskyy R., Hevko I., Navrotska T., Diachun A. Study of power parameters of the screw spirals forming. In: *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII: Proc. of the 7th Int. Conf. DSMIE 2024*. Pilsen, 2024. Vol. 1. P. 287–298.
10. Гевко І. Б., Дячун А. Є., Дубиняк Т. С., Стібайло О. Ю., Гупка А. Б. Технологічні особливості виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. 1. С. 75–83.
11. Гевко І. Б., Дячун А. Є., Дубиняк Т. С., Стібайло О. Ю., Золотий Р. З. Дослідження операцій технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. 2. С. 99–108.
12. Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Дячун А. Є., Гупка А. Б., Третяков О. Л. Технологічне проектування та виготовлення гвинтових транспортно-технологічних робочих органів. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 457 с.
13. Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Гудь В. З., Дячун А. Є., Мельничук А. Л., Слободян Л. М. Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2019. 212 с.
14. Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Дячун А. Є. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : монографія. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2014. 280 с.
15. Hevko I., Pik A., Komar R., Stibaylo O., Koval S. Peculiarities of technological design of U-shaped screw transport and technological working bodies. *Scientific Journal of TNTU*. 2024. Vol. 113, № 1. P. 5–15.
16. Rogatynskiy R., Hevko I., Gypka A., Garmatyk O., Martsenko S. Feasibility study of the method choice of manufacturing screw cleaning elements with the development and use of software. *Acta Technologica Agriculturae*. 2017. № 2. P. 36–41. <https://doi.org/10.1515/ata-2017-0007>
17. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Гудь В. З., Дмитрів О. Р., Дубиняк Т. С., Навроцька Т. Д., Круглик О. А. Гнучкі гвинтові конвеєри: проектування, технологія виготовлення, експериментальні дослідження. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2019. 207 с.
18. Гевко І. Б. Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи. *Вісник ТНТУ*. 2011. Т. 16, № 1. С. 69–77.

19. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Брикса А. О., Стібайло О. Ю., Коваль С. О. Особливості конструкцій і технологічного проєктування робочих органів лопатевих гвинтових змішувачів. *Центральнотульський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(39), ч. 2. С. 24–34.
20. Гевко І. Б., Рогатинський Р. М., Комар Р. В., Ткаченко І. Г., Гупка А. Б. Технологічне проєктування способів виготовлення U-подібних гвинтових поверхонь транспортних труб. *Центральнотульський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. 2. С. 109–116.
21. Гевко І. Б., Стібайло О. Ю., Лещук Р. Я., Гурик О. Я., Гупка А. Б. Техніко-економічне обґрунтування способів виготовлення шнекових спіралей, оснащених лопатевими, різальними та подрібнювальними елементами. *Перспективні технології та прилади*. 2025. Вип. 26. С. 29–37.

