

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**СТІБАЙЛО ОЛЕГ ЮРІЙОВИЧ**

**УДК 621.9.04; 621.941**

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ  
ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ  
ТЕХНІКИ**

13 «Механічна інженерія»

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ О.Ю. Стібайло

Науковий керівник:  
Гевко Іван Богданович,  
доктор технічних наук, професор

Тернопіль – 2025

## АНОТАЦІЯ

*Стібайло О.Ю.* Технологічне забезпечення виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 “Прикладна механіка”. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2025.

Дисертація присвячена теоретичному обґрунтуванню, проектуванню та практичному впровадженню нового технологічного процесу, оснащення та інструментів для вирішення наукового завдання, яке полягає у підвищенні ефективності виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки, оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами.

Виконано аналіз і узагальнення результатів досліджень формоутворення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки, проведено теоретичне та експериментальне дослідження, пов’язане із виготовленням ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків, шляхом розроблення технологічного забезпечення та вибору раціональних конструктивно-технологічних параметрів операцій розробленого технологічного процесу.

Розроблено технологічний процес виготовлення ножів-подрібнювачів на навитих щільним пакетом на ребро спіралях гвинтових елементів з виконанням таких операцій: калібрування навитої щільним пакетом на ребро спіралі шнека на певний крок; проточування зовнішньої крайки спіралі шнека; заточування зовнішньої крайки спіралі шнека; розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека на певну глибину з відповідним кроком з метою отримання заготовок під ножі-подрібнювачі; загинання ножів-подрібнювачів на спіралі шнека на певний кут; гартування ножів-подрібнювачів та зовнішньої частини витків шнека струмами високої частоти з метою підвищення твердості та міцності ріжучих частин шнека (виконується для шнеків виготовлених із вуглецевих та легованих сталей із вмістом вуглецю від 0,35%); калібрування спіралі шнека з виготовленими ножами-подрібнювачами на встановлений крок.

Розроблено схеми проточування та заточування зовнішньої крайки спіралі шнека, розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека для отримання заготовок під ножі-подрібнювачі, їх загинання, гартування ножів-

подрібнювачів та зовнішньої частини витків шнека струмами високої частоти, а також калібрування спіралі шнека з виготовленими ножами-подрібнювачами на потрібний крок. Встановлено конструктивно-технологічні параметри операцій проточування та заточування зовнішньої крайки спіралі шнека, а також конструктивно-технологічні параметри операцій виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралі шнека. Виведено залежності миттєвої площі, складових сили різання стружки в процесі загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента різцем з круглими ріжучими пластинами від конструктивних параметрів інструмента, ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента, відхилень від ідеальної гвинтової поверхні та зовнішнього радіуса витків. Встановлено взаємозв'язок між кутом загострення крайки гвинтового елемента із конструктивними та технологічними параметрами процесу загострення різцем із круглими ріжучими пластинами.

Розроблено динамічну модель заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента різцем із круглими ріжучими пластинами. На основі рівняння Лагранжа другого роду виведено систему диференціальних рівнянь, що дозволяють прогнозувати коливання елементів динамічної моделі. Розв'язок системи диференціальних рівнянь з нульовими початковими умовами проведено чисельним методом Рунге-Кутта із застосуванням прикладної програми. Числові дані складових системи диференціальних рівнянь визначено методами комп'ютерного моделювання та на основі експериментальних даних. Результати представлено у вигляді графіків.

Проведено дослідження конструктивних та силових параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі роликком. Виведено теоретичні залежності для розрахунку сили подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі залежно від конструктивних та технологічних параметрів процесу, що дозволяє визначити мінімальне значення технологічного кута гнуття ножів-подрібнювачів роликком.

Представлено програму і методику проведення експериментальних досліджень для досягнення мети та виконання завдань кваліфікаційної роботи, встановлення адекватності одержаних теоретичних взаємозв'язків конструктивних та силових параметрів процесів формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі, практичної реалізації розробленого

технологічного процесу та перевірки працездатності спроектованого оснащення та інструментів.

Розроблено та виготовлено для виконання операцій технологічного процесу виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки спеціальне технологічне оснащення та інструменти, зокрема спеціальну оправку для базування та закріплення заготовки гвинтового елемента, різець для заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента, ролик для загинання ножів-подрібнювачів на спіралі гвинтового елемента, вибрано устаткування для вимірювання силових параметрів процесів із застосуванням частотного перетворювача Altivar 71, програмного забезпечення PowerSuite, тензодатчика.

Представлено результати експериментальних досліджень та встановлено емпіричні закономірності впливу конструктивних і технологічних параметрів на силові параметри процесів загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента спеціальним різцем та формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі роликом.

Розроблено оригінальні способи виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки оснащених ножами-подрібнювачами, лопатями та U-подібних гвинтових транспортно-технологічних робочих органів; визначено їх основні конструктивно-технологічні параметри; запропоновано оптимальні матеріали для їх виготовлення. Проведено технологічне проектування і техніко-економічне обґрунтування процесів виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки з подальшим впровадженням їх у виробництво. Ефективність розроблених конструкцій спіралей шнеків оснащених лопатевими, різальними чи подрібнювальними елементами і способів їх виготовлення підтверджено дев'ятьма патентами України на корисні моделі та актами впровадження у ПП «Хлопівецьке» (Тернопільська обл., м. Копичинці), ТОВ "УНІВЕРСТ ЛТД" з економічним ефектом у 70,3 тис. грн. та частково у ФГ «КРОК ВПЕРЕД 2019», ФГ «ДАРИ ДОЛИНИ».

**Ключові слова:** гвинтова поверхня, виток шнека, заготовка, параметричне рівняння, ріжуча кромка, напружено-деформований стан гнuttя, зміцнення матеріалу, математична модель, силові параметри, динаміка операції, підвищення твердості, механічне та термічне оброблення, технологічні параметри, схема та амплітуда коливань, комп'ютерна модель.

## ANNOTATION

*Stibailo O.Yu.* Technological support for the production of screw elements for agricultural machinery. - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 131 " Applied Mechanics ". - Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2025.

The dissertation is devoted to the theoretical substantiation, design, and practical implementation of a new technological process, tooling, and instruments aimed at solving the scientific problem of increasing the efficiency of manufacturing screw elements of agricultural machinery equipped with blades and shredding knives.

An analysis and generalization of research results concerning the forming processes of screw elements in agricultural machinery were performed. Theoretical and experimental investigations related to the production of shredding knives on screw auger spirals were carried out by developing technological support and selecting rational design and process parameters of the operations within the proposed technological process.

A technological process was developed for producing shredding knives on tightly wound edge-on spirals of screw elements, including the following operations: calibration of the tightly wound spiral to a specified pitch; turning of the outer edge of the screw spiral; sharpening of the outer edge; cutting the outer edge to a specified depth and pitch to obtain preforms for shredding knives; bending of the shredding knives on the screw spiral to a defined angle; high-frequency induction hardening of shredder knives and the outer portion of screw flight turns in order to increase the hardness and strength of the screw's cutting sections (applied to screws manufactured from carbon and alloy steels with a carbon content of 0.35% and higher); calibration of the spiral with the formed knives to the prescribed pitch.

Schemes for turning and sharpening the outer edge of the screw spiral, cutting operations for obtaining knife preforms, bending, and final calibration of the screw spiral with the knives were developed. The structural and technological parameters of the turning and sharpening operations, as well as the parameters of the knife-forming operations on the screw spiral, were determined. Dependencies of the instantaneous

cutting area and chip formation force components during sharpening of the outer edge with a tool fitted with round cutting inserts were derived as functions of the tool's design parameters, the width of the removed chip layer, deviations from the ideal helical surface, and the outer radius of the helix. The relationship between the sharpening angle of the screw edge and the structural and technological parameters of the sharpening process using a tool with round inserts was established.

A dynamic model of the sharpening process of the screw element's outer edge by a tool with round cutting inserts was developed. Based on Lagrange's second-order equations, a system of differential equations was derived to predict oscillations of the model elements. The system was solved numerically using the Runge–Kutta method implemented in an applied software program. The numerical parameters of the system were determined using computer simulation and experimental data. The results were presented graphically.

Research on the structural and force parameters of the knife-forming process on a screw element using a roller was conducted. Theoretical relationships were derived for calculating the roller feed force during the bending of shredding knives on a screw element, depending on the process design and technological parameters, which made it possible to determine the minimum technological bending angle of the knives.

A program and methodology for experimental studies were developed to achieve the objectives of the qualification work, verify the adequacy of the theoretical relationships between structural and force parameters of the knife-forming processes, validate the practical implementation of the developed technology, and test the functionality of the designed tooling and fixtures.

Special technological fixtures and tools were designed and fabricated for carrying out the operations of the proposed process for manufacturing screw elements of agricultural machinery. These include a special mandrel for locating and securing the screw element blank, a cutter for sharpening the outer edge of the screw element, a roller for bending the shredding knives on the screw spiral, as well as equipment for measuring process forces using an Altivar 71 frequency converter, PowerSuite software, and a strain gauge sensor.

Experimental results were obtained and empirical dependencies were established describing the influence of design and technological parameters on the force parameters during the sharpening of the screw edge using a special cutter and the formation of shredding knives using a roller.

Original methods for manufacturing screw elements of agricultural machinery equipped with shredding knives, blades, and U-shaped screw conveying-working parts were developed. Their key structural and technological parameters were determined, and optimal materials for their fabrication were proposed. Technological design and technical and economic justification of the manufacturing processes for screw elements were carried out, followed by their industrial implementation.

The effectiveness of the developed designs of screw spirals equipped with blade, cutting, and shredding elements, as well as the proposed manufacturing methods, was confirmed by nine utility model patents of Ukraine and by implementation acts at PP “Khlopivetske” (Ternopil region, Kopychyntsi) and LLC “UNIVERST LTD”, resulting in an economic effect of UAH 70.3 thousand, and partial implementation at FG “KROK VPERED 2019” and FG “DARY DOLYNY”.

**Keywords:** helical surface; screw flight turn; workpiece; parametric equation; cutting edge; stress–strain state during bending; material strengthening; mathematical model; force parameters; operation dynamics; hardness enhancement; mechanical and thermal processing; technological parameters; oscillation scheme and amplitude; computer model.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ***Публікації у фахових виданнях*

1. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Брикса А. О., Стібайло О. Ю., Коваль С. О. Особливості конструкцій і технологічного проектування робочих органів лопатевих гвинтових змішувачів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(39), ч. 2. С. 24–34. (Автором проведено аналіз технологічності робочих органів лопатевих гвинтових змішувачів).
2. 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, No 1. P. 5–15. (Автором запропоновано способи виготовлення U-подібних в поперечному перерізі гвинтових елементів).
3. Стібайло О. Ю. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 10(41). ч. 2. С. 55-64.
4. 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. (Автором запропоновано способи виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків).
5. 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. (Автором розроблено технологічне оснащення, інструменти для виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків, виведено рівняння регресії силового параметру формування ножів-подрібнювачів).
6. 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. (Автором проведено техніко-економічний аналіз технології виготовлення гвинтових елементів).

7. Дячун А. Є., Гевко І. Б., Стібайло О. Ю., Лещук Р. Я., Комар Р. В. Теоретичне дослідження технологічного процесу оброблення зовнішньої крайки гвинтових елементів сільськогосподарської техніки. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 12(43), ч. 1. С. 115–125. (Автором виведено рівняння для знаходження геометричних параметрів процесу заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента).

### ***Тези конференцій та семінари***

8. Гевко Ів. Б., Лещук Р. Я., Пік А. І., Стібайло О. Ю. Спосіб виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки. *Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики* : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. присвяченої 90-річчю Рибака Тимофія Івановича та 60-річчю кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин, м. Тернопіль, 29–30 вересня 2022. Тернопіль, 2022. С. 99-100. (Автором запропоновано спосіб виготовлення гвинтових елементів).

9. Коваль С. О., Стібало О. Ю. Особливості виготовлення лопатевих спіралей змішувачів. *Матеріали та програма XI Всеукраїнської наук.-техн. конф. «Сучасні технології у промисловому виробництві»*, м. Суми, 23-26 квітня 2024. Суми, 2024. С. 40-41. (Автором проаналізовано способи виготовлення гвинтових робочих органів змішувачів).

10. Гевко І., Дячун А., Стібайло О. Особливості конструкцій і технологічного проектування гвинтових робочих органів сільськогосподарської техніки. *Збірник тез доповідей XXV міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" присвяченої 124-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, 95-й річниці з дня заснування механіко-технологічного факультету НУБіП України*, м. Суми, 17–19 жовтня

2024. Київ, 2024. С. 126-129. (Автором запропоновано способи виготовлення гвинтових елементів).

11. Гевко І., Дячун А., Стібайло О. Спосіб виготовлення лопатевих спіралей змішувачів. *Збірник матеріалів XIII Міжнародної наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»*, м. Тернопіль, 11-12 грудня 2024. Тернопіль, 2024. С. 139-140. (Автором запропоновано спосіб виготовлення гвинтових елементів).

12. Гевко І., Дубиняк Т., Стібайло О. Проведення експериментальних досліджень з виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків сільськогосподарської техніки. *Збірник матеріалів Міжнародної наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», присвяченої 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, м. Тернопіль, 28-29 травня 2025. Тернопіль, 2025. С. 122-123. (Автором запропоновано конструкцію технологічного устаткування для проведення експериментальних досліджень).

13. Гевко І., Дячун А., Стібайло О. Дослідження параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтових робочих органах сільськогосподарської техніки. *Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" присвяченої 125-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка*, м. Київ, 17–18 жовтня, 2025. Київ, 2025. С. 63-66. (Автором виведено теоретичні залежності параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтових робочих органах).

### ***Патенти України***

14. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок: пат. 157048. Україна: МПК В21Н 3/12, В21D 11/06. № u202400164; заявл. 11.01.24; опубл. 05.09.24, Бюл. №36. 5 с. (Частка всіх авторів однакова).

15. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок: пат. 157208. Україна: МПК В21Н 3/12, В21D 11/06. № u202400167. заявл. 11.01.24; опубл. 19.09.24, Бюл. № 38. 5 с. (Частка всіх авторів однакова).

16. Спосіб виготовлення гвинтових транспортних труб: пат. 158211. Україна: МПК В21D 9/00, В21D 9/10 (2006.01). № u202402778. заявл. 24.05.24; опубл. 09.01.25, Бюл. №2. 5 с. (*Частка всіх авторів однакова*).
17. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок: пат. 158470. Україна: МПК В21Н3/12, В21D11/06. № 202402777. заявл. 24.05.24; опубл. 13.02.25, Бюл. №7. 7 с. (*Частка всіх авторів однакова*).
18. Шнек для змішування з механічним кріпленням елементів: пат. 153687 Україна: МПК 65G 33/16, 65G 33/26. № u202301003; заявл. 13.03.23; опубл. 10.08.23, Бюл. №32. 5 с. (*Частка всіх авторів однакова*).
19. Гвинтовий робочий орган змішувача: пат. 153774 Україна: МПК 65G 33/16. № u202301002; заявл. 13.13.23; опубл. 24.08.23, Бюл. №34. 5 с. (*Частка всіх авторів однакова*).
20. Шнек для змішування з еластичною щіткоподібною поверхнею: пат. 157049 Україна: МПК В65G 33/16. № u202400169; заявл. 11.01.24; опубл. 05.09.24, Бюл. №36. 5 с. (*Частка всіх авторів однакова*).
21. Пристрій для виготовлення лопатей на гвинтовій заготовці: пат. 160881. Україна: МПК В21D11/06. № u202501728; заявл. 18.04.25; опубл. 15.10.25, Бюл. №42. 5 с. (*Частка всіх авторів однакова*).
22. Шнек з механічним кріпленням спіралей: пат. 157050. Україна: МПК В65G 33/26, В65G 33/16. № u202400170. заявл. 11.01.24; опубл. 05.09.24, Бюл. №36. 5 с. (*Частка всіх авторів однакова*).

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП .....</b>	<b>14</b>
<b>РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....</b>	<b>20</b>
1.1. Загальні конструктивні і технологічні особливості гвинтових елементів сільськогосподарської техніки, область їх використання.....	20
1.2. Характеристика способів формоутворення й аналіз технологічного спорядження для виготовлення гвинтових елементів.....	25
1.3. Аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень проточування гвинтових елементів.....	34
1.4. Висновки та завдання дослідження.....	45
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....</b>	<b>47</b>
2.1. Технологічні особливості виготовлення ножів-подрібнювачів на гвинтових елементах.....	47
2.2. Дослідження взаємозв'язку параметрів точності з динамічними параметрами токарного оброблення зовнішньої крайки гвинтового елемента.	57
2.3. Дослідження параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі.....	89
2.4. Висновки.....	96
<b>РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....</b>	<b>101</b>
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	101
3.2. Дослідження операцій технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях гвинтових елементів.....	103

	13
3.3. Методика проведення експериментальних досліджень для визначення сили подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів та тангенціальної і осьової складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів.....	115
3.4. Результати експериментальних досліджень для визначення сили подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів.....	122
3.5. Результати експериментальних досліджень для визначення тангенціальної та осьової складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів.....	129
3.6. Висновки.....	137
<b>РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....</b>	<b>140</b>
4.1. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки.....	140
4.2. Особливості конструкцій і технологічного проектування робочих органів лопатевих гвинтових змішувачів-подрібнювачів.....	147
4.3. Технологічне проектування гвинтових U-подібних транспортно-технологічних робочих органів сільськогосподарської техніки.....	154
4.4. Техніко-економічне обґрунтування способів виготовлення шнекових спіралей оснащених лопатевими, різальними та подрібнювальними елементами.....	163
4.5. Висновки.....	172
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>174</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>180</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>198</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Розширення технологічних можливостей гвинтових елементів шнекових механізмів забезпечує збільшені спроможності їх застосування у різних галузях економіки. Зокрема, гвинтові елементи, оснащені ножами-подрібнювачами та лопатями, використовують в різних галузях економіки, таких, як будівельна, харчова і переробна, гірничо-видобувна, при будівництві шляхів тощо. Особливе застосування знайшли такі гвинтові елементи у сільськогосподарському виробництві при виробництві різних кормів для годівлі тварин і птиці, де вони дозволяють поєднувати операції транспортування, подрібнення та змішування різноманітних продуктів. Розробленню та дослідженню технологічних способів виготовлення різних типів гвинтових елементів присвячені праці багатьох науковців. Свою увагу вони концентрували на специфіці отримання шнекових спіралей різними типами технологічних процесів, зокрема навиванням, штампуванням, розгинанням і зварюванням окремих витків спіралі, прокатуванням тощо. Конструктивні особливості гвинтових елементів, оснащених ножами-подрібнювачами та лопатями, зумовлюють необхідність створення нових способів їх виготовлення.

Тому актуальним є завдання розроблення нових прогресивних технологічних процесів із вибором технологічного устаткування, проектуванням технологічного оснащення та інструментів, що забезпечують високу продуктивність та економічну ефективність із досягненням необхідних показників якості при виготовленні гвинтових елементів сільськогосподарської техніки, оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Роботу виконано відповідно до тематики наукового напрямку Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя в рамках науково-дослідної роботи ВК 72-24 «Розроблення енергоефективних конструкцій та ресурсозберігаючих технологій виробництва робочих органів гвинтових транспортно-технологічних машин» (№ державної реєстрації 0124U002485).

**Мета роботи і завдання дослідження. Мета роботи** – проектування та практичне впровадження технологічного процесу, оснащення та інструментів для підвищення ефективності виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки, оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами.

Для досягнення мети в роботі поставлені та вирішені такі **завдання**:

- провести аналіз існуючих технологічних процесів та устаткування для виготовлення гвинтових елементів машин з врахуванням особливостей їх конструкцій і на цій основі розробити вдосконалену технологію із оснащенням та інструментами для виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки, оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами;

- вивести аналітичні залежності для визначення основних конструктивних та силових параметрів процесу загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента різцем з круглими ріжучими пластинами залежно від конструктивних параметрів та відхилень поверхонь гвинтових елементів від ідеальних;

- розробити динамічну модель заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента різцем із круглими ріжучими пластинами з врахуванням відхилень поверхонь гвинтових елементів від ідеальних в процесі формоутворення із виведенням та розв'язком системи диференціальних рівнянь, що описують рух елементів приведеної системи;

- вивести аналітичні залежності для визначення основних конструктивних та силових параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі роликком;

- спроектувати і виготовити технологічне оснащення та інструменти для практичної реалізації технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на гвинтових елементах;

- провести експериментальні дослідження для встановлення взаємозв'язку конструктивних і технологічних параметрів із силовими параметрами процесів загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента та формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі;

- провести технологічне проектування і техніко-економічне обґрунтування процесів виготовлення гвинтових елементів

сільськогосподарської техніки з подальшим впровадженням їх у виробництво.

**Об'єкт дослідження** – технологічні процеси виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки, оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами.

**Предмет дослідження** – технологічне оснащення та інструменти для формування зовнішньої крайки та ножів-подрібнювачів на гвинтових елементах, закономірності впливу їх параметрів на силові характеристики процесів.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження виконано, застосовуючи фундаментальні засади технології машинобудування, методи механіко-математичного моделювання, диференціальне числення, чисельні методи розв'язку диференціальних рівнянь. Експериментальні дослідження проведено на основі стандартних методик, використовуючи методи математичного планування експерименту, прикладне програмне забезпечення та спеціально спроектоване та виготовлене технологічне устаткування та інструменти.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

- вперше виведено теоретичні залежності для визначення миттєвої площі, кута загострення та складових сили різання стружки в процесі загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента різцем з круглими ріжучими пластинами залежно від їх конструктивних параметрів та відхилень поверхонь гвинтових елементів від ідеальних;

– набуло подальшого розвитку дослідження динамічних параметрів процесу заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента різцем із круглими ріжучими пластинами з врахуванням відхилень поверхонь гвинтових елементів від ідеальних в процесі формоутворення, що дає змогу прогнозувати характер зміни динамічних навантажень та величин деформацій складових технологічної системи;

- вперше виведено теоретичні залежності для розрахунку сили подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі залежно від

конструктивних та технологічних параметрів процесу, що дозволяє визначити мінімальне значення технологічного кута гнуття ножів-подрібнювачів роликом;

- вперше встановлено емпіричні закономірності впливу конструктивних і технологічних параметрів на силові параметри процесів загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента спеціальним різцем та формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі роликом.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблено та практично реалізовано технологічний процес виготовлення ножів-подрібнювачів на навитих щільним пакетом на ребро гвинтових елементах з виконанням таких операцій: калібрування навитого гвинтового елемента на спеціальну оправку; проточування зовнішньої крайки спіралі шнека; заточування зовнішньої крайки спіралі шнека спеціальним різцем; розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека на певну глибину з відповідним кроком дисковою фрезою з метою отримання заготовок під ножі-подрібнювачі; загинання ножів-подрібнювачів на спіралі шнека на певний кут спеціальним роликом. Розроблено та виготовлено для виконання операцій технологічного процесу виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки спеціальне технологічне оснащення та інструменти, зокрема спеціальну оправку для базування та закріплення заготовки гвинтового елемента, різець для заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента, ролик для загинання ножів-подрібнювачів на спіралі гвинтового елемента.

Ефективність розроблених конструкцій спіралей шнеків оснащених лопатевими, різальними чи подрібнювальними елементами і способів їх виготовлення підтверджено десятьма патентами України на корисні моделі та актами впровадження у ПП «Хлопівецьке» (Тернопільська обл., м. Копичинці), ТОВ "УНІВЕРСТ ЛТД" з економічним ефектом у 70,3 тис. грн. та частково у ФГ «КРОК ВПЕРЕД 2019», ФГ «ДАРИ ДОЛИНИ».

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати кваліфікаційної роботи здобувачем одержано самостійно. В одноосібній фаховій статті та працях, опублікованих у співавторстві, проведено технологічне проектування

виготовлення гвинтових елементів із врахуванням їх конструкцій [15, 112, 94, 24, 21], запропоновано технологічний процес виготовлення гвинтових елементів [13, 35], представлено експериментальне устаткування та результати експериментальних досліджень [14, 21], проведено теоретичні дослідження [53, 22] та техніко-економічне обґрунтування способів виготовлення гвинтових елементів [19], запропоновано конструкції гвинтових елементів і способів їх виготовлення [56, 23, 4, 80, 85-87, 90, 96-98].

**Апробація матеріалів дисертації.** Основні положення та результати кваліфікаційної роботи доповідались й обговорювались на: Міжнародній науково-технічній конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики» присвяченій 90-річчю Рибака Тимофія Івановича та 60-річчю кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин (м. Тернопіль, 2022); V Міжнародній науково-практичній конференції «Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем» (м. Кропивницький, 2023); IX Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в АПК» (м. Луцьк, 2023); XI Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 2024); XXV Міжнародній науковій конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" присвяченій 124-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, 95-й річниці з дня заснування механіко-технологічного факультету НУБіП України (м. Київ, 2024); Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», присвяченій 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2025), XXVI Міжнародній науковій конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" присвяченій 125-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка (м. Київ, 2025).

Робота доповідалась на розширеному засіданні науково-технічного семінару Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, де було отримано позитивний відгук.

**Публікації.** Результати наукових досліджень викладено у 22 наукових працях, з них – 7 статей у фахових виданнях України, 9 патентів України на корисні моделі, 6 тез наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 148 найменувань та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації 231 сторінка, в тому числі 173 сторінки основного тексту, 98 рисунків, 16 таблиць.

## РОЗДІЛ 1

# СТАН ПИТАННЯ, АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

### 1.1. Загальні конструктивні і технологічні особливості гвинтових елементів сільськогосподарської техніки, область їх використання

Розширені технологічні можливості гвинтових елементів шнекових механізмів забезпечують збільшення можливості їх застосування у різних галузях економіки. Зокрема, гвинтові елементи, оснащені ножами-подрібнювачами та лопатями, використовують в різних галузях економіки, таких, як будівельна, харчова і переробна, гірничо-видобувна, при будівництві шляхів тощо. Особливе застосування знайшли такі гвинтові елементи у сільськогосподарському виробництві при виробництві різних кормів для годівлі тварин і птиці, де вони дозволяють поєднувати операції транспортування, подрібнення та змішування різноманітних продуктів.

Конструктивні виконання та типорозміри гвинтових елементів, оснащених ножами-подрібнювачами та лопатями, визначаються особливістю їх роботи та зумовлені виконанням різноманітних операцій технологічних процесів перероблення сільськогосподарської продукції. Особливості розроблення технологічних процесів виготовлення гвинтових елементів обумовлено їх конструктивними параметрами та матеріалом, з якого вони виготовляються.

Основними конструктивними параметрами гвинтового елемента (рис. 1.1) є: зовнішній діаметр  $D$  гвинтового елемента, внутрішній діаметр  $d$  гвинтового елемента, товщина  $H_b$  матеріалу, крок  $T$  витків гвинтового елемента, ширина  $B$  витка гвинтового елемента, кут загострення  $\xi$  крайки гвинтового елемента, кут  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів, висота  $L_b$  сектора під ножі-подрібнювачі, довжина  $B_b$  сектора під ножі-подрібнювачі, кількість витків  $n$  гвинтового елемента.

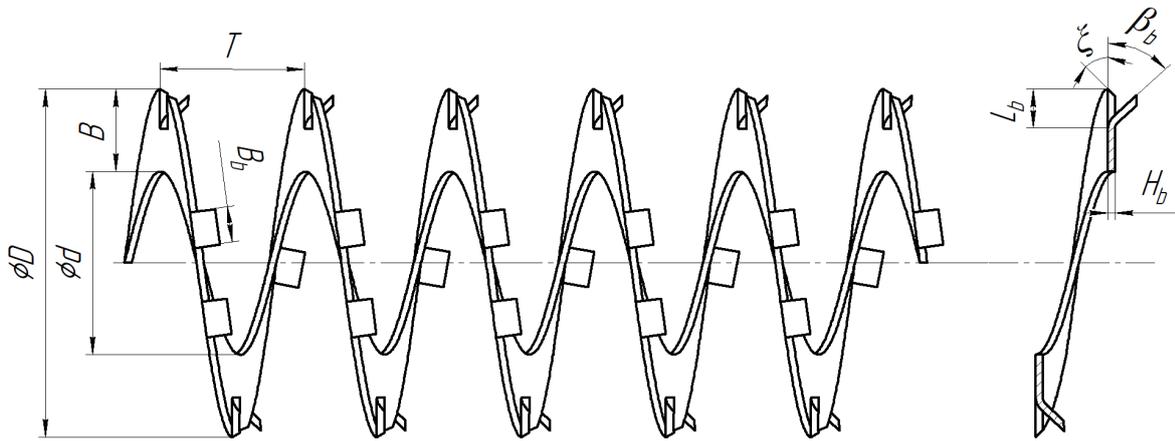


Рис. 1.1. Конструктивні параметри гвинтового елемента, оснащеного ножами-подрібнювачами

Для виготовлення гвинтових елементів, оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами використовується холоднокатаний прокат сталей марок 08 кп ДСТУ 2834-94, Ст 3 ДСТУ 4651:2005 (аналогі є марки: 040A10,1449-1HR, 1HR, 2HR, DC01, DD13 (Англія); 1008, 1010, A619, A622, G10080, G10120 (США); 1.0322, 1.0335, DC01, DC04, DC04G1, DD11, DDB, St12, St 14, St22, StW24, USt3, USt4 (Німеччина), 3С, DC01, DC04, DD13, FB8, Fd4, FR8, XC6 (Франція)), а також сталь 20, 30, 35, 40, 45, 09Г2С, 08Х17Т, 12Х17, AISI 304, AISI 316 та інші аналоги [112].

У роботі [42] для забезпечення технології переробки коренеплодів на соковиті корми здійснено об'єднання двох окремих операцій транспортування та подрібнення коренеплодів в одну операцію, застосовуючи спеціальні шнекові транспортери-подрібнювачі з комбінованими гвинтовими елементами (рис. 1.2, рис. 1.3). На гвинтовому елементі рис. 1.2 застосовано гвинтову частину, що сформована у вигляді загострених ножів 6 із пазами між ними.

На гвинтовому елементі рис. 1.3 застосовано гвинтову частину із додатково сформованими на витках Г-подібними ножами 8, що дозволяє підвищити продуктивність перероблення сировини порівняно із попередньою конструкцією.

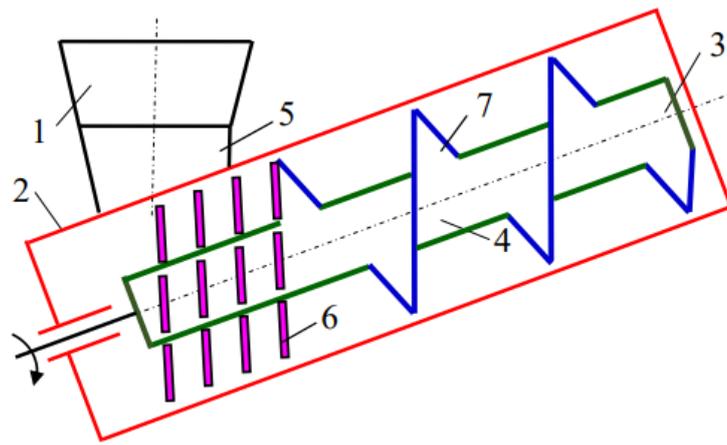


Рис. 1.2. Шнековий транспортери-подрібнювач з комбінованим гвинтовим елементом [42]

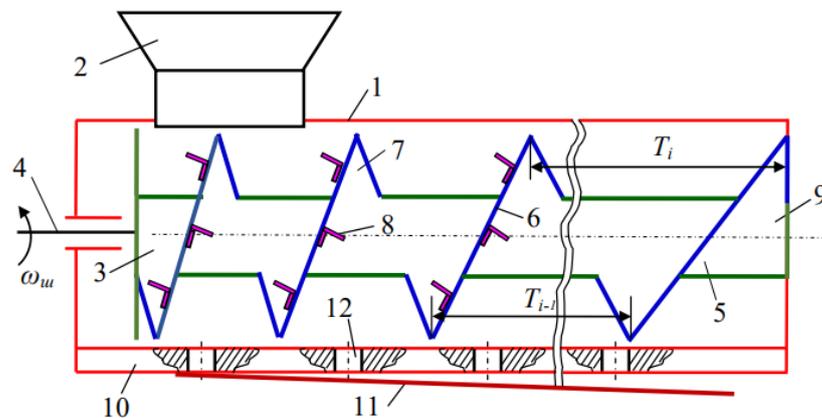


Рис. 1.3. Шнековий транспортери-подрібнювач з гвинтовим елементом та Г-подібними ножами [42]

У роботі [73] для розширення функціональних можливостей та підвищення продуктивності роботи технологічного процесу, що поєднує одночасне транспортування та подрібнення коренеплодів одним гвинтовим елементом розроблено спеціальний гвинтовий конвеєр, оснащений ножами-подрібнювачами (рис. 1.4).

У роботі [95] для підвищення продуктивності транспортування сипких матеріалів представлено конструкції гвинтових конвеєрів (рис. 1.5, рис. 1.6) з гвинтовими елементами із Г-подібними лопатями з різними кутами нахилу полицок, що можуть бути приєднанні механічно, або сформовані безпосередньо на гвинтовому елементі.

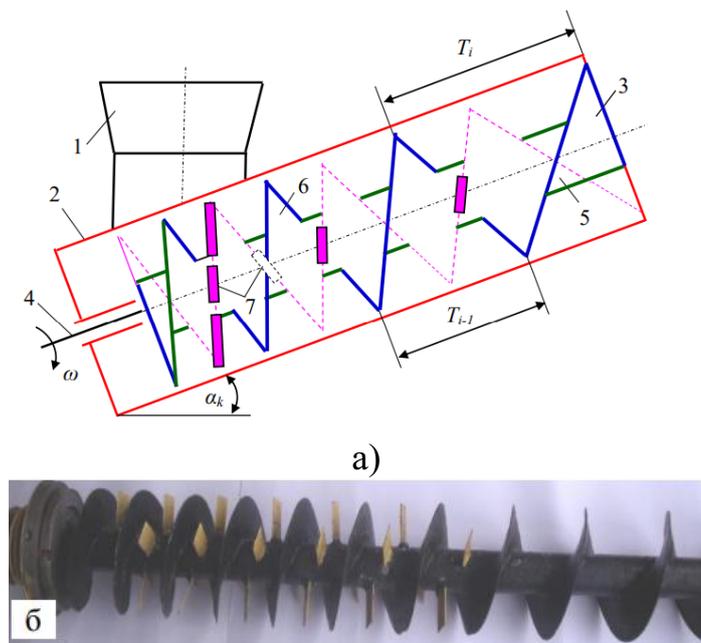


Рис. 1.4. Гвинтовий конвеєр, з гвинтовим елементом, оснащеним ножами-подрібнювачами: а) схема конвеєра; б) гвинтовий елемент [73]



Рис. 1.5. Гвинтовий конвеєр з гвинтовими елементами із Г-подібними лопатями [95]

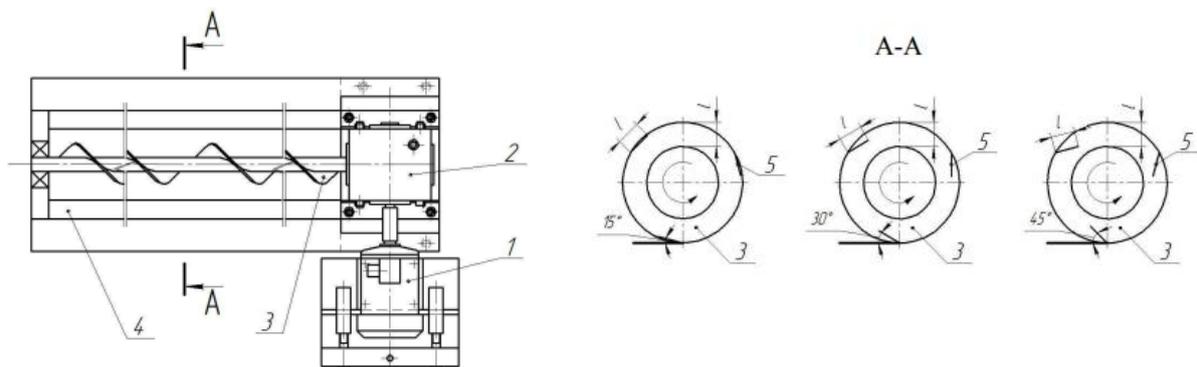


Рис. 1.6. Гвинтовий конвеєр з гвинтовими елементами із різними кутами нахилу додаткових полицок [95]

Гвинтові елементи із прорізами та відігнутими полицками для змішування, охолодження, провітрювання сипких матеріалів виготовляються компаніями

KWS [118], Kase Conveyors [116], Jiangsu Hualiang Machinery CO [115] (рис. 1.7), Atlas Engineers [104] (рис. 1.8) та багатьма іншими. Гвинтові елементи із загостреною зовнішньою крайкою використовуються у шнекових подрібнювачах компанії Мехдрайв [67] (рис. 1.9)

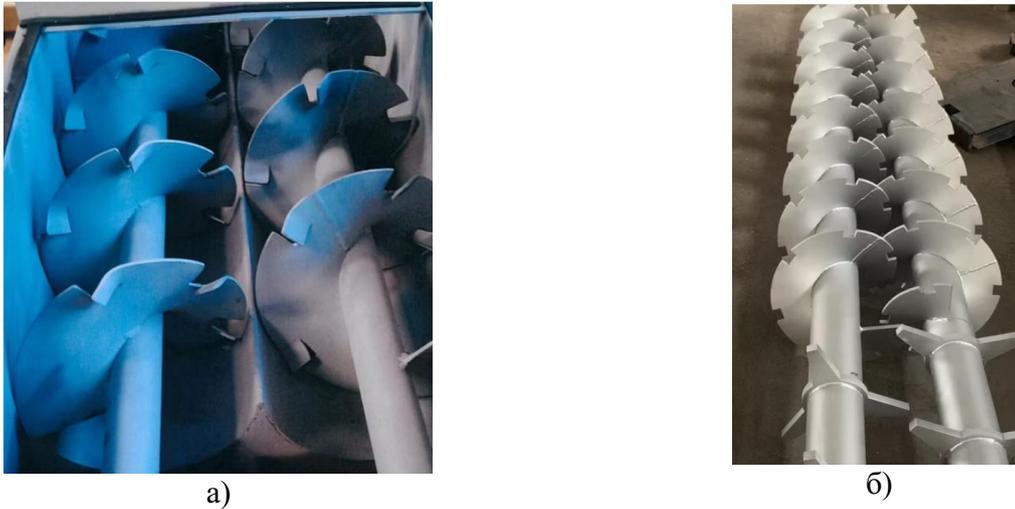


Рис. 1.7. Гвинтові елементи із а) відігнутими поличками та б) прорізами компанії Jiangsu Hualiang Machinery CO [115]



Рис. 1.8. Гвинтові елементи із відігнутими поличками компанії Atlas Engineers [104]



Рис. 1.9. Гвинтові елементи із загостреною зовнішньою крайкою компанії Мехдрайв [67]

## 1.2. Характеристика способів формоутворення й аналіз технологічного спорядження для виготовлення гвинтових елементів

Гвинтові елементи функціонують як транспортні та технологічні вузли в широкому спектрі машин і механізмів, зокрема в шнекових транспортерах. Незважаючи на тривалий період дослідження та вдосконалення процесів їх виготовлення, технологія формування таких елементів залишається складною та енергоємною. Підвищені вимоги до експлуатаційних характеристик - якості, надійності, зносостійкості, а також до геометричної точності та стабільності технологічних параметрів - зумовлюють необхідність розроблення більш ефективних і прогресивних способів їх одержання.

Розробленню та дослідженню технологій виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки а також підвищення твердості поверхонь присвячені праці багатьох авторів, зокрема Гевка Б.М. [5-11], Пилипця М.І. [11, 74-79, 141, 142], Рогатинського Р.М. [33, 82, 83, 122, 134], Гевка І.Б. [3, 6, 8-10, 12-41, 45, 47, 53, 75-79, 82, 83, 110-112, 122, 134], Васильківа В.В. [1-3, 11, 29, 109, 140-142], Ляшука О.Л. [6, 9, 10, 17, 18, 58-66, 82, 110, 111, 122, 123], Дячуна А.Є. [5-7, 13, 14, 17, 22-24, 40, 45, 49, 51-55, 58, 59, 62-65, 75, 82, 83, 109, 110, 122, 123], Драгана А.П. [9, 30, 31, 34, 47-49], Гупки А.Б. [13, 17, 19, 29 33, 37, 39, 40, 45, 46, 110], Кучвари І.М. [10, 75, 123], Навроцької Т.Д. [16, 58, 59, 68, 122], Ткаченка І.Г. [33. 34], Данильченко Л.М. [47, 141, 142], Пилипаки С.Ф. [69, 117, 128-130, 133], Гудя В.З. [16, 32, 38, 41, 43, 44, 78, 82], Гуря І.В. [143, 144, 145], Miyazaki Katsunori, Kurogoe Sadao, Boose, Weaver H, Jarvis Hyrum, Vicard Pierre-Geoiges, Abbott Roy Wayne, Kurokawa Takeo, Moore Marvin, Mochizuki Hideto, Suzuki Iakamichi, Mckindary Thomas, Mayr Karl-Heinz, Suzuki Shoji, Ochiai Izumi, Boose Robert, Kurokawa Takeo, D Norris, Nakasaki Takamitsu, Midonkawa Masakazu. У роботах розглянуто питання розроблення та дослідження технологій виготовлення гвинтових елементів методами кування, способом розганяння, способами профілювання з одночасним навиванням, комбінованими способами навивання з вальцюванням, безперервного лиття з вальцюванням, безоправкового

навивання з наступним навиванням на оправку, калібрування на крок гвинтових елементів, способами гнуття в штампах та іншими способами, способи зміцнення поверхонь.

Відомо низку технологічних методів формування гвинтових елементів, які різняться за послідовністю операцій, кінематичними схемами, конструкцією робочих органів і характером контакту інструмента із заготовкою.

Вибір оптимального методу виготовлення гвинтових елементів та раціональної конструкції формоутворювального інструмента визначається комплексом факторів: геометричними параметрами гвинтового елемента, фізико-механічними властивостями матеріалу, технологічними характеристиками процесу, а також вимогами до точності профілю та чистоти обробленої поверхні.

Основні технологічні методи виготовлення гвинтових елементів включають: штампування [99], кування [131, 136], лиття [108, 147], прокатування [146], навивання [111, 123] та механічну обробку різанням [126, 140]. Теоретичні основи процесів формоутворення заготовок шляхом пластичного згину закладено у працях багатьох дослідників. У наукових роботах [132, 135] розглянуто моделі розрахунку параметрів процесів згинання, які мають важливе практичне значення для виготовлення гвинтових елементів методами навивання на оправку, прокатування та визначення їх геометричних і енергетичних характеристик.

Особливості деформації стрічкових заготовок при згинанні детально проаналізовано у працях [100, 137, 138], де наведено аналітичні залежності для визначення напружено-деформованого стану, згинальних моментів і формоутворювальних зусиль.

Сучасні методи навивання гвинтових елементів реалізуються шляхом намотування стрічкової заготовки на оправку різних типів. При цьому формоутворення здійснюється згинанням стрічки до поверхні оправки за допомогою роликів певної конструкції. Основні варіації відомих методик полягають у взаємному розташуванні ролика, оправки та стрічки, що визначає кінематичну схему процесу [141, 142].

Приклади типових технологічних схем формоутворення гвинтових елементів із відображенням напрямів переміщення технологічного обладнання, інструментів, а також координатних рухів конструктивних складових заготовки наведено на рис. 1.10 [141], де позначено: а) отримання багатовиткових гвинтових елементів із плоских стрічкових заготовок; б, с) формування гвинтових елементів із замкненим навиванням витків шляхом дискретного навивання стрічкової заготовки ребром на оправку при паралельній або перпендикулярній орієнтації формоутворювальних інструментів відносно оправки; д) одержання гвинтових елементів з відкритою конфігурацією навивання методом дискретного намотування стрічки ребром на оправку при паралельному розташуванні інструмента; е) виготовлення гвинтових елементів без використання стрічкових заготовок шляхом навивання у трироликівому профілезгинальному механізмі; ф) формування секційних гвинтових елементів методом приросткового згинання між пуансоном і матрицею, робочі поверхні яких мають гвинтовий профіль; г) отримання гвинтових елементів шляхом токарної обробки циліндричної порожнистої заготовки.

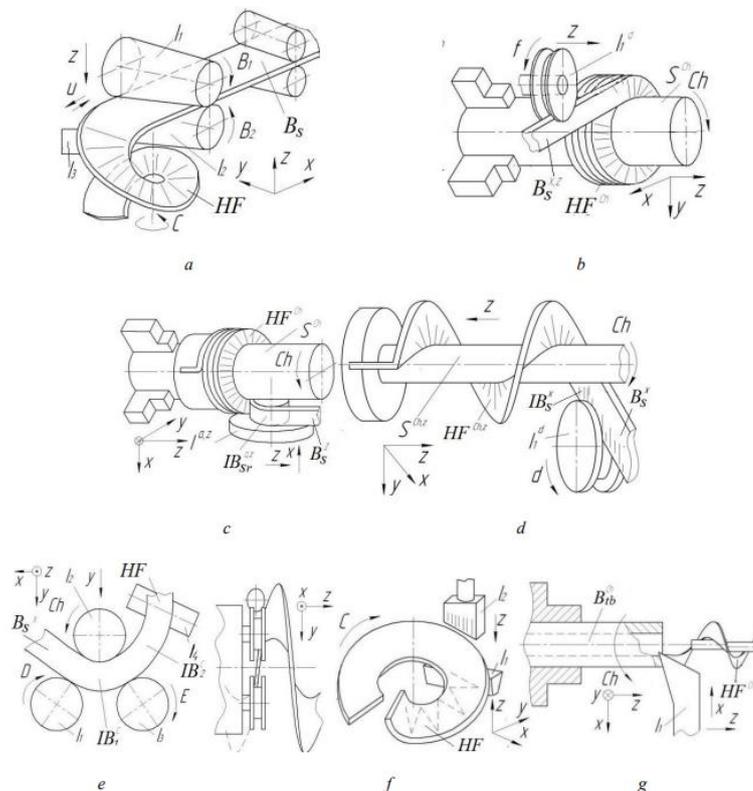


Рис. 1.10. Типові технологічні схеми виготовлення гвинтових елементів із позначенням траєкторій переміщення технологічного оснащення, інструментів та координатних зсувів структурних елементів заготовки [141]

На основі реалізації запропонованого підходу у роботі [141] розроблено новий метод виготовлення гвинтових елементів (рис. 1.11), у якому як вихідну заготовку застосовано суцільну або попередньо вирізану багатовиткову спіраль зі змінним радіусом кривизни. Така конфігурація сприяє зменшенню рівня деформацій заготовки порівняно з прямолінійною стрічкою при аналогічних умовах навивання, створюючи резерв для зниження мінімального радіуса згину, який обмежується не втратою стійкості, а пластичними властивостями матеріалу.

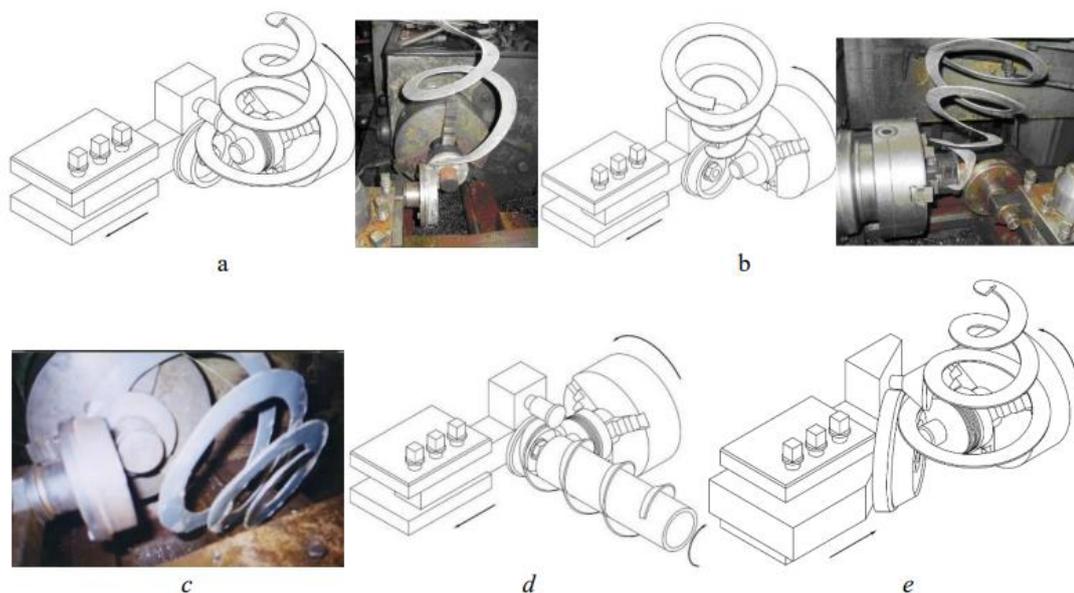


Рис. 1.11. Варіанти технологічних схем виготовлення гвинтових елементів із замкнутим навиванням витків: а) стабільний процес із комплексною дискретною подачею заготовки в зону деформації; б, с) схеми без реалізації процесу навивання; д, е) спрощені схеми подачі заготовки у зону деформації [141]

У роботі [142] під час формування гвинтових елементів методом навивання стрічкової заготовки товщиною  $H_0$  та шириною  $B_0$  на гладку або різбову оправку (рис. 1.12) передбачено декілька способів встановлення оправки або опорного елемента в патроні верстата. У процесі використовується ролик, вісь якого розміщується паралельно (а–д) або перпендикулярно (е, ф) осі оправки.

Для запобігання втраті стійкості та виникненню гофрованих деформацій під час навивання стрічки ребром на оправку необхідно регулювати осьове положення профільованої заготовки, прикладаючи осьове зусилля  $P_{ax} = (0,7-1,1)P$  - для сталевих матеріалів, та  $P_{ax} = (0,8-1,1) P$  - для алюмінієвих сплавів, де  $P$  - зусилля згину стрічкової заготовки.

У процесі формоутворення відбувається одночасна фіксація сформованої гвинтової спіралі по її внутрішньому краю до опорного елемента.

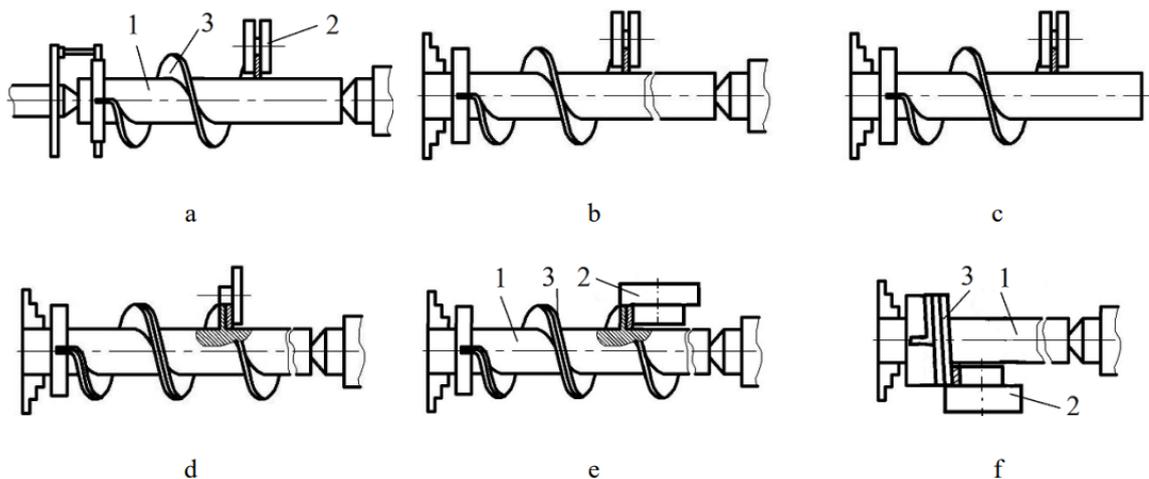


Рис. 1.12. Варіанти кріплення оправки або опорного елемента спіралі під час виготовлення гвинтових елементів на токарних верстатах: 1 – оправка; 2 – ролик; 3 – гвинтова спіраль заготовки [142]

Метою дослідження роботи [140] є аналіз особливостей реалізації інноваційних методів формування гвинтових елементів із використанням процесів повітряно-плазмового різання. Технологічна суть методу полягає у видаленні частини матеріалу вздовж гвинтової лінії з поверхні цільної заготовки за допомогою повітряно-плазмового потоку, спрямованого дотично до концентричної поверхні, що відтворює профіль западини утворюваної гвинтової канавки (рис. 1.13, а) [93]. Залежно від швидкості проплавлення та кута нахилу повітряно-плазмового потоку відносно осі заготовки, при застосуванні круглого сопла плазмотрона можливо отримати заготовки з

переважно круглим, еліпсоїдним або параболічним поперечним профілем гвинтової канавки.

Альтернативно, формоутворення гвинтових елементів може здійснюватися шляхом наскрізного повітряно-плазмового різання стінки порожнистої заготовки вздовж гвинтової траєкторії потоком, розташованим у площині, що проходить через її повздовжню вісь (рис. 1.13, b) [88].

У обох випадках переміщення інструмента вздовж гвинтової лінії забезпечується реалізацією кінематичної суми обертального руху  $D_k$  заготовки та лінійного переміщення  $D_s$  повітряно-плазмового потоку або самої заготовки.

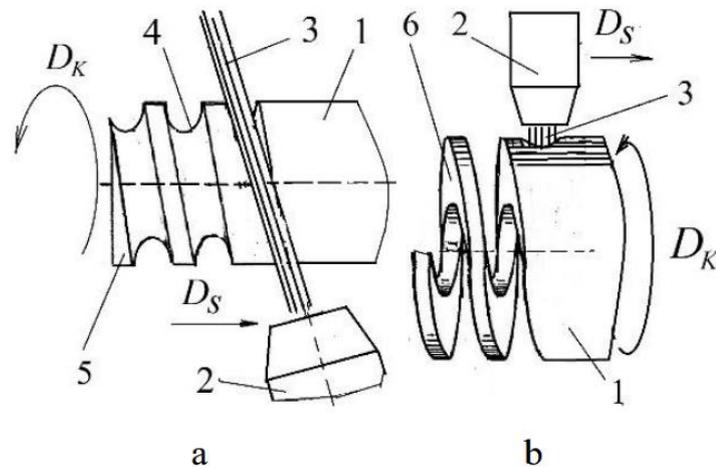


Рис. 1.13. Схема формоутворення гвинтових елементів: 1 – цільна заготовка; 2 – плазмотрон 3 – повітряно-плазмовий потік; 4 – гвинтова канавка; 5 – шнекова заготовка; 6 – гвинтовий елемент [140]

У роботі [122] запропоновано новий метод навивання гвинтових елементів із застосуванням обертової втулки, який забезпечує можливість отримання спіралей із великою шириною стрічки або зі збільшеним внутрішнім діаметром. Було розроблено кілька варіантів технологій навивання гвинтових елементів та конструкцій формоутворювального інструмента з обертовою втулкою. Один із них представлено на рис. 1.14.

Процес реалізується на токарному верстаті із застосуванням спеціального формоутворювального інструмента. Технологічна послідовність навивання спіралі за допомогою обертової втулки включає такі етапи:

- закріплення оправки в патроні верстата та встановлення стрічкової заготовки;
- фіксація оправки задньою бабкою з одночасною подачею обертової втулки, змонтованої в різцевому супорті;
- встановлення стрічки у напрямний ролик;
- активація головного руху верстата та навивання спіралі в щільний пакет;
- вимикання головного руху, відведення задньої бабки та супорта з обертовою втулкою;
- зняття готової гвинтової спіралі з оправки.

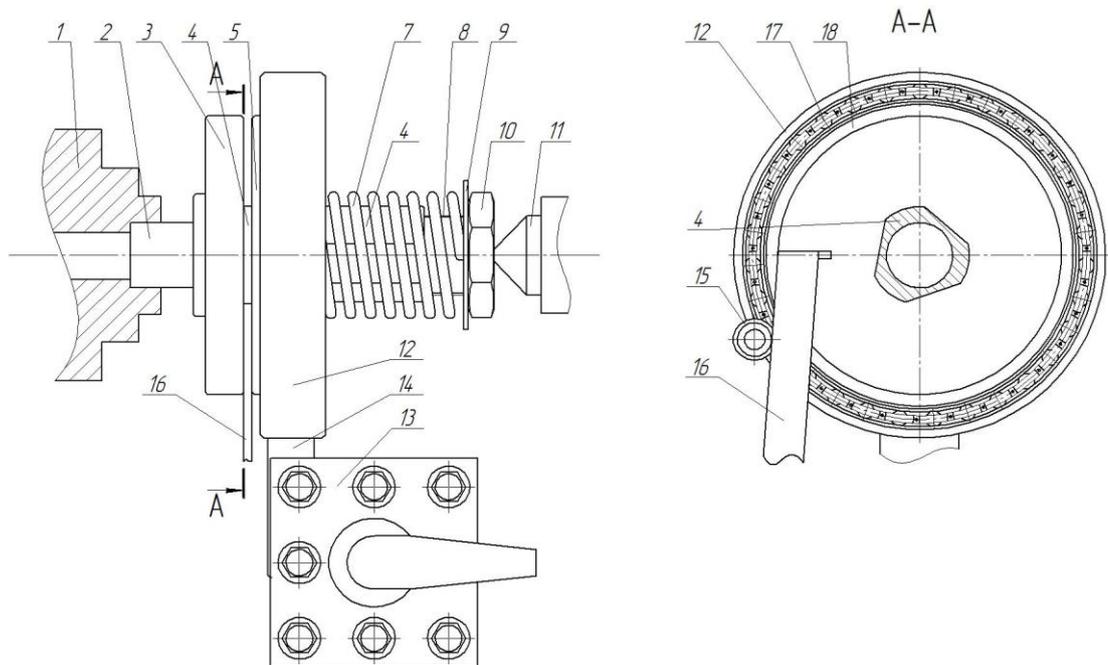


Рис. 1.14. Конструкція інструмента з обертовою втулкою для навивання гвинтових елементів [122]

У роботі [46] розроблено інструменти та оснащення для формування гвинтових елементів з вигнутим профілем (рис. 1.15), в основі яких є застосування формувальних циліндричних роликів 3, що здійснюють згин попередньо сформованої гвинтової заготовки 1, яка закріплюється та обертається на оправці токарного верстата.

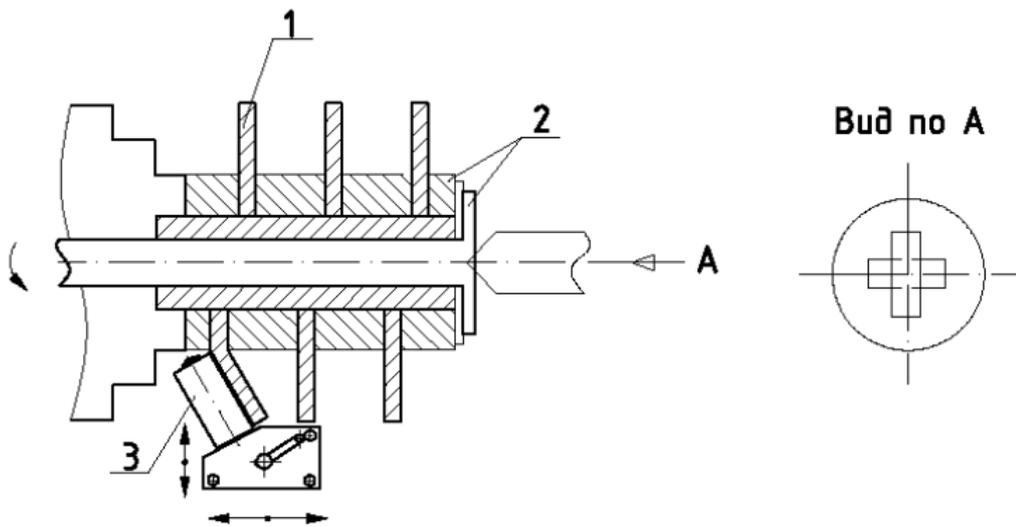


Рис. 1.15. Конструктивна схема оснащення для формування гвинтових елементів з вигнутим профілем [46]

Також у роботі [46] розроблено оснащення для формування гвинтових елементів з вигнутим профілем (рис. 1.16), в основі якого є застосування формувальних конічних роликів та оправки, що розміщені на паралельних осях обертання. Проведено виготовлення установки та експериментальне дослідження вказаного способу.

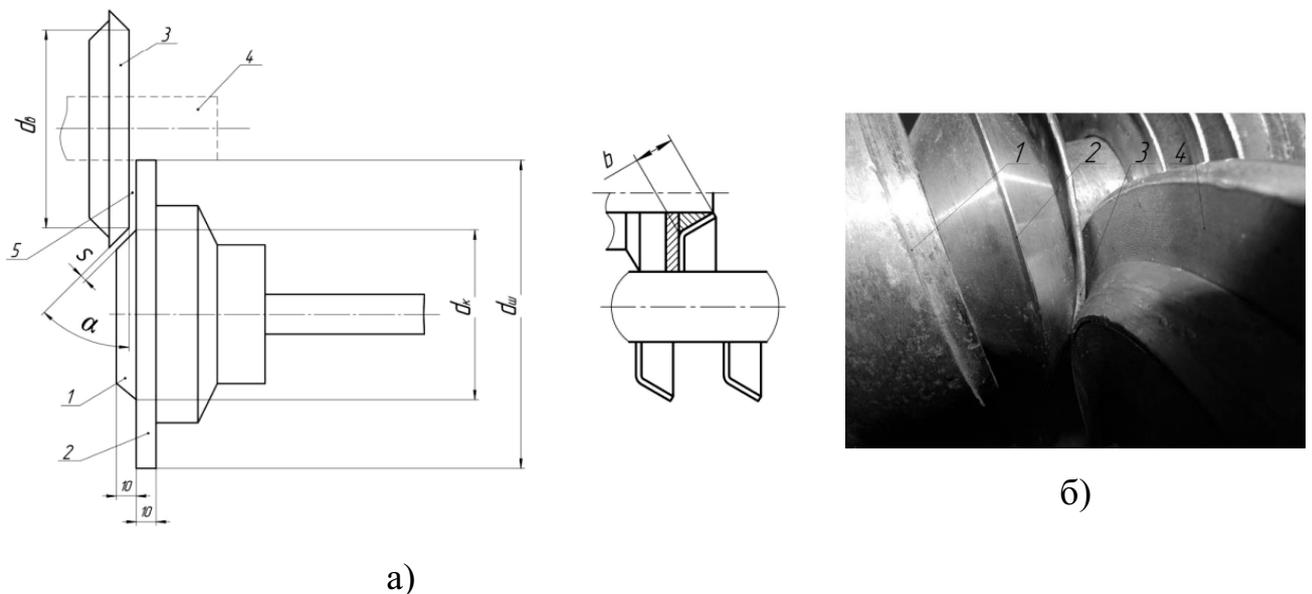


Рис. 1.16. Конструктивна схема а) та експериментальне дослідження б) оснащення для формування гвинтових елементів з вигнутим профілем, в основі якого є застосування формувальних конічних роликів та оправки [46]

Виготовлення гвинтових елементів методами формоутворення [2] супроводжується низкою технологічних обмежень, зокрема під час отримання гвинтових елементів, що характеризуються співвідношеннями кроку витка до діаметра  $T/D > 1,6$  а також ширини витка до товщини витка  $B/H > 100$ . Спотворення форми та розмірів гвинтових елементів виникають у процесі їх розтягування на значний крок, що пов'язано із особливостями їх центрування та затиску. Це обумовлено відсутністю жорсткого утримання заготовки від осового або радіального зміщення під час формування.

Крім того, при виготовленні гвинтових елементів із тонкостінних матеріалів спостерігається виникнення гофроутворень на внутрішній крайці гвинтової поверхні внаслідок нерівномірного розподілу деформаційних напружень і неоднакової сили затиску. Для процесів штампування характерними є низький коефіцієнт використання матеріалу та значна складність виготовлення оснащення – пуансонів, матриць, штампів, призначених лише для обмеженої номенклатури типорозмірів гвинтових елементів.

Удосконалення технології виготовлення гвинтових елементів має бути спрямоване на забезпечення стабільності форми широких витків із малим внутрішнім діаметром, що розширить номенклатуру деталей, виготовлених методом навивання, та підвищить ефективність роботи механізмів, у конструкції яких вони застосовуються. Оскільки процес згинання широких смугових заготовок на ребро є нестійким, під час навивання необхідне використання спеціалізованих пристроїв. Такі пристосування забезпечують стабільність процесу деформування, враховують пружне прогинання оправки та запобігають втраті стійкості витків у зоні деформації, що часто супроводжується появою гофр або поперечних розривів на внутрішній крайці витків гвинтового елемента.

Використання універсального технологічного обладнання, оснащення та спеціалізованих інструментів дозволить суттєво розширити технологічні можливості виробництва гвинтових елементів.

Основні напрями вдосконалення технологічних процесів полягають у

впровадженні методів формування гвинтових елементів в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва із застосуванням універсального устаткування, у зниженні зусиль навивання стрічкових заготовок на ребро, а також у розвитку технологій для автоматизованих виробничих систем. Додаткової уваги потребує підвищення якості гвинтових елементів шляхом усунення дефектів зминання та обривів у зоні деформації.

Комплексне вирішення окреслених проблем вимагає глибокого аналізу існуючих технологій формування гвинтових елементів, узагальнення відомих технічних рішень та розроблення нових підходів, спрямованих на підвищення техніко-економічної ефективності їх виготовлення.

### **1.3. Аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень проточування гвинтових елементів**

У роботі Zhe Li [148] встановлено, що миттєве значення сили різання при обробленні гвинтових поверхонь із великим кроком витків є серед основних індикаторів, що впливають на якість обробленої поверхні та перебігання процесу різання. У статті на основі розгляду системи, що включає устаткування, миттєве значення вібрацій розглянуто як залежність від властивостей механізму подачі токарного верстата, теоретичних значень сили різання та коливань різця. Миттєве значення сили різання процесу токарної обробки гвинтових поверхонь із великим кроком витків прогнозовано для оброблення лівої та правої кромки гвинтової поверхні. Для перевірки теоретичних даних проведено ряд експериментів із проточуванням гвинтових поверхонь із різних матеріалів, з різними кроками та діаметрами.

Науковці Li та ін. [121] запропонували вдосконалену динамічну модель точіння поперечною подачею та запропонували відповідний алгоритм для прогнозування сили різання, вібрації, розмірної поверхневої точності та стабільності точіння при різних режимах різання.

У роботі [119] об'єктами досліджень були нержавіюча сталь та запропонована модель прогнозування сили різання протягом механічного

оброблення з врахуванням деформації нержавіючої сталі, нагрівання та формування стружки, що дозволило покращити параметри різання.

У роботі [113] миттєве змінне значення сили різання протягом механічного оброблення одержано за допомогою моделювання трьохмірним програмним забезпеченням.

У роботі [101] сили різання при нарізанні різьби спрогнозовано діленням площі зрізу на три частини, беручи до уваги у зміні режимів різання, що включають силу тертя на задній поверхні інструмента, середню температуру різання та кут зрізування. У роботі [107] для прогнозування сили різання використано метод кінцевих елементів, де враховано модель деформування стружки.

У роботі [106] проведено теоретичний аналіз тиску у площині зрізування та досліджено розподіл тиску на поверхні інструмента. У статті [105] об'єктом дослідження була гвинтова поверхня із великим кроком витків, при цьому розглянуто вплив конструктивних параметрів інструмента та режимів різання на перехідні параметри сили різання із розробленням моделі для прогнозування вказаної сили. Для прогнозування сили різання у роботі [114] використано метод математичного аналізу кінцевих елементів з можливістю прогнозування перехідних значень сили різання.

У роботі Zhe Li [148] процес оброблення гвинтової поверхні з великим кроком витків із суцільної циліндричної заготовки поділено на чорнову, напівчистову та чистову обробку. В процесі фінішного оброблення гвинтової поверхні здійснюється поступове зрізання поверхні витків з поділом зняття припуску на оброблення за декілька переходів. У процесі різання бере участь лише одна ріжуча крайка різця. При цьому перевагами є зручність відведення стружки та тепла із зони різання. Процес різання лівої та правої частини витка гвинтової поверхні представлено на рис. 1.17, де  $v_f$  – напрямок подачі різця;  $d_1$  – внутрішній діаметр;  $d_2$  – середній діаметр;  $d$  – зовнішній діаметр гвинтової поверхні.

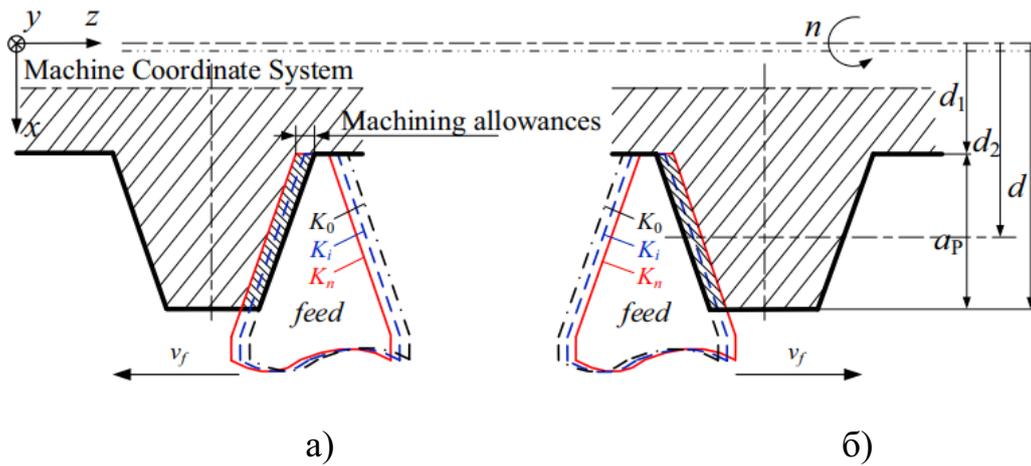


Рис. 1.17. Процес різання лівої а) та правої б) частини витка гвинтової поверхні з поділом припуску на переходи  $K_0$ ,  $K_i$  та  $K_n$  [148]

Під час токарного оброблення гвинтової поверхні, силу, що діє на різець розглянуто з точки зору трьох параметрів. Перший з них - сила пружного та пластичного деформування гвинтової поверхні при врізанні різця. Наступною є сила тертя, що виникає при контакті заготовки із різцем, а також різця із сформованою стружкою. На рис. 1.18 ці сили представлено як  $F_f$  та  $F_{fa}$  відповідно.

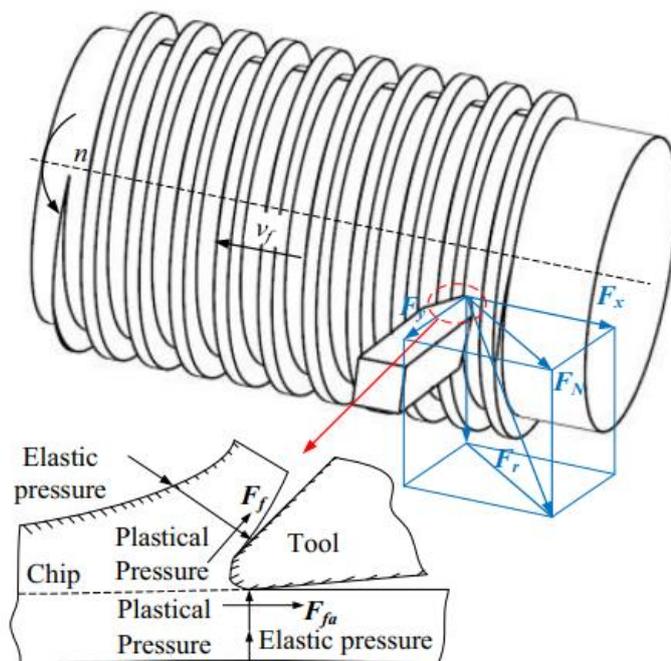


Рис. 1.18. Схема розкладання сили різання  $F_r$  при проточуванні гвинтової поверхні з великим кроком витків по трьох осях прямокутної системи координат [148]

Сили пружно-пластичного деформування та сили тертя разом створюють силу різання  $F_r$ , що виникає на кромці різця в процесі проточування гвинтової поверхні. В процесі різання величина та напрям сили різання  $F_r$  постійно змінюється. Для кращого дослідження, аналізу сили різання  $F_r$  та збору даних експериментальних досліджень вектор даної сили розкладено по трьох осях прямокутної системи координат, що переміщується в напрямку різання інструментом, або по осях системи координат токарного верстата  $x$ ,  $y$  та  $z$ .

Аналіз силових параметрів на лівій та правій ріжучих крайках різця при проточуванні гвинтової поверхні з подачею, що дорівнює кроку витків представлено на рис. 1.19, де  $F_{\gamma N}$  - нормальна сила на передній поверхні;  $F_{\alpha N}$  - нормальна сила на задній поверхні;  $F_\gamma$  - сила тертя на передній поверхні;  $F_\alpha$  - сила тертя на задній поверхні;  $F_{\gamma, \gamma N}$  - векторна сума сил  $F_{\gamma N}$  та  $F_\gamma$ ;  $F_{\alpha, \alpha N}$  - векторна сума сил  $F_{\alpha N}$  та  $F_\alpha$ ;  $F$  - сумарна сила різання, що діє на різець, яку розкладено на вектори  $F_c$  та  $F_f$ ;  $v_f$  - швидкість подачі різця вздовж осі гвинтової заготовки;  $v_c$  - лінійна швидкість обертального руху гвинтової поверхні;  $\gamma_o$  - передній кут різця,  $\alpha_o$  - задній кут різця;  $h_D$  - глибина різання;  $h_{ch}$  - товщина стружки.

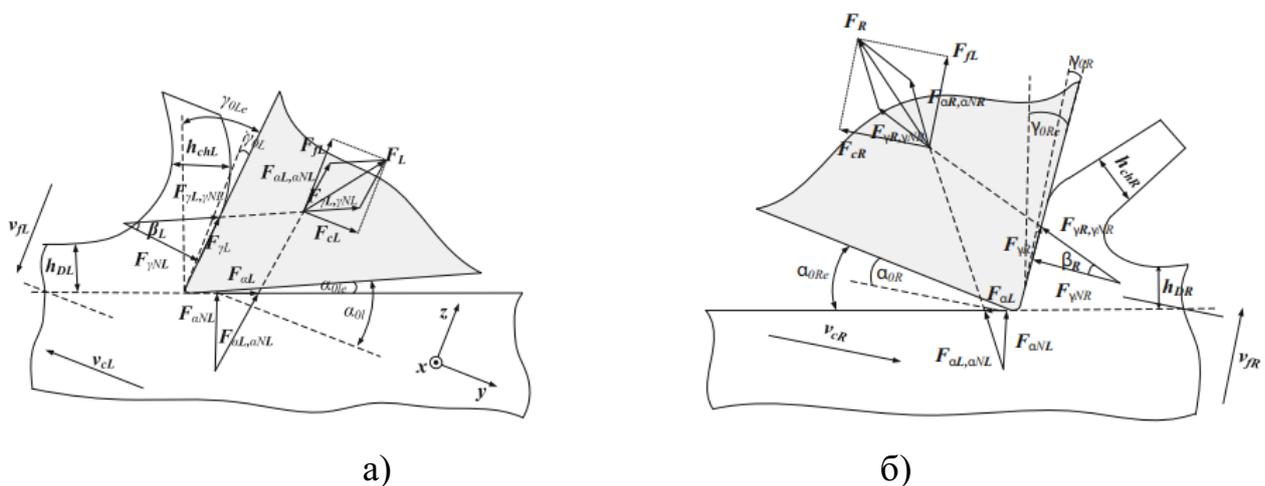


Рис. 1.19. Аналіз силових параметрів на лівій а) та правій б) ріжучих крайках різця при проточуванні гвинтової поверхні з подачею, що дорівнює кроку витків [148]

Також у роботі Zhe Li [148] проведено теоретичні дослідження сили

різання, що ґрунтувались на методі кінцевих елементів. При цьому здійснено спрощення конструкції гвинтового елемента, а для моделювання застосовано один виток з великим кроком. Спрощена модель а також розподіл сітки кінцевих елементів різця та гвинтового елемента зображено на рис. 1.20. При цьому вибраний матеріал гвинтового елемента сталь AISI1045, а матеріал різця - швидкоріжуча сталь W18Cr4.

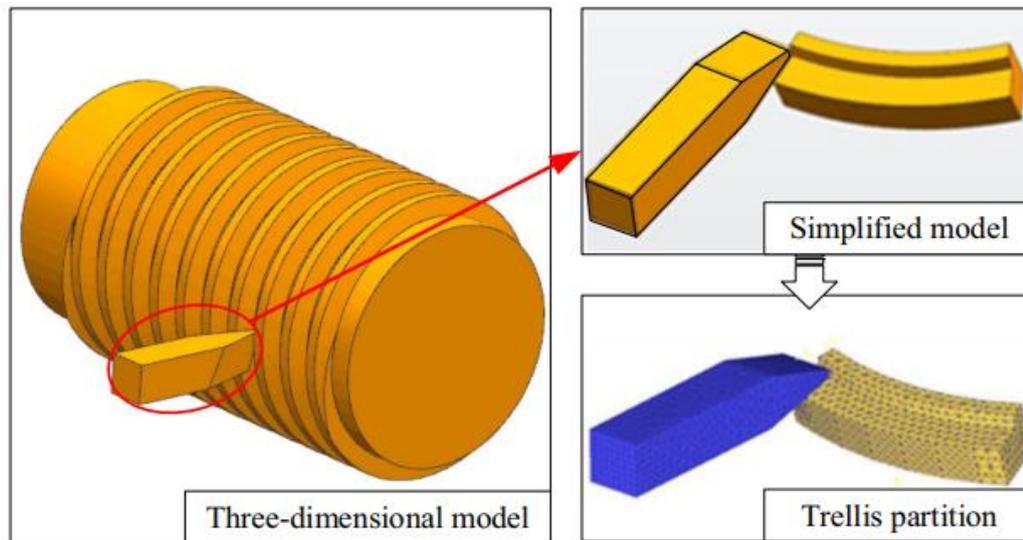


Рис. 1.20. Дослідження параметрів проточування гвинтового елемента методом кінцевих елементів [148]

Результати моделювання, одержані у вигляді графіків рис. 1.21, показують миттєве зростання та спадання сили різання на початку процесу токарного оброблення. Причиною цьому є різке зростання величини деформації заготовки гвинтового елемента при врізанні різця, при цьому сила тертя зростає поступово.

На початку етапу формування стружки, різець перебуває у повному контакті з поверхнею гвинтового елемента, при цьому довжина контакту між різцем та стружкою не змінюється, а миттєві значення сили різання поступово стабілізується.

Одержані дані миттєвого значення сили різання при моделюванні піддавались фільтруванню, після цього визначались середні значення сили різання для лівої та правої кромки гвинтового елемента при різних режимах

різання.

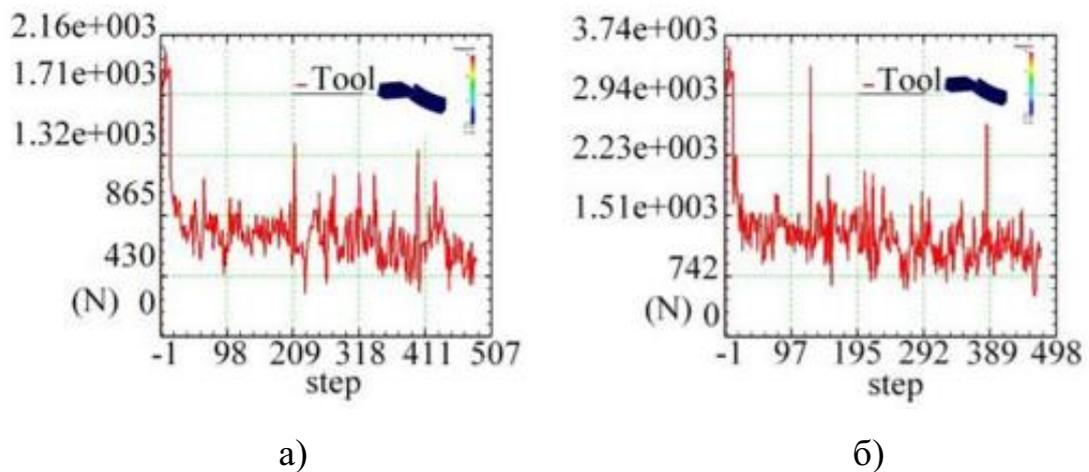


Рис. 1.21. Результати моделювання миттєвого значення сили різання в процесі токарного оброблення поверхні гвинтового елемента при глибині різання а) 0,025 мм та б) 0,05 мм [148]

Після цього дані передавались на програмне забезпечення MATLAB для знаходження функції апроксимації. В результаті одержано степеневі залежності:

$$F_{lx} = CZ_i^a v^b; \quad (1.1)$$

$$F_{rx} = C_1 Z_i^{a_1} v^{b_1}, \quad (1.2)$$

де  $a$ ,  $a_1$ ,  $C$ ,  $C_1$ ,  $b$ ,  $b_1$  - коефіцієнти апроксимації сили різання при проточування лівої та правої кромки гвинтового елемента відповідно.

Залежності апроксимації, що визначають миттєві значення сил різання при перехідних процесах токарної обробки гвинтового елемента, одержані з використання програмного забезпечення MATLAB, подано рівнянням:

$$F_{lx}(t) = CZ_i^a v^b + CZ_i^a v^b [\sin(a_1 t + b_1) + \sin(a_2 t + b_2) + \sin(a_3 t + b_3) + \sin(a_4 t + b_4) + \sin(a_5 t + b_5) + \sin(a_6 t + b_6)]. \quad (1.3)$$

Також у роботі Zhe Li [148] проведено моделювання впливу коливань

верстата на миттєве значення сили різання витка гвинтового елемента. Встановлено, що динамічна взаємодія між поверхнею гвинтового елемента та різця призводить до виникнення коливань елементів вказаної системи. При цьому коливання розглянуто як суму коливань різця при нерухомому шпинделі та коливань, що генеруються інструментом із модельованою теоретичною силою різання. Також розглянуто вплив конструкції механізму подач токарного верстата на вказані коливання, що розглянутий як взаємозв'язок окремих елементів (рис. 1.22): I - частини різця, що виступає із різцетримача; II – різцетримача, державки різця та робочого столу; III – гайки та частини ходового гвинта, що розташована у ній; IV - частини ходового гвинта механізму подач з лівої та правої сторони гайки. При цьому розглянуто поверхні з'єднання між робочим столом та станиною верстата, гайкою та ходовим гвинтом.

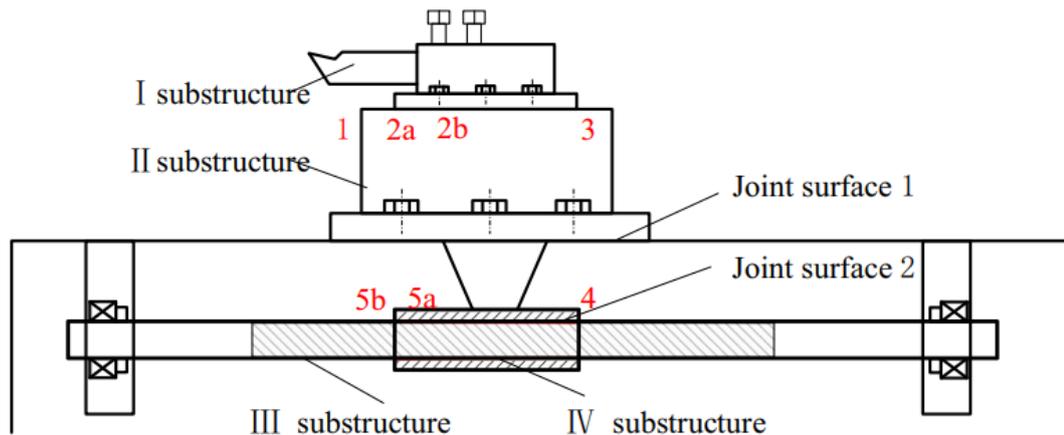


Рис. 1.22. Взаємозв'язок окремих елементів механізму подач токарного верстата [148]

Прийнято, що сила різання рівномірно розподілена на площині контакту поверхні інструменту та заготовки, а величина деформації різця в цій зоні є незначною. Миттєве значення коливань інструмента при зовнішньому навантаженні силою різання описано рівняннями:

$$\theta_c = \frac{F_{xl}(t)\alpha^2}{2EI} ; \quad (1.4)$$

$$f_{IB} = \frac{F_{xl}(t)a^2(3l-a)}{6EI} \quad (1.5)$$

У роботі Minli Zheng [127] розроблено динамічну модель проточування зовнішньої поверхні гвинтового елемента з великим кроком витків та алгоритм розрахунку коливань приведеної системи при зовнішньому навантаженні. Модель також перевірено на адекватність експериментальними методами а також перевірено можливість дослідження впливу автоколивань системи. Запропоновано модель для прогнозування розмірної точності та параметрів обробленої поверхні із врахуванням впливу коливань заготовки. Також проведено аналіз впливу коливань тільки заготовки а також коливань заготовки із різцем на точність проточування та якість поверхні, використовуючи розроблену аналітичну модель.

Результати показали, що існує відмінність між розмірною точністю та параметрами оброблених поверхонь при проточуванні лівої та правої крайок гвинтового елемента. Більші розмірні похибки виникають на лівій крайці гвинтового елемента, при цьому густина хвилястості поверхні є великою. Результати також показали, що розмірні похибки на середній стадії оброблення гвинтового елемента є більшими, ніж на початкових та кінцевих стадіях. Дослідження створили теоретичну базу для подавлення коливань заготовки в процесі токарної обробки а також забезпечують технічний супровід для забезпечення високоякісного механічного оброблення гвинтових поверхонь із великим кроком витків.

Основними похибками поверхні при токарному обробленні гвинтових елементів є шорсткість поверхні, хвилястість та відхилення від геометричної форми. У статті [127] вказано, що ці відхилення зумовлені в основному похибкою подачі інструменту. Шорсткість на поверхні має періодичний характер і залежить від геометрії різця, подачі інструмента, глибини різання при ідеальних умовах. В процесі різання шорсткість поверхні також залежить від високочастотних коливань різця та заготовки, тоді як хвилястість залежить від низькочастотних коливань різця та заготовки (рис. 1.23).

Взаємодія між заготовкою, що обертається та рухомою силою різання призводить до підсилення коливань заготовки гвинтового елемента та різця, що призводить до зростання і різкої зміни сили різання, а також виникнення резонансних випадків коливань заготовки. Також взаємні коливання різця та заготовки змінюють місце розташування ріжучої крайки різця відносно заготовки. Вплив цього ефекту на параметри обробленої поверхні представлено на рис. 1.24.

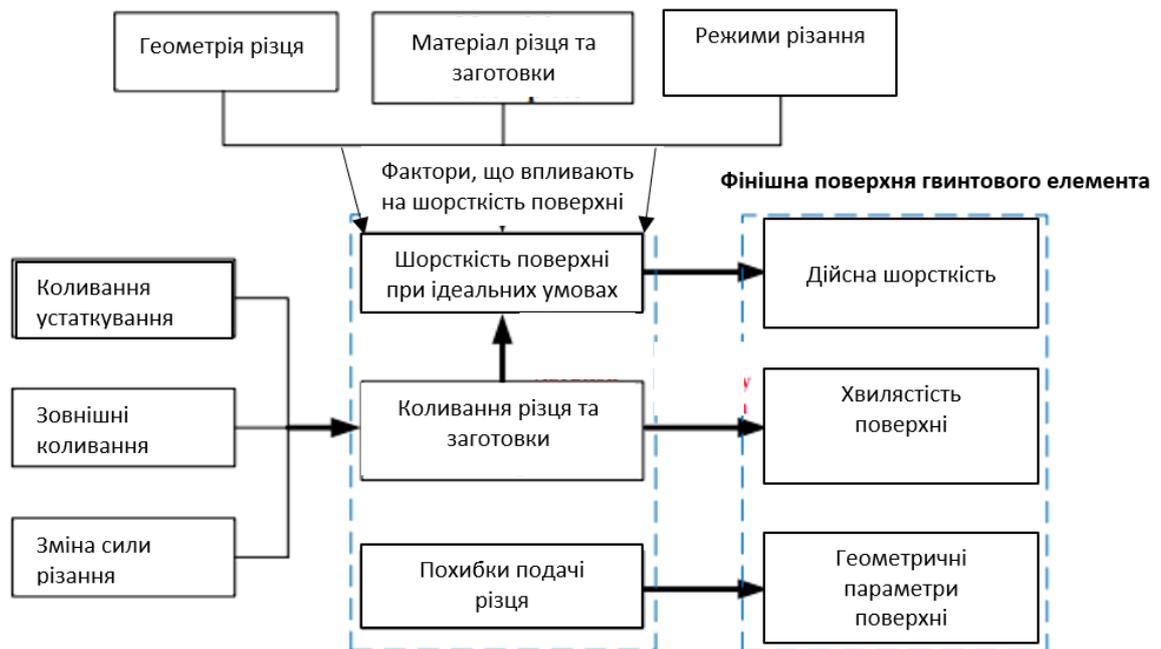


Рис. 1.23. Аналіз впливу факторів на формування поверхні гвинтового елемента при проточуванні [127]

У роботі [105] на основі розрахункової схеми рис. 1.25 встановлено, що коли різець має однакові конструктивні параметри переднього та заднього кутів, а також однаковий кут нахилу різальної кромки, то під впливом кута підйому гвинтової лінії поверхні, що обробляється, контактна взаємодія між інструментом і заготовкою під час різання лівою та правою різальними кромками відрізняється. Відмінності спостерігаються у напружено-деформованому стані лівої та правої різальних кромки. Застосована послідовна схема різання, при якій формування лівої та правої поверхонь гвинтового елемента відбувалась внаслідок однакової кількості проходів лівою та правою різальними кромками інструмента.

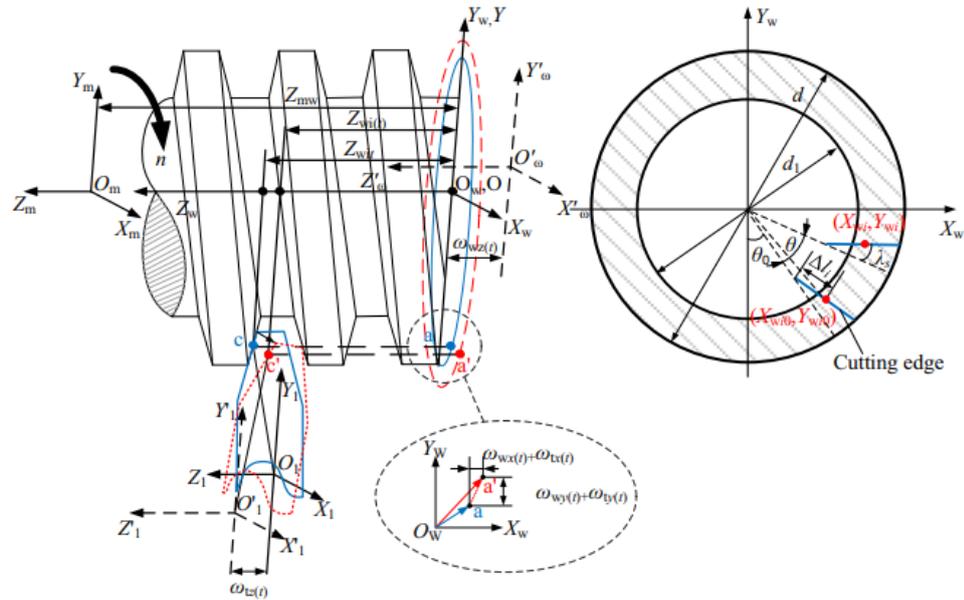


Рис. 1.24. Вплив взаємних коливань різця та заготовки на параметри обробленої поверхні гвинтового елемента [105]

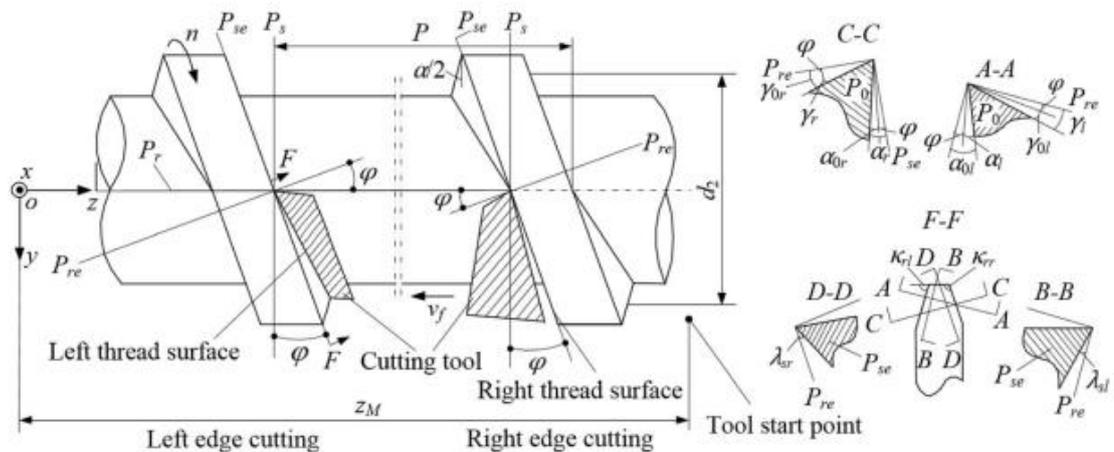


Рис. 1.25. Розрахункова схема конструктивних параметрів проточування гвинтового елемента [105]

Матеріалом заготовки для експерименту була сталь 35CrMo після термічної обробки - гартування та відпуску. Конструкція зразка - правосторонній гвинтовий елемент з одним заходом витків. Довжина гвинтового елемента становила 190 мм, найбільший діаметр - 148 мм, найменший - 132 мм, середній діаметр - 140 мм, крок витків - 16 мм, половина кута нахилу витків -  $15^\circ$ .

Для проточування використано пружний різець зі змінною різальною пластиною, виготовленою із швидкорізальної сталі марки W18Cr4V. Конструкція різця передбачає можливість встановлення та зняття різальної пластини з державки.

Різальна частина інструмента складається з вершини та лівої і правої різальних кромки. Довжина різальної пластини  $L=16,80$  мм. Геометричні параметри лівої різальної кромки: передній кут -  $0^\circ$ , задній кут -  $7^\circ 54'$ , головний кут у плані -  $75^\circ 12'$ , кут нахилу різальної крайки -  $0^\circ$ . Для правої різальної крайки відповідно: передній кут -  $0^\circ$ , задній кут -  $5^\circ 48'$ , головний кут у плані -  $105^\circ 4'$ , кут нахилу різальної кромки -  $0^\circ$ .

Устаткування для вимірювання коливань при проточуванні гвинтового елемента зображено на рис. 1.26.



Рис. 1.26. Устаткування для вимірювання коливань при проточуванні гвинтового елемента [105]

Дослідні токарні випробування проводилися на токарному верстаті CA6140 із частотою обертання шпинделя  $n=10$  об/хв, радіальною глибиною різання 8 мм та осьовим припуском на обробку 0,05 мм. Формування лівої та правої бокових поверхонь гвинтового елемента здійснювалось відповідно лівою та правою різальними крайками інструмента.

Одночасно проводилися вимірювання вібрацій шпинделя верстата та різця. Оскільки датчики не можуть бути встановлені безпосередньо на обертовому шпинделі або заготовці, датчики 1 і 2 були закріплені у нерухомих точках,

найближчих до торця шпинделя. Водночас, з огляду на те, що основні напрямки дії сили різання збігаються з напрямками швидкості різання та подачі, датчики 3 і 4 були встановлені відповідно внизу та зліва від різця найближче до його вершини.

#### **1.4. Висновки та завдання дослідження**

Конструктивні виконання та типорозміри гвинтових елементів, оснащених ножами-подрібнювачами та лопатями, забезпечують збільшення можливості застосування шнекових механізмів у різних галузях економіки, визначаються особливістю їх роботи та зумовлені виконанням різноманітних операцій технологічних процесів перероблення сільськогосподарської продукції, при цьому особливості розроблення технологічних процесів виготовлення гвинтових елементів обумовлено їх конструктивними параметрами та матеріалом, з якого вони виготовляються. Для нових типів гвинтових елементів виникає необхідність у створенні технологічних процесів їх виготовлення із проектуванням спеціального технологічного оснащення та інструментів.

Для досягнення мети в роботі поставлені такі завдання:

- розробити вдосконалену технологію із оснащенням та інструментами для виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки, оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами;

- вивести аналітичні залежності для визначення основних конструктивних та силових параметрів процесу загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента різцем з круглими ріжучими пластинами залежно від конструктивних параметрів та відхилень поверхонь гвинтових елементів від ідеальних;

- розробити динамічну модель заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента різцем із круглими ріжучими пластинами з врахуванням відхилень поверхонь гвинтових елементів від ідеальних в процесі формоутворення із виведенням та розв'язком системи диференціальних рівнянь, що описують рух елементів приведеної системи;

- вивести аналітичні залежності для визначення основних конструктивних та силових параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі роликом;

- спроектувати і виготовити технологічне оснащення та інструменти для практичної реалізації технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на гвинтових елементах;

- провести експериментальні дослідження для встановлення взаємозв'язку конструктивних і технологічних параметрів із силовими параметрами процесів загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента та формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі;

- провести технологічне проектування і техніко-економічне обґрунтування процесів виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки з подальшим впровадженням їх у виробництво.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

#### 2.1. Технологічні особливості виготовлення ножів-подрібнювачів на гвинтових елементах

Виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків є досить складним процесом, який передбачає виконання певного набору технологічних операцій. На сьогодні опрацьовано окремі технології виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків, які викладено в [15, 17, 94]. Вони передбачають виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків з використанням ручного інструменту [15, 17] та механізовані способи з попереднім розрізанням на певну глибину зовнішньої крайки навитої щільним пакетом на ребро спіралі шнека з подальшим загинанням на ній ножів-подрібнювачів за використання оправи та ролика, оснащених спеціальними формувальними втулками [94]. Однак, розроблені процеси є досить складними і потребують вдосконалення. З метою зниження енергоємності і трудомісткості процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на гвинтових елементах нами запропоновано новий технологічний процес, суть якого викладено нижче.

Запропонований технологічний процес виготовлення ножів-подрібнювачів на навитих щільним пакетом на ребро спіралях шнеків включає виконання таких технологічних операцій:

- калібрування навитої щільним пакетом на ребро спіралі шнека на певний крок;
- проточування зовнішньої крайки спіралі шнека;
- заточування зовнішньої крайки спіралі шнека;
- розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека на певну глибину з відповідним кроком з метою отримання заготовок під ножі-подрібнювачі;
- загинання ножів-подрібнювачів на спіралі шнека на певний кут;

- калібрування спіралі шнека з виготовленими ножами-подрібнювачами на встановлений крок.

Розглянемо згаданий технологічний процес детальніше.

Перша операція - калібрування навитої щільним пакетом на ребро спіралі шнека на певний крок, є широковідомою [9] і не потребує детального обґрунтування, здійснюється відомими методами шляхом або закріплення спіралі шнека на двох опорах (як правило, в оправці, яка кріпиться у шпинделі токарного верстата і в затискному механізмі різцетримача) з подальшим розтягуванням на відповідний крок, або в одній опорі (як правило в оправці, яка кріпиться у шпинделі токарного верстата і містить вал, по якому проходить розтягнення спіралі під час калібрування, що іншим кінцем може кріпитися в центрі задньої бабки токарного верстата) і калібрувального пристосування (як правило клина), яке, здійснюючи повздовжній рух вздовж оправки, забезпечує калібрування спіралі шнека на визначений крок [9].

Особливістю даної операції є встановлення поздовжньої подачі супорта використовуваного токарного верстата, що дорівнює кроку калібрування спіралі шнека. Виходячи із потреби виготовлення ножів-подрібнювачів висотою 5...40 мм на спіралях шнеків діаметром 50...250 мм, поздовжня подача супорта використовуваного токарного верстата повинна бути мінімум на кілька міліметрів більшою від заданої висоти ножів-подрібнювачів. Це зумовлено тим, що при подальшому загиначі ножів-подрібнювачів їхня зовнішня кромка не повинна дотикатись до лінії загиначі ножів-подрібнювачів, які виконані на наступних витках. Необхідність забезпечення потрібної висоти ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків зумовлює підбір відповідного обладнання (токарного верстата), що застосовується у подальших операціях.

Друга операція - проточування зовнішньої крайки спіралі шнека. Вона здійснюється з використанням оригінального оснащення та інструменту, які представлені на рис. 2.1.

Оправка під відкалібровану на певний крок спіраль шнека складається із внутрішньої труби 1, яка одним кінцем затиснута в патроні 7 токарного верстата, а іншим встановлена в центрі 8 задньої бабки токарного верстата. Зі

сторони центра 8 задньої бабки токарного верстата на зовнішній боковій поверхні внутрішньої труби 1 виконано різь, на яку нагвинчуються гайки 4. На внутрішній трубі 1 встановлена зовнішня труба 2, на якій виконано гвинтову наскрізну канавку, що за напрямком і кроком відповідає відкаліброваній на першій операції спіралі шнека. Зовнішня труба 2 закріплена на внутрішній трубі 1 гвинтами 6 зі сторони патрона 4 токарного верстата з можливістю стиску-розтягу гвинтової канавки. З правого боку вздовж усієї довжини гвинтової канавки на зовнішній трубі 2 закріплено гвинтами 5 опорний шнек 3 (як правило, квадратної чи прямокутної форми). Після загвинчування спіралі шнека у гвинтову канавку зовнішньої труби 2 здійснюють її затиск в оправці шляхом затиснення спіралі шнека у гвинтовій канавці загвинчуванням гайок 4.

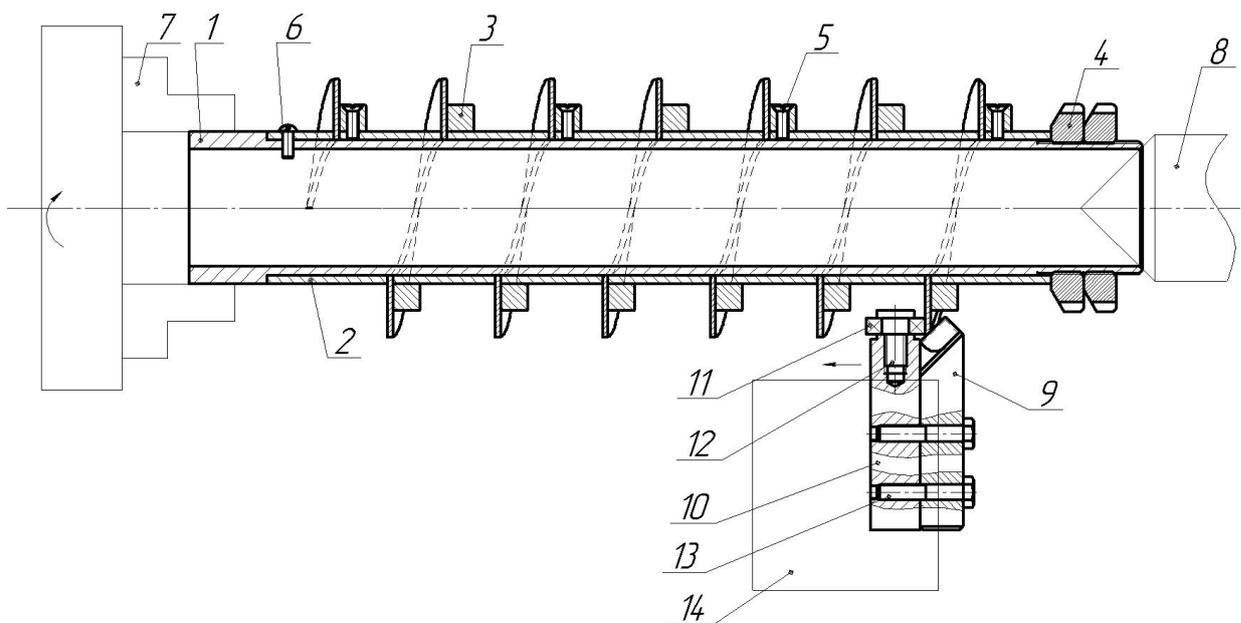


Рис. 2.1. Схема проточування зовнішньої крайки спіралі шнека

Специфіка інструменту для проточування зовнішньої крайки спіралі шнека полягає в тому, що часто існують значні нерівності зовнішньої крайки спіралі шнека, утворені в процесі навивання, калібрування і її базування та затиску в оправці. Тому інструмент для проточування зовнішньої крайки спіралі шнека включає державку 10, до якої болтами 13 кріпиться різець 9. На торцевій поверхні державки 10, поряд з ріжучим лезом різця 9, в опорі 12 з

можливістю колового обертання закріплено підтримуючий ролик 11. Державку 10 закріплено в різцетримачі 14 супорта токарного верстату.

Процес проточування зовнішньої крайки спіралі шнека описано нижче. Інструмент для проточування зовнішньої крайки спіралі шнека підводять до оправки таким чином, щоб зовнішня крайка спіралі шнека з торцевої правої сторони була підведена в зазор між різцем 9 і підтримуючим роликом 11. Далі одночасно вмикають обертовий рух (із встановленою частотою) патрона 7 токарного верстата з оправкою та спіраллю шнека та рух поздовжньої подачі різцетримача 14 супорта токарного верстату з інструментом для проточування зовнішньої крайки спіралі шнека, що дозволяє забезпечити проточування зовнішньої крайки спіралі шнека по всій її довжині.

У таблиці 2.1 подано конструктивно-технологічні параметри операції проточування зовнішньої крайки спіралі шнека. Слід зазначити, що поздовжня подача різцетримача 14 супорта токарного верстату з інструментом для проточування зовнішньої крайки спіралі шнека повинна відповідати кроку відкаліброваної на першій операції спіралі шнека.

Третя операція - заточування зовнішньої крайки спіралі шнека. Вона є подібною до попередньої і конструктивно-технологічні параметри операції проточування зовнішньої крайки спіралі шнека, які представлені у таблиці 2.1, є аналогічними для неї.

Таблиця 2.1

Конструктивно-технологічні параметри операцій проточування та заточування зовнішньої крайки спіралі шнека

№	Частота обертання оправки, об/хв	Поздовжня подача інструменту, мм/об	Зовнішній діаметр спіралі, мм	Висота спіралі, мм	Товщина спіралі, мм	Висота ножів-подрібнювачів, мм
1	3...9	7...18	50	10...15	0,8...2,0	5...10
2	3...12	7...20	80	10...25	1,0...2,5	5...12
3	3...15	7...25	100	10...35	1,0...3	5...15
4	3...18	7...30	125	10...45	1,2...3,5	5...20
5	3...22	7...35	150	10...55	1,5...3,5	5...25
6	3...25	7...45	200	10...75	1,8...4,0	5...35
7	3...30	7...50	250	10...90	2,0...4,0	5...40

Різниця полягає лише у використанні заточувальних інструментів, альтернативні конструкції яких представлено на рис. 2.2 та рис. 2.3, на заміну

інструменту для проточування зовнішньої крайки спіралі шнека. Заточувальний інструмент рис. 2.2 включає державку 9, яка кріпиться у різцетримачі 14 супорта токарного верстату, до якої гвинтами 12, 13 приєднані заточувальні елементи 10 та 11.

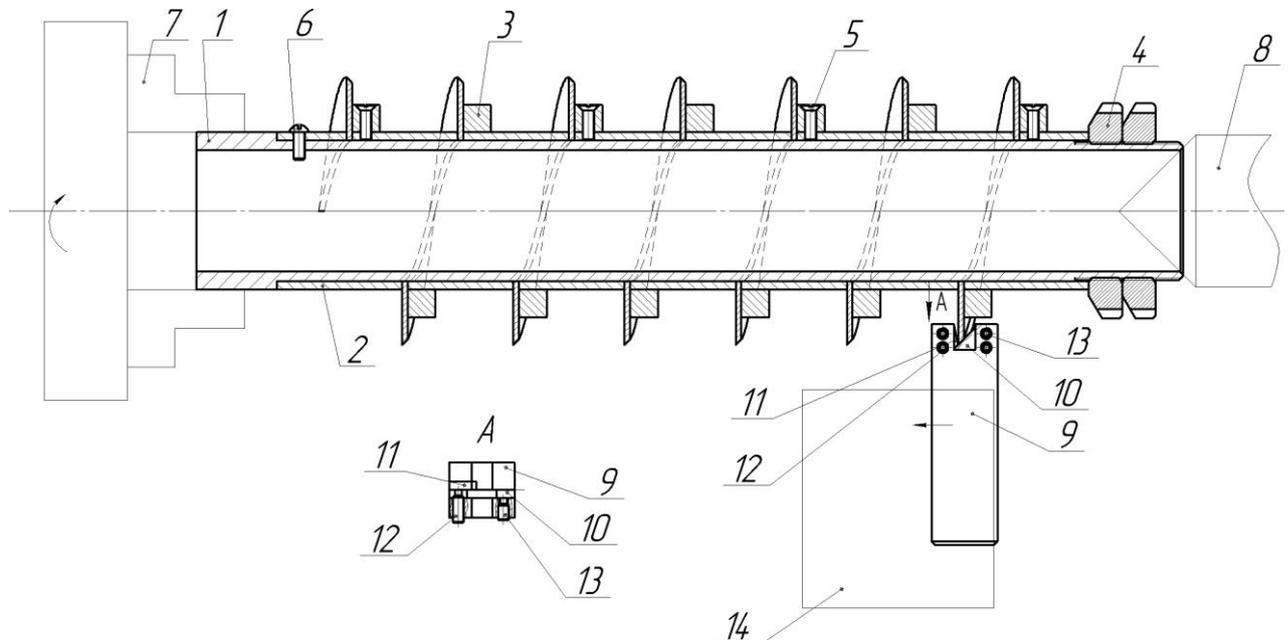


Рис. 2.2. Схема заточування зовнішньої крайки спіралі шнека інструментом із твёрдосплавними пластинами

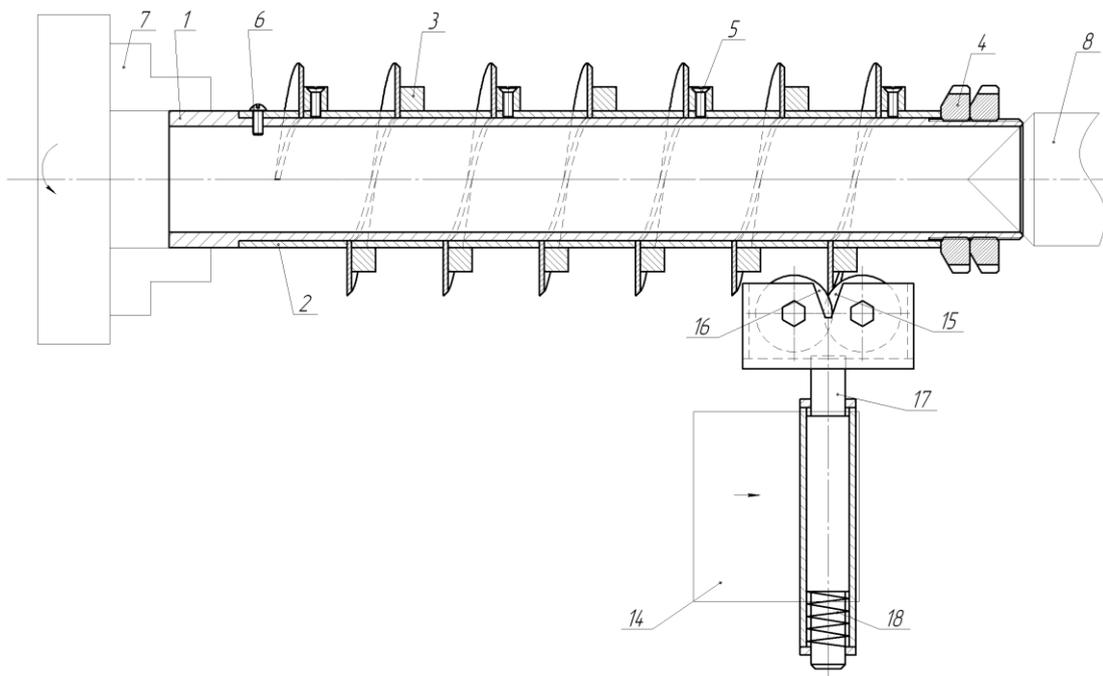


Рис. 2.3. Схема заточування зовнішньої крайки спіралі шнека інструментом із круглими ріжучими пластинами

Заточувальний інструмент рис. 2.3 включає державку 17, яка кріпиться у різцетримачі 14 супорта токарного верстату, до якої гвинтами приєднані кругла ріжуча пластина 15 для заточування крайки гвинтового елемента та кругла ріжуча пластина 16 для запобігання формуванню заусенців. Для запобігання перевантаженню та поломці інструменту на державці використано пружину 18.

Четверта операція - розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека на певну глибину з відповідним кроком з метою отримання заготовок під ножі-подрібнювачі. Вона передбачає розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека 9 (рис. 2.4), з певним кроком по усій її довжині, дисковими прорізними фрезами 11 (або абразивними прорізними кругами) на потрібну глибину з метою отримання заготовок під ножі-подрібнювачі 10. Відстань між дисковими прорізними фрезами 11 (або абразивними прорізними кругами) визначається шириною ножів-подрібнювачів. Інструменти встановлюються на шпинделі горизонтально-фрезерного (круглошліфувального) верстата. Оправка для затиску шнека закріплюється у патроні 7 ділильної головки та допоміжного центра 8 верстата.

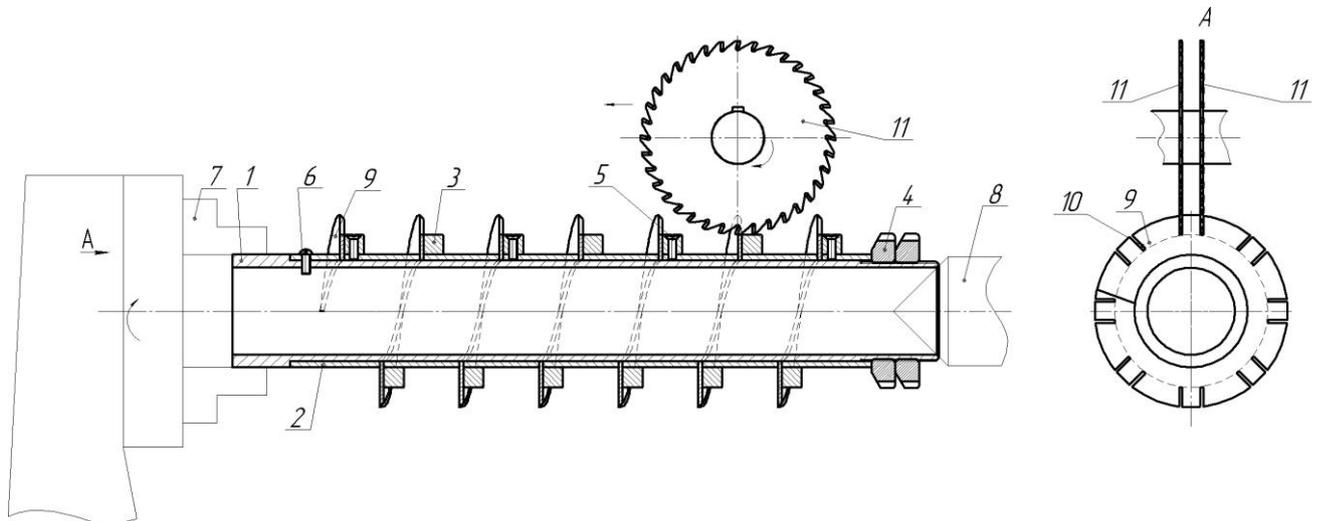


Рис. 2.4. Схема розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека для отримання заготовок під ножі-подрібнювачі

Операція реалізується шляхом підведення дискових прорізнних фрез 11 (або абразивних прорізнних кругів) до початку оправки із закріпленим шнеком 9

і виставлення їх на відповідну глибину, яка відповідає висоті ножів-подрібнювачів 10. Потім вмикається обертовий рух шпинделя, на якому кріпляться прорізні фрези 11 (або абразивні прорізні круги), а також поздовжня подача стола верстата із ділильною головкою, на якій закріплено оправку із шнеком. Це забезпечує виготовлення заготовок під ножі-подрібнювачі 10 по усій довжині зовнішньої крайки шнека 9.

Після здійснення першого переходу розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека 9 по усій її довжині, проводиться відвід оправки із шнеком 9 у вихідне положення. Далі проводиться провертання патрона 7 ділильної головки на необхідний кут, який відповідає кроку розташування ножів-подрібнювачів, і процес повторюється до моменту розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека 9 з певним кроком по усій її довжині.

У таблиці 2.2 подано конструктивно-технологічні параметри операції розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека.

П'ята операція - загинання ножів-подрібнювачів на спіралі шнека на певний кут. Ця операція передбачає загинання заготовок під ножі-подрібнювачі 9 роликком 11, який розміщено на радіальному підшипнику 12, що встановлений на опорі 13, яка закріплена через різьбове з'єднання 15 в державці 10, що встановлена у різцетримачі 14 супорта токарного верстату (рис. 2.5).

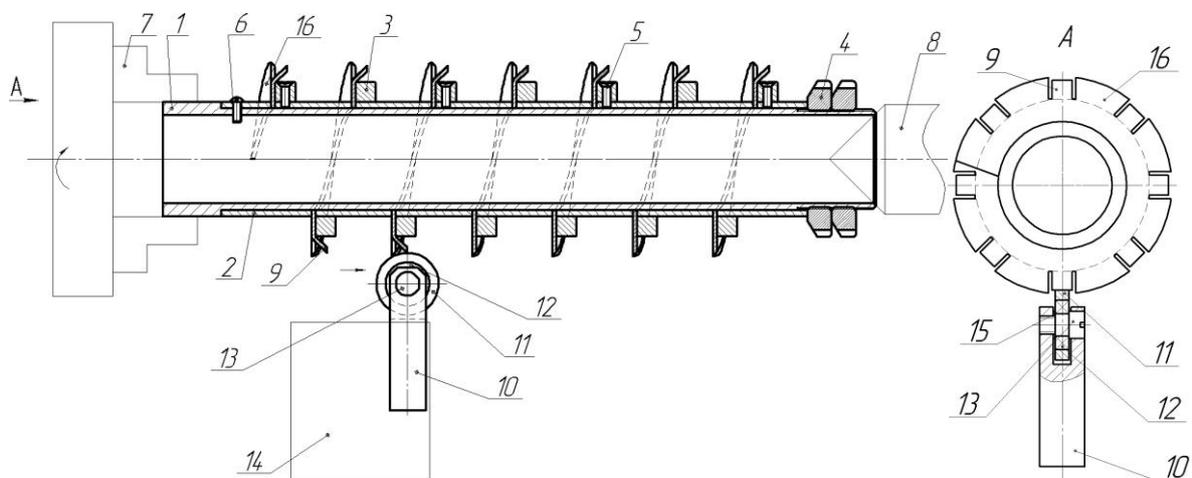


Рис. 2.5. Схема загинання ножів-подрібнювачів на спіралі шнека

Операція реалізується шляхом підведення ролика 11 до початок оправки із закріпленою спіраллю шнека 16 і виставлення його на відповідну глибину, яка відповідає куту нахилу ножів-подрібнювачів 9. Потім вмикається поздовжня подача різцетримача 14 супорта токарного верстату і проводиться загинання заготовок під ножі-подрібнювачі 9 по усій довжині зовнішньої крайки спіралі шнека 16. Після проходження першого переходу загинання зовнішньої крайки спіралі шнека 16 по усій її довжині проводиться відвід (за рахунок вмикання поперечної подачі) різцетримач 14 супорта токарного верстату з роликом 11 і його виставлення у вихідне положення (на початок оправки із закріпленою спіраллю шнека 16). Далі проводиться провертання патрона 7 токарного верстата на необхідний кут, який відповідає кроку розташування ножів-подрібнювачів 9, і процес повторюється до моменту загинання усіх ножів-подрібнювачів 9 на спіралі шнека 16. Причому, при необхідності є можливість забезпечувати різностороннє загинання ножів-подрібнювачів 9 при виконанні даної операції.

У таблиці 2.2 подано конструктивно-технологічні параметри операції загинання ножів-подрібнювачів на спіралі шнека на певний кут.

Таблиця 2.2

Конструктивно-технологічні параметри операцій виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралі шнека

№	Частота обертання розрізного інструменту, об/хв	Подача розрізного інструменту (фрези), мм/зуб	Поздовжня подача ролика, мм/хв	Зовнішній діаметр шнека, мм	Кут нахилу ножів-подрібнювачів, град	Товщина спіралі, мм	Висота ножів-подрібнювачів мм
1	2800...11000	0,02...0,03	500...1000	50	30...80	0,8...2,0	5...10
2	2800...11000	0,02...0,03	500...1000	80	30...80	1,0...2,5	5...12
3	2800...11000	0,02...0,03	500...1000	100	30...80	1,0...3	5...15
4	2800...11000	0,02...0,03	400...900	125	30...80	1,2...3,5	5...20
5	2800...11000	0,02...0,03	400...900	150	30...80	1,5...3,5	5...25
6	2800...11000	0,02...0,035	300...800	200	40...80	1,8...4,0	5...35
7	2800...11000	0,025...0,035	300...800	250	40...80	2,0...4,0	5...40

Шоста операція – гартування ножів-подрібнювачів та зовнішньої частини витків шнека струмами високої частоти (СВЧ) (рис. 2.6) виконується для шнеків виготовлених із вуглецевих та легованих сталей із вмістом вуглецю від 0,35% (сталь 35, сталь 40, сталь 45 та інших) з метою підвищення твердості та міцності ріжучих частин шнека. Одержується твердість ножів в межах HRC 45...52 при контрольованій глибині шару без пропалювання.

Ця операція передбачає гартування поверхні ножів-подрібнювачів 9 та зовнішньої поверхні шнека 16 на спеціальному верстаті для гартування СВЧ із встановленням оправки 1 вертикально на двох центрах 8. Нагрівання поверхні шнека виконується індуктором 11 із вертикальною подачею з наступним охолодженням водою, що подається під тиском через сопла кільця 12.

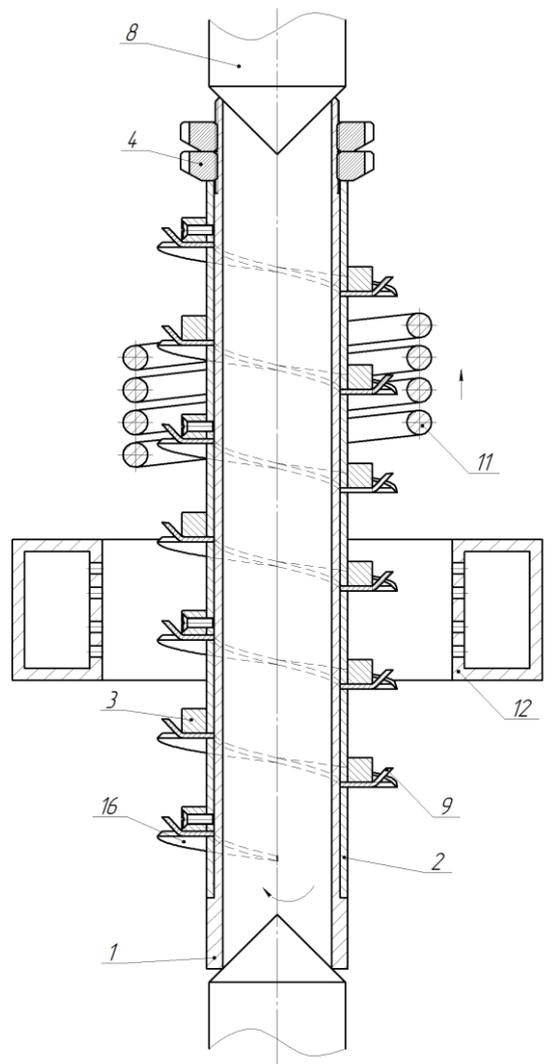


Рис. 2.6. Схема гартування ножів-подрібнювачів та зовнішньої частини витків шнека струмами високої частоти

Режими гартування залежать від матеріалу шнека. Наприклад, основні режими гартування шнеків із сталі 40: частота струму  $f=25\dots40$  кГц, питома потужність нагріву  $P_1=0,8\dots1,2$  кВт/см<sup>2</sup>, час нагріву  $t=1,0\dots2,0$  с., температура нагріву  $T=820\dots860$  °С, охолодження: водяний душ з подачею одразу після нагріву із тиском 0,2...0,4 МПа. Відпуск при температурі 180...220 °С протягом 1 год, глибина загартованого шару 0,8...1,1 мм.

Сьома операція - калібрування спіралі шнека з виготовленими ножами-подрібнювачами на встановлений крок (рис. 2.7).

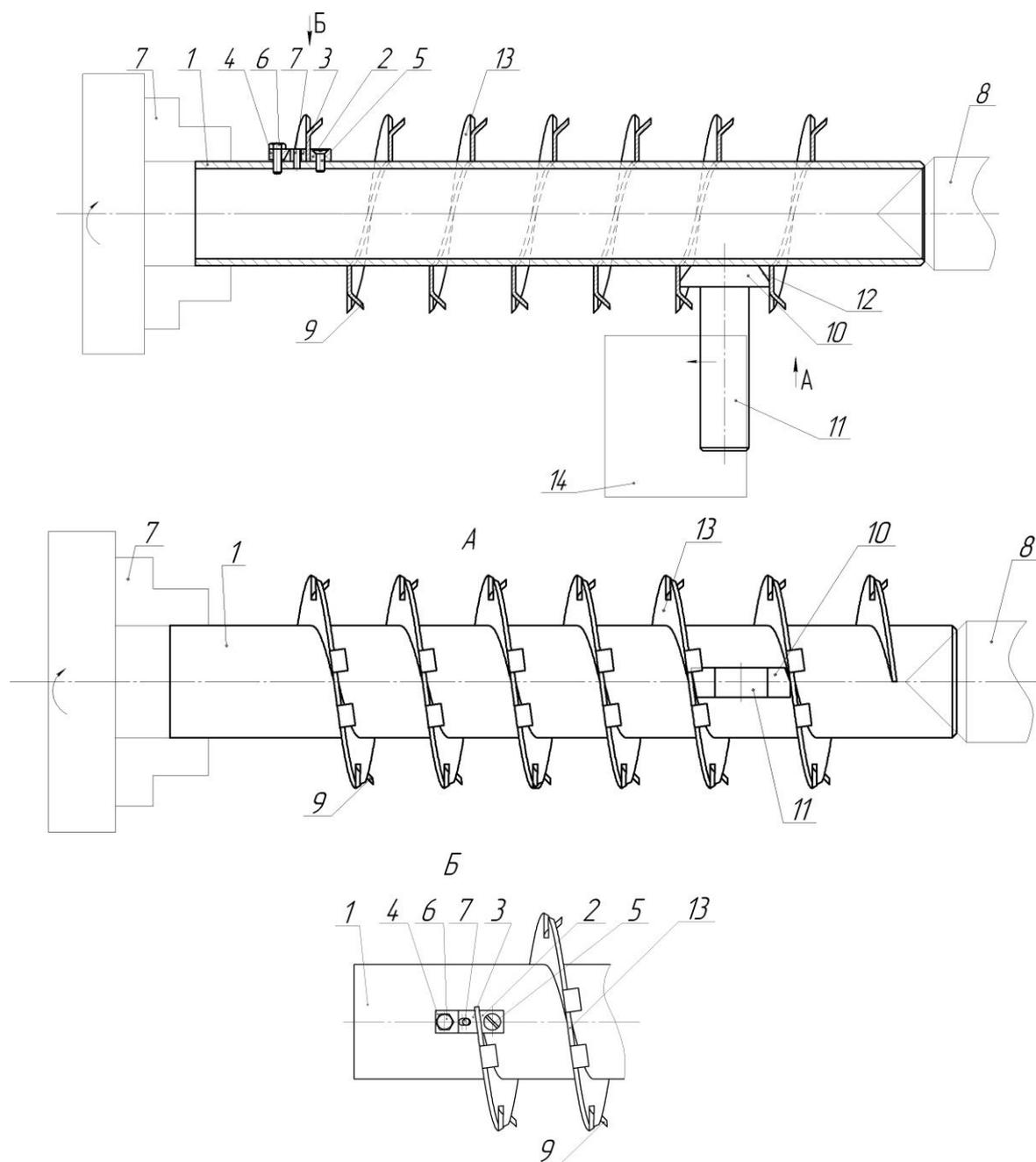


Рис. 2.7. Схема калібрування шнека з виготовленими ножами-подрібнювачами

Вона виконується з використанням калібрувального клина 10, який вводить у міжвитковий простір спіралі шнека 13 з подальшим розгинання на потрібний крок останньої. При цьому спіраль шнека 13, з виготовленими на ній ножами-подрібнювачами 9, прикріплюється до труби 1 клинами 4, 7 і гвинтами 6. Трубу 1 одним кінцем закріплено в патроні 7 токарного верстата, а іншим - встановлено в центрі 8 задньої бабки токарного верстата. Калібрувальний клин 10 встановлено на державці 11, яку закріплено в різцетримачі 14 супорта токарного верстату.

Процес реалізується шляхом підведення калібрувального клина 10 до початку спіралі шнека 13 і введенням його у її міжвитковий простір. Потім вмикається поздовжня подача різцетримача 14 супорта токарного верстату і проводиться калібрування спіралі шнека 13 по усій її довжині. Після завершення операції калібрування спіраль шнека 13 відкріплюється та знімається з труби 1 і використовується за призначенням.

## **2.2. Дослідження взаємозв'язку параметрів точності з динамічними параметрами токарного оброблення зовнішньої крайки гвинтового елемента**

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. Миттєве значення сили різання та її вплив на динамічні параметри процесу проточування

зовнішньої крайки гвинтового елемента визначають якість обробленої поверхні та потребують теоретичного та експериментального дослідження. 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 ( $0,1 \dots 0,3$  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.

В процесі проектування технологічного процесу виготовлення гвинтових елементів, представленого у підрозділі 2.1, для операції заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента використано спеціальний інструмент, зображений на рис. 2.8, 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. 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. Детальніше конструкція інструменту представлена у розділі 3.

Дослідження змінних значень величини сили різання при заточуванні гвинтових елементів проведено, використовуючи експериментальні методи, що представлено у розділі 3.

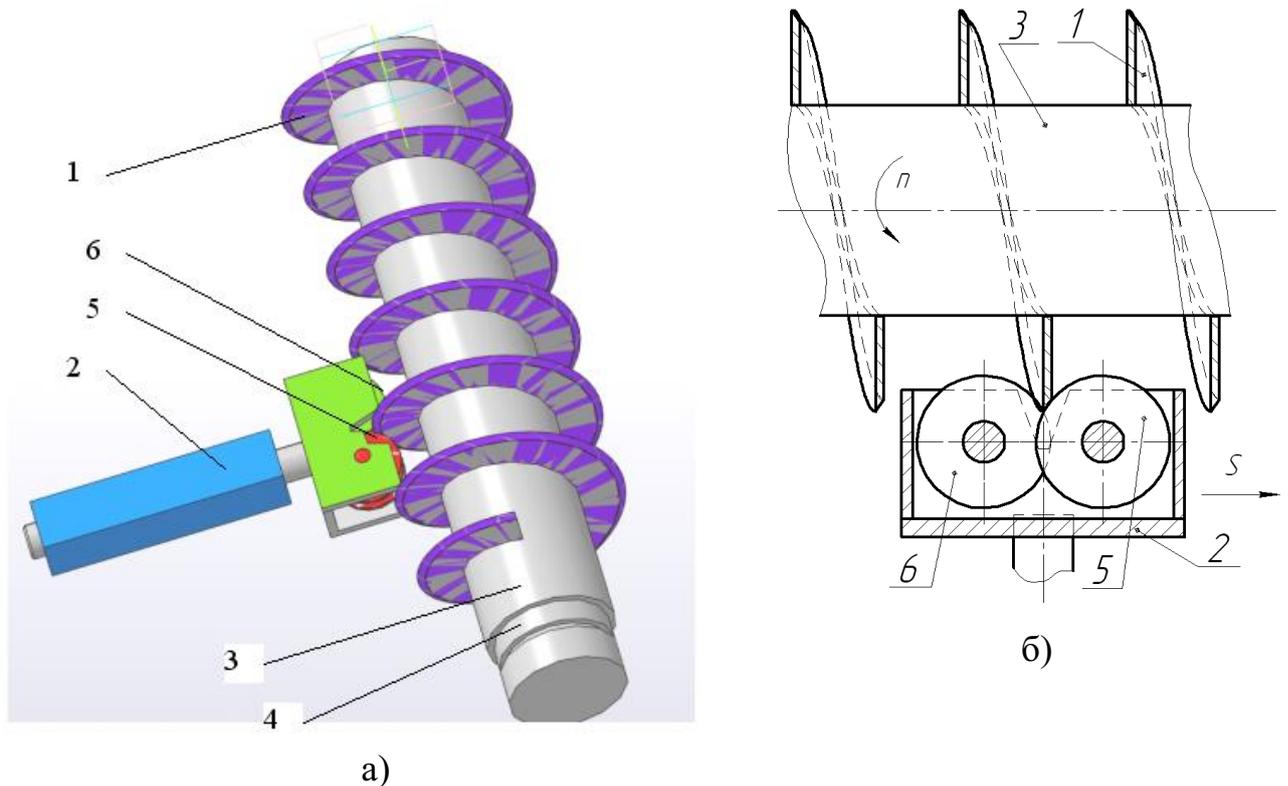


Рис. 2.8. Схема операції заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента: а) трьохмірне зображення; б) переріз в зоні різання; 1 – заготовка гвинтового елемента; 2 – ріжучий інструмент; 3 – затискний елемент; 4 – оправка; 5 – ріжуча пластина для заточування крайки гвинтового елемента; 6 – ріжуча пластина для запобігання формуванню заусенців

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 апроксимувати рівняннями регресії другого порядку, представленими у розділ 3, або степеневими залежностями:

$$P_z = C_z H^{a_z} R_1^{b_z} V^{k_z}, \quad (2.1)$$

$$P_z = C_{1z} F^{m_z} V^{k_z}, \quad (2.2)$$

$$P_x = C_x H^{a_x} R_1^{b_x} V^{k_x}, \quad (2.3)$$

$$P_x = C_{1x} F^{m_x} V^{k_x}, \quad (2.4)$$

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 значення величини сили різання при заточуванні гвинтових елементів можна представити залежністю:

$$P_z(t) = C_z H^{a_z} R_1^{b_z} V^{k_z} + \sum_{i=1}^j P_{zi} \sin(\omega_{zi} t + b_{zi}); \quad (2.5)$$

$$P_x(t) = C_x H^{a_x} R_1^{b_x} V^{k_x} + \sum_{i=1}^j P_{xi} \sin(\omega_{xi} t + b_{xi}), \quad (2.6)$$

$$P_y(t) = C_y H^{a_y} R_1^{b_y} V^{k_y} + \sum_{i=1}^j P_{yi} \sin(\omega_{yi} t + b_{yi}), \quad (2.7)$$

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. 2.9, а також за рахунок коливання ріжучої кромки різця.

Такі похибки включають:

1. Відхилення від ідеальної гвинтової поверхні  $\Delta T$ , зокрема зростаючу,

спадаючу, періодичну зміну кроку витків на декількох послідовних витках, хвилястість витків, похибку форми витків.

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

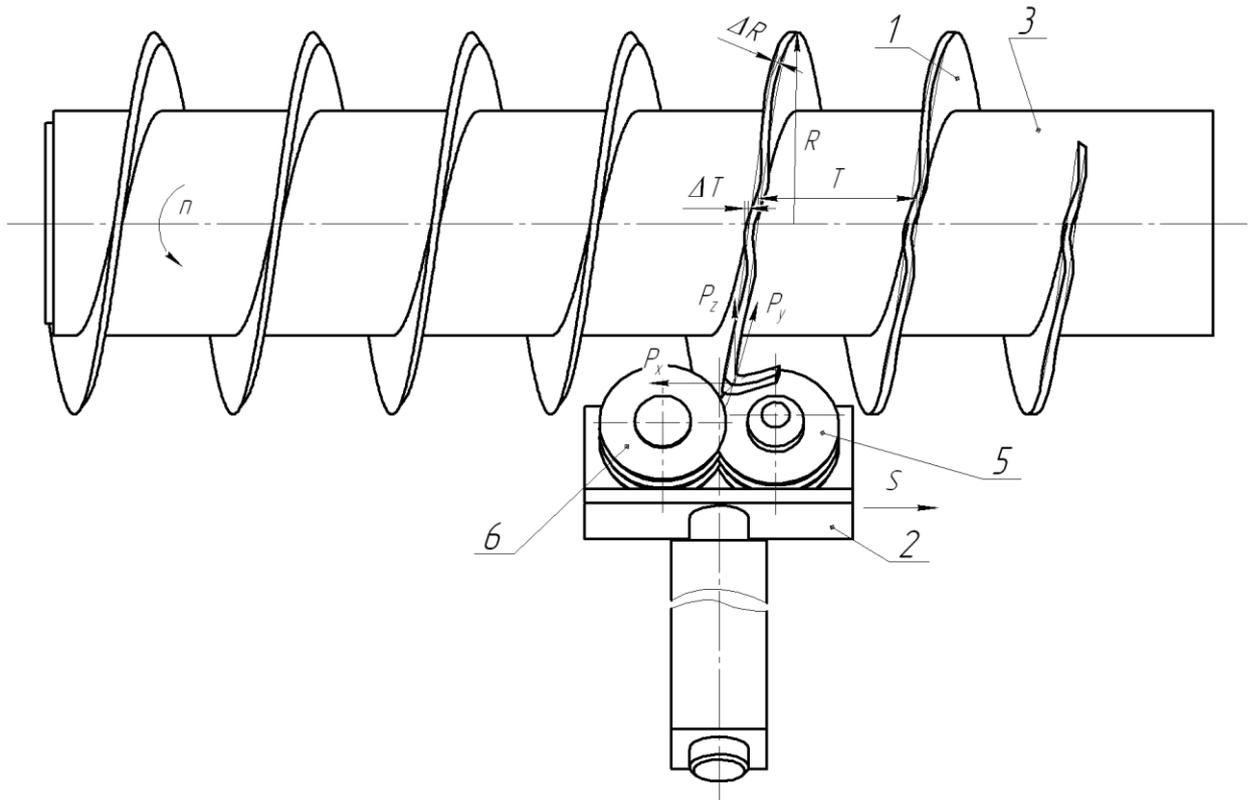


Рис. 2.9. Схема розташування похибок попередньо сформованої гвинтової заготовки методом навивання на оправу та розтягу на крок: 1 – заготовка гвинтового елемента; 2 – ріжучий інструмент; 3 – затискний елемент; 4 – оправка; 5 – ріжуча пластина для заточування крайки гвинтового елемента; 6 – ріжуча пластина для запобігання формуванню заусенців

Зміна глибини різання та миттєвої площі зрізування стружки в процесі токарного оброблення та загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента призводить до зміни проекцій 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 2.10.

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:

$$F_t = \frac{HL_1}{2}. \quad (2.8)$$

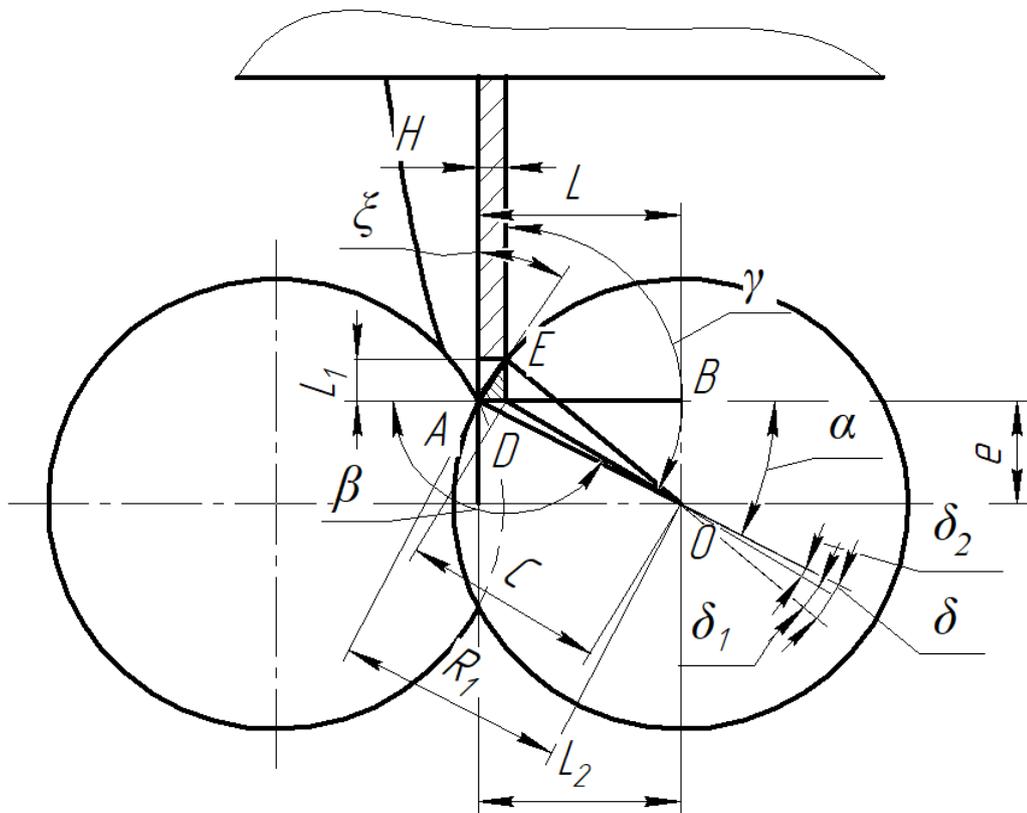


Рис. 2.10. Розрахункова схема для визначення миттєвої площі зрізування стружки в процесі ідеального загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента

Для визначення величини  $L_1$  виконуємо ряд геометричних розрахунків. Визначаємо кут  $\alpha$  трикутника OAB:

$$\cos \alpha = \frac{L_2}{R_1}, \quad (2.9)$$

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:

$$C = \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HR_1 \cos \alpha}. \quad (2.10)$$

Із врахуванням (2.9):

$$C = \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}. \quad (2.11)$$

Із трикутника  $OAD$  за теоремою косинусів визначаємо кут  $\beta$ :

$$\beta = \arccos\left(\frac{H^2 + C^2 - R_1^2}{2HC}\right), \quad (2.12)$$

Із врахуванням (2.11):

$$\beta = \arccos\left(\frac{H^2 - HL_2}{H\sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}}\right). \quad (2.13)$$

Визначаємо кут  $\gamma$  трикутника  $ODE$ :

$$\gamma = \frac{3}{2}\pi - \beta, \quad (2.14)$$

$$\gamma = \frac{3}{2}\pi - \arccos\left(\frac{H^2 - HL_2}{H\sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}}\right). \quad (2.15)$$

Із трикутника  $ODE$  за теоремою косинусів визначаємо величину  $L_1$ :

$$L_1 = C \cos \gamma + \sqrt{C^2 (\cos^2 \gamma - 1) + R_1^2}. \quad (2.16)$$

$$L_1 = \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2} \cos \gamma + \sqrt{(H^2 + R_1^2 - 2HL_2)(\cos^2 \gamma - 1) + R_1^2}. \quad (2.17)$$

Із врахуванням того, що  $\cos \gamma = -\sin \beta$ ,  $\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta}$  рівняння (2.17) набуде вигляду:

$$L_1 = -\sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2} \sqrt{1 - \frac{(H^2 - HL_2)^2}{H^2(H^2 + R_1^2 - 2HL_2)}} + \sqrt{-\frac{(H^2 - HL_2)^2}{H^2} + R_1^2}. \quad (2.18)$$

Підставляємо дані у рівняння (2.8):

$$F_t = -\frac{H}{2} \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2} \sqrt{1 - \frac{(H^2 - HL_2)^2}{H^2(H^2 + R_1^2 - 2HL_2)}} + \sqrt{-\frac{(H^2 - HL_2)^2}{H^2} + R_1^2}. \quad (2.19)$$

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

$$F_d = \frac{R_1^2 (\delta - \sin \delta)}{2}, \quad (2.20)$$

де  $\delta$  – кут сектора із дугою  $AE$ .

Кут сектора із дугою  $AE$  знаходимо як суму двох кутів:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2, \quad (2.21)$$

де  $\delta_1$  - кут між сторонами  $OD$  і  $OE$  трикутника  $ODE$ ;

$\delta_2$  - кут між сторонами  $OD$  і  $OA$  трикутника  $OAD$ .

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

$$\delta_1 = \arcsin \left( \frac{L_1 \sin \gamma}{R_1} \right). \quad (2.22)$$

Із врахуванням того, що  $\sin \gamma = -\cos \beta$ , рівняння (2.22) набуде вигляду:

$$\delta_1 = \arcsin \left( \frac{-L_1 \cos \beta}{R_1} \right); \quad (2.23)$$

$$\delta_1 = \arcsin \left( \frac{-L_1(H^2 - HL_2)}{R_1 H \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}} \right). \quad (2.24)$$

Кут між сторонами  $OD$  і  $OA$  трикутника  $OAD$ :

$$\delta_2 = \pi - \alpha - \beta; \quad (2.25)$$

$$\delta_2 = \pi - \arccos \left( \frac{L_2}{R_1} \right) - \arccos \left( \frac{H^2 - HL_2}{H \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}} \right). \quad (2.26)$$

Підставляємо дані у формулу (2.21):

$$\begin{aligned} \delta = & \arcsin \left( \frac{-L_1(H^2 - HL_2)}{R_1 H \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}} \right) + \pi - \arccos \left( \frac{L_2}{R_1} \right) - \\ & - \arccos \left( \frac{H^2 - HL_2}{H \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}} \right). \end{aligned} \quad (2.27)$$

Кут загострення  $\xi$  крайки гвинтового елемента визначаємо за формулою:

$$\xi = \frac{\delta}{2} + \alpha. \quad (2.28)$$

$$\xi = \frac{1}{2} \left( \arcsin \left( \frac{-L_1(H^2 - HL_2)}{R_1 H \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}} \right) + \pi + \arccos \left( \frac{L_2}{R_1} \right) - \arccos \left( \frac{H^2 - HL_2}{H \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2}} \right) \right). \quad (2.29)$$

Середнє значення площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається:

$$F = F_t + F_d; \quad (2.30)$$

$$\begin{aligned} F = & -\frac{H}{2} \sqrt{H^2 + R_1^2 - 2HL_2} \sqrt{1 - \frac{(H^2 - HL_2)^2}{H^2(H^2 + R_1^2 - 2HL_2)}} + \\ & + \sqrt{-\frac{(H^2 - HL_2)^2}{H^2} + R_1^2} + \frac{R_1^2(\delta - \sin \delta)}{2}. \end{aligned} \quad (2.31)$$

На основі рівняння (2.31) побудовано графіки залежності площі частини

матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента (рис. 2.11), радіуса ріжучої пластини різця (рис. 2.12) та відстані між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця (рис. 2.13).

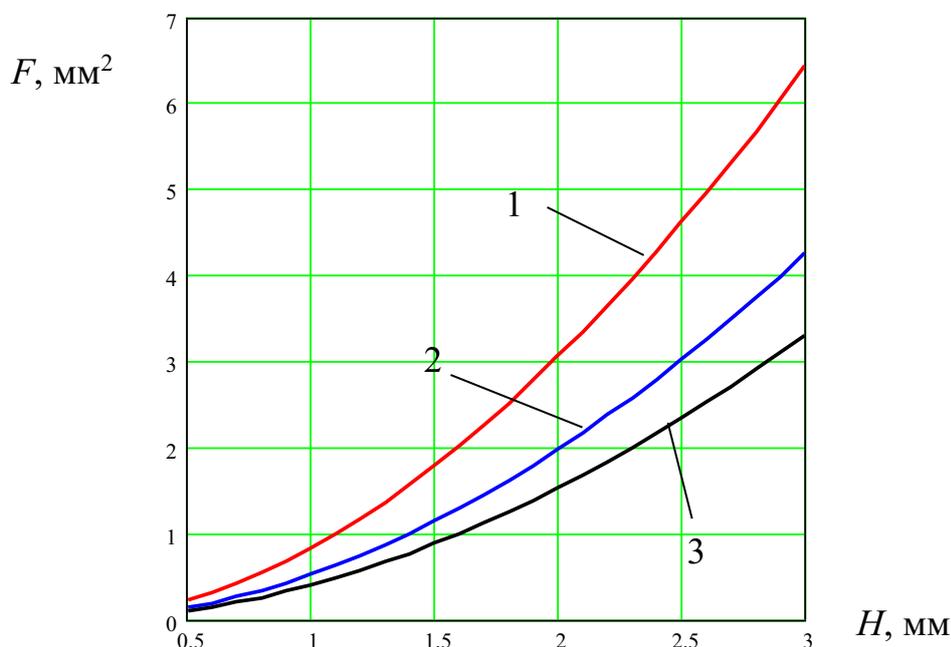


Рис. 2.11. Графіки залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента,  $L_2 = 14$  мм: 1)  $R_1=16$  мм; 2)  $R_1=19$  мм; 3)  $R_1=22$  мм

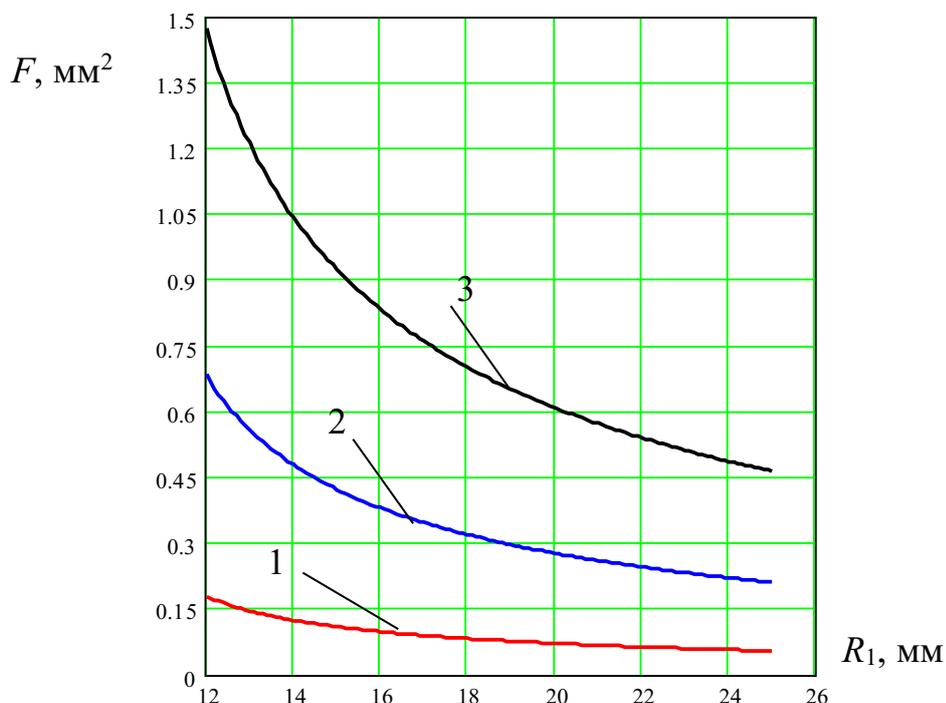


Рис. 2.12. Графіки залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від радіуса ріжучої пластини різця,  $L_2 = 10$  мм: 1)  $H=0,5$  мм; 2)  $H=1$  мм; 3)  $H=1,5$  мм

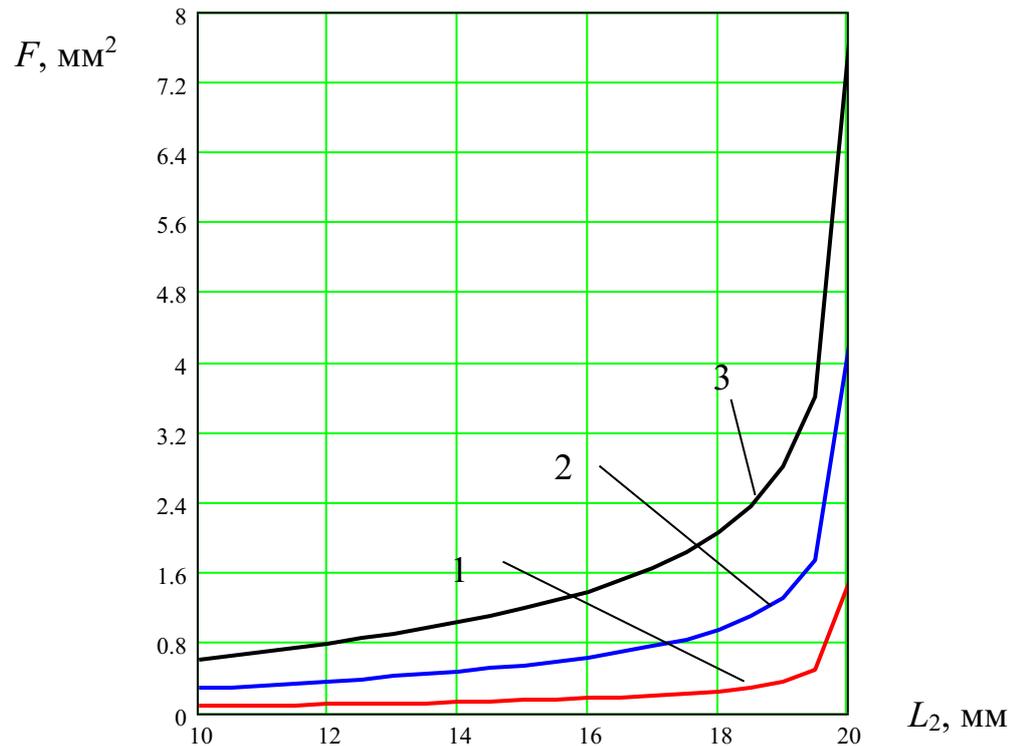


Рис. 2.13. Графіки залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від відстані між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця,  $R_1=20$  мм: 1)  $H=0,5$  мм; 2)  $H=1$  мм; 3)  $H=1,5$  мм

На основі рівняння (2.29) побудовано графіки залежності кута загострення  $\xi$  крайки гвинтового елемента, що зрізається від радіуса ріжучої пластини різця (рис. 2.14) та відстані між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця (рис. 2.15).

Із аналізу графіків рис. 2.11 – 2.15 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. 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. 2.13) із співвідношенням  $R_1/L_2 < 1,1$ .

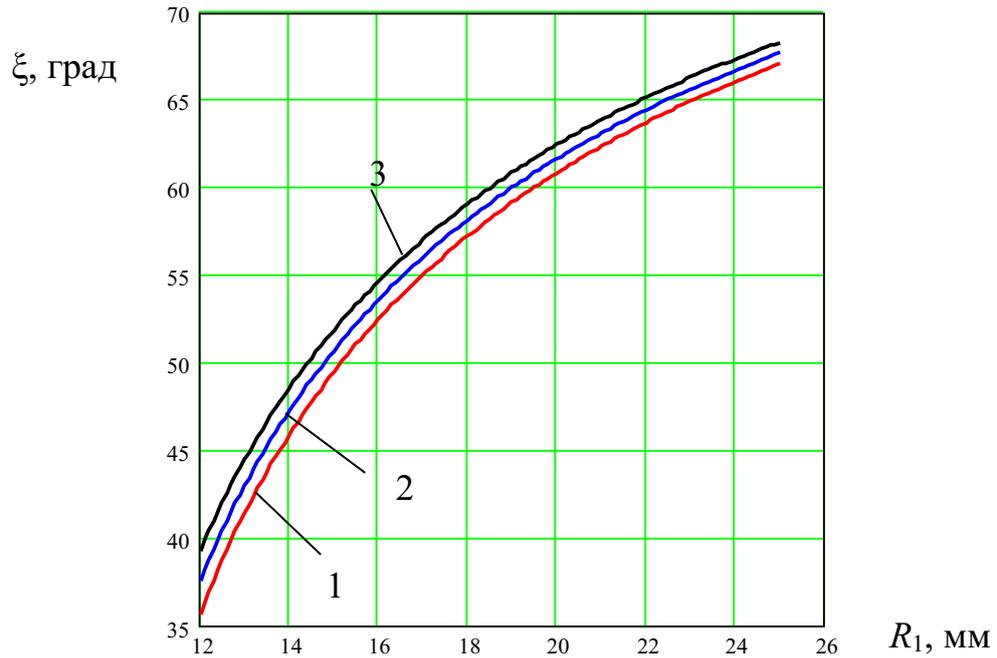


Рис. 2.14. Графіки залежності кута загострення крайки гвинтового елемента від радіуса ріжучої пластини різця,  $L_2 = 10$  мм:

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

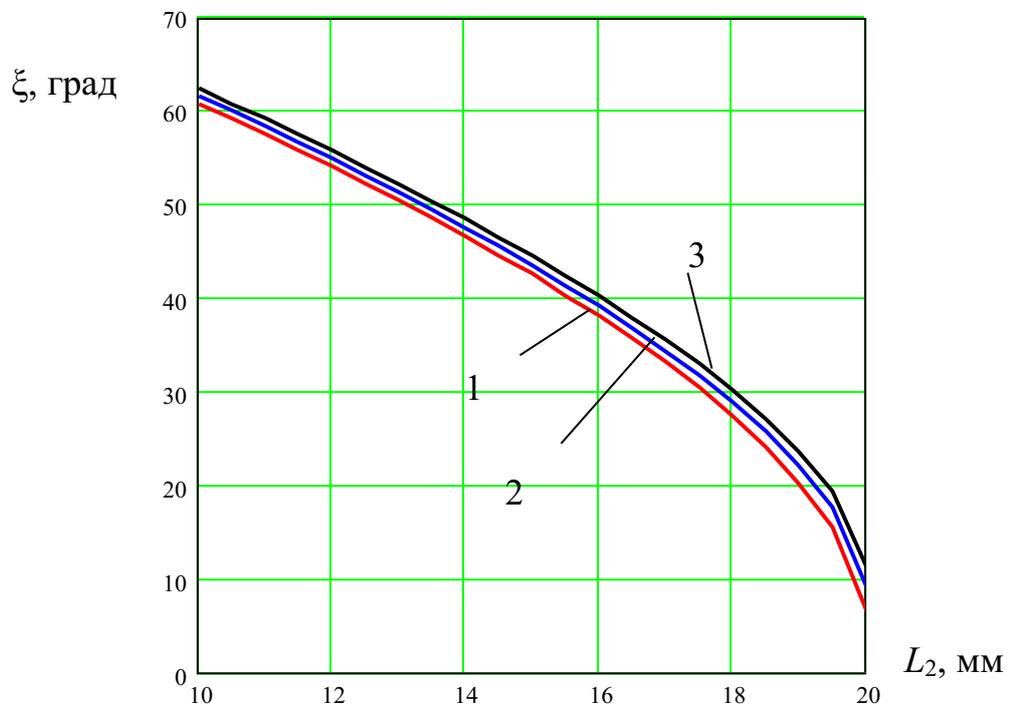


Рис. 2.15. Графіки залежності кута загострення крайки гвинтового елемента від відстані між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця,

$R_1=20$  мм: 1)  $H=0,5$  мм; 2)  $H=1$  мм; 3)  $H=1,5$  мм

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  $R_1/L_2=k_t$  у конструкції різця є величини від 1,2 до 1,8, що дозволяють зменшити площу частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від 1,5 до 2,21 рази, забезпечуючи кут загострення крайки гвинтового елемента від 40 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.

У випадку загострення ріжучої крайки гвинтового елемента за декілька переходів з поділом припуску на оброблення (рис. 2.16) площу частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається визначаємо за формулою:

$$F_{\Sigma} = F_i - \sum_{i=1}^{k-1} F_i, \quad (2.32)$$

де  $k$  – кількість переходів при заточуванні крайки гвинтового елемента;

$F_i$  - площа частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається за  $i$ -й перехід, при цьому  $F_0 = 0$ .

Для визначення площі  $F_i$  частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається за  $i$ -й перехід у формулу (2.31) замість величини  $H$  підставляємо значення ширина зрізаної частини витка гвинтового елемента за всі попередні переходи  $H_i$ :

$$H_i = \sum_{i=1}^k H_{0i}, \quad (2.33)$$

де  $H_{0i}$  - значення ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента, що зрізається за  $i$ -й перехід.

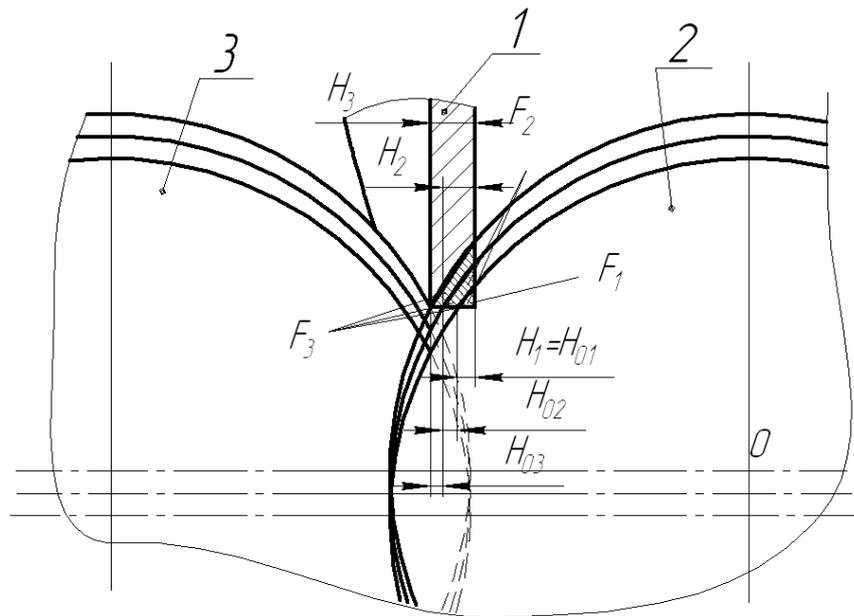


Рис. 2.16. Схема поділу припуску при загостренні ріжучої крайки гвинтового елемента за три переходи: 1 – заготовка гвинтового елемента; 2 – ріжуча пластина для заточування; 3 – ріжуча пластина для запобігання формуванню заусенців

При загострюванні зовнішньої крайки гвинтового елемента із відхиленнями зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  та гвинтової поверхні  $\Delta T$  (рис. 2.9) відбувається зміна геометричних параметрів зрізаної частини витка гвинтового елемента, зокрема площі зрізу, а відповідно і змінюється сила різання.

На основі розрахункової схеми рисунка 2.17 встановлюємо взаємозв'язок ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента із геометричними відхиленням крайки гвинтового елемента, що піддається загострюванню:

$$H_{\Delta} = H - L_2 + L_{2\Delta} \pm \Delta T, \quad (2.34)$$

де  $L_{2\Delta}$  - відстань між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця із врахуванням відхилення зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$ .

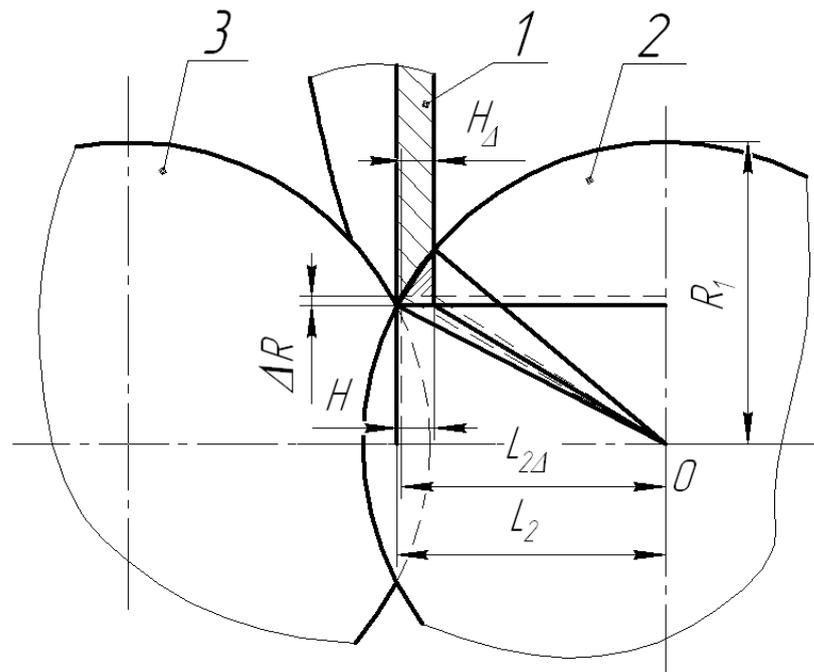


Рис. 2.17. Схема взаємозв'язку ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента із геометричними відхиленням крайки гвинтового елемента:

1 – заготовка гвинтового елемента; 2 – ріжуча пластина для заточування;

3 – ріжуча пластина для запобігання формуванню заусенців

Знак “+” у формулі (2.32) біля відхилення гвинтової поверхні  $\Delta T$  використовуються при виникненні відхилень кроку витків із їх збільшенням відносно номінального значення, знак “-” – при їх зменшенні.

Відстань між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця із врахуванням відхилення зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  із розрахункової схеми рис. 2.17 визначаємо за формулою:

$$L_{2\Delta} = \sqrt{R_1^2 - \left( \sqrt{R_1^2 - L_2^2} \pm \Delta R \right)^2}. \quad (2.35)$$

Підставляємо дані у формулу (2.34):

$$H_{\Delta} = H - L_2 + \sqrt{R_1^2 - \left( \sqrt{R_1^2 - L_2^2} \pm \Delta R \right)^2} \pm \Delta T. \quad (2.36)$$

Знак “+” у формулі (2.36) біля відхилення зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  використовуються при виникненні відхилень зовнішнього радіуса витків із їх зменшенням відносно номінального значення, знак “-” – при їх збільшенні.

Аналогічно до схеми рис. 2.17 знаходимо взаємозв’язок значення ширини  $H_{0i}$  зрізаної частини витка гвинтового елемента, що зрізається за  $i$ -й перехід з поперечною подачею  $S_{pi}$  за перехід:

$$H_{0i} = L_2 - \sqrt{R_1^2 - \left( \sqrt{R_1^2 - L_2^2} - S_{pi} \right)^2}. \quad (2.37)$$

На основі формул (2.35), (2.36), (2.31) побудовано графіки залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від відхилення зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  та гвинтової поверхні  $\Delta T$  (рис. 2.18 - рис. 2.21).

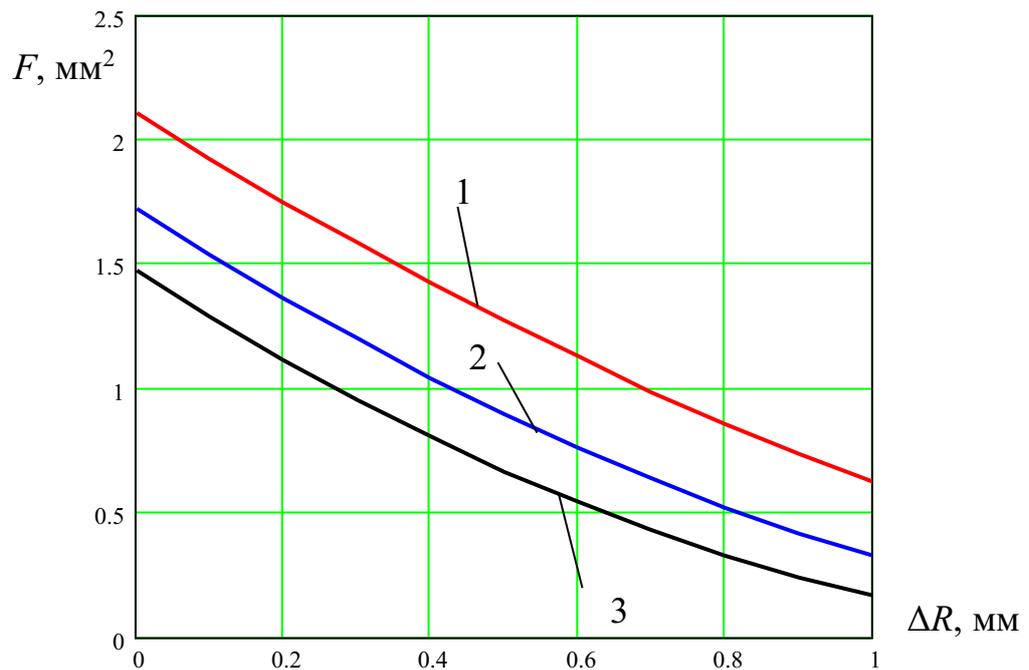


Рис. 2.18. Графіки залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від відхилення зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  у сторону зменшення радіуса витка,  $L_2 = 14$  мм:

1)  $R_1 = 18$  мм; 2)  $R_1 = 20$  мм; 3)  $R_1 = 22$  мм

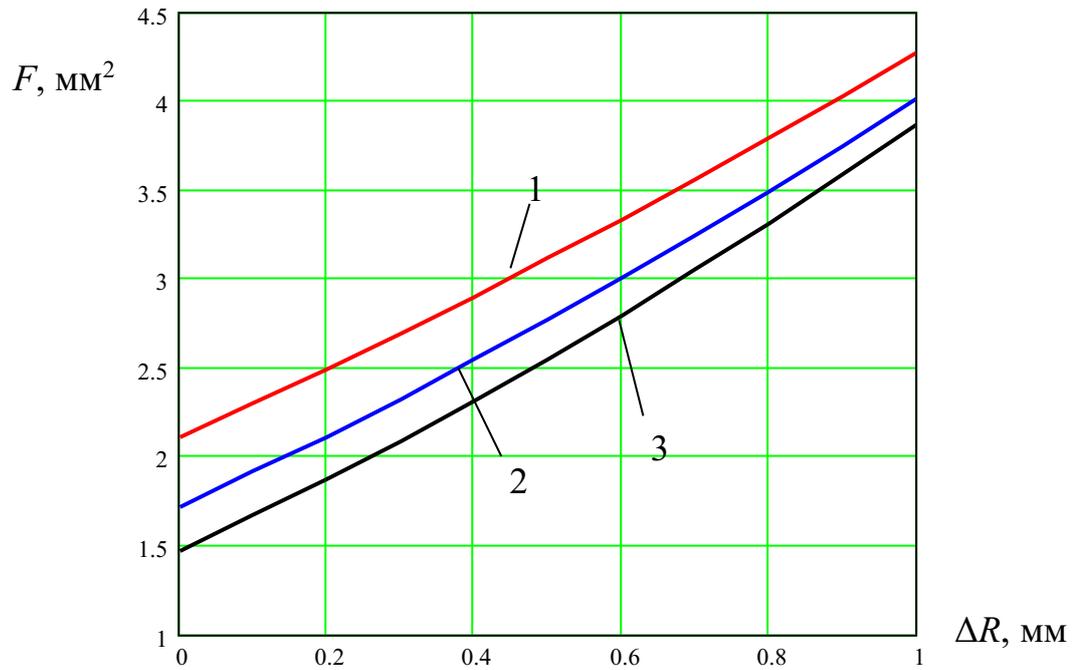


Рис. 2.19. Графіки залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від відхилення зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  у сторону збільшення радіуса витка,  $L_2 = 14$  мм:

1)  $R_1 = 18$  мм; 2)  $R_1 = 20$  мм; 3)  $R_1 = 22$  мм

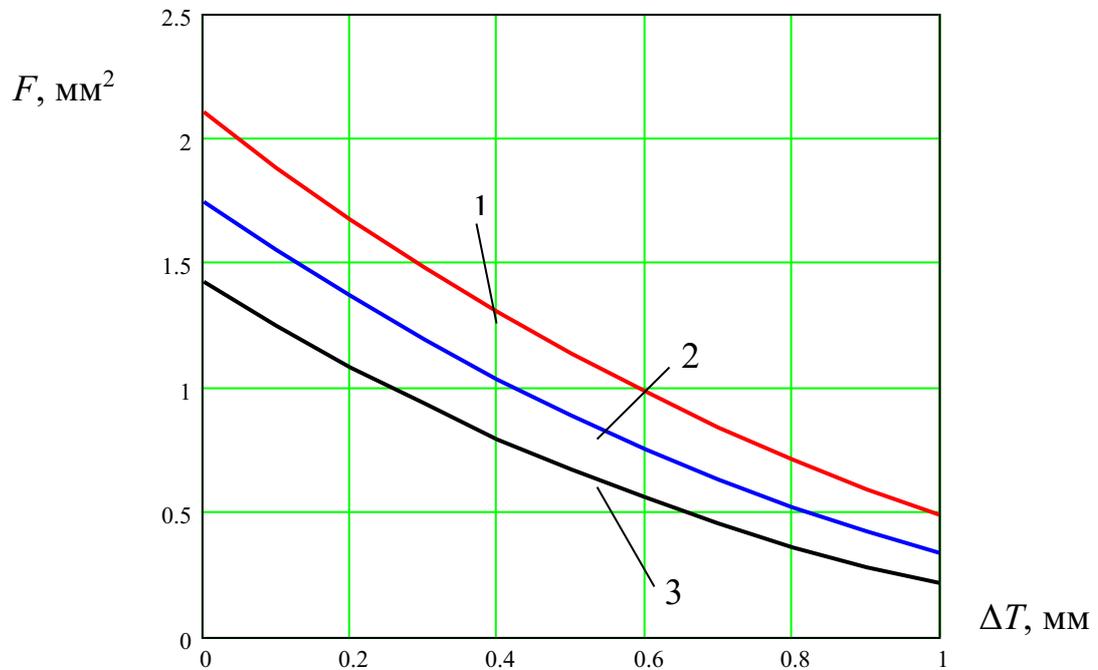


Рис. 2.20. Графіки залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від відхилення гвинтової поверхні при зменшенні кроку витків,  $R_1 = 18$  мм,  $L_2 = 14$  мм: 1)  $\Delta R = 0$  мм; 2)  $\Delta R = 0,2$  мм; 3)  $\Delta R = 0,4$  мм

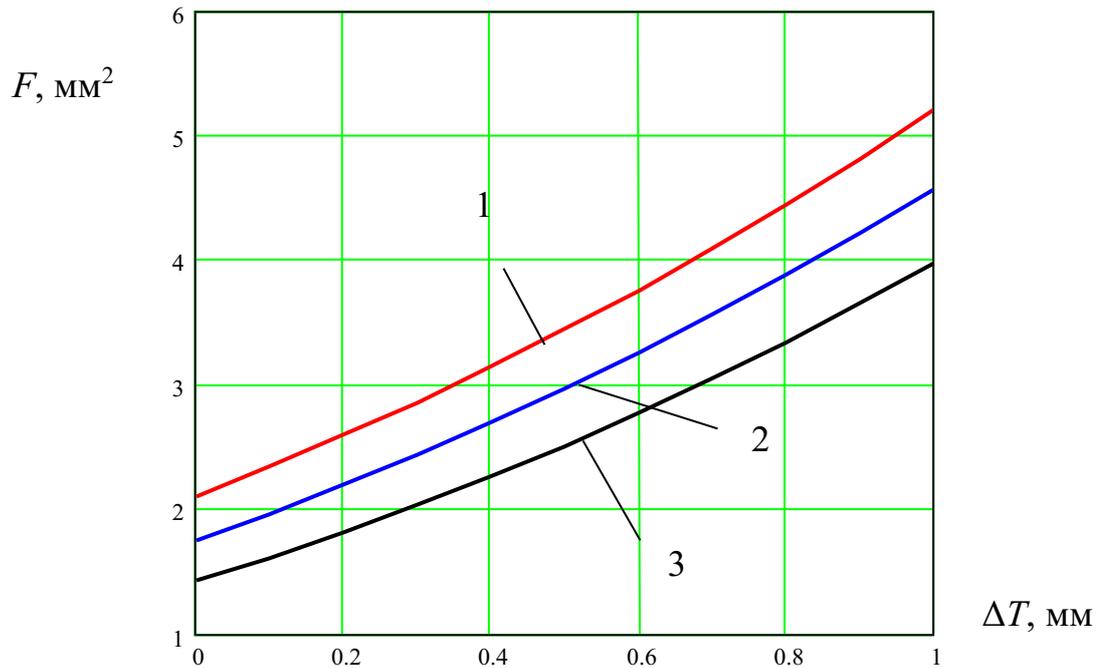


Рис. 2.21. Графіки залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від відхилення гвинтової поверхні при збільшенні кроку витків,  $R_1=18$  мм,  $L_2=14$  мм: 1)  $\Delta R=0$  мм; 2)  $\Delta R=0,2$  мм; 3)  $\Delta R=0,4$  мм

На основі графіків рис. 2.18 - рис. 2.21 встановлено, що при збільшенні відхилення гвинтової поверхні  $\Delta T$  в сторону зменшення кроку витків та зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  у сторону зменшення радіуса витка, площа частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається зменшується (рис. 2.18, рис. 2.20). При збільшенні відхилення гвинтової поверхні  $\Delta T$  в сторону збільшення кроку витків та зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  у сторону збільшення радіуса витка, площа частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається збільшується (рис. 2.19, рис. 2.21). При цьому приріст площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається для відхилення  $\Delta R$  у сторону збільшення радіуса витка у 1,55 менший, ніж для відхилення  $\Delta T$  в сторону збільшення кроку витків. Наприклад, при відхиленні  $\Delta R=0,2$  мм площа частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається, а отже і сила різання, може зменшуватись в 1,24 рази або збільшуватись в 1,2 рази, при відхиленні  $\Delta T=0,2$  мм дана площа може зменшуватись в 1,27 рази або збільшуватись в 1,22 рази.

Запишемо параметричне рівняння ідеальної крайки гвинтового елемента, що піддається заточуванню та траєкторії руху різця відносно заготовки:

$$\vec{R}_d(t) = \begin{pmatrix} -R \sin(\omega_1 t) \\ R \cos(\omega_1 t) \\ \frac{\omega_1 T t}{2\pi} \end{pmatrix}, \quad (2.38)$$

де  $\omega_1$  - кутова частота обертання гвинтового елемента.

Запишемо параметричне рівняння зовнішньої крайки гвинтового елемента із відхиленнями зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  та гвинтової поверхні  $\Delta T$  :

$$\vec{R}_r(t) = \begin{pmatrix} -(R + \Delta R(t)) \sin(\omega_1 t) \\ (R + \Delta R(t)) \cos(\omega_1 t) \\ \frac{\omega_1 T t}{2\pi} + \Delta T(t) \end{pmatrix}. \quad (2.39)$$

Відхилення зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  гвинтової поверхні  $\Delta T$  можна описати параметричними рівняннями:

$$\Delta R(t) = \sum_{i=1}^j \Delta R_i \sin(k_{Ri} \omega_1 t + b_{Ri}); \quad (2.40)$$

$$\Delta T(t) = \sum_{i=1}^j \Delta T_i \sin(k_{Ti} \omega_1 t + b_{Ti}), \quad (2.41)$$

де  $\Delta R_i$  - максимальні значення хвилястості, огранки, відхилення від круглості, ексцентриситету, шорсткості зовнішньої зовнішнього радіуса витків;

$k_{Ri}$  - кількість перерахованих відхилень зовнішнього радіуса витків на одному витку зовнішньої крайки гвинтового елемента;

$b_{Ri}$  - початковий кут розташування перерахованих відхилень зовнішнього

радіуса витків;

$\Delta T_i$  - максимальні значення зміни кроку витків на декількох послідовних витках, хвилястості витків, похибки форми витків;

$k_{Ti}$  - кількість перерахованих відхилень гвинтової поверхні за кроком на одному витку зовнішньої крайки гвинтового елемента;

$b_{Ti}$  - початковий кут розташування перерахованих відхилень гвинтової поверхні за кроком.

Підставляємо формули (2.40) та (2.41) у формулу (2.39):

$$\vec{R}_r(t) = \begin{pmatrix} -\left( R + \sum_{i=1}^j \Delta R_i \sin(k_{Ri} \omega_1 t + b_{Ri}) \right) \sin(\omega_1 t) \\ \left( R + \sum_{i=1}^j \Delta R_i \sin(k_{Ri} \omega_1 t + b_{Ri}) \right) \cos(\omega_1 t) \\ \frac{\omega_1 T t}{2\pi} + \sum_{i=1}^j \Delta T_i \sin(k_{Ti} \omega_1 t + b_{Ti}) \end{pmatrix}. \quad (2.42)$$

Приклад використання функції (2.40) для опису відхилення зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  в процесі заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента представлено на рис. 2.22.

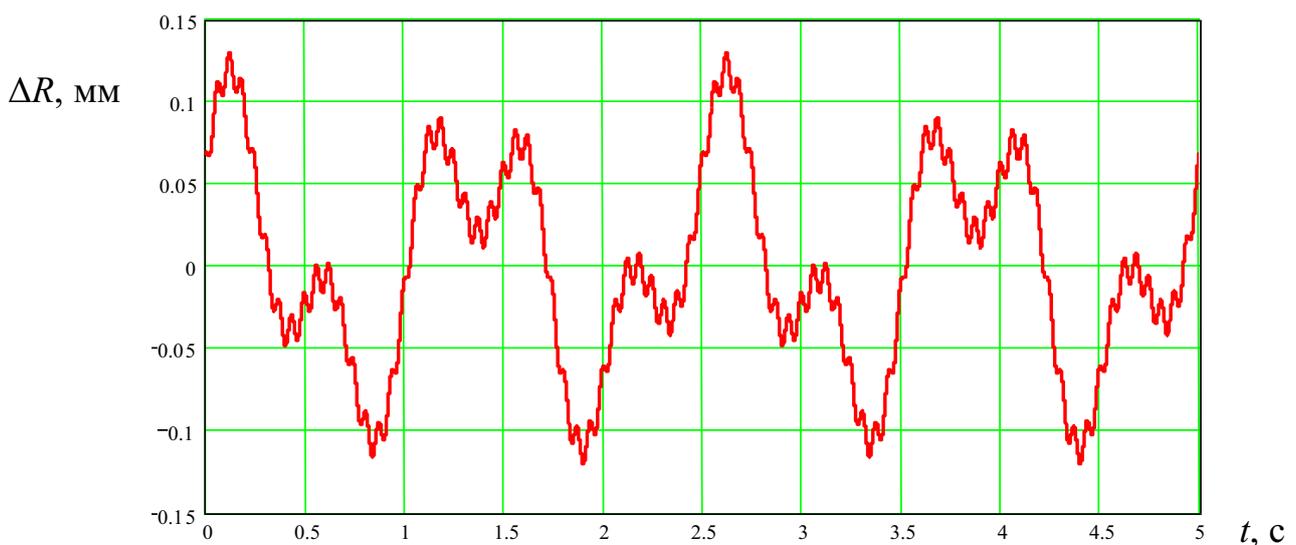


Рис. 2.22. Графік зміни відхилення зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  в процесі заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента

На основі рівнянь (2.39) та (2.42) на рис. 2.23 побудовано траєкторії руху різця відносно заготовки та криву зовнішньої крайки гвинтового елемента із відхиленнями зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  та гвинтової поверхні  $\Delta T$ .

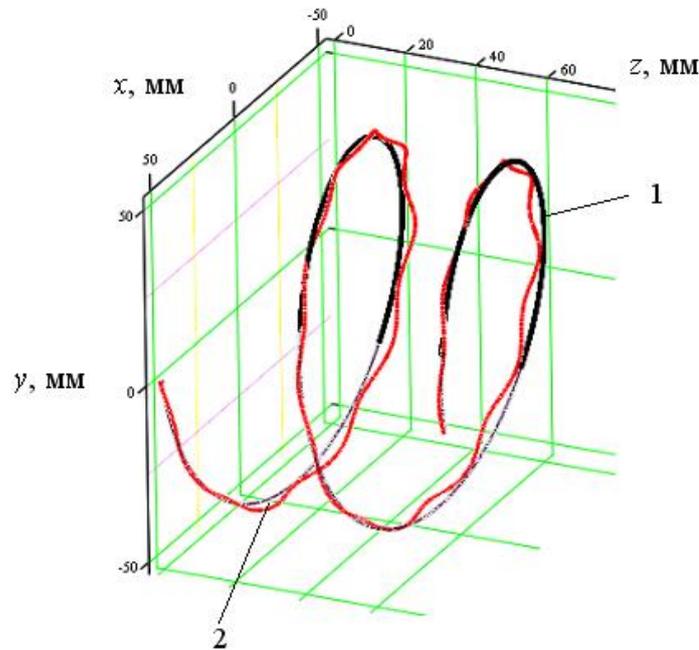


Рис. 2.23. Траєкторія 1 руху різця відносно заготовки та крива 2 зовнішньої крайки гвинтового елемента із відхиленнями зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  та гвинтової поверхні  $\Delta T$

Тоді на основі рівнянь (2.40), (2.41), (2.36) запишемо зміну ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента із геометричними відхиленням крайки гвинтового елемента, що піддається загострюванню :

$$H_{\Delta} = H - L_2 + \sqrt{R_1^2 - \left( \sqrt{R_1^2 - L_2^2} + \sum_{i=1}^j \Delta R_i \sin(k_{Ri} \omega_1 t + b_{Ri}) \right)^2} + \sum_{i=1}^j \Delta T_i \sin(k_{Ti} \omega_1 t + b_{Ti}). \quad (2.43)$$

На основі рівнянь (2.43), (2.31), (2.2) побудовано графіки зміни площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається (рис. 2.24) та сили різання (рис. 2.25) в процесі заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента.

На основі графіків рис. 2.24, 2.25 та експериментальних досліджень встановлено, що процес заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента

пов'язаний із зміною складових сили різання в часі. В результаті досліджень встановлено, що спочатку відбувається різке зростання величини сили різання, що пов'язано із врізанням різця у поверхню заготовки, потім зміна сили різання носить коливний характер відносно усередненого значення, що пов'язано із відхиленнями від точності поверхні гвинтового елемента, що обробляється.

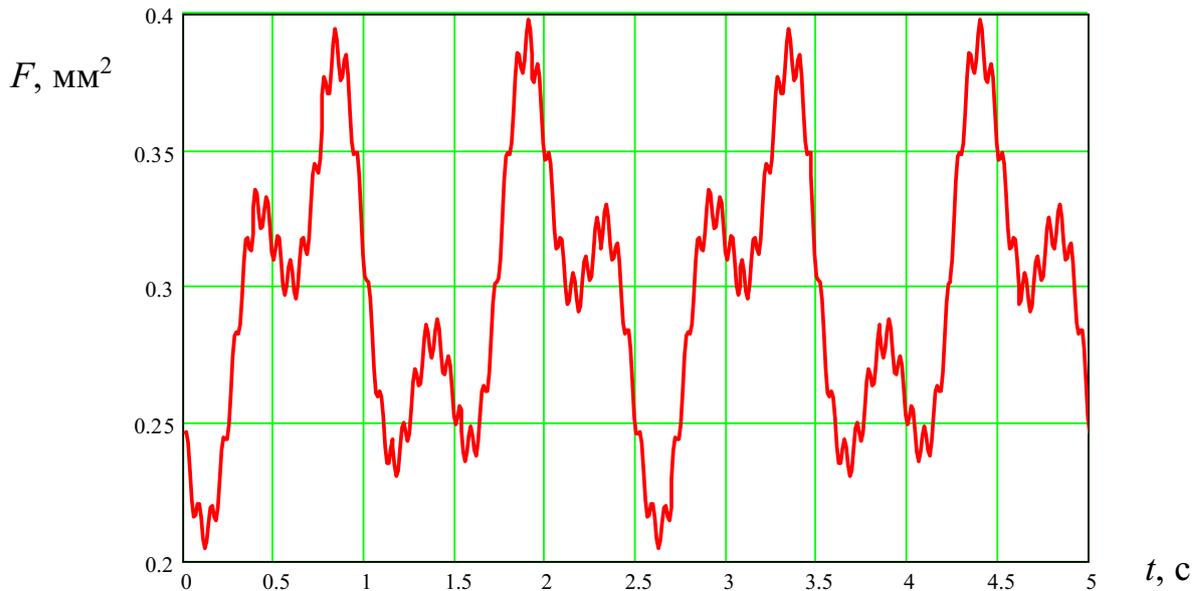


Рис. 2.24. Графік зміни площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається в процесі заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента

$$R_1=20 \text{ мм}, L_2=14 \text{ мм}, H=0,8 \text{ мм}$$

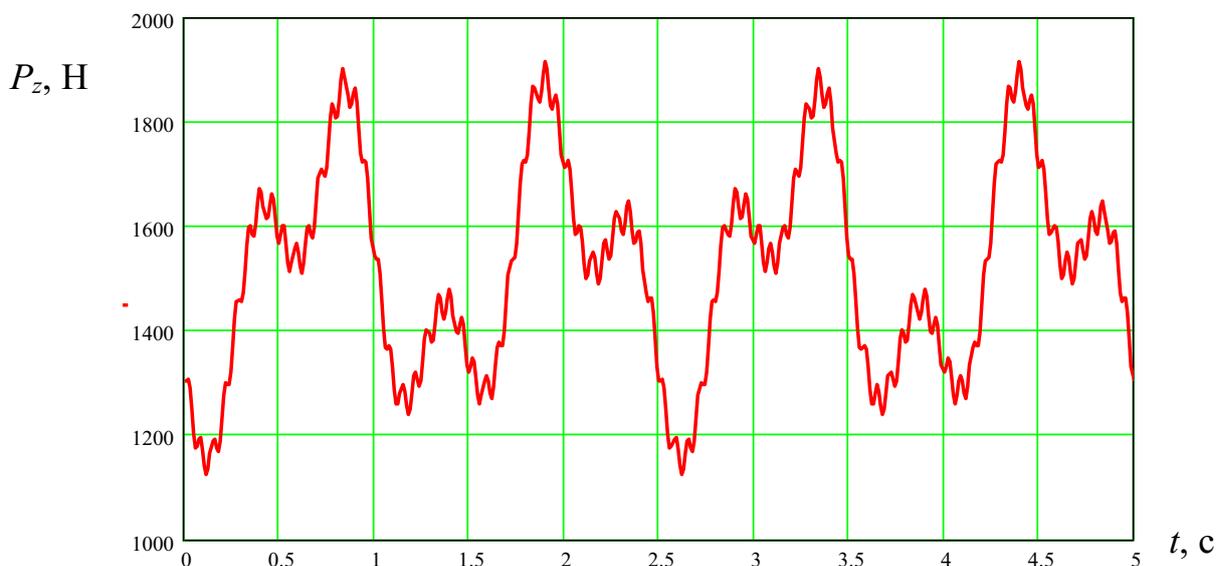


Рис. 2.25. Графік зміни сили різання в процесі заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента  $R_1=20 \text{ мм}, L_2=14 \text{ мм}, H=0,8 \text{ мм}$

Тому процес заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента спеціальним різцем пов'язаний із складною взаємодією гвинтового елемента із затискним елементом та різцем. Такий перехідний процес запропоновано досліджувати на основі сформованої динамічної моделі (рис. 2.26), що дозволяє визначати деформації основних елементів ідеалізованої приведенної системи, до якої віднесено такі складові: гвинтовий елемент, що піддається заточуванню зовнішньої крайки, затискний трубчастий елемент, оправка, шпиндель токарного верстата із затискним патроном, круглі спеціальні пластини різця, державка різця, різцетримач. Усі елементи системи представлено у вигляді зосереджених мас з пружними зв'язками, що мають незмінні в часі коефіцієнти жорсткості та демпфування.

До динамічної моделі заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента на рис. 2.26 віднесено:  $m_1$  – маса гвинтового елемента;  $m_2$  – маса затискного трубчастого елемента;  $m_3$  – маса оправки;  $m_4$  – маса пластин різця;  $m_5$  – маса державки різця;  $m_6$  – маса різцетримача;  $I_1$  – момент інерції гвинтового елемента;  $I_2$  – момент інерції затискного трубчастого елемента;  $I_3$  – момент інерції оправки;  $I_4$  – момент інерції шпинделя токарного верстата із затискним патроном.

Також до складу схеми рис. 2.26 входять приведені коефіцієнти жорсткості:  $C_{12}$  – крутильна жорсткість гвинтового елемента;  $C_{23}$  – крутильна жорсткість затискного трубчастого елемента;  $C_{34}$  – крутильна жорсткість оправки;  $k_{13z}$ ,  $k_{13y}$  – лінійні жорсткості гвинтового елемента із затискним елементом у напрямку осей  $z$  та  $y$  відповідно;  $k_{12x}$  – лінійна жорсткість гвинтового елемента у напрямку осі  $x$ ;  $k_{2x}$  – лінійна жорсткість затискного елемента у напрямку осі  $x$ ;  $k_{3z}$ ,  $k_{3y}$  – лінійні жорсткості оправки у напрямку осей  $z$  та  $y$  відповідно;  $k_{45z}$ ,  $k_{45y}$ ,  $k_{45x}$  – лінійні жорсткості пластин різця у напрямку осей  $z$ ,  $y$  та  $x$  відповідно;  $k_{56z}$ ,  $k_{56x}$  – лінійні жорсткості державки різця у напрямку осей  $z$  та  $x$  відповідно;  $k_{5y}$  – лінійна жорсткість опорної пружини державки різця у



Крім цього до складу схеми рис. 2.26 входять приведені коефіцієнти демпфування:  $\beta_{12\phi}$  – коефіцієнт демпфування крутильних коливань гвинтового елемента;  $\beta_{23\phi}$  – коефіцієнт демпфування крутильних коливань затискного трубчастого елемента;  $\beta_{34\phi}$  – коефіцієнт демпфування крутильних коливань оправки;  $\beta_{13z}$ ,  $\beta_{13y}$  - коефіцієнти демпфування лінійних коливань гвинтового елемента із затискним елементом у напрямку осей  $z$  та  $y$  відповідно;  $k_{12x}$  - коефіцієнт демпфування лінійних коливань гвинтового елемента у напрямку осі  $x$ ;  $\beta_{2x}$  - коефіцієнт демпфування лінійних коливань затискного елемента у напрямку осі  $x$ ;  $\beta_{3z}$ ,  $\beta_{3y}$  - коефіцієнти демпфування лінійних коливань оправки у напрямку осей  $z$  та  $y$  відповідно;  $\beta_{45z}$ ,  $\beta_{45y}$ ,  $\beta_{45x}$  - коефіцієнти демпфування лінійних коливань пластин різця у напрямку осей  $z$ ,  $y$  та  $x$  відповідно;  $\beta_{56z}$ ,  $\beta_{56x}$  - коефіцієнти демпфування лінійних коливань державки різця у напрямку осей  $z$  та  $x$  відповідно;  $\beta_{5y}$  - коефіцієнт демпфування лінійних коливань опорної пружини державки різця у напрямку осі  $y$ ;  $\beta_{6z}$ ,  $\beta_{6x}$  - коефіцієнти демпфування лінійних коливань різцетримача у напрямку осей  $z$  та  $x$  відповідно.

На гвинтовий елемент та пласти спеціального різця в процесі заточування зовнішньої крайки діють змінні у часі складові сили різання: тангенціальна  $P_z(t)$ , радіальна  $P_y(t)$ , осьова  $P_x(t)$ , зміна яких залежить від похибок попередньо сформованої гвинтової заготовки, а також на гвинтовий елемент діє крутний момент  $M_w = P_z(t) \cdot R_1$ , де  $R$  - радіус гвинтового елемента.

Кути повороту  $\phi_1$ ,  $\phi_2$ ,  $\phi_3$ ,  $\phi_4$  та лінійні переміщення  $y_1$ ,  $y_3$ ,  $y_4$ ,  $y_5$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_4$ ,  $x_5$ ,  $x_6$ ,  $z_1$ ,  $z_3$ ,  $z_4$ ,  $z_5$ ,  $z_6$  складових системи рис. 2.26 вибрано за узагальнені координати.

Кінетична енергія динамічної моделі рис. 2.26:

$$\begin{aligned}
T = & \frac{I_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2} + \frac{I_3 \cdot \dot{\varphi}_3^2}{2} + \frac{I_4 \cdot \dot{\varphi}_4^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{x}_1^2}{2} + \frac{(m_1 + m_2) \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{m_3 \cdot \dot{y}_3^2}{2} + \\
& + \frac{m_2 \cdot \dot{x}_2^2}{2} + \frac{(m_1 + m_2) \cdot \dot{z}_1^2}{2} + \frac{m_3 \cdot \dot{z}_3^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{x}_4^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{y}_4^2}{2} + \frac{m_4 \cdot \dot{z}_4^2}{2} + \frac{m_5 \cdot \dot{x}_5^2}{2} + \\
& + \frac{m_5 \cdot \dot{y}_5^2}{2} + \frac{m_5 \cdot \dot{z}_5^2}{2} + \frac{m_6 \cdot \dot{x}_6^2}{2} + \frac{m_6 \cdot \dot{z}_6^2}{2}.
\end{aligned} \tag{2.44}$$

Потенціальна енергія динамічної моделі рис. 2.26:

$$\begin{aligned}
\Pi = & \frac{C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2} + \frac{C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2)^2}{2} + \frac{C_{34} \cdot (\varphi_4 - \varphi_3)^2}{2} + \frac{k_{13y} \cdot (y_3 - y_1)^2}{2} + \\
& + \frac{k_{13z} \cdot (z_1 - R\varphi_1 - z_3)^2}{2} + \frac{k_{12x} \cdot (x_2 - x_1)^2}{2} + \frac{k_{2x} \cdot x_2^2}{2} + \frac{k_{3y} \cdot y_3^2}{2} + \frac{k_{3z} \cdot z_3^2}{2} + \\
& + \frac{k_{45x} \cdot (x_5 - x_4)^2}{2} + \frac{k_{45y} \cdot (y_5 - y_4)^2}{2} + \frac{k_{45z} \cdot (z_5 - z_4)^2}{2} + \frac{k_{5y} \cdot y_5^2}{2} + \\
& + \frac{k_{56x} \cdot (x_6 - x_5)^2}{2} + \frac{k_{56z} \cdot (z_6 - z_5)^2}{2} + \frac{k_{6x} \cdot x_6^2}{2} + \frac{k_{6z} \cdot z_6^2}{2}.
\end{aligned} \tag{2.45}$$

Функція розсіювання динамічної моделі рис. 2.26:

$$\begin{aligned}
\Phi = & \frac{\beta_{12\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2)^2}{2} + \frac{\beta_{23\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2)^2}{2} + \frac{\beta_{34} \cdot (\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_3)^2}{2} + \frac{\beta_{13y} \cdot (\dot{y}_3 - \dot{y}_1)^2}{2} + \\
& + \frac{\beta_{13z} \cdot (\dot{z}_1 - R\dot{\varphi}_1 - \dot{z}_3)^2}{2} + \frac{\beta_{12x} \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_1)^2}{2} + \frac{\beta_{2x} \cdot \dot{x}_2^2}{2} + \frac{\beta_{3y} \cdot \dot{y}_3^2}{2} + \frac{\beta_{3z} \cdot \dot{z}_3^2}{2} + \\
& + \frac{\beta_{45x} \cdot (\dot{x}_5 - \dot{x}_4)^2}{2} + \frac{\beta_{45y} \cdot (\dot{y}_5 - \dot{y}_4)^2}{2} + \frac{\beta_{45z} \cdot (\dot{z}_5 - \dot{z}_4)^2}{2} + \frac{\beta_{5y} \cdot \dot{y}_5^2}{2} + \\
& + \frac{\beta_{56x} \cdot (\dot{x}_6 - \dot{x}_5)^2}{2} + \frac{\beta_{56z} \cdot (\dot{z}_6 - \dot{z}_5)^2}{2} + \frac{\beta_{6x} \cdot \dot{x}_6^2}{2} + \frac{\beta_{6z} \cdot \dot{z}_6^2}{2}.
\end{aligned} \tag{2.46}$$

Рівняння Лагранжа другого роду [71]:

- для крутих коливань елементів системи:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_n} = P_z(t) \cdot R. \tag{2.47}$$

- для лінійних коливань елементів системи:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial y_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{y}_n} = P_y(t). \quad (2.48)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{z}_n} = P_z(t), \quad (2.49)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial x_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}_n} = P_x(t). \quad (2.50)$$

Використовуючи рівняння (2.44) – (2.50), виведено систему диференціальних рівнянь, що дозволяють прогнозувати коливання елементів динамічної моделі рис. 2.26:

$$\begin{aligned} & I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{12\varphi} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - k_{13z} (z_1 - R\varphi_1 - z_3) R - \\ & - \beta_{13z} (\dot{z}_1 - R\dot{\varphi}_1 - \dot{z}_3) R = RP_z(t); \\ & I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1) + \beta_{12\varphi} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1) + C_{23} \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) + \beta_{23\varphi} (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) = 0; \\ & I_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 + C_{23} \cdot (\varphi_3 - \varphi_2) + \beta_{23\varphi} (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2) + C_{34} \cdot (\varphi_3 - \varphi_4) + \beta_{34\varphi} (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_4) = 0; \\ & I_4 \cdot \ddot{\varphi}_4 + C_{34} \cdot (\varphi_4 - \varphi_3) + \beta_{34\varphi} (\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_3) = M_d; \\ & (m_1 + m_2) \cdot \ddot{z}_1 - k_{13z} (z_1 - R\varphi_1 - z_3) - \beta_{13z} (\dot{z}_1 - R\dot{\varphi}_1 - \dot{z}_3) = P_z(t); \\ & (m_1 + m_2) \cdot \ddot{y}_1 + k_{13y} (y_1 - y_3) + \beta_{13y} (\dot{y}_1 - \dot{y}_3) = P_y(t); \\ & m_1 \cdot \ddot{x}_1 + k_{12x} (x_1 - x_2) + \beta_{12x} (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = P_x(t); \\ & m_2 \cdot \ddot{x}_2 + k_{12x} (x_2 - x_1) + \beta_{12x} (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_{2x} x_2 + \beta_{2x} \dot{x}_2 = 0; \\ & m_3 \cdot \ddot{y}_3 + k_{13y} (y_3 - y_1) + \beta_{13y} (\dot{y}_3 - \dot{y}_1) + k_{3y} y_3 + \beta_{3y} \dot{y}_3 = 0; \\ & m_3 \cdot \ddot{z}_3 + k_{13z} (z_1 - R\varphi_1 - z_3) + \beta_{13z} (\dot{z}_1 - R\dot{\varphi}_1 - \dot{z}_3) + k_{3z} z_3 + \beta_{3z} \dot{z}_3 = 0; \\ & m_4 \cdot \ddot{x}_4 + k_{45x} (x_4 - x_5) + \beta_{45x} (\dot{x}_4 - \dot{x}_5) = P_x(t); \\ & m_4 \cdot \ddot{y}_4 + k_{45y} (y_4 - y_5) + \beta_{45y} (\dot{y}_4 - \dot{y}_5) = P_y(t); \\ & m_4 \cdot \ddot{z}_4 + k_{45z} (z_4 - z_5) + \beta_{45z} (\dot{z}_4 - \dot{z}_5) = P_z(t); \\ & m_5 \cdot \ddot{x}_5 + k_{45x} (x_5 - x_4) + \beta_{45x} (\dot{x}_5 - \dot{x}_4) + k_{56x} (x_5 - x_6) + \beta_{56x} (\dot{x}_5 - \dot{x}_6) = 0; \\ & m_5 \cdot \ddot{z}_5 + k_{45z} (z_5 - z_4) + \beta_{45z} (\dot{z}_5 - \dot{z}_4) + k_{56z} (z_5 - z_6) + \beta_{56z} (\dot{z}_5 - \dot{z}_6) = 0; \\ & m_5 \cdot \ddot{y}_5 + k_{45y} (y_5 - y_4) + \beta_{45y} (\dot{y}_5 - \dot{y}_4) + k_{5y} y_5 + \beta_{5y} \dot{y}_5 = 0; \\ & m_6 \cdot \ddot{x}_6 + k_{56x} (x_6 - x_5) + \beta_{56x} (\dot{x}_6 - \dot{x}_5) + k_{6x} x_6 + \beta_{6x} \dot{x}_6 = 0; \\ & m_6 \cdot \ddot{z}_6 + k_{56z} (z_6 - z_5) + \beta_{56z} (\dot{z}_6 - \dot{z}_5) + k_{6z} z_6 + \beta_{6z} \dot{z}_6 = 0, \end{aligned} \quad (2.51)$$

де  $M_d$  – крутний момент на двигуні, Н·м.

На етапі врізання різця у поверхню гвинтового елемента силу різання апроксимуємо зростаючою лінійною залежністю із використанням допоміжної безрозмірної алгебологічної функції, що використано у роботі [17]:

$$F_i(t) = \left( \frac{t_K}{2} - \left| \frac{t_K}{2} - t \right| \right) \cdot k_2, \quad (2.52)$$

де  $t_K$  - час заточування крайки гвинтового елемента;

$k_2$  - коефіцієнт, що визначає кут нахилу лінії зміни сили різання.

На основі рівнянь (2.52), (2.1) - (2.7) зміну складових сили різання представимо рівняннями, що можна використовувати для розв'язку системи диференціальних рівнянь (2.51) числовими методами:

$$P_z(t) = \frac{F_i(t) + P_z - |F_i(t) - P_z| + |F_i(t) + P_z - |F_i(t) - P_z||}{4} + \sum_{i=1}^j P_{zi} \sin(\omega_{zi}t + b_{zi}). \quad (2.53)$$

$$P_x(t) = \frac{F_i(t) + P_x - |F_i(t) - P_x| + |F_i(t) + P_x - |F_i(t) - P_x||}{4} + \sum_{i=1}^j P_{xi} \sin(\omega_{xi}t + b_{xi}). \quad (2.54)$$

$$P_y(t) = \frac{F_i(t) + P_y - |F_i(t) - P_y| + |F_i(t) + P_y - |F_i(t) - P_y||}{4} + \sum_{i=1}^j P_{yi} \sin(\omega_{yi}t + b_{yi}). \quad (2.55)$$

Приклад використання функції сили різання (2.53) при врізанні різця у гвинтовий елемент з наступним заточуванням крайки гвинтового елемента із відхиленнями представлено на рисунку 2.27.

Початкові умови для розв'язку системи диференціальних рівнянь (2.51) вибираємо у момент контакту різця із гвинтовим елементом, до виникнення деформацій елементів приведеної системи. Тому, початкові деформації та швидкості деформацій елементів приведеної системи дорівнюють нулю, а початкові умови мають вигляд:

$$\begin{aligned} \varphi_1(0) = 0, \varphi_2(0) = 0, \varphi_3(0) = 0, \varphi_4(0) = 0, z_1(0) = 0, z_3(0) = 0, z_4(0) = 0, \\ z_5(0) = 0, z_6(0) = 0, y_1(0) = 0, y_3(0) = 0, y_4(0) = 0, y_5(0) = 0, x_1(0) = 0, \end{aligned}$$

$$x_2(0) = 0, x_3(0) = 0, x_4(0) = 0, x_5(0) = 0, x_6(0) = 0, \quad (2.56)$$

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}_1(0) = 0, \dot{\varphi}_2(0) = 0, \dot{\varphi}_3(0) = 0, \dot{\varphi}_4(0) = 0, \dot{z}_1(0) = 0, \dot{z}_3(0) = 0, \dot{z}_4(0) = 0, \\ \dot{z}_5(0) = 0, \dot{z}_6(0) = 0, \dot{y}_1(0) = 0, \dot{y}_3(0) = 0, \dot{y}_4(0) = 0, \dot{y}_5(0) = 0, \dot{x}_1(0) = 0, \\ \dot{x}_2(0) = 0, \dot{x}_3(0) = 0, \dot{x}_4(0) = 0, \dot{x}_5(0) = 0, \dot{x}_6(0) = 0. \end{aligned}$$

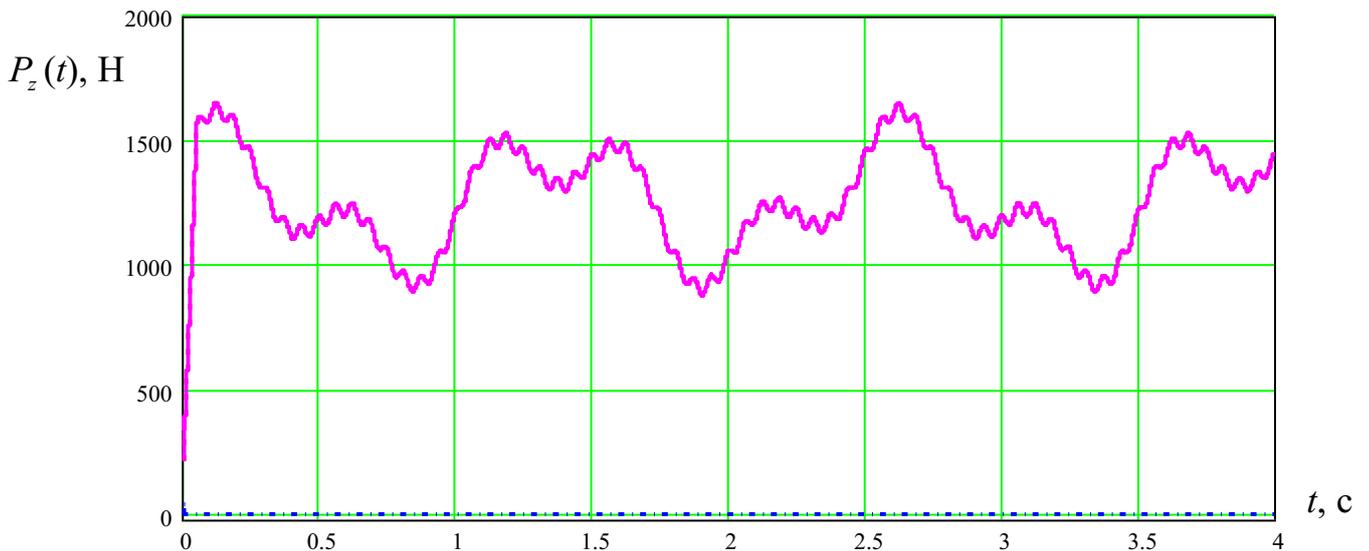


Рис. 2.27. Графік зміни сили різання при врізанні різця у гвинтовий елемент з наступним затачуванням країки гвинтового елемента із відхиленнями

Розв'язок системи диференціальних рівнянь (2.51) з нульовими початковими умовами (2.56) проведено чисельним методом Рунге-Кутта із застосуванням прикладної програми. Числові дані складових системи диференціальних рівнянь (2.51) визначено методами комп'ютерного моделювання та на основі експериментальних даних.

Результати представлено у вигляді графіків. Зокрема, на рисунку 2.28 зображено графік зміни величини деформації гвинтового елемента в часі, на рисунку 2.29 - графік зміни величини деформації ріжучої пластини різця в часі, на рисунку 2.30 - графік зміни величини деформації оправки в часі, на рисунку 2.31 - графік зміни швидкості деформації гвинтового елемента в часі, на рисунку 2.32 - графік зміни динамічного навантаження на ріжучу пластину в часі.

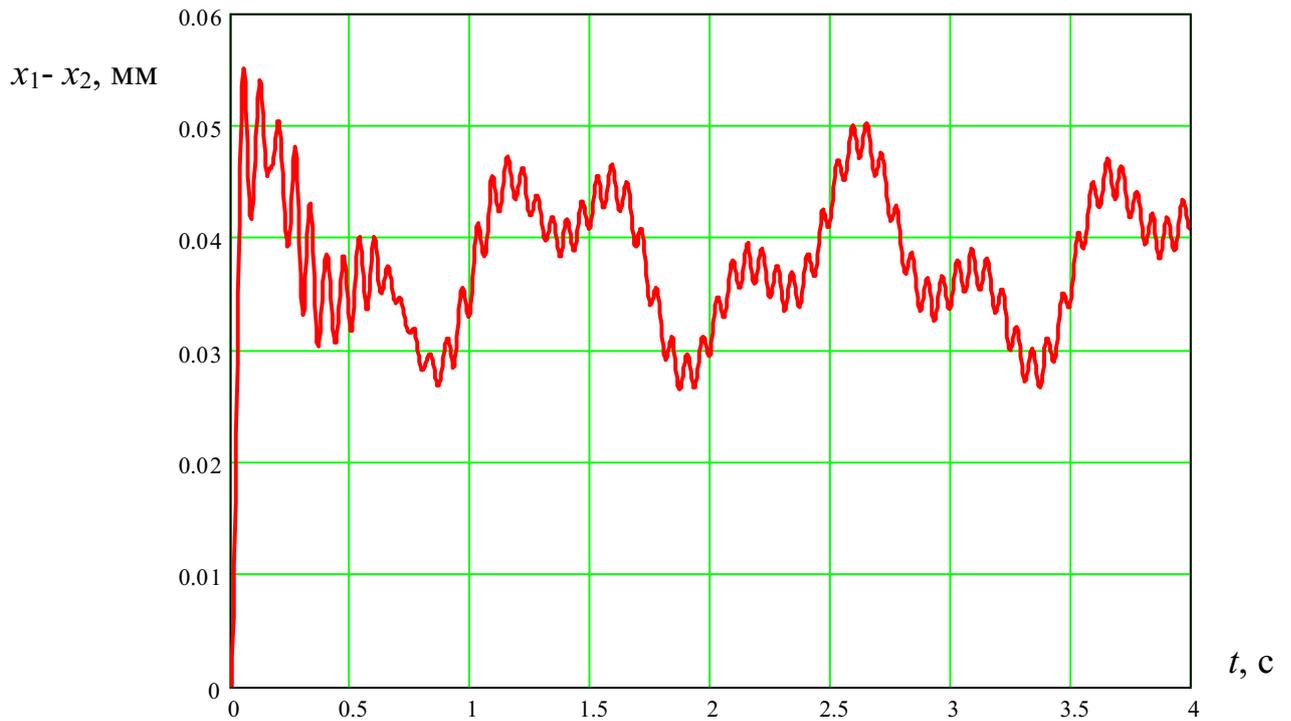


Рис. 2.28. Графік зміни величини деформації гвинтового елемента в часі

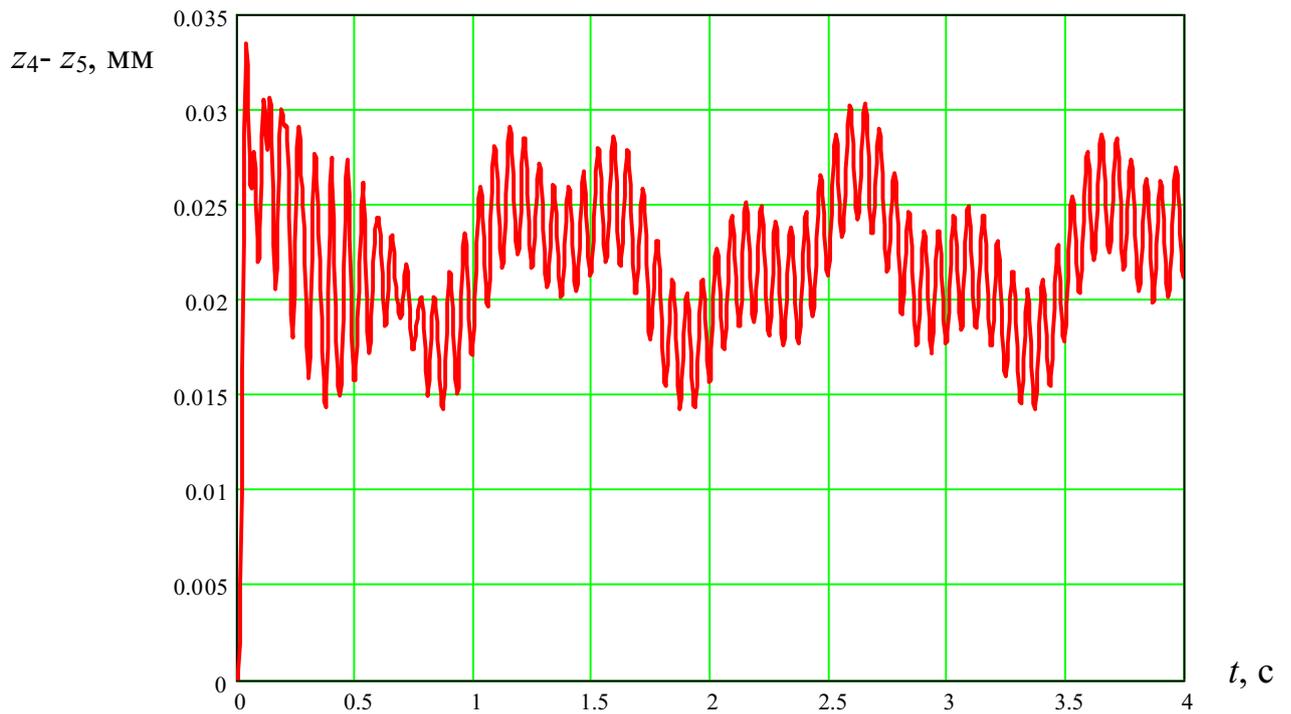


Рис. 2.29. Графік зміни величини деформації ріжучої пластини різця в часі

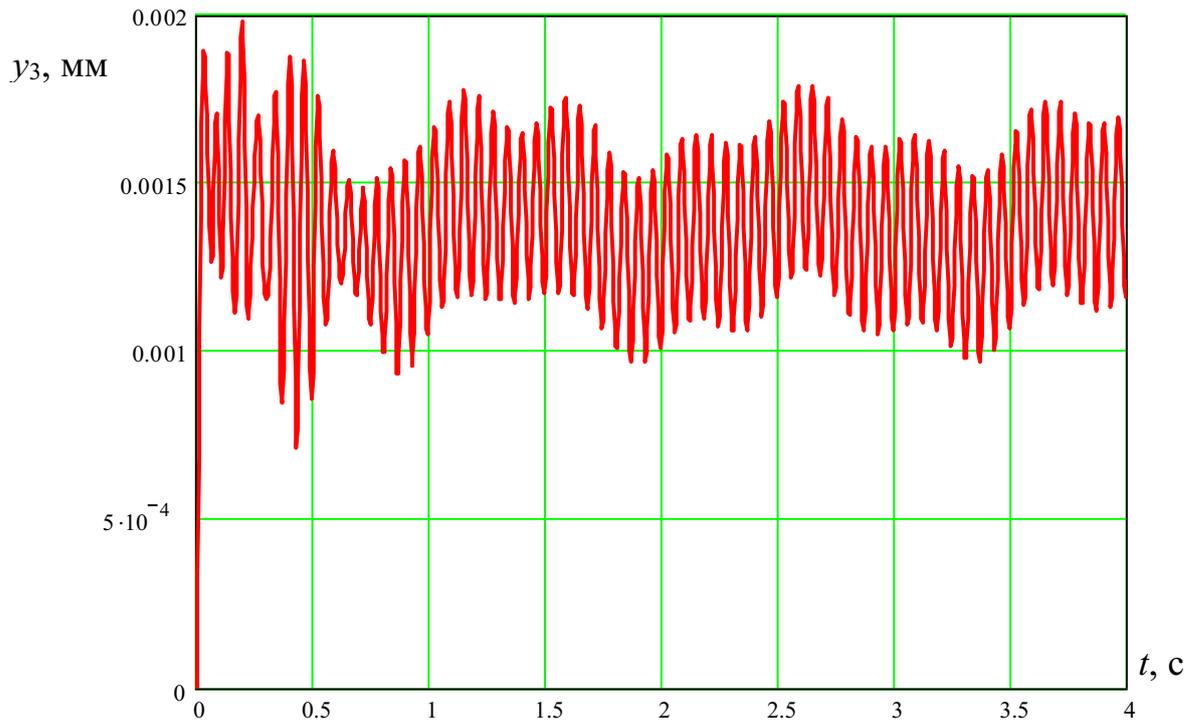


Рис. 2.30. Графік зміни величини деформації оправки в часі

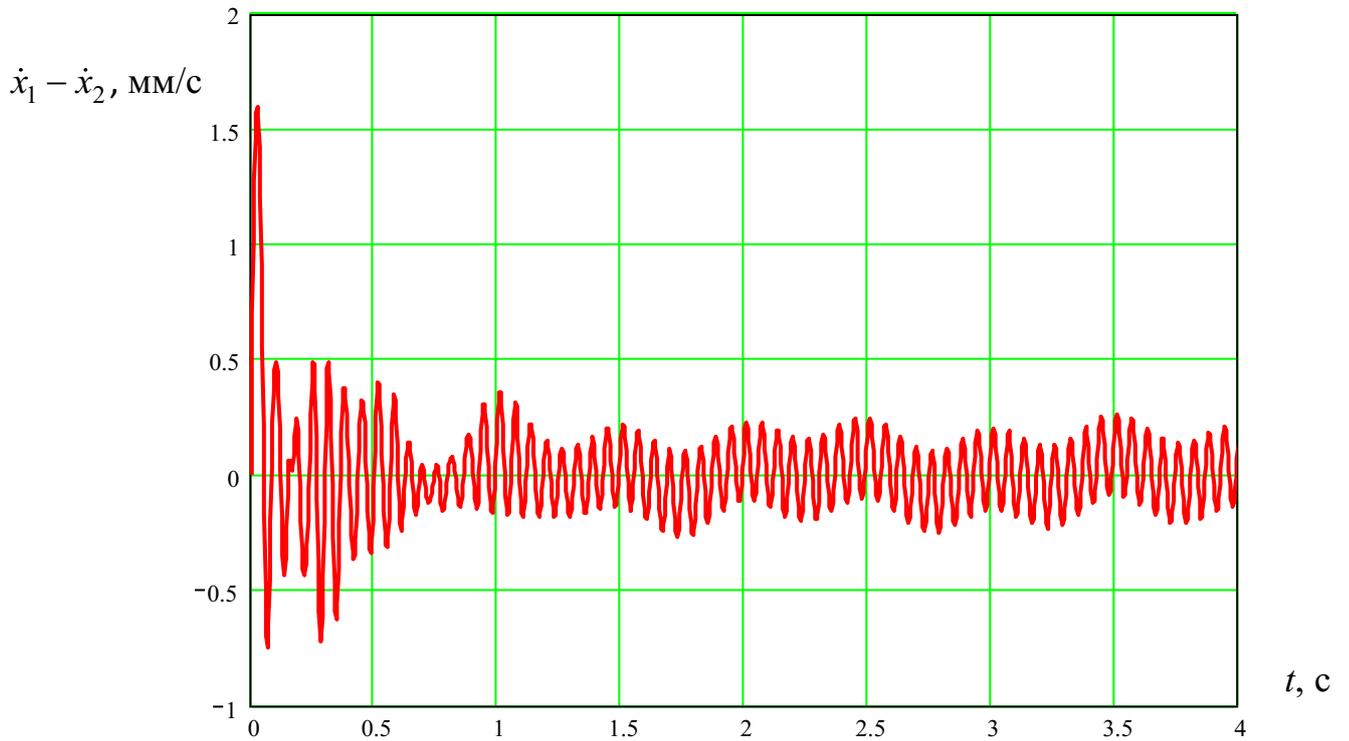


Рис. 2.31. Графік зміни швидкості деформації гвинтового елемента в часі

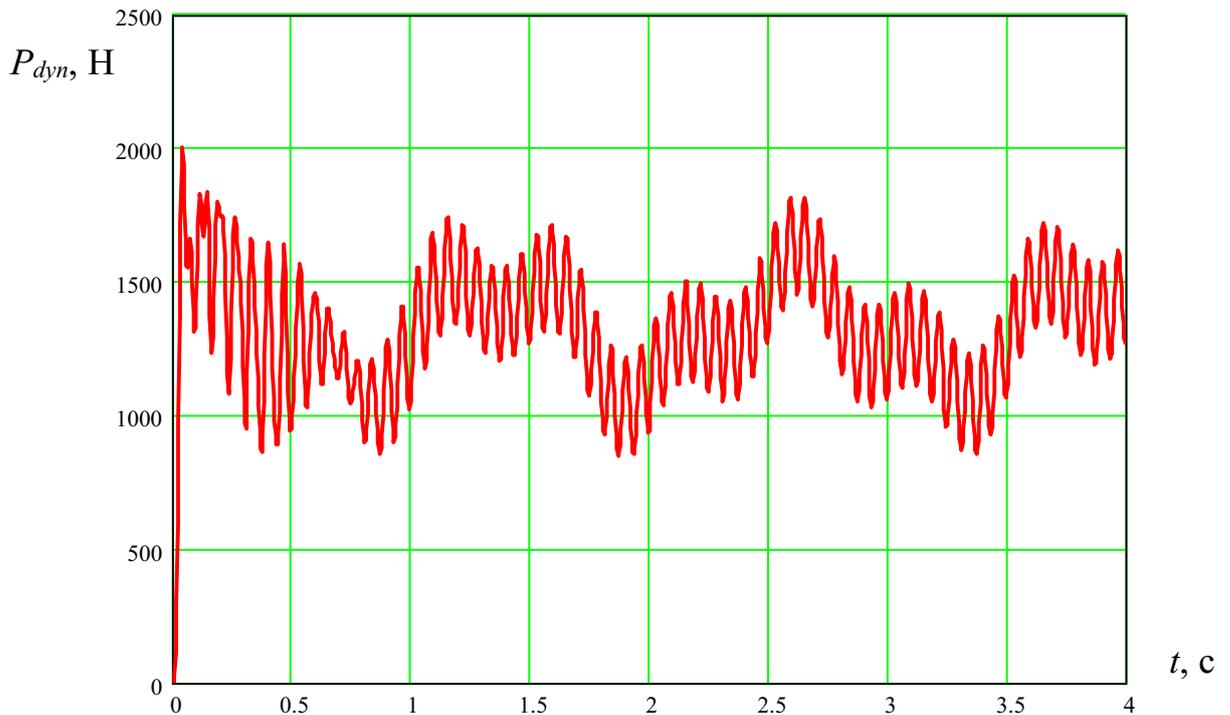


Рис. 2.32. Графік зміни динамічного навантаження на ріжучу пластину в часі

На графіках на рис. 2.28 – 2.32 можна побачити, що в момент врізання ріжучої пластини різця у гвинтовий елемент відбувається стрибкоподібне зростання величини деформації гвинтового елемента до 0,055 мм, ріжучої пластини різця – до 0,034 мм, оправки – до 0,002 мм, подальша деформація вказаних елементів залежить від зміни сили різання, а отже і від похибок виготовлення та базування заготовки гвинтового елемента. Найбільша швидкість деформації елементів приведеної системи виникає також в момент врізання різця і для гвинтового елемента становить 1,6 мм/с. Найбільше динамічне навантаження на різець досягає величини 2000 Н.

Деформація вказаних елементів знаходяться в допустимих межах, що не перевищує допуски на заточування крайки гвинтового елемента. Виведена система диференціальних рівнянь із застосуванням чисельного методу розв'язку дозволяє прогнозувати взаємозв'язок параметрів точності та режимів різання з динамічними параметрами токарного оброблення зовнішньої крайки гвинтового елемента.

### 2.3. Дослідження параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі

Однією із операцій технологічного процесу виготовлення гвинтових елементів машин є формування ножів-подрібнювачів методом загинання роликком на токарному верстаті попередньо сформованих фрезеруванням секторів на гвинтовому елементі. Схема цієї операції зображена на рис. 2.5.

Порівняно із звичайними методами гнуття пуансоном у матриці із зворотно-поступальним рухом метод гнуття роликком із прямолінійним рухом має більшу продуктивність і дозволяє загинати сектори на кожному витку гвинтового елемента за один прохід, використовуючи токарний верстат. Метод гнуття роликком потребує теоретичного та експериментального дослідження геометричних та силових параметрів вказаного процесу.

Для виконання операції, схема якої представлена на рис. 2.33, гнуття ножів-подрібнювачів на кут  $\beta_b$  вершина ролика 1 поперечною подачею  $S_{p1}$  верстата зміщується відносно зовнішнього діаметра  $D$  гвинтового елемента 4 на величину перекриття  $l_b$ .

Детальніше конструкції затискного пристрою та ролика описано у розділі 3. Наступним етапом є виконання поздовжньої подачі ролика  $S_p$ , в наслідок чого при взаємодії ролика із сектором гвинтового елемента відбувається гнуття останнього в напрямку подачі ролика. Для виконання та налагодження даної операції важливим є встановлення взаємозв'язку кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів величини із перекриттям  $l_b$  зовнішнього радіуса  $R_r$  ролика відносно зовнішнього діаметра  $D$  гвинтового елемента. Для цього із трикутників  $AOB$  та  $BCE$  рис. 2.32 знаходимо співвідношення:

$$l_b = L_b - L_b \cos \beta_b - H_b \sin \beta_b, \quad (2.57)$$

$$l_b = L_b (1 - \cos \beta_b) - H_b \sin \beta_b, \quad (2.58)$$

де  $L_b$  – висота сектора під ножі подрібнювачі;

$H_b$  – товщина матеріалу сектора під ножі подрібнювачі.



існує обмеження щодо формування кута  $\beta_b$ , яке знаходиться в межах від 0 до точки перетину графіка із віссю абсцис, що відповідає мінімальному теоретичному куту  $\beta_{b\min}$  гнуття ножів-подрібнювачів. Зокрема, для  $L_b = 10$  мм  $\beta_{b\min} = 20,41$  град, для  $L_b = 15$  мм  $\beta_{b\min} = 13,69$  град, для  $L_b = 20$  мм  $\beta_{b\min} = 10,29$  град.

Для визначення  $\beta_{b\min}$  прирівнюємо праву частину рівняння (2.58) до нуля:

$$L_b(1 - \cos\beta_b) - H_b \sin\beta_b = 0. \quad (2.59)$$

Після розв'язку рівняння (2.59), одержали:

$$\beta_{b\min} = \arccos\left(\frac{L_b^2 - H_b^2}{L_b^2 + H_b^2}\right). \quad (2.60)$$

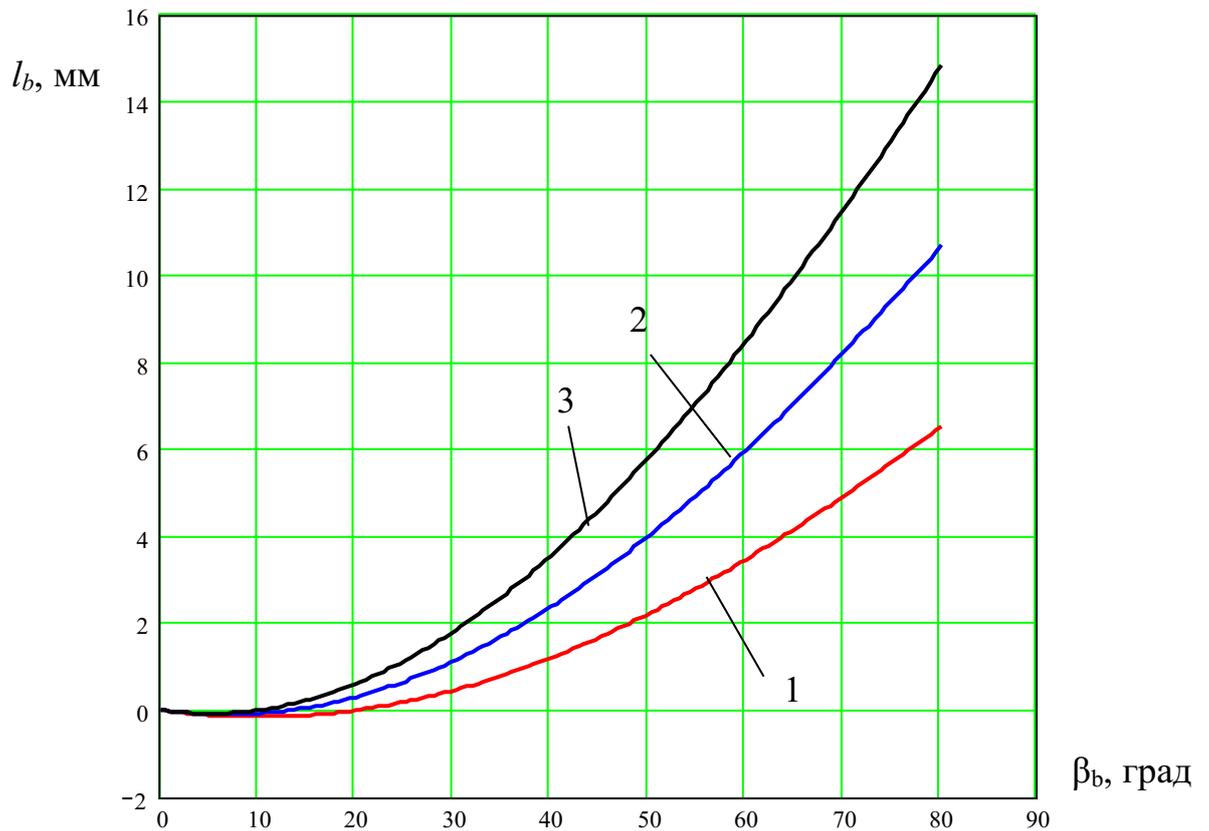


Рис. 2.34. Графіки залежності величини перекриття  $l_b$  зовнішнього радіуса  $R_r$  ролика відносно зовнішнього діаметра  $D$  гвинтового елемента від кута  $\beta_b$

гнуття ножів-подрібнювачів,  $H_b = 1,8$  мм:

1)  $L_b = 10$  мм; 2)  $L_b = 15$  мм; 3)  $L_b = 20$  мм

Для практичного застосування важливим є визначення мінімального

технологічного кута  $\beta_{\text{minT}}$  гнуття ножів-подрібнювачів, що залежить від мінімальної величини перекриття  $l_{\text{min}}$  зовнішнього радіуса  $R_r$  ролика відносно зовнішнього діаметра  $D$ , яку можна забезпечити на верстаті, що знаходиться в межах від 0,5 мм до 1 мм. Цю величину знаходимо із рівняння (2.58):

$$\beta_{\text{minT}} = \arccos \left( \frac{-L_b l_{\text{min}} + L_b^2 - H_b \sqrt{H_b^2 (1 - l_{\text{min}}^2) + 2L_b l_{\text{min}}}}{L_b^2 + H_b^2} \right) - \Delta\beta, \quad (2.61)$$

де  $\Delta\beta$  – величина відпружинення кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів.

На основі рівняння (2.61) будовано графіки (рис. 2.35) залежності величини мінімального технологічного кута  $\beta_{\text{minT}}$  гнуття ножів-подрібнювачів від висоти  $L_b$  сектора під ножі подрібнювачі.

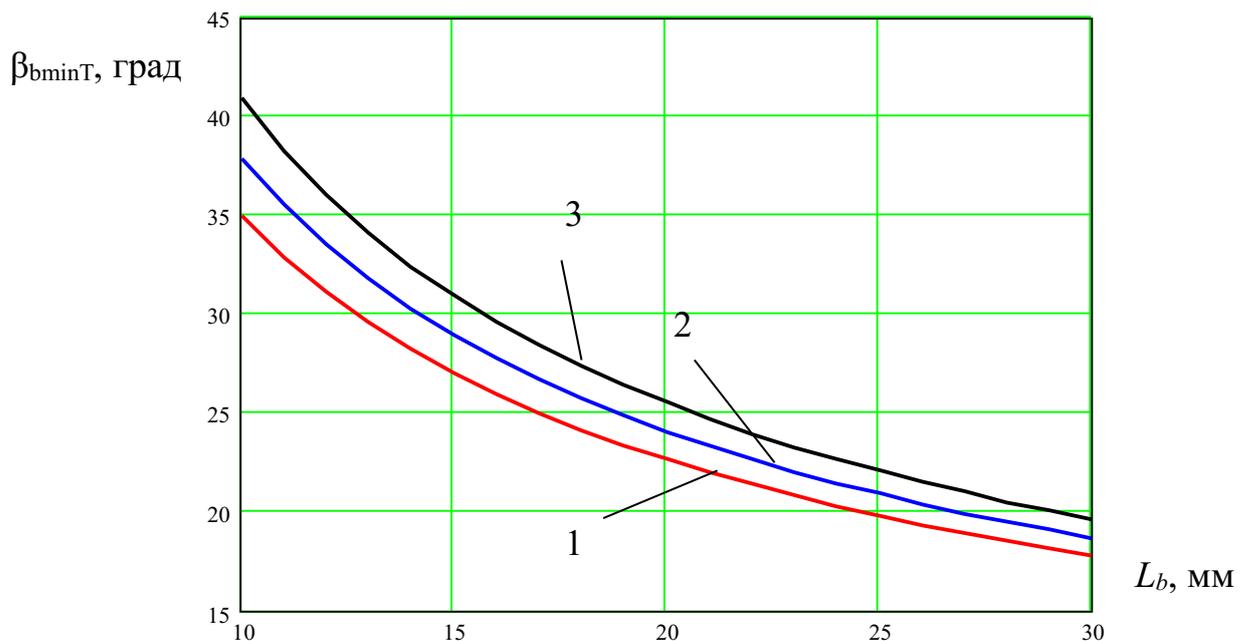


Рис. 2.35. Графіки залежності мінімального технологічного кута  $\beta_{\text{minT}}$  гнуття ножів-подрібнювачів від висоти  $L_b$  сектора під ножі подрібнювачі,  $l_{\text{min}}=1$  мм: 1)  $H_b = 1,4$  мм; 2)  $H_b = 1,8$  мм; 3)  $H_b = 2,2$  мм

Із графіків рис. 2.35 можна побачити, що для більших значень висоти  $L_b$  сектора під ножі подрібнювачі та менших значень товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі подрібнювачі можна одержати менші значення мінімальних технологічних кутів  $\beta_{\text{minT}}$  гнуття ножів-подрібнювачів, що знаходяться в межах

від 35 град до 41 град.

Момент гнуття ножів-подрібнювачів можна визначити за адаптованою відомою залежністю [17]:

$$M_b = \beta \cdot B_b \cdot \left[ \sigma_{T.0} \cdot \frac{H_b^2}{4} + \Pi \cdot \left( \frac{R_b^2 + (R_b - H_b)^2}{4} \cdot \ln \sqrt{\frac{R_b}{R_b - H_b}} - \frac{R_b^2 - (R_b - H_b)^2}{8} \right) \right], \quad (2.62)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт, що враховує вплив напруження  $\sigma_z$ ;

$\sigma_{T.0}$  - границя текучості матеріалу гвинтового елемента;

$\Pi$  - модуль зміцнення матеріалу гвинтового елемента;

$B_b$  – довжина лінії згину сектора під ножі-подрібнювачі;

$R_b$  – радіус згину ножа-подрібнювача при основі.

Довжину лінії згину сектора під ножі-подрібнювачі знаходимо за формулою:

$$B_b = \frac{\theta_s \pi \left( \frac{D}{2} - L_b \right)}{180 \cos \gamma_b}, \quad (2.63)$$

де  $\theta_s$  – кут сектора під ножі-подрібнювачі;

$\gamma_b$  – кут нахилу витків гвинтового елемента на лінії згину.

Кут нахилу витків гвинтового елемента на лінії згину:

$$\gamma_b = \arccos \left( \frac{\pi(D - 2L_b)}{\sqrt{\pi^2(D - 2L_b)^2 + T^2}} \right), \quad (2.64)$$

де  $T$  – крок витків гвинтового елемента.

Підставляємо формули (2.64) та (2.63) у (2.62):

$$M_b = \frac{\theta_s \beta \left( \frac{D}{2} - L_b \right) \sqrt{\pi^2 (D - 2L_b)^2 + T^2}}{180(D - 2L_b)} \times$$

$$\times \left[ \sigma_{T,0} \cdot \frac{H_b^2}{4} + \Pi \cdot \left( \frac{R_b^2 + (R_b - H_b)^2}{4} \cdot \ln \sqrt{\frac{R_b}{R_b - H_b}} - \frac{R_b^2 - (R_b - H_b)^2}{8} \right) \right]. \quad (2.65)$$

Для знаходження сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів розглянуто розрахункову схему рис. 2.33, з якої визначено:

$$P_r = (P_b \cos \beta_b + F_t \cos \alpha_b) \cos \gamma_{b1}, \quad (2.66)$$

де  $P_b$  – сила гнуття ножів-подрібнювачів;

$F_t$  – сила тертя між поверхнею сектора ножа-подрібнювача та ролика;

$\alpha_b$  – кут між вектором сили тертя та силою подачі ролика;

$\gamma_{b1}$  – кут нахилу витків гвинтового елемента на зовнішньому діаметрі.

Сила гнуття ножів-подрібнювачів:

$$P_b = \frac{M_b}{L_b}. \quad (2.67)$$

Сила тертя між поверхнями сектора ножа-подрібнювача та ролика

$$F_t = \frac{M_b \mu_r}{L_b}, \quad (2.68)$$

де  $\mu_r$  – коефіцієнт тертя між поверхнями сектора ножа-подрібнювача та ролика.

Кут між вектором сили тертя та силою подачі ролика визначено із розрахункової схеми рис. 2.33:

$$\cos \alpha_b = \frac{R_r - (l_b - L_b (1 - \cos \beta_{bp}) + H_b \sin \beta_{bp})}{R_r}, \quad (2.69)$$

де  $\beta_{bp}$  – поточне значення кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів.

При досягненні величини  $\beta_{bp} = \beta_b$  значення  $\alpha_b = 0$ ,  $\cos \alpha_b = 1$ .

Кут нахилу витків гвинтового елемента на зовнішньому діаметрі:

$$\cos \gamma_{b1} = \frac{\pi D}{\sqrt{\pi^2 D^2 + T^2}}. \quad (2.70)$$

Підставляємо рівняння (2.67) – (2.70) у рівняння (2.66):

$$P_r = \frac{M_b \pi D}{L_b \sqrt{\pi^2 D^2 + T^2}} \left( \cos \beta_b + \frac{\mu_r \left[ R_r - (l_b - L_b (1 - \cos \beta_{bp})) + H_b \sin \beta_{bp} \right]}{R_r} \right). \quad (2.71)$$

На основі рівнянь (2.65), (2.71) будовано графіки залежності сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів від кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів (рис. 2.36) та від висоти  $L_b$  сектора під ножі подрібнювачі (рис. 2.37).

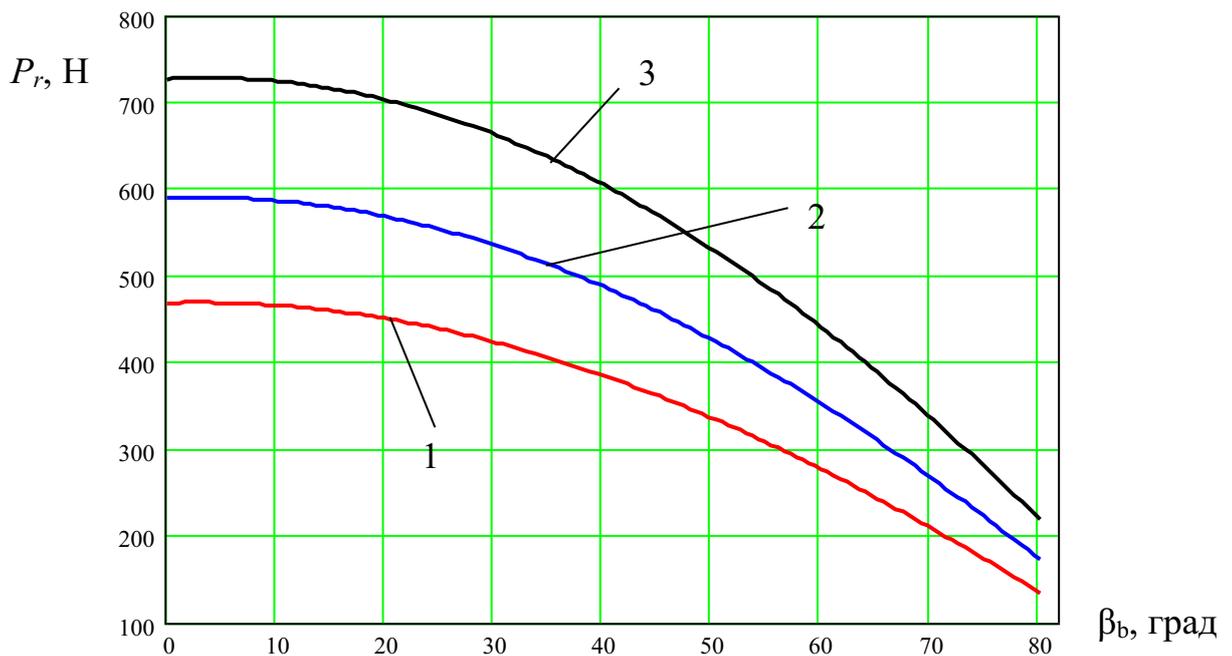


Рис. 2.36. Графіки залежності сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів від кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів,  $L_b = 10$  мм:

1)  $H_b = 1,8$  мм; 2)  $H_b = 2,0$  мм; 3)  $H_b = 2,2$  мм

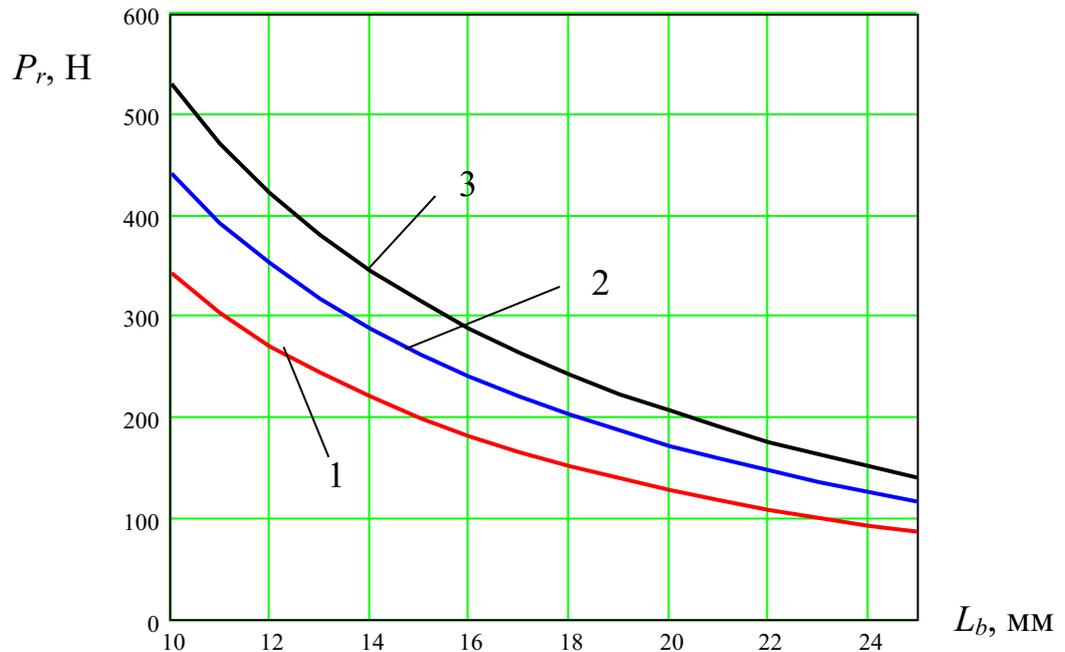


Рис. 2.37. Графіки залежності сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів від висоти  $L_b$  сектора під ножі подрібнювачі,  $\beta_b=60$  град,  $H_b=2,0$  мм: 1)  $\theta_s=20$  град; 2)  $\theta_s=25$  град; 3)  $\theta_s=30$  град

Із аналізу графіків рис. 2.36, рис. 2.37 встановлено, що збільшення кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів, висоти  $L_b$  сектора під ножі-подрібнювачі призводить до зменшення сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів, при цьому збільшення товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі-подрібнювачі та кута сектора під ножі-подрібнювачі призводить до збільшення вказаної сили.

## 2.4. Висновки

1. Розроблено технологічний процес виготовлення ножів-подрібнювачів на навитих щільним пакетом на ребро спіралях шнеків з виконанням наступних базових операцій: калібрування навитої щільним пакетом на ребро спіралі шнека на певний крок; проточування зовнішньої крайки спіралі шнека; заточування зовнішньої крайки спіралі шнека; розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека на певну глибину з відповідним кроком з метою отримання заготовок під ножі-подрібнювачі; загинання ножів-подрібнювачів на спіралі шнека на певний кут; гартування ножів-подрібнювачів та зовнішньої частини

витків шнека струмами високої частоти з метою підвищення твердості та міцності ріжучих частин шнека (виконується для шнеків виготовлених із вуглецевих та легованих сталей із вмістом вуглецю від 0,35%); калібрування спіралі шнека з виготовленими ножами-подрібнювачами на встановлений крок.

2. Розроблено схеми проточування та заточування зовнішньої крайки спіралі шнека, розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека для отримання заготовок під ножі-подрібнювачі, їх загинання, а також калібрування спіралі шнека з виготовленими ножами-подрібнювачами на потрібний крок.

3. Встановлено конструктивно-технологічні параметри операцій проточування та заточування зовнішньої крайки спіралі шнека, а також конструктивно-технологічні параметри операцій виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралі шнека.

4. Виведено залежності миттєвої площі, складових сили зрізування стружки в процесі загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента різцем з круглими ріжучими пластинами від конструктивних параметрів інструмента, ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента, відхилень від ідеальної гвинтової поверхні та зовнішнього радіуса витків. Встановлено взаємозв'язок між кутом загострення крайки гвинтового елемента із конструктивними та технологічними параметрами процесу загострення різцем із круглими ріжучими пластинами.

5. Побудовано графіки залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента, радіуса ріжучої пластини різця та відстані між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця. 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. 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 1,2 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 40 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.

6. Встановлюємо взаємозв'язок ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента із геометричними відхиленням крайки гвинтового елемента, що піддається загострюванню. Побудовано графіки залежності площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається від відхилення зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  та гвинтової поверхні  $\Delta T$ . На основі графіків встановлено, що при збільшенні відхилення гвинтової поверхні  $\Delta T$  в сторону зменшення кроку витків та зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  у сторону зменшення радіуса витка, площа частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається зменшується. При збільшенні відхилення гвинтової поверхні  $\Delta T$  в сторону збільшення кроку витків та зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  у сторону збільшення радіуса витка, площа частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається збільшується. При цьому приріст площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається для відхилення  $\Delta R$  у сторону збільшення радіуса витка у 1,55 менший, ніж для відхилення  $\Delta T$  в сторону збільшення кроку витків. Наприклад, при відхиленні  $\Delta R = 0,2$  мм площа частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається, а отже і сила різання, може зменшуватись в 1,24 рази або збільшуватись в 1,2 рази, при відхиленні  $\Delta T = 0,2$  мм дана площа може зменшуватись в 1,27 рази або збільшуватись в 1,22 рази. Виведено

параметричне рівняння зовнішньої крайки гвинтового елемента із відхиленнями зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  та гвинтової поверхні  $\Delta T$ .

7. Розроблено динамічну модель заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента різцем із круглими ріжучими пластинами. На основі рівняння Лагранжа другого роду виведено систему диференціальних рівнянь, що дозволяють прогнозувати коливання елементів динамічної моделі. Розв'язок системи диференціальних рівнянь з нульовими початковими умовами проведено чисельним методом Рунге-Кутта із застосуванням прикладної програми. Числові дані складових системи диференціальних рівнянь визначено методами комп'ютерного моделювання та на основі експериментальних даних. Результати представлено у вигляді графіків. Встановлено, що в момент врізання ріжучої пластини різця у гвинтовий елемент відбувається стрибкоподібне зростання величини деформації гвинтового елемента до 0,055 мм, ріжучої пластини різця – до 0,034 мм, оправки – до 0,002 мм, подальша деформація вказаних елементів залежить від зміни сили різання, а отже і від похибок виготовлення та базування заготовки гвинтового елемента. Найбільша швидкість деформації елементів приведеної системи виникає також в момент врізання різця і для гвинтового елемента становить 1,6 мм/с. Найбільше динамічне навантаження на різець досягає величини 2000 Н. Виведена система диференціальних рівнянь із застосуванням чисельного методу розв'язку дозволяє прогнозувати взаємозв'язок параметрів точності, та режимів різання з динамічними параметрами токарного оброблення зовнішньої крайки гвинтового елемента.

8. Проведено дослідження конструктивних та силових параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі. Встановлено взаємозв'язок кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів із перекриттям  $l_b$  при налагодженні верстата зовнішнього радіуса  $R_r$  ролика відносно зовнішнього діаметра  $D$  гвинтового елемента. Встановлено, що для більших значень величин кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів та висоти  $L_b$  сектора під ножі подрібнювачі потрібно попередньо налагоджувати більшу величину перекриття  $l_b$  зовнішнього радіуса  $R_r$  ролика відносно зовнішнього діаметра  $D$ . При малих

значеннях величини  $l_b$  існує обмеження щодо формування кута  $\beta_b$ , яке знаходиться в межах від 0 до точки, що відповідає мінімальному теоретичному куту  $\beta_{b\min}$  гнуття ножів-подрібнювачів. Зокрема, для  $L_b = 10$  мм  $\beta_{b\min} = 20,41$  град, для  $L_b = 15$  мм  $\beta_{b\min} = 13,69$  град, для  $L_b = 20$  мм  $\beta_{b\min} = 10,29$  град.

9. Виведено рівняння для визначення мінімального технологічного кута  $\beta_{b\min T}$  гнуття ножів-подрібнювачів, що залежить від мінімальної величини перекриття  $l_{b\min}$  зовнішнього радіуса  $R_r$  ролика відносно зовнішнього діаметра  $D$ , яку можна забезпечити на верстаті, що знаходиться в межах від 0,5 мм до 1 мм. Для більших значень висоти  $L_b$  сектора під ножі подрібнювачі та менших значень товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі подрібнювачі можна одержати менші значення мінімальних технологічних кутів  $\beta_{b\min T}$  гнуття ножів-подрібнювачів, що знаходяться в межах від 35 град до 41 град. Виведено рівняння для знаходження сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів залежно від конструктивних та технологічних параметрів процесу. Встановлено, що збільшення кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів, висоти  $L_b$  сектора під ножі-подрібнювачі призводить до зменшення сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів, при цьому збільшення товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі-подрібнювачі та кута сектора під ножі-подрібнювачі призводить до збільшення вказаної сили.

## РОЗДІЛ 3

# ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

### 3.1. Програма експериментальних досліджень

Для досягнення мети та виконання завдань кваліфікаційної роботи, встановлення адекватності одержаних теоретичних взаємозв'язків конструктивних та силових параметрів процесів формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі, практичної реалізації розробленого технологічного процесу та перевірки працездатності спроектованого оснащення та інструментів проведено експериментальні дослідження операцій виготовлення гвинтових елементів.

При дослідженні та практичній реалізації операцій технологічного процесу виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки вносились зміни у конструкції оснащення, інструментів та у параметри режимів різання та формоутворення. Визначались граничні межі для вхідних незалежних параметрів для проведення експериментів.

Програма експериментальних досліджень охоплювала такі етапи:

- розроблення та практична реалізація технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на навитих щільним пакетом на ребро спіралях шнеків з виконанням наступних базових операцій: калібрування навитої щільним пакетом на ребро спіралі шнека з певним кроком на спеціальну оправку; проточування зовнішньої крайки спіралі шнека; заточування зовнішньої крайки спіралі шнека спеціальним різцем; розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека на певну глибину з відповідним кроком дисковою фрезою з метою отримання заготовок під ножі-подрібнювачі; загинання ножів-подрібнювачів на спіралі шнека на певний кут спеціальним роликом;
- розроблення та виготовлення для виконання перерахованих операцій

спеціального технологічного оснащення та інструментів, зокрема спеціальної оправки для базування та закріплення заготовки гвинтового елемента, різця для заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента, ролика для загинання ножів-подрібнювачів на спіралі гвинтового елемента, вибір устаткування для вимірювання силових параметрів процесів;

- проведення експериментальних досліджень з метою встановлення взаємозв'язку конструктивних та силових параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі, зокрема впливу кута  $\beta$  гнуття ножів-подрібнювачів, кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі; товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі подрібнювачі на силу  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів;

- проведення експериментальних досліджень з метою встановлення взаємозв'язку конструктивних і технологічних параметрів із силовими параметрами процесу загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента, зокрема впливу ширини  $H$  зрізаної частини витка гвинтового елемента, радіуса  $R_1$  ріжучої пластини різця; співвідношення  $k_t=R_1/L_2$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця на тангенціальну та осьову складові сили різання;

- проведення статистичного оброблення даних результатів експериментальних досліджень гнуття ножів-подрібнювачів та загострення крайки гвинтового елемента, виведення рівнянь регресії у кодovаних та натуральних величинах залежності конструктивних і технологічних параметрів із силовими параметрами процесів, перевірка їх адекватності за допомогою прикладного програмного забезпечення.

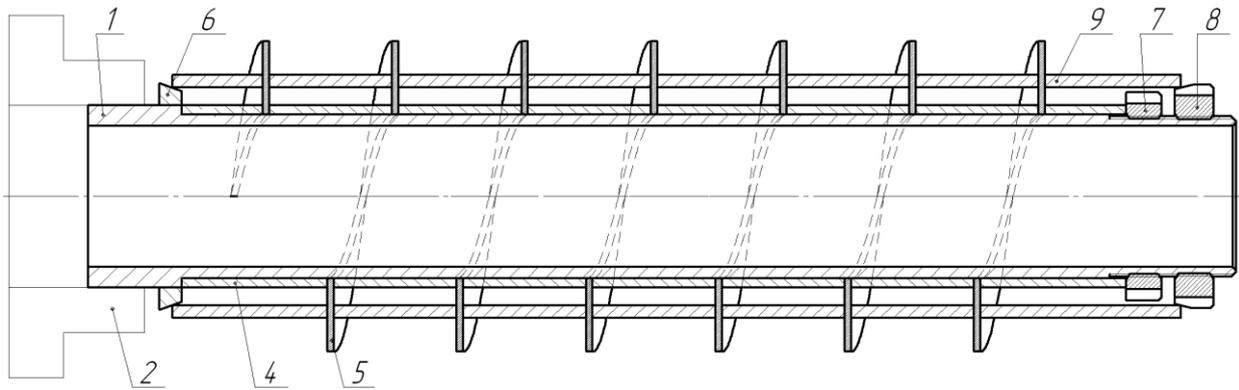
Експериментальні та виробничі дослідження проведено в 2021 – 2025 роках у лабораторіях ТНТУ, на підприємстві ТОВ «УНІВЕРСТ ЛТД» та частково на ПП «Хлопівецьке», ФГ «КРОК ВПЕРЕД 2019», ФГ «ДАРИ ДОЛИНИ».

### **3.2. Дослідження операцій технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях гвинтових елементів**

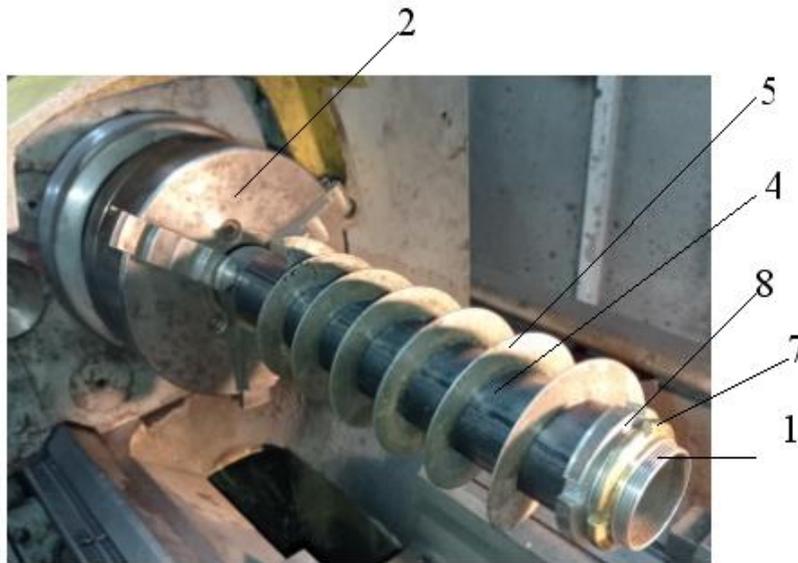
Детально технологічний процес виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків представлено у підрозділі 2.1. та у роботах [14], [53]. Серед основних операцій вказаного технологічного процесу, що досліджено експериментальним методом, є проточування та заточування зовнішньої крайки спіралі шнека, розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека для отримання заготовок під ножі-подрібнювачі, їх загинання. Для виконання перерахованих операцій проведено проектування та виготовлення спеціального технологічного оснащення та інструментів. Для затиску та базування спіралі шнека розроблено та виготовлено спеціальну оправку, що представлена на рис. 3.1.

Оправка (рис. 3.1) складається із труби 1, яку закріплюють в патроні 2 токарного верстата та базують в центрі 3 задньої бабки токарного верстата. На трубі 1 встановлено внутрішню гвинтову трубу 4, із гвинтовою канавкою, що за напрямком і кроком відповідає спіралі шнека 5. Також на трубі 1 встановлено конус 6 та загвинчено дві гайки 7 та 8 із різними зовнішніми діаметрами. На конусі 6 та на конусній поверхні гайки 8 встановлено зовнішню гвинтову трубу 9, із гвинтовою канавкою, що за напрямком і кроком відповідає спіралі шнека 5. Встановлення спіралі шнека на оправку виконується шляхом її загвинчування у гвинтову канавку труби 4 та затиску за допомогою гайки 7. Для підвищення жорсткості витків спіралі шнека 5 та виконання операції загинання заготовок під ножі-подрібнювачі на шнек 5 загвинчують зовнішню гвинтову трубу 9 по гвинтовій канавці, яку закріплюють за допомогою гайки 8 з упором у конус 6.

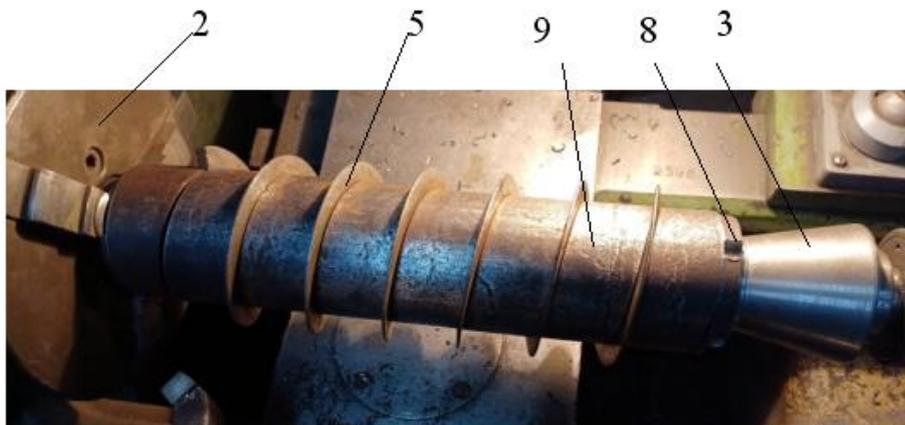
Для виготовлення внутрішньої та зовнішньої гвинтових труб оправки рис. 3.1 використано процес вирізання гвинтової канавки лазером на верстаті з ЧПК. Процес вирізання гвинтової канавки лазером показано на рис. 3.2.



а)



б)



в)

Рис. 3.1. Оправка для затиску та базування спіралі шнека а) креслення перерізу оправки; б) оправка без зовнішньої гвинтової труби; в) оправка із зовнішньою гвинтовою трубою

Проточування та заточування зовнішньої крайки спіралі шнека виконували на токарно-гвинторізному верстаті. Процес проточування

зовнішньої крайки спіралі шнека 1, що закріплений на оправці 2 та у патроні 3 токарного верстата прохідним різцем 4 показано на рис. 3.3.

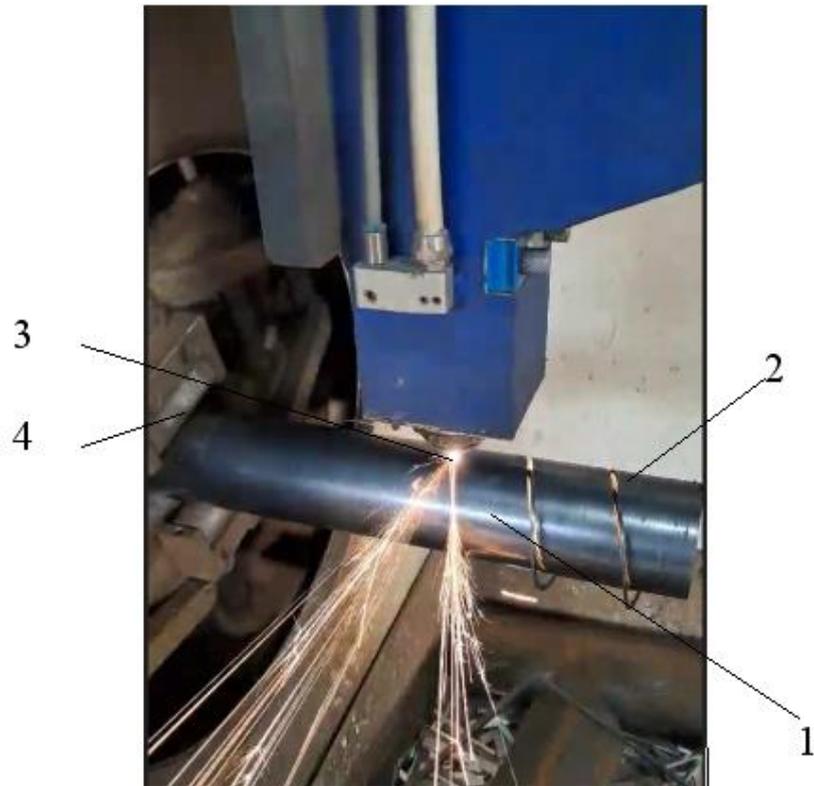
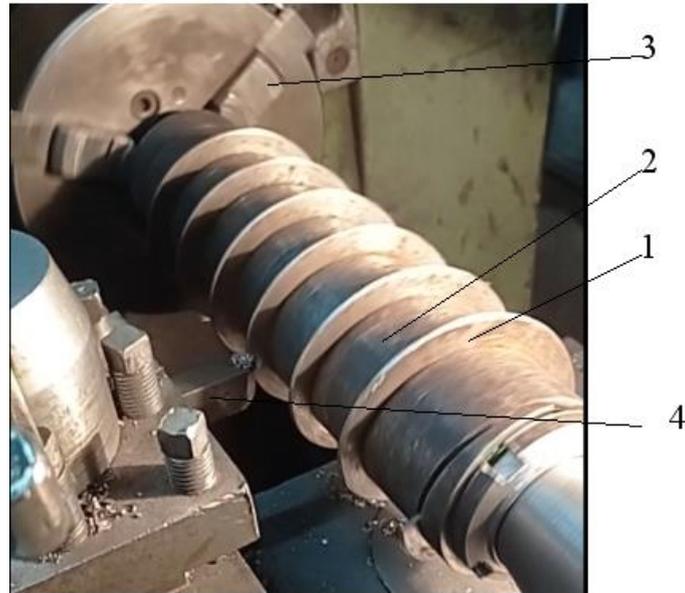


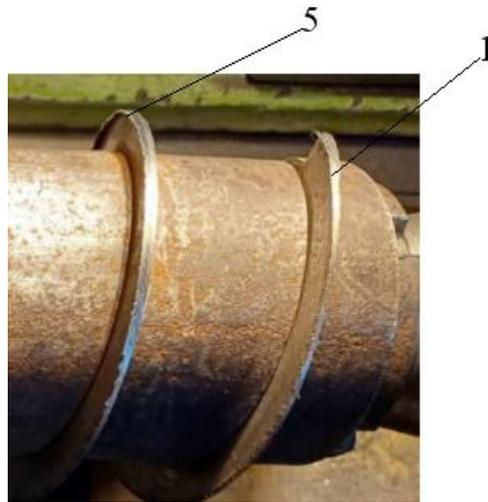
Рис. 3.2. Процес нарізання гвинтової канавки при виготовленні гвинтових труб для оправки: 1 – труба; 2 – гвинтова канавка; 3 – лазер; 4 – патрон верстата

Проточування виконувалось для усунення радіального биття та відхилення від концентричності зовнішньої крайки шнека відносно внутрішньої крайки. В процесі експериментальних досліджень проточування виконувалось двох видів: 1) із подачею від 0,1 до 0,2 мм/об та виникненням ударних навантажень на різець та 2) із подачею, що дорівнювала кроку витків шнека - 40 мм/об із перекриттям ріжучою кромкою різця усієї товщини витка шнека. В обох випадках спостерігалось утворення заусенців довжиною до 2 мм та товщиною до 0,5 мм на зовнішній крайці шнека.

Процес заточування зовнішньої крайки спіралі шнека (рис. 3.4) виконували з метою зняття заусенців а також для формування загостреної клиноподібної частини ножів-подрібнювачів. Для виконання цього процесу розроблено спеціальний інструмент, що зображений на рис. 3.5.



а)

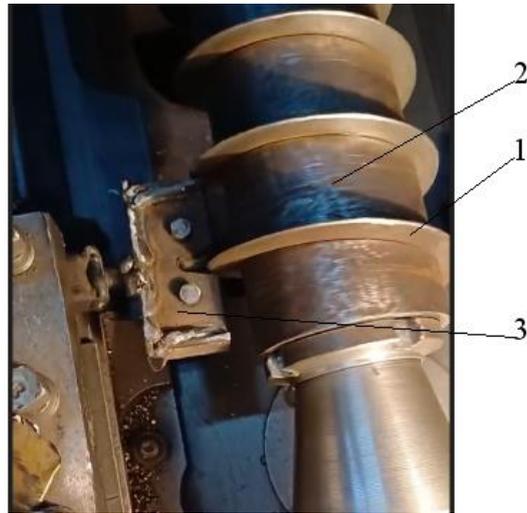


б)

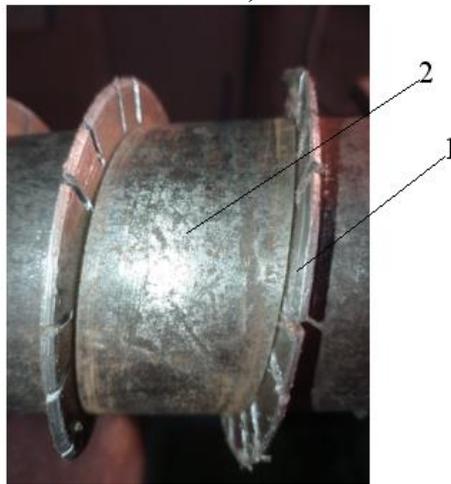
Рис. 3.3. Процес проточування зовнішньої крайки спіралі шнека а) із сформованим заусенцем на крайці б): 1 – спіраль шнека; 2 – оправка; 3 – патрон верстата; 4 – прохідний різець; 5 – заусенець на зовнішній крайці шнека

Інструмент для заточування крайки шнека (рис. 3.5) виконаний у вигляді корпусу 1, двох точильних елементів у вигляді дисків 2, що виготовленні із швидкоріжучої сталі Р6М5, ручки 3, направляючої державки 4 та пружини 5.

Диски 2 розміщені в паралельних площинах з перекриттям один до одного і також можуть виготовлятися із твердих сплавів. Корпус 1 закріплено до ручки 3. Середня частина ручки 3 виконана квадратною, а права та ліва бокові частина ручки 3 - круглими.



а)



б)

Рис. 3.4. Процес заточування зовнішньої крайки спіралі шнека а) із сформованим клином на крайці б): 1 – спіраль шнека; 2 – оправка; 3 – інструмент для заточування

Ручка 3 з можливістю осьового зміщення встановлена в направляючій державці 4. Перевагою такого інструменту є можливість адаптації при значних відхиленнях кромки шнека за кроком та діаметром за рахунок радіального зміщення ріжучих кромek дисків 2 інструмента при виникненні значних сил різання.

В процесі заточування зовнішньої крайки спіралі шнека досліджували вплив параметрів процесу різання на тангенціальну та осьову складові сили різання.

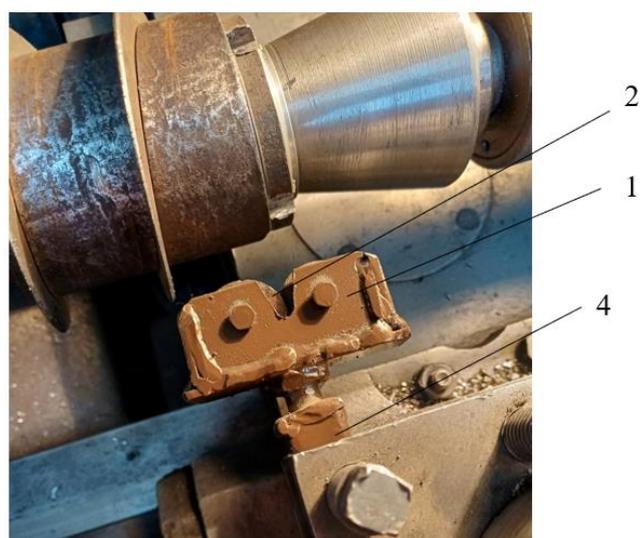
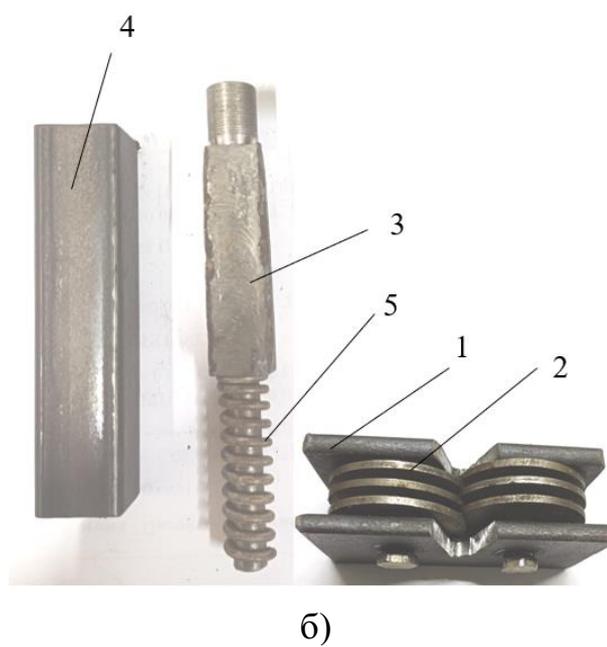
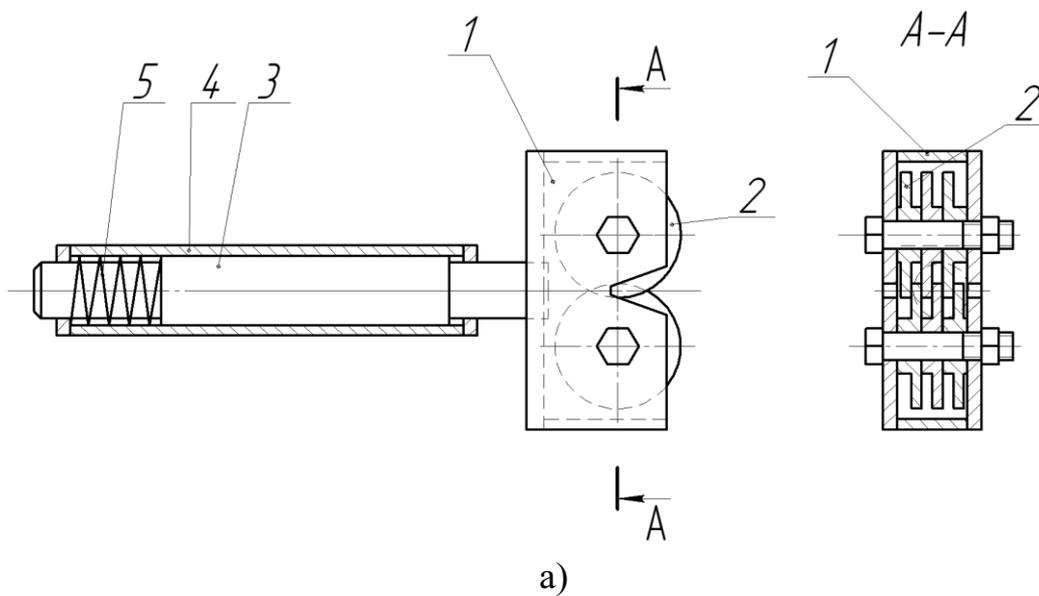


Рис. 3.5. Інструмент для заточування крайки шнека: а) креслення інструмента;  
 б) деталі інструмента; в) інструмент встановлений на токарному верстаті

Вимірювання тангенціальної та осьових складових сили різання виконувалось, застосовуючи методику представлену у роботах [81], [84], що ґрунтується на вимірюванні зміни опору двох тензорезисторів, закріплених на рівноопірній гнучкій дугоподібній балці з двох боків. На основі цього принципу розроблено спеціальний тензодатчик, зображений на рис. 3.6.

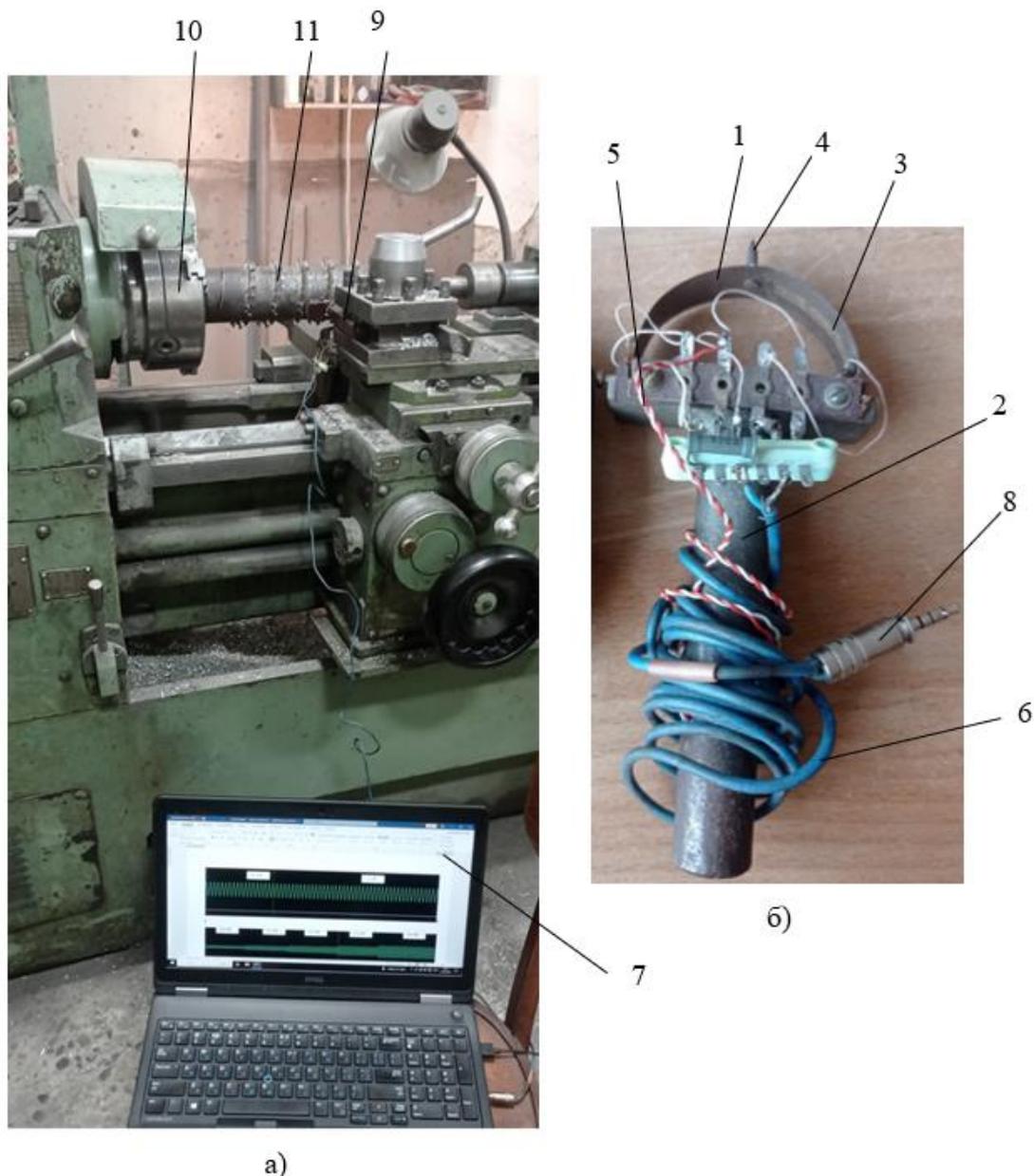


Рис. 3.6. Установка для дослідження тангенціальної та осьової складові сили різання при заточуванні крайки гвинтового елемента: а) загальний вигляд установки; б) тензодатчик

Основними елементами тензодатчика є гнучка дугоподібній балка 1, закріплена на корпусі 2. На балці 1 з двох сторін наклеєно два тензорезистори 3, а також прикріплено голку 4. Вхідний сигнал у вигляді постійної напруги на тензорезистори 3 подається червоним проводом 5 від блоку живлення, а вихідний сигнал у мілівольтах передається синім проводом 6 до звукової плати ПК 7 через насадку 8. Тензодатчик встановлювали під різцем 9 для заточування крайки гвинтового елемента 11 на токарному верстаті 10, при цьому голка 4 перебувала у контакті з нижньою площиною різця 9 при вимірюванні тангенціальної складової сили різання, або із боковою площиною різця 9 при вимірюванні осьової складової сили різання.

При виконанні процесу заточування крайки гвинтового елемента і зміні складових сили різання відбувалась деформація різця 9, балки 1 і тензорезисторів 3, внаслідок чого відбувалась зміна вхідної постійної напруги на вихідну змінну напругу, що подавалась на звукову плату ПК 7, яку зчитували та записували як звуковий сигнал за допомогою програми запису звукових сигналів. Цифрові дані про одержані сигнали передавались у програму MATLAB, за допомогою якої будувались графіки зміни в часі амплітуди коливань різця як вихідний сигнал тензодатчика в мілівольтах (рис. 3.7).

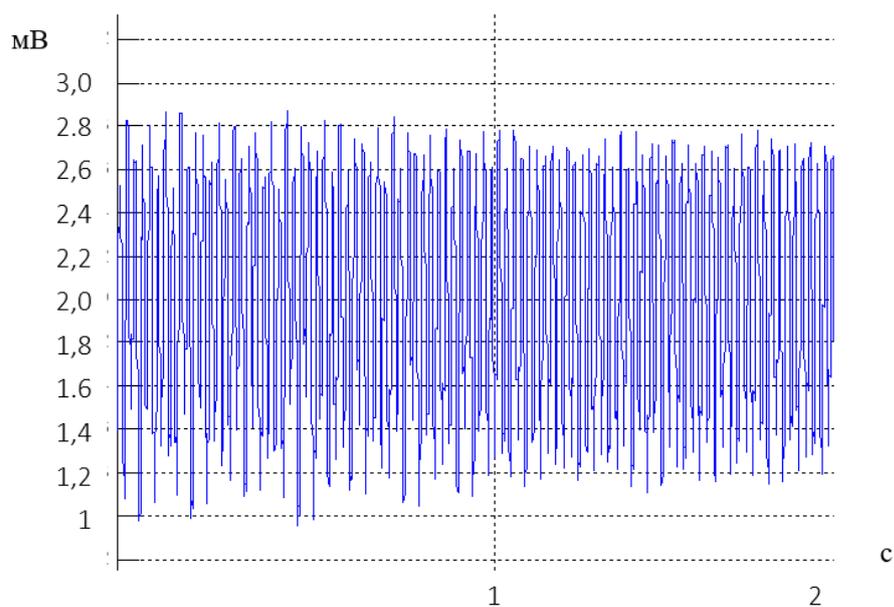


Рис. 3.7. Графік зміни в часі амплітуди коливань різця як вихідний сигнал тензодатчика в мілівольтах

Взаємозв'язок кількісних показників складових сили різання із вихідними даними тензодатчика у мілівольтах визначали за допомогою тарування, при якому навантаження на різець із розміщеним під ним тензодатчиком виконували мірними вантажами та одержували відповідні значення вихідної напруги в мілівольтах.

Наступною розглянуто операцію розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека для отримання заготовок під ножі-подрібнювачі, що зображено на рис. 3.8. Операцію із її дослідженням виконували на фрезерному верстаті з ЧПК. Розрізання виконували дисковою фрезою 5. Оправку із спіраллю шнека 1 закріплювали у патроні 2 ділильної головки 3 та у центрі 4.

Дослідження операції загинання заготовок під ножі-подрібнювачі виконувалось на токарно-гвинторізному верстаті із використанням додаткового устаткування, що зображено на рис. 3.9, 3.10, 3.11.

У патроні 1 та у центрі 2 токарно-гвинторізного верстата 11 встановлювали оправку 3 із спіраллю шнека 4, на якому попередньо прорізані пази з формуванням сегментів 5 висотою 10 мм та шириною із трьох кутових значень  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ . Всього на одному витку сформовано дев'ять сегментів – по три сегменти на кожне кутове значення. Загинання сегментів на три різні кути виконувалось роликом 6, що на підшипнику кочення закріплено на державці 7 у різцетримачі 8 верстата.

До електродвигуна приводу подач верстата під'єднано перетворювач (Altivar 71) 9 частоти струму, що подається із мережі до електродвигуна. Керування та програмування роботи перетворювача частоти струму, а відповідно і електродвигуном приводу подач верстата виконується за допомогою ПК 10 з програмним забезпеченням PowerSuite. Застосування частотного перетворювача 9 дозволяє змінювати частоту обертання вала електродвигуна приводу подач верстата у широкому діапазоні, а відповідно і швидкість загинання сегментів під ножі-подрібнювачі, що забезпечує виконання досліджень відповідно до розробленої методики проведення експериментів.



а)

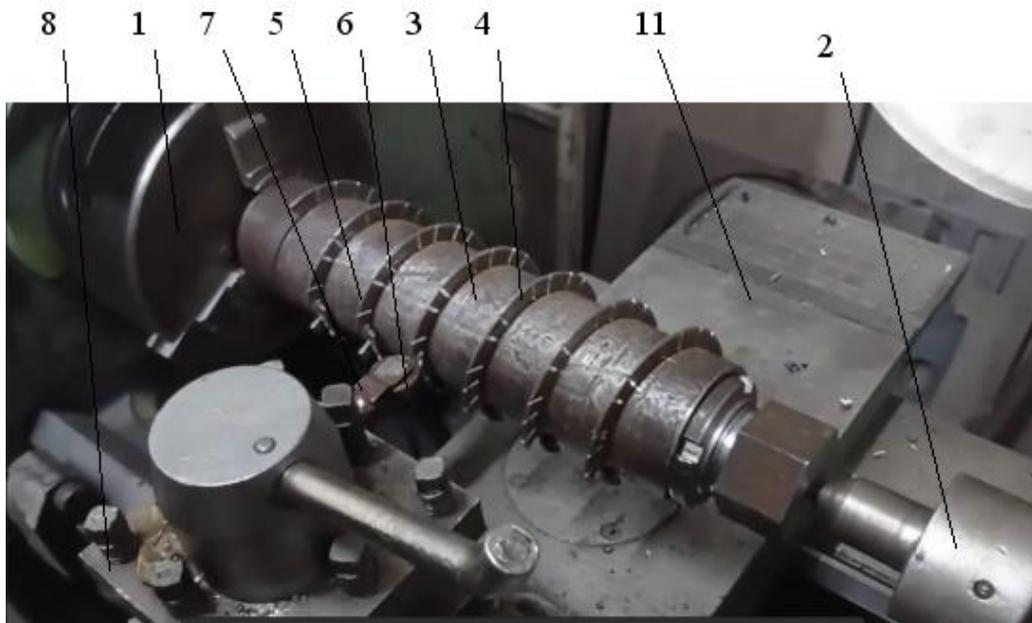


б)

Рис. 3.8. Процес розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека: а) загальний вигляд на верстаті; б) вигляд в зоні різання 1 – оправка із спіраллю шнека; 2 – патрон; 3 – ділильна головка; 4 – центр; 5 – дискова фреза



Рис. 3.9. Устаткування для дослідження операції загинання сегментів шнека під ножі-подрібнювачі



а)



б)

Рис. 3.10. Процес загинання сегментів шнека під ножі-подрібнювачі: а) початковий етап; б) сформовані ножі-подрібнювачі різних розмірів

В результаті одержували інформацію у вигляді чисельних даних, представлених графіками, зміни потужності, що витрачається для загинання сегментів шнека, та крутних моментів на валі електродвигуна. На основі кінематичної схеми механізму подач верстата, попереднього дослідження за допомогою динамометра та даних про крутний момент на валі електродвигуна визначали силу подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів.

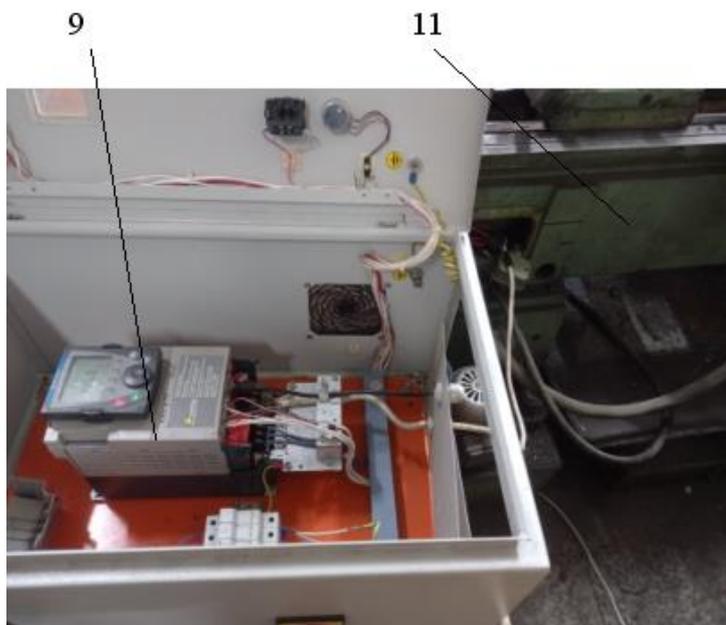


Рис. 3.11. Під'єднання перетворювач (Altivar 71) частоти струму до електродвигуна приводу подач верстата

Фрагмент результатів збору та оброблення даних з частотного перетворювача Altivar 71 програмним забезпеченням PowerSuite із побудовою графіків зміни у часі потужності та крутного моменту приводу на роторі двигуна представлено на рисунку 3.12.

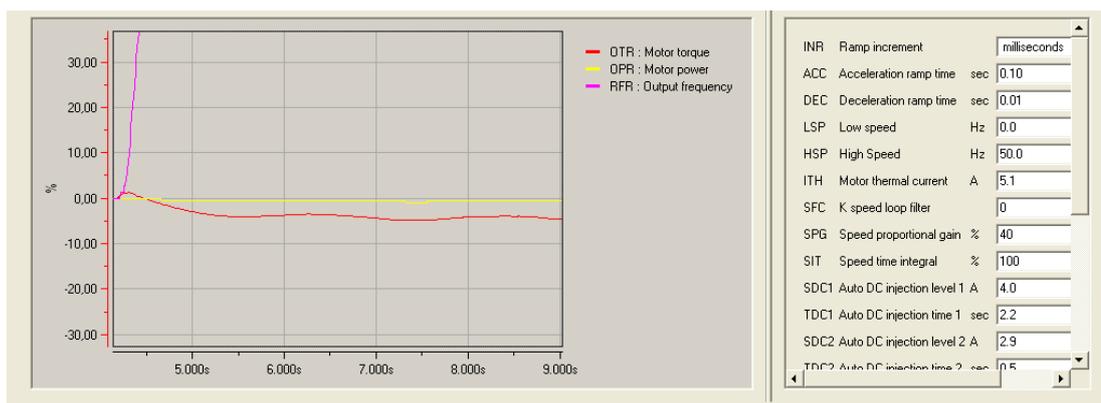


Рис. 3.12. Фрагмент результатів збору та оброблення даних за частотного перетворювача Altivar 71 програмним забезпеченням PowerSuite

### **3.3. Методика проведення експериментальних досліджень для визначення сили подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів та тангенціальної і осьової складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів**

З метою здійснення програми експериментальних досліджень, досягнення завдань кваліфікаційної роботи, встановлення адекватності одержаних теоретичних взаємозв'язків конструктивних, технологічних та силових параметрів процесів формування ножів-подрібнювачів та загострення зовнішньої крайки на гвинтовому елементі розроблено та виготовлено нові конструкції оправки для базування та закріплення заготовки, а також формувальні інструменти (підрозділ 3.2) на основі аналізу відомих конструкцій та синтезу нових. В результаті аналізу теоретичних досліджень та попередніх експериментальних випробувань вибрано вимірювальне обладнання та технологічне устаткування, визначено основні конструктивні незалежні вихідні змінні параметри ножів-подрібнювачів на гвинтових елементах, що впливають на силу подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів та на тангенціальну і осьову складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів.

З метою мінімізації обсягу експериментальних випробувань при одночасному зниженні витрат часу та матеріально-енергетичних ресурсів у процесі формування ножів-подрібнювачів застосовано методологію математичного планування експерименту. У дослідженнях було реалізовано варіант із паралельною варіацією трьох незалежних конструктивних чинників на трьох рівнях (нижньому, верхньому та нульовому), що супроводжувалося попередньо визначеною послідовністю проведення випробувань. Для оброблення експериментальних даних використовувалися положення математичної статистики та спеціалізовані програмні комплекси, при цьому встановлювалася раціональна кількість дослідів, яка гарантувала необхідну точність і достовірність отриманих результатів.

До ключових стадій трьохфакторного експерименту віднесено: вибір та кодування незалежних змінних факторів на трьох рівнях; формування план-

матриці експерименту; визначення послідовності реалізації дослідів за допомогою генератора випадкових чисел для мінімізації похибок, спричинених неконтрольованими збурюючими впливами; статистичне опрацювання масиву отриманих даних із використанням методів математичної статистики; розрахунок коефіцієнтів квадратичних рівнянь регресії та перевірка їх статистичної значущості; декодування рівнянь регресії у фізично-натуральні параметри; оцінка адекватності математичних моделей та побудова візуалізаційних графічних залежностей.

З метою встановлення взаємозв'язку конструктивних (незалежних факторів  $x_i$ ) та силових параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі, зокрема впливу кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів, кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі; товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі подрібнювачі на силу  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів проведено повнофакторний експеримент, при якому визначено функціональну залежність  $P_r = f(\beta_b, \theta_s, H_b)$ .

Визначено граничні межі зміни основних конструктивних та технологічних незалежних вхідних факторів експерименту при визначенні сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів:

- кут гнуття ножів-подрібнювачів  $\beta_b = 40 - 80$  градусів;
- кут сектора під ножі-подрібнювачі  $\theta_s = 20 - 30$  градусів;
- товщина матеріалу сектора під ножі подрібнювачі  $H_b = 1,8 - 2,2$  мм.

Визначено граничні межі зміни основних конструктивних незалежних вхідних факторів експерименту при визначенні тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів:

- ширина зрізаної частини витка гвинтового елемента  $H = 0,4 - 1,0$  мм;
- радіус ріжучої пластини різця  $R_1 = 12 - 20$  мм;
- співвідношення  $k_t = R_1/L_2$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця  $k_t = 1,2 - 1,6$ .

Незалежні змінні фактори, що були обрані як вхідні параметри експерименту, піддавалися процедурі кодування з метою усунення впливу

різномірності їхніх розмірностей на коректність побудови регресійних моделей. На наступному етапі дослідження була сформована план-матриця у вигляді таблиці повного факторного експерименту (табл. А.1 у додатку).

Одержані результати замірів сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів, тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів занесено у таблиці план-матриць експериментів.

Отримані експериментальні дані, занесені у план-матриці, підлягали статистичному обробленню, застосовуючи методи кореляційного та регресійного аналізу згідно з відомими методиками [50], а також спеціалізоване прикладне програмне забезпечення. В результаті було отримано регресійні рівняння, що описують залежності сили подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів, тангенціальної та осьової складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів.

Незалежні фактори  $\beta_b$ ,  $\theta_s$ ,  $H_b$  мають різні розмірності та різний вплив на силу  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів, тому здійснено їх кодування до єдиної системи.

Взаємозв'язок між натуральними  $X_i$  величинами вхідних факторів експерименту та кодованими  $x_i$  виконано за формулою [50]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\Delta X_i}, \quad (3.1)$$

де  $X_{0i}$  - значення  $i$ -го вхідного фактора на нульовому рівні у натуральній величині;

$\Delta X_i$  - значення інтервалу варіювання  $i$ -го вхідного фактора.

Нульовий рівень  $i$ -го вхідного фактора у натуральних величинах визначався за формулою [50]:

$$X_{0i} = \frac{X_{i\max} + X_{i\min}}{2}, \quad (3.2)$$

де  $X_{i\max}$  - верхня межа варіювання фактора;

$X_{i\min}$  - нижня межа варіювання фактора.

Інтервал варіювання кожного вхідного фактора обчислювався за методикою [50]:

$$\Delta X_i = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{2}. \quad (3.3)$$

За формулою (3.2) нульовий рівень і-го вхідного фактора у натуральних величинах:

- для кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів:

$$X_{01} = \frac{40 + 80}{2} = 60 \text{ (град)}; \quad (3.4)$$

- для кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі:

$$X_{02} = \frac{20 + 30}{2} = 25 \text{ (град)}; \quad (3.5)$$

- для товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі-подрібнювачі:

$$X_{03} = \frac{1,8 + 2,2}{2} = 2 \text{ (мм)}. \quad (3.6)$$

Інтервал варіювання кожного вхідного фактора та їх кодування:

$$\Delta X_1 = \frac{80 - 40}{2} = 20 \text{ (град)}; \quad x_1 = \frac{\beta_b - 60}{20}; \quad (3.7)$$

$$\Delta X_2 = \frac{30 - 20}{2} = 5 \text{ (град)}; \quad x_2 = \frac{\theta_s - 25}{5}; \quad (3.8)$$

$$\Delta X_3 = \frac{2,2 - 1,8}{2} = 0,2 \text{ (мм)}; \quad x_3 = \frac{H_b - 2}{0,2}. \quad (3.9)$$

Аналогічні розрахунки проведено для вихідних параметрів при дослідженні тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів.

Аналіз отриманих експериментальних результатів та їх графічна інтерпретація показали, що залежність сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів, тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів від вхідних змінних параметрів не можуть бути адекватно описаними лінійними моделями, оскільки вони не забезпечують необхідної точності. Тому для опису використано рівняння регресії другого порядку, яке враховує як квадратичні складові, так і ефекти взаємодії незалежних факторів [50]:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1 \cdot x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (3.10)$$

де  $\hat{y}$  - досліджене значення силового параметру;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$  – коефіцієнти рівняння регресії;

$x_1, x_2, x_3$  – вхідні фактори у кодованих величинах.

В результаті аналізу змінних вхідних факторів, вибору рівнів їх варіювання, використовуючи дані розрахунків (3.1) – (3.9) одержано таблицю 3.1 для дослідження сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів та таблицю 3.2 для дослідження тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів

Таблиця 3.1

Результати аналізу змінних вхідних факторів, вибору рівнів їх варіювання для дослідження сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Кут гнуття ножів-подрібнювачів	$\beta_b$ , град	$x_1$	20	80 (+1)	60 (0)	40 (-1)
Кут сектора під ножі-подрібнювачі	$\theta_s$ , град	$x_2$	5	30 (+1)	25 (0)	20 (-1)
Товщина матеріалу сектора під ножі-подрібнювачі	$H_b$ , мм	$x_3$	0,2	2,2 (+1)	2,0 (0)	1,8 (-1)

Результати аналізу змінних вхідних факторів, вибору рівнів їх варіювання для дослідження тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Ширина зрізаної частини витка гвинтового елемента	$H$ , мм	$x_1$	0,3	1,0 (+1)	0,7 (0)	0,4 (-1)
Радіус ріжучої пластини різця	$R_1$ , мм	$x_2$	4	20 (+1)	16 (0)	12 (-1)
Співвідношення $R_1/L_2$ радіуса ріжучої пластини різця до відстані $L_2$ між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця	$k_t$	$x_3$	0,2	1,6 (+1)	1,4 (0)	1,2 (-1)

Таблицю, в якій відображено комбінації проведення експериментів подано у додатку А.

Коефіцієнти рівняння регресії (3.10) визначено за стандартними методиками [50]:

$$b_0 = a_1 \cdot \sum_{u=1}^N \bar{y}_u - a_2 \cdot \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \cdot \bar{y}_u ; \quad (3.11)$$

$$b_i = a_3 \cdot \sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot \bar{y}_u ; \quad i = 1, 2, 3; \quad (3.12)$$

$$b_{ij} = a_4 \cdot \sum_{u=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot \bar{y}_u ; \quad 1 \leq i < j \leq k; \quad (3.13)$$

$$b_{ii} = a_5 \cdot \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \cdot \bar{y}_u - a_6 \cdot \sum_{u=1}^N \sum_{i=1}^k x_{iu}^2 \cdot \bar{y}_u - a_7 \cdot \sum_{u=1}^N \bar{y}_u . \quad (3.14)$$

де  $x_{iu}$  - величина фактора у кодованій величині у стовпці плану експерименту;

$\bar{y}_u$  - середній результат досліджу;

$u$  - порядковий номер досліджу;

$i, j, k$  - номери факторів;

$N$  - загальна кількість дослідів.

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$  – константи [50].

Дисперсія похибки дослідів [50]:

$$S_u^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{uj} - \bar{y}_u)^2, \quad (3.15)$$

де  $n$  – кількість паралельних дослідів.

Дисперсія відтворення експерименту [50]:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2, \quad (3.16)$$

Дисперсія коефіцієнтів рівняння регресії [50]:

$$S_{b_0}^2 = a_8 \cdot S_y^2; \quad S_{b_i}^2 = a_9 \cdot S_y^2; \quad (3.17)$$

$$S_{b_{ij}}^2 = a_{10} \cdot S_y^2; \quad S_{b_{ii}}^2 = a_{11} \cdot S_y^2, \quad (3.18)$$

де  $a_8, a_9, a_{10}, a_{11}$  – константи [50].

Інтервали зміни коефіцієнтів рівняння регресії [50]:

$$\Delta b_0 = t_T \cdot S_{b_0}; \quad \Delta b_i = t_T \cdot S_{b_i}; \quad (3.19)$$

$$\Delta b_{ij} = t_T \cdot S_{b_{ij}}; \quad \Delta b_{ii} = t_T \cdot S_{b_{ii}}, \quad (3.20)$$

де  $t_T$  -  $t$ - критерій Стюдента.

Граничні відхилення коефіцієнтів регресії оцінювалися з використанням  $t$ -критерію Стюдента [50]. Коефіцієнти вважалися статистично значущими за умови виконання залежності  $|b_i| \geq \Delta b_i$ .

Адекватність отриманих регресійних моделей перевірялась за критерієм Фішера [50], що базувався на порівнянні експериментальних даних із теоретичними результатами, обчисленими за регресійним рівнянням:

$$F = \frac{S_H^2}{S_y^2}, \quad (3.21)$$

де  $S_H^2$  - різниця між експериментальними даними та теоретичними результатами, обчисленими за регресійним рівнянням.

Відхилення між експериментальними та розрахунковими даними визначалося згідно з формулою [50]:

$$S_H^2 = \frac{\sum_{u=1}^N n \cdot (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2}{N - k'}, \quad (3.22)$$

де  $k'$  - кількість коефіцієнтів рівняння регресії.

Для підтвердження адекватності моделі використано табличне значення критерію Фішера при рівні значущості 5 %.

#### **3.4. Результати експериментальних досліджень для визначення сили подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів**

На основі методики проведення експериментальних досліджень, представленої у підрозділі 3.3, використовуючи спеціальну оправку для базування та закріплення заготовки гвинтового елемента, ролик для загинання ножів-подрібнювачів на спіралі гвинтового елемента, токарно-гвинторізний верстат та частотний перетворювач для вимірювання силових параметрів процесу, що детально представлені у підрозділі 3.2, встановлено взаємозв'язок конструктивних та силових параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі, зокрема впливу кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів, кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі; товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі-подрібнювачі на силу  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів. Висота  $L_b$  сектора під ножі-подрібнювачі становила 10 мм, зовнішній діаметр гвинтового елемента - 97 мм, крок витків гвинтового елемента - 40 мм.

Результати проведених експериментів із визначенням сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів записано у план-матрицю повного трьохфакторного експерименту, проведено статистичне оброблення даних, виведено рівняння, яке сформовано на основі регресії другого порядку (3.10), при цьому враховано ефекти взаємодії змінних параметрів на трьох рівнях.

Для визначення коефіцієнтів рівняння регресії (3.10) використано рівняння (3.11) – (3.14) (табл. 3.3).

Рівняння регресії, що встановлює взаємозв'язок конструктивних та силових параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі, зокрема вплив кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів, кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі; товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі подрібнювачі на силу  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів, тобто  $P_r = f(\beta_b, \theta_s, H_b)$  має вигляд у кодованих величинах:

$$P_{r(x_1, x_2, x_3)} = 459,1 - 206,1x_1 + 88,5x_2 + 100,1x_3 - 41,125x_1x_2 - 44,125x_1x_3 + 19,625x_2x_3 - 29,081x_1^2 - 0,081x_2^2 + 7,919x_3^2. \quad (3.23)$$

де  $x_1$  - кодоване значення кута гнуття ножів-подрібнювачів;  $x_2$  - кодоване значення кута сектора під ножі-подрібнювачі;  $x_3$  - кодоване значення товщини матеріалу сектора під ножі подрібнювачі.

Таблиця 3.3

Коефіцієнти рівняння регресії при дослідженні сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів

Коефіц.	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
Сталь 08кп	459,1	-206,1	88,5	100,1	-41,125	-44,125	19,625	-29,081	-0,081	7,919

Коефіцієнт  $b_{22}$  рівняння регресії (3.23) є незначущим відповідно до рівнянь (3.19) та (3.20). Тому рівняння регресії (3.23) у кодованих величинах має вигляд:

$$P_{r(x_1, x_2, x_3)} = 459,1 - 206,1x_1 + 88,5x_2 + 100,1x_3 - 41,125x_1x_2 - 44,125x_1x_3 + 19,625x_2x_3 - 29,081x_1^2 + 7,919x_3^2. \quad (3.24)$$

Після перетворень рівняння регресії (3.24) записано у натуральних величинах:

$$P_r(\beta_b, \theta_s, H_b) = -795,3 + 30,763\beta_b + 3,125\theta_s - 120,15H_b - 0,411\beta_b\theta_s - 11,031\beta_b H_b + 19,625\theta_s H_b - 0,0727\beta_b^2 + 197,98H_b^2. \quad (3.25)$$

Використовуючи дані експериментальних досліджень, виведеного рівняння регресії (3.25), побудовано графіки, поверхні відгуку та їх двомірні перерізи залежності сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів від змінних вхідних факторів, що представлено на рис. 3.13 – рис. 3.18.

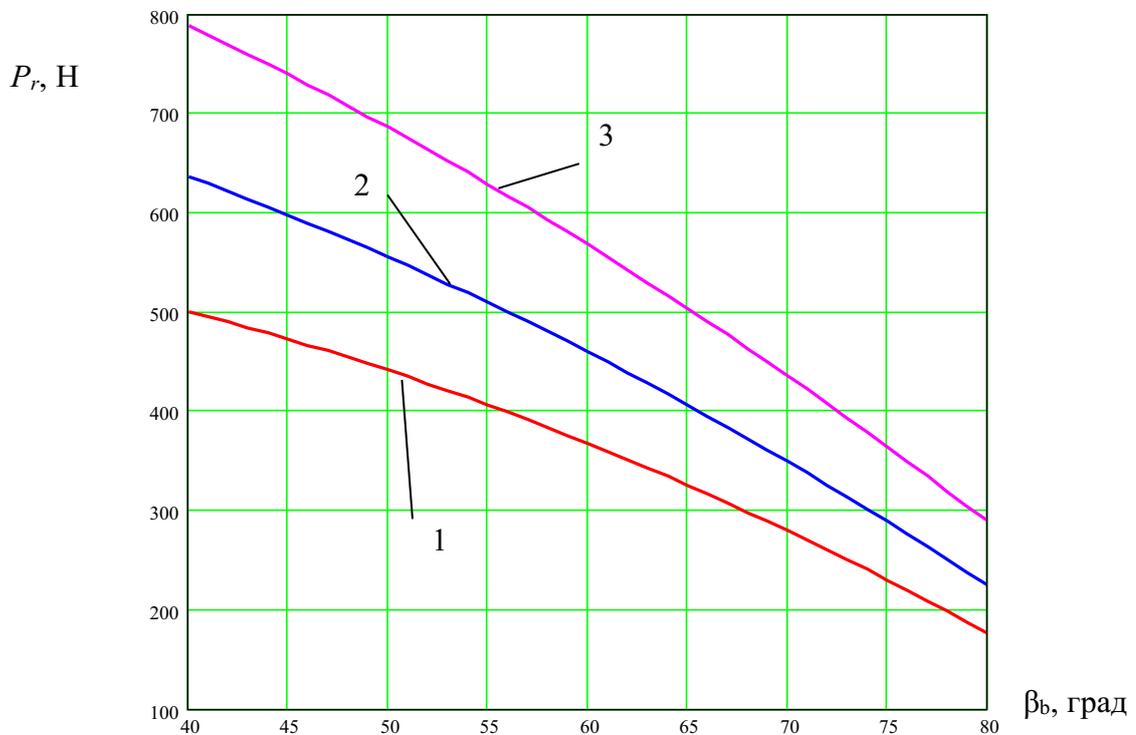


Рис. 3.13. Графіки залежності сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів від кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів,  $\theta_s = 25$  град:

1)  $H_b = 1,8$  мм; 2)  $H_b = 2,0$  мм; 3)  $H_b = 2,2$  мм

Аналізуючи рівняння регресії (3.24), встановлено, що основним фактором, який впливає на зміну сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів є фактор  $x_1(\beta_b)$ . Найменший вплив має фактор  $x_2(\theta_s)$ . Зростання першого фактора призводить до зменшення сили подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів, а зростання другого і третього факторів – до збільшення згаданої сили.

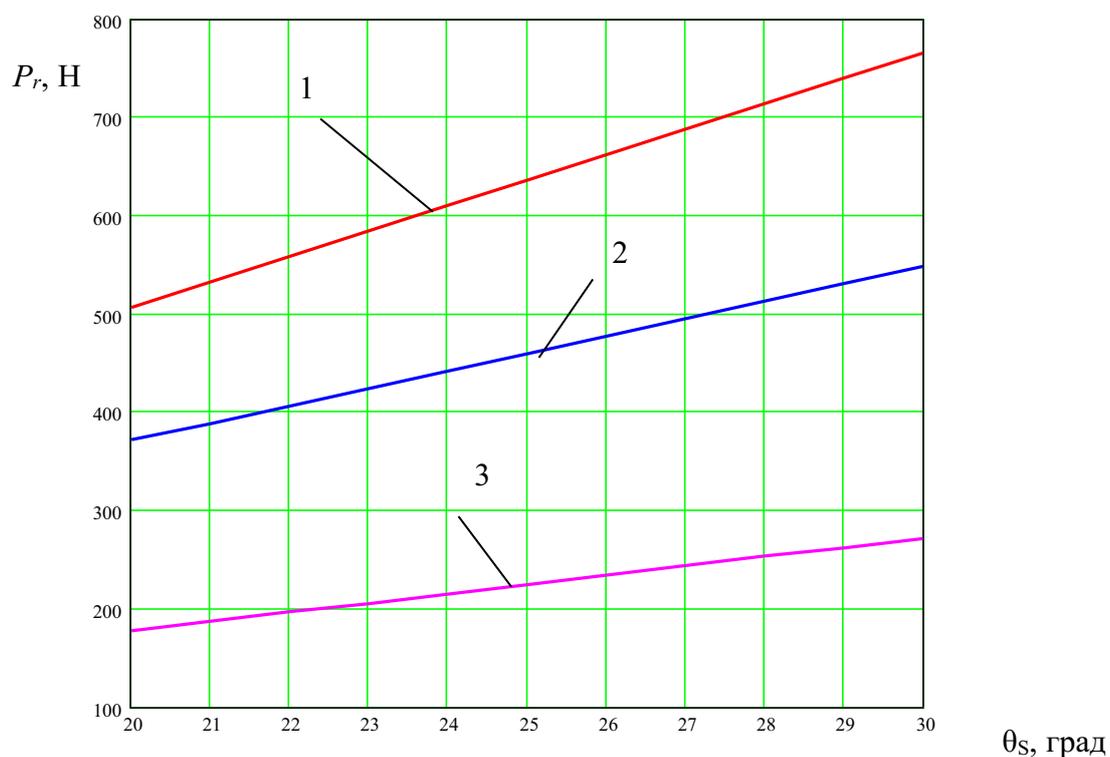


Рис. 3.14. Графіки залежності сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів від кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі,  $H_b = 2,0$  мм:

1)  $\beta_b = 40$  град; 2)  $\beta_b = 60$  град; 3)  $\beta_b = 80$  град

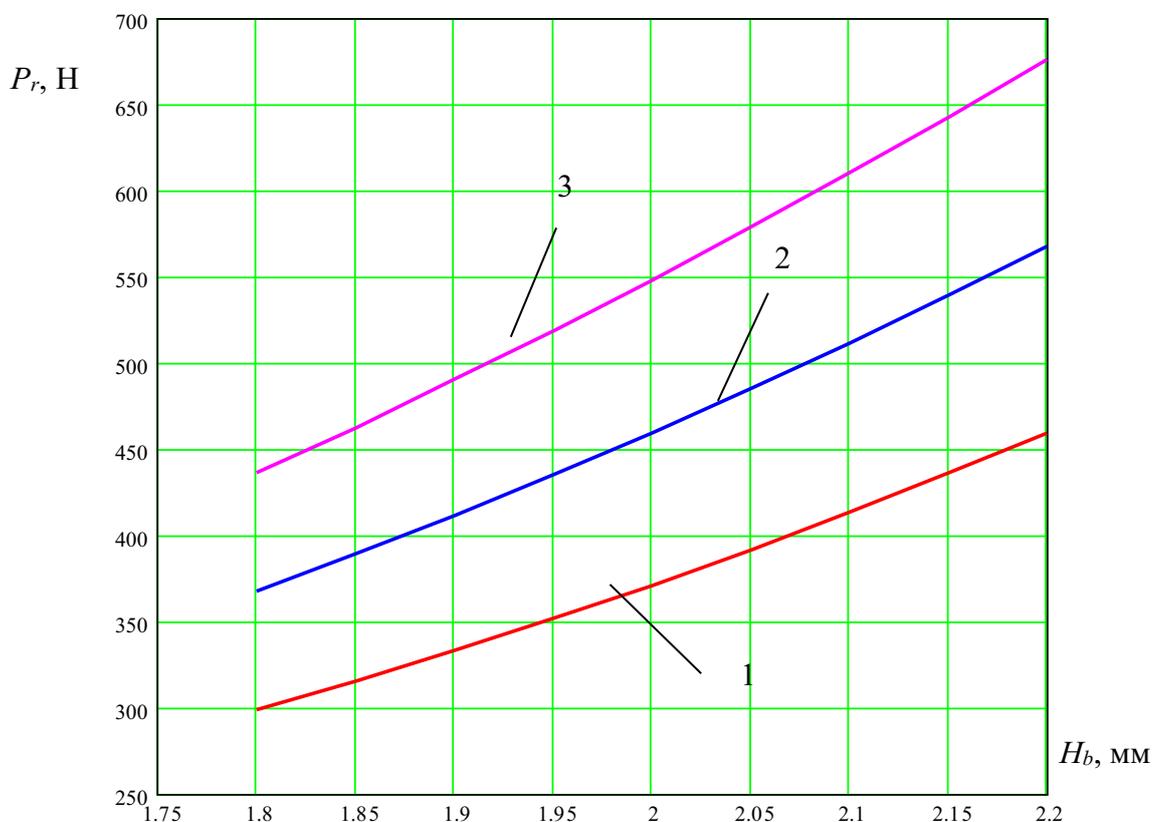
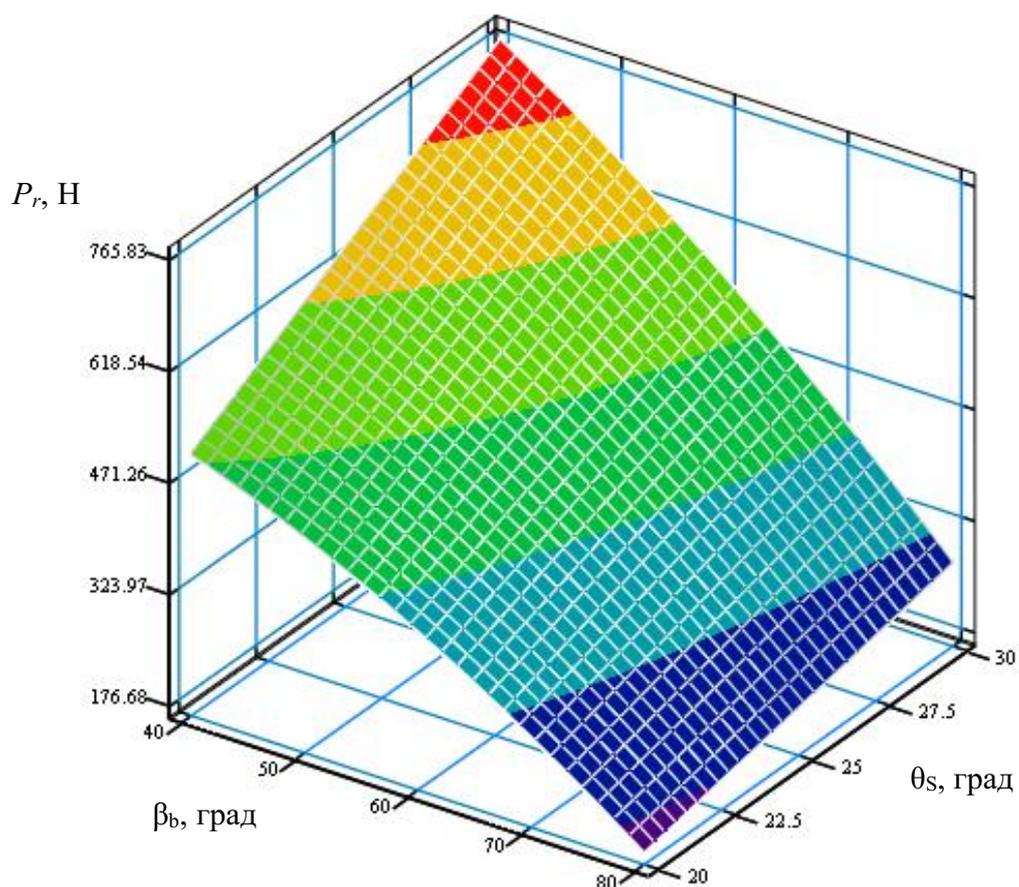
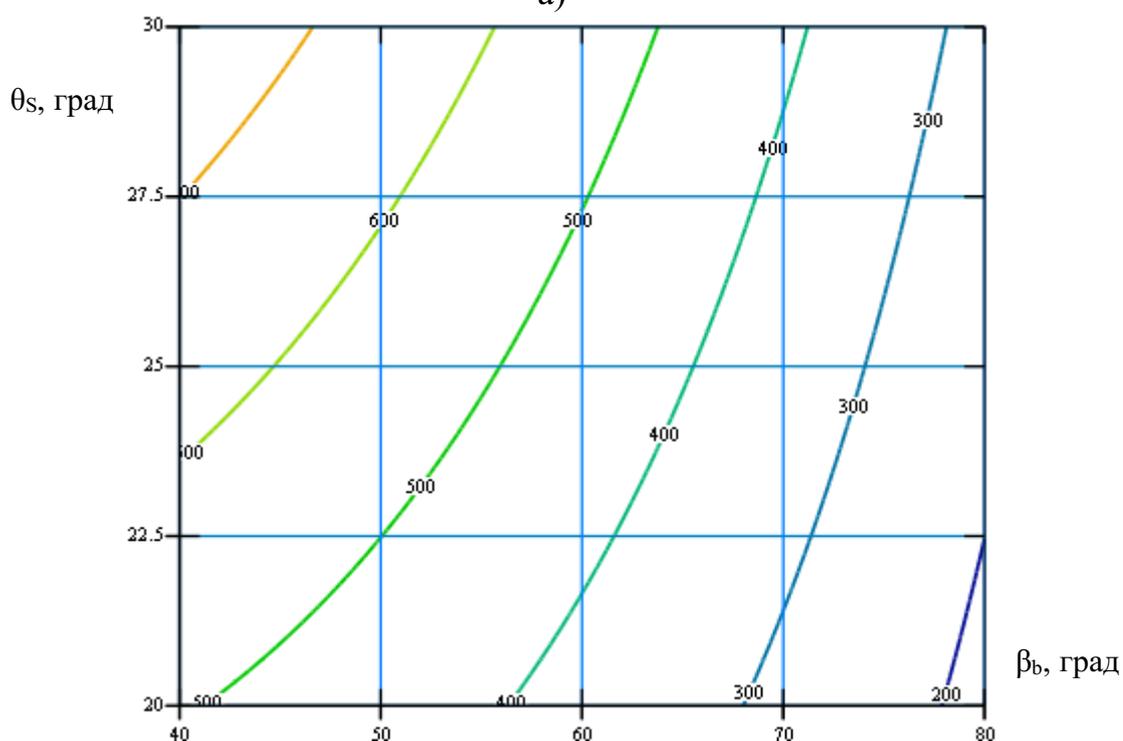


Рис. 3.15. Графіки залежності сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів від товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі подрібнювачі,

$\beta_b = 60$  град: 1)  $\theta_s = 20$  град; 2)  $\theta_s = 25$  град; 3)  $\theta_s = 30$  град



а)



б)

Рис. 3.16. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів від кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів та кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі ( $H_b = 2,0$  мм)

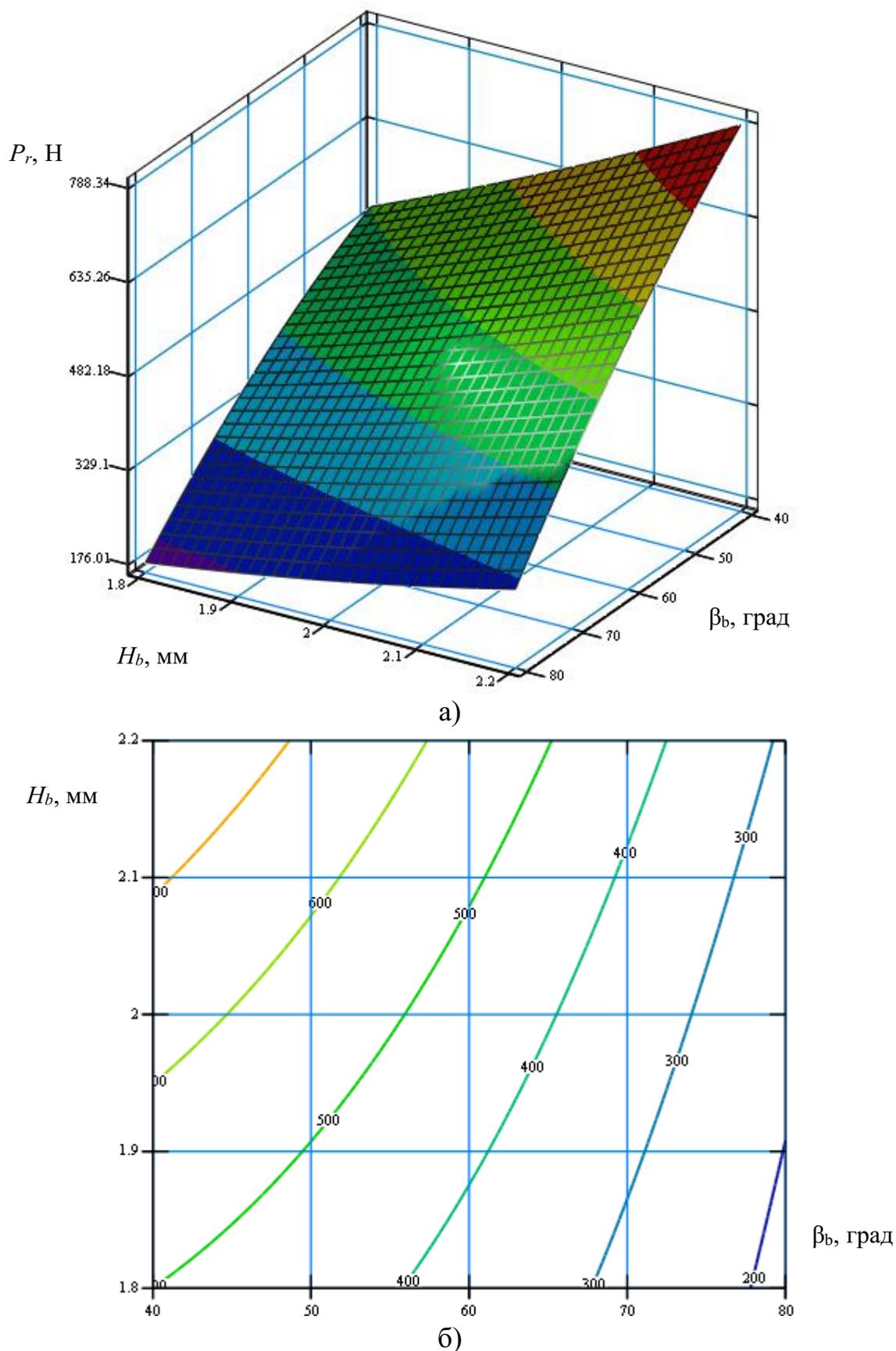


Рис. 3.17. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів від кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів та товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі подрібнювачі ( $\theta_s = 25$  град)

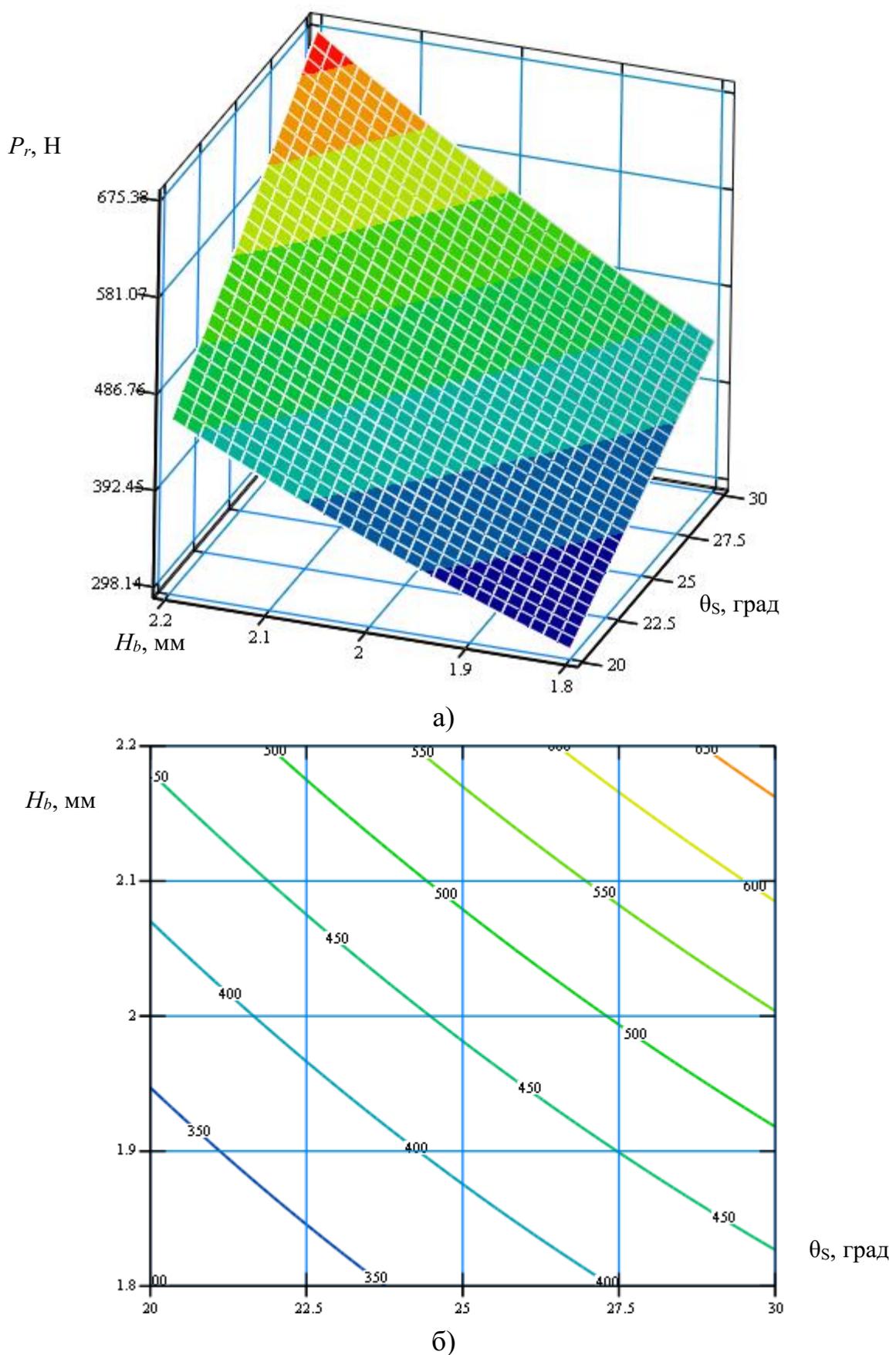


Рис. 3.18. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів від кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі та товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі-подрібнювачі ( $\beta_b=60$  град)

На основі даних графіків рисунків 3.13 - 3.18 та рівняння регресії (3.25) зроблено висновки, що при збільшенні кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі та товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі-подрібнювачі сила  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів зростає, а при збільшенні кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів – зменшується, незважаючи на зменшення радіуса згину матеріалу та його зміцнення, оскільки сила  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів розглядалась як горизонтальна проекція сили гнуття матеріалу. Максимальне значення сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів становило 944 Н., а мінімальне – 141 Н. Збільшення кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів від 40 град. до 80 град. призводить до зменшення сили подачі ролика в 2,75 рази. При цьому збільшення кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі від 20 град. до 30 град. призводить до збільшення сили подачі ролика в 1,5 рази, а збільшення товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі-подрібнювачі від 1,8 мм. до 2,2 мм призводить до збільшення сили подачі ролика в 1,57 рази.

Отримане рівняння регресії (3.25) може бути використане для прогнозування сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів залежно від кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів, кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі; товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі подрібнювачі у таких межах зміни факторів:

$$40 \leq \beta_b \leq 80 \text{ (град)}; 20 \leq \theta_s \leq 30 \text{ (град)}; 1,8 \leq H_b \leq 2,2 \text{ (мм)}.$$

### **3.5. Результати експериментальних досліджень для визначення тангенціальної та осьової складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів**

На основі методики проведення експериментальних досліджень, представленої у підрозділі 3.3, використовуючи спеціальну оправку для базування та закріплення заготовки гвинтового елемента, спеціальний заточний різець із круглими ріжучими пластинами, токарно-гвинторізний верстат та

тензодатчик, що детально описані у підрозділі 3.2, проведено дослідження впливу конструктивних та технологічних параметрів, зокрема ширини  $H$  зрізаної частини витка гвинтового елемента, радіуса  $R_1$  ріжучої пластини різця, співвідношення  $k_t$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця  $k_t=R_1/L_2$  на середні значення тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів. Частота обертання шпинделя верстата становила 50 об/хв, зовнішній діаметр гвинтового елемента - 97 мм, крок витків гвинтового елемента - 40 мм. Матеріал гвинтового елемента сталь 08кп. 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.

Результати проведених експериментів із визначенням тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів записано у план-матриці повних трьохфакторних експериментів, проведено статистичне оброблення даних, виведено рівняння, яке сформовано на основі регресії другого порядку (3.10), при цьому враховано ефекти взаємодії змінних параметрів на трьох рівнях.

Для визначення коефіцієнтів рівняння регресії (3.10) використано рівняння (3.11) – (3.14) (табл. 3.4).

Рівняння регресії, що встановлюють вплив конструктивних та технологічних параметрів, зокрема ширини  $H$  зрізаної частини витка гвинтового елемента, радіуса  $R_1$  ріжучої пластини різця, співвідношення  $k_t$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця  $k_t=R_1/L_2$  на середні значення тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів, тобто  $P_z = f(H, R_1, k_t)$ ,  $P_x = f(H, R_1, k_t)$  мають вигляд у кодованих величинах:

$$P_{z(x_1, x_2, x_3)} = 837,75 + 766,8x_1 + 15,5x_2 - 316,6x_3 + 14,75x_1x_2 - \quad (3.26)$$

$$-230,755x_1x_3 - 7,25x_2x_3 + 147,81x_1^2 + 3,311x_2^2 + 107,81x_3^2;$$

$$P_{x(x_1, x_2, x_3)} = 488,95 + 504,9x_1 + 11,3x_2 - 220,4x_3 + 11,625x_1x_2 - \quad (3.27)$$

$$-181,125x_1x_3 - 5,875x_2x_3 + 133,328x_1^2 + 5,328x_2^2 + 77,83x_3^2.$$

де  $x_1$  - кодоване значення ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента;  
 $x_2$  - кодоване значення радіуса ріжучої пластини різця;  $x_3$  - кодоване значення співвідношення  $k_t$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця.

Таблиця 3.4

Коефіцієнти рівняння регресії при дослідженні тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів

Коефіц.	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
$P_z$	837,75	766,8	15,5	-316,6	14,75	-230,75	-7,25	147,81	3,31	107,81
$P_x$	488,95	504,9	11,3	-220,4	11,625	-181,125	-5,875	133,328	5,328	77,83

Усі коефіцієнти рівнянь регресії (3.26) та (3.27) є значущими відповідно до рівнянь (3.19) та (3.20).

Після перетворень рівняння регресії (3.26) та (3.27) записано у натуральних величинах:

$$P_{z(H, R_1, k_t)} = 3508,89 + 5444,23H + 1,338R_1 - 6292,61k_t + 12,29HR_1 - \quad (3.28)$$

$$-3845,83Hk_t - 9,062R_1k_t + 1642,33H^2 + 0,207R_1^2 + 2695,25k_t^2;$$

$$P_{x(H, R_1, k_t)} = 2418,89 + 3680,26H - 4,331R_1 - 4319,48k_t + 9,69HR_1 - \quad (3.29)$$

$$-3018,75Hk_t - 7,34R_1k_t + 1481,42H^2 + 0,333R_1^2 + 1945,75k_t^2.$$

Використовуючи дані експериментальних досліджень, виведених рівнянь регресії (3.28), (3.29), побудовано графіки, поверхні відгуку та їх двомірні перерізи залежності тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів від змінних вхідних факторів, що представлено на рис. 3.19 – рис. 3.24.

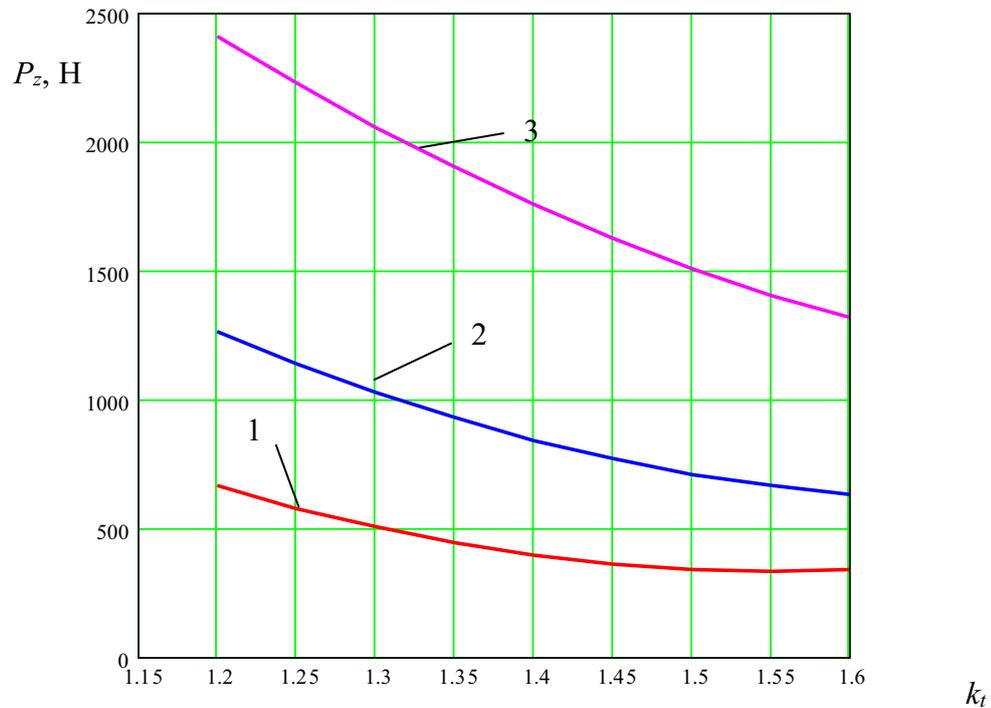


Рис. 3.19. Графіки залежності тангенціальної  $P_z$  складової сили різання при заточуванні гвинтових елементів від співвідношення  $k_t$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця,  $R_1 = 16$  мм:  
1)  $H=0,5$  мм; 2)  $H=0,7$  мм; 3)  $H=1,0$  мм

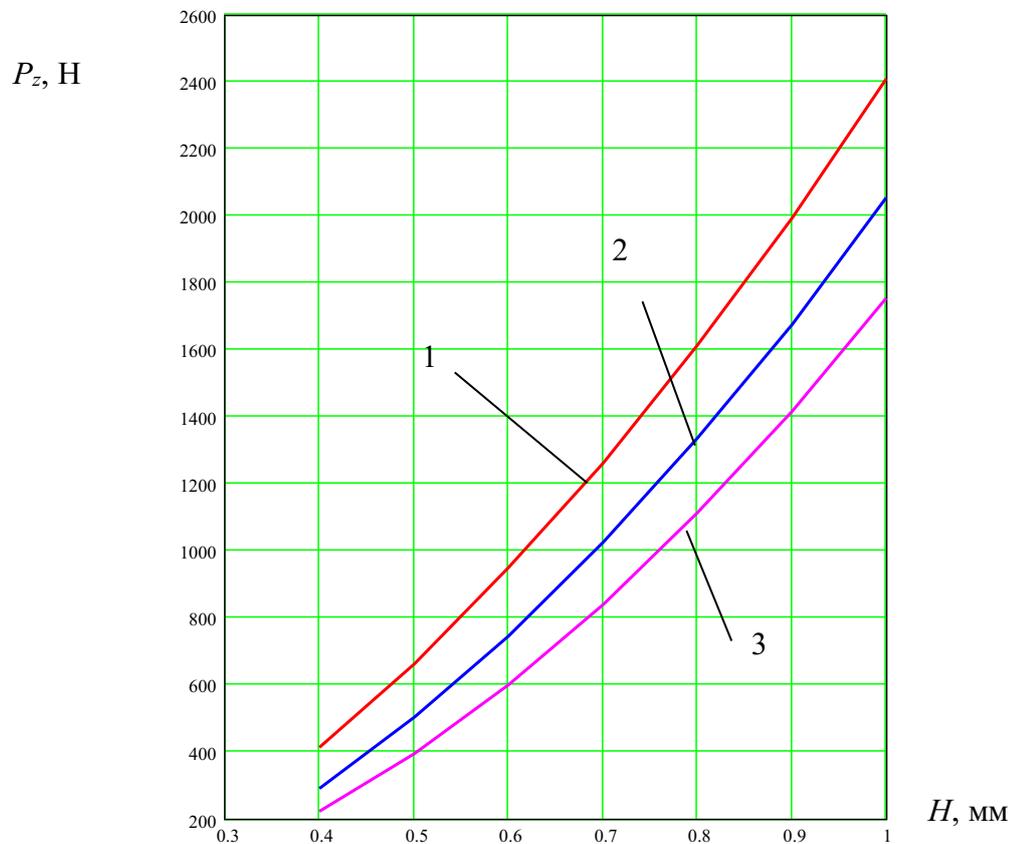


Рис. 3.20. Графіки залежності тангенціальної  $P_z$  складової сили різання при заточуванні гвинтових елементів від ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента,  $R_1 = 16$  мм: 1)  $k_t=1,2$ ; 2)  $k_t=1,3$ ; 3)  $k_t=1,4$

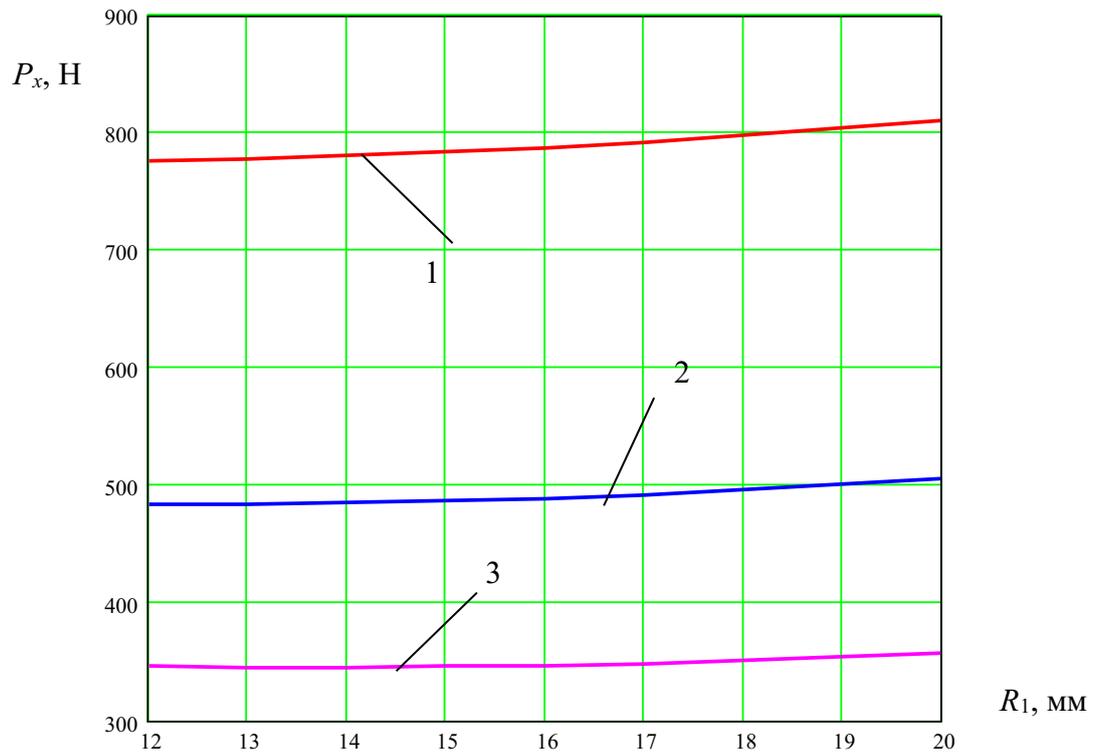


Рис. 3.21. Графіки залежності осьової  $P_x$  складової сили різання при заточуванні гвинтових елементів від радіуса  $R_1$  ріжучої пластини різця,

$H=0,7$  мм: 1)  $k_t=1,2$ ; 2)  $k_t=1,4$ ; 3)  $k_t=1,6$

Аналізуючи рівняння регресії (3.26) та (3.27), встановлено, що основним фактором, який впливає на зміну тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів є фактор  $x_1(H)$ . Менший вплив має фактор  $x_3(k_t)$ , при цьому фактор  $x_2(R_1)$  має незначний вплив. Зростання першого і другого факторів призводить до збільшення тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів, а зростання третього фактора – до зменшення згаданих сил.

На основі даних графіків рисунків 3.19 - 3.24 та рівнянь регресії (3.28), (3.29) зроблено висновки, що при збільшенні ширини  $H$  зрізаної частини витка гвинтового елемента та радіуса  $R_1$  ріжучої пластини різця тангенціальна  $P_z$  та осьова  $P_x$  складові сили різання при заточуванні гвинтових елементів зростає, а при збільшенні співвідношення  $k_t$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця – зменшується.

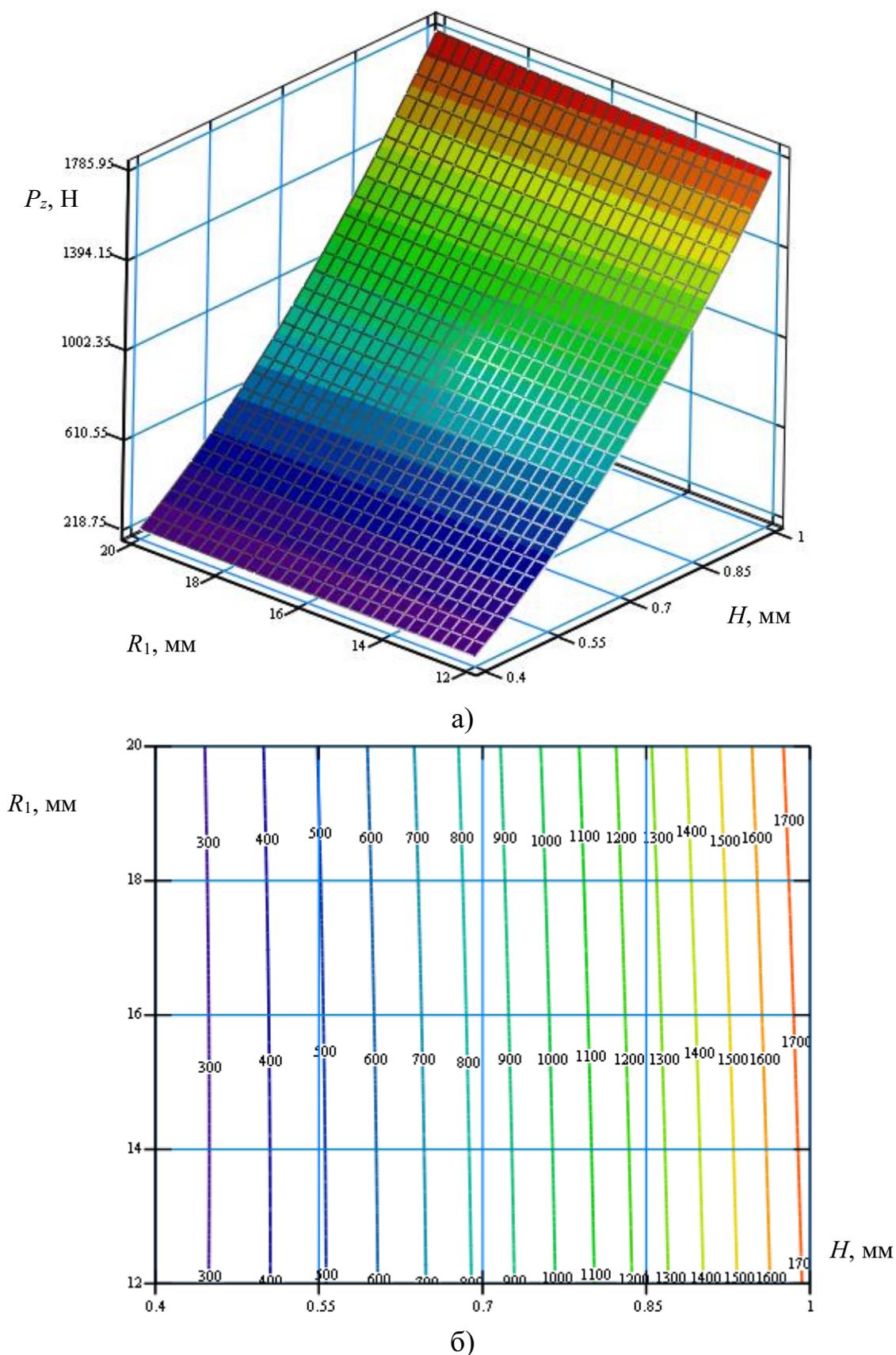


Рис. 3.22. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності тангенціальної  $P_z$  складової сили різання при заточуванні гвинтових елементів від ширини  $H$  зрізаної частини витка гвинтового елемента та радіуса  $R_1$  ріжучої пластини різця ( $k_t = 1,4$ )

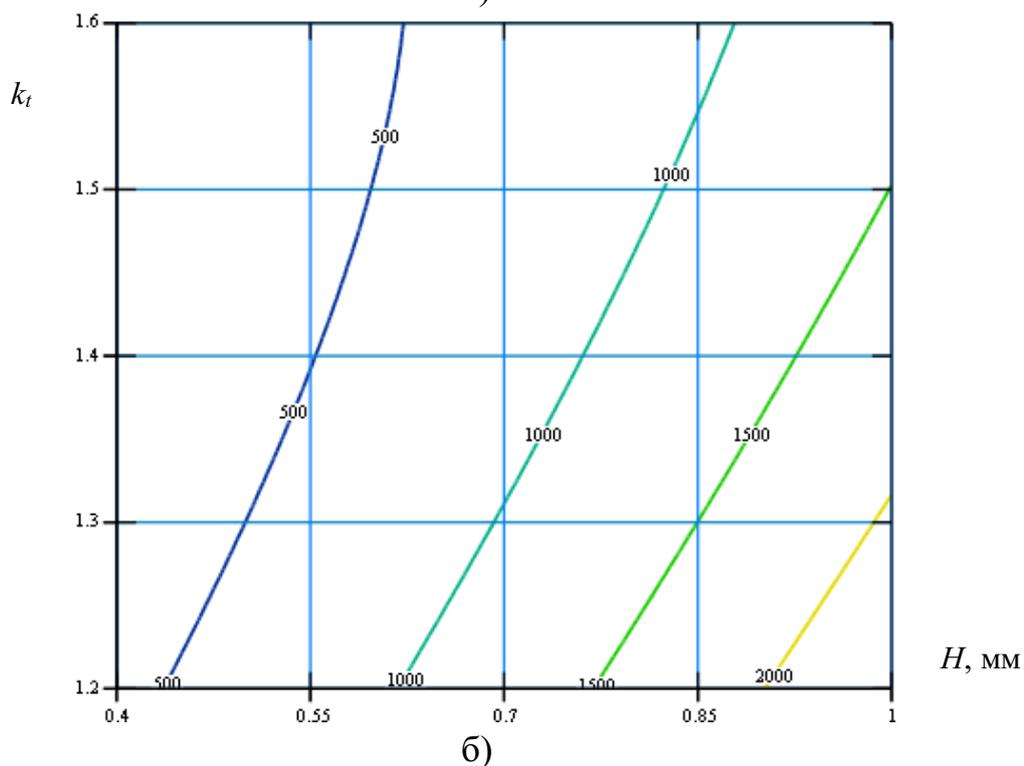
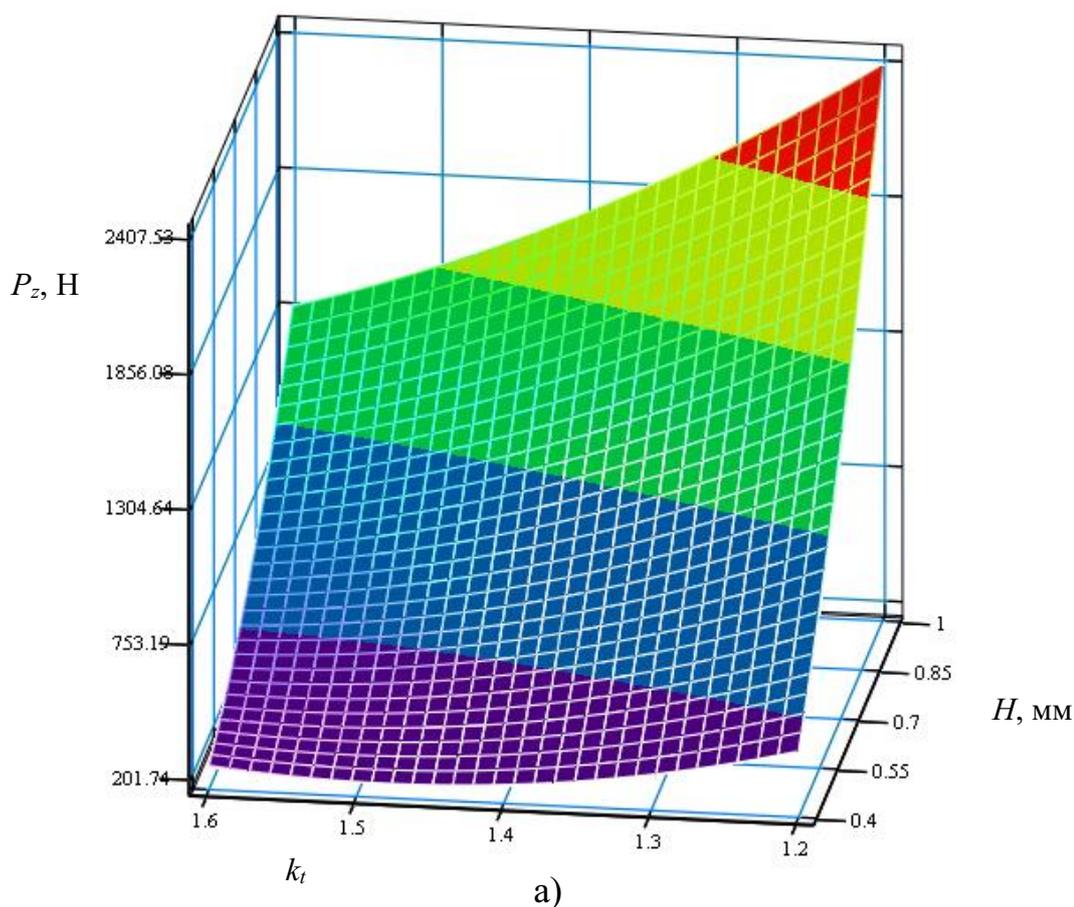