References

1. Hevko, B. M., Pylypets, M. I., Vasylykiv, V. V., & Radyk, D. L. (2009). *Tekhnologichni osnovy formoutvorennia riznoprofil'nykh hvyntovykh zahotovok detalei mashyn* [Technological bases of shaping multi-profile screw blanks of machine parts]. Ternopil: TDTU im. I. Puliiua [in Ukrainian].
2. Hevko, B. M., Liashuk, O. L., Hevko, I. B., Drahan, A. P., & Novosad, I. Ya. (2008). *Tekhnologichni osnovy formoutvorennia spetsial'nykh profil'nykh hvyntovykh detalei* [Technological bases of shaping special profile screw parts]. Ternopil: TDTU im. I. Puliiua [in Ukrainian].
3. Pylypets, M. I., Vasylykiv, V. V., Radyk, D. L., & Pylypets, O. M. (2021). *Peredumovy rozroblennia kombinovanykh operatsii vyhotovlennia hvyntovykh i shnekovykh zahotovok metodom obrobky metaliv tyskom* [Prerequisites for developing combined operations for manufacturing screw and auger blanks by metal forming]. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady*, 18, 112–123 [in Ukrainian].
4. Vasylykiv, V., Pylypets, M., Danylchenko, L., & Radyk, D. (2021). Investigation of deflections of winded screw flights and auger billets in the processes of their manufacture. *Scientific Journal of TNTU*, 104(4), 33–43. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.04.033
5. Vasylykiv, V. V. (2015). *Rozvytok naukovo-prykladnykh osnov rozroblennia tekhnologii vyrobnytstva hvyntovykh i shnekovykh zahotovok z vykorystanniam unifikatsii* [Development of scientific and applied bases of screw and auger billet manufacturing technologies using unification]. Extended abstract of Doctor's thesis. Lviv [in Ukrainian].
6. Vasylykiv, V. V., Radyk, L. D., & Hevko, I. B. (2004). *Tekhnologichni ta konstruktyvni osoblyvosti vyhotovlennia hvyntovykh zahotovok z lystovoho prokatu* [Technological and design features of manufacturing screw blanks from sheet metal]. *Naukovi notatky. LDTU*, 14, 12–18 [in Ukrainian].
7. Hevko, I. B., Dyachun, A. Ye., Lyashuk, O. L., Martsenko, S. V., & Gypka, A. B. (2016). Research the force parameters of forming the screw cleaning elements. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 49(2), 77–82.
8. Hevko, I., Diachun, A., Lyashuk, O., Vovk, Yu., & Hupka, A. (2021). Study of dynamic and power parameters of the screw workpieces with a curved profile turning. In *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV: Proceedings of the 4th International Conference DSMIE 2021* (Vol. 1, pp. 385–394). Lviv.
9. Lyashuk, O., Rogatynskyi, R., Hevko, I., Navrotska, T., & Diachun, A. (2024). Study of power parameters of the screw spirals forming. In *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII: Proceedings of the 7th International Conference DSMIE 2024* (Vol. 1, pp. 287–298). Pilsen.
10. Hevko, I. B., Dyachun, A. Ye., Dubyniak, T. S., Stibailo, O. Yu., & Hupka, A. B. (2025). *Tekhnologichni osoblyvosti vyhotovlennia nozhiv-podribniuvachiv na spiralkh shnekiv* [Technological features of manufacturing cutting knives on screw spirals]. *Tsentraltukrains'kyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42), part 1, 75–83 [in Ukrainian].
11. Hevko, I. B., Dyachun, A. Ye., Dubyniak, T. S., Stibailo, O. Yu., & Zoloty, R. Z. (2025). *Doslidzhennia operatsii tekhnologichnoho protsesu vyhotovlennia nozhiv-podribniuvachiv na spiralkh shnekiv* [Research of technological process operations of manufacturing cutting knives on screw spirals]. *Tsentraltukrains'kyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42), part 2, 99–108 [in Ukrainian].
12. Hevko, I. B., Liashuk, O. L., Dyachun, A. Ye., Hupka, A. B., & Tretyakov, O. L. (2025). *Tekhnologichne proiektuvannia ta vyhotovlennia hvyntovykh transportno-tekhnologichnykh robochykh orhaniv* [Technological design and manufacturing of screw transport and technological working bodies]. Ternopil: FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
13. Rogatynskyi, R. M., Hevko, I. B., Liashuk, O. L., Hud, V. Z., Dyachun, A. Ye., Melnychuk, A. L., & Slobodian, L. M. (2019). *Perspektyvni hvyntovi konveieri: konstruktzii, rozrakhunok, doslidzhennia* [Promising screw conveyors: design, calculation, research]. Ternopil: FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
14. Rogatynskyi, R. M., Hevko, I. B., & Dyachun, A. Ye. (2014). *Naukovo-prykladni osnovy stvorennia hvyntovykh transportno-tekhnologichnykh mekhanizmiv* [Scientific and applied bases of creating screw transport-technological mechanisms]. Ternopil: TNTU im. I. Puliiua [in Ukrainian].
15. Hevko, I., Pik, A., Komar, R., Stibaylo, O., & Koval, S. (2024). Peculiarities of technological design of U-shaped screw transport and technological working bodies. *Scientific Journal of TNTU*, 113(1), 5–15.
16. Rogatynskyi, R., Hevko, I., Gypka, A., Garmatyk, O., & Martsenko, S. (2017). Feasibility study of the method choice of manufacturing screw cleaning elements with the development and use of software. *Acta Technologica Agriculturae*, 2, 36–41. <https://doi.org/10.1515/ata-2017-0007>
17. Hevko, I. B., Leshchuk, R. Ya., Hud, V. Z., Dmytriv, O. R., Dubyniak, T. S., Navrotska, T. D., & Kruhlyk, O. A. (2019). *Hnuchki hvyntovi konveieri: proektuvannia, tekhnologii vyhotovlennia, eksperymental'ni doslidzhennia* [Flexible screw conveyors: design, manufacturing technology, experimental research]. Ternopil: FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].

18. Hevko, I. B. (2011). Modeliuvannya kharakteru navantazhennia na hvyntovi robochi orhany [Modeling the load character of screw working bodies]. *Visnyk TNTU*, 16(1), 69–77 [in Ukrainian].
19. Hevko, I. B., Leshchuk, R. Ya., Bryksa, A. O., Stibailo, O. Yu., & Koval, S. O. (2023). Osoblyvosti konstrukttsii i tekhnologichnoho proektuvannia robochykh orhaniv lopatevykh hvyntovykh zmishuvachiv [Design features and technological design of working bodies of blade screw mixers]. *Tsentrlnoukrains'kyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 8(39), part 2, 24–34 [in Ukrainian].
20. Hevko, I. B., Rohatynskyi, R. M., Komar, R. V., Tkachenko, I. H., & Hupka, A. B. (2025). Tekhnologichne proektuvannia sposobiv vyhotovlennia U-podibnykh hvyntovykh poverkhon' transportnykh trub [Technological design of manufacturing methods of U-shaped screw surfaces of transport pipes]. *Tsentrlnoukrains'kyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42), part 2, 109–116 [in Ukrainian].
21. Hevko, I. B., Stibailo, O. Yu., Leshchuk, R. Ya., Huryk, O. Ya., & Hupka, A. B. (2025). Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannia sposobiv vyhotovlennia shnekovykh spiralei, osnashchenykh lopatevymy, rizal'nymy ta podribniuval'nymy elementamy [Technical and economic justification of methods for manufacturing auger spirals equipped with blade, cutting and shredding elements]. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady*, 26, 29–37 [in Ukrainian].

Andrii Diachun, Assoc. Prof., PhD, **Ivan Hevko**, Prof., DSc., **Oleg Stibailo**,

Roman Leshchuk, Assoc. Prof., PhD, **Roman Komar**, PhD, Assoc. Prof.

Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu, Ternopil, Ukraine

Theoretical Study of the Technological Process of Machining the Outer Edge of Screw Elements of Agricultural Machinery

Despite previous studies of the grinding of the outer edge of screw elements, the dynamics of grinding and sharpening of the outer edge of the screw element were not considered, taking into account the vibrations of the workpiece, tool, elements of basing and fastening of the workpiece, and the tool holder of the machine tool. In addition, previous studies are related to grinding the outer edge of the screw element with a small feed of the through cutter (0.1...0.3 mm/rev), respectively, the length of the working edge of the cutter involved in the cutting process is several times smaller than when grinding the outer edge of the screw element. This leads to a significant increase in the cutting force, and accordingly to the vibrations of the tool and the workpiece. And the instantaneous value of the cutting force and its influence on the dynamic parameters of the process of grinding the outer edge of the screw element determine the quality of the machined surface and require further theoretical and experimental research.

A theoretical study of the technological process of machining the outer edge of screw elements of agricultural machinery has been conducted. During the process of turning and sharpening the outer edge of the screw element, the cutting tools are moved along the axis of rotation of the screw element with a feed equal to the pitch of the turns, the rotational movement of the screw element, geometric parameters, their deviations, and the material of the initial workpiece determine the parameters of the quality of shaping the outer edge of the screw element. In addition, the quality of the machined surface is determined by: the accuracy of the machining system (which includes the tool, workpiece positioning and clamping elements, and the machine tool), variable cutting force parameters, workpiece deformation, tool wear, and the rigidity and vibration resistance of the workpiece machining system elements.

It has been established that increasing the width of the cut part of the screw element's turn and the distance between the top of the sharpened edge of the screw element to the center of the circular cutting plate of the cutter leads to an increase in the area of the part of the screw element's material that is cut, and, accordingly, the cutting force, while increasing the radius of the cutting insert of the cutter leads to a decrease in the value of the specified parameters. A significant increase in the area of the part of the material of the screw element that is cut, and therefore the cutting force, is observed when the distance between the tip of the edge of the screw element that is sharpened approaches to the center of the circular cutting insert of the cutter to the value of the radius of the cutting insert of the cutter with the ratio of the radius of the cutting insert of the cutter to the distance between the tip of the edge of the screw element that is sharpened less than 1.1. At the same time, increasing the radius of the cutter's cutting plate leads to an increase in the sharpening angle of the screw element's edge, and increasing the distance between the tip of the sharpening screw element's edge to the center of the circular cutter's cutting plate leads to a decrease. Therefore, rational ratios of the radius of the cutter's cutting plate to the distance between the tip of the edge of the sharpening screw element to the center of the circular cutter's cutting plate in the cutter design are values from 1.4 to 1.8, which allow reducing the area of the part of the material of the screw element that is cut from 1.54 to 2.21 times, providing a sharpening angle of the edge of the screw element from 47 degrees to 57 degrees. The width of the cut part of the screw element's turn has a minor effect on the angle of sharpening of the screw element's edge. Also, to provide a different angle of sharpening of the edge of the screw element, as well as to change the load on the cutter, the distance between the top of the sharpening edge of the screw element to the center of the circular cutting plate of the cutter must be adjustable.

technological process, research, helical spiral, workpiece, tool holder, machining accuracy, cutting tool, machine tool, feed, element, sharpening, edge, operation

Одержано (Received) 03.09.2025

Прорецензовано (Reviewed) 04.09.2025

Прийнято до друку (Approved) 19.09.2025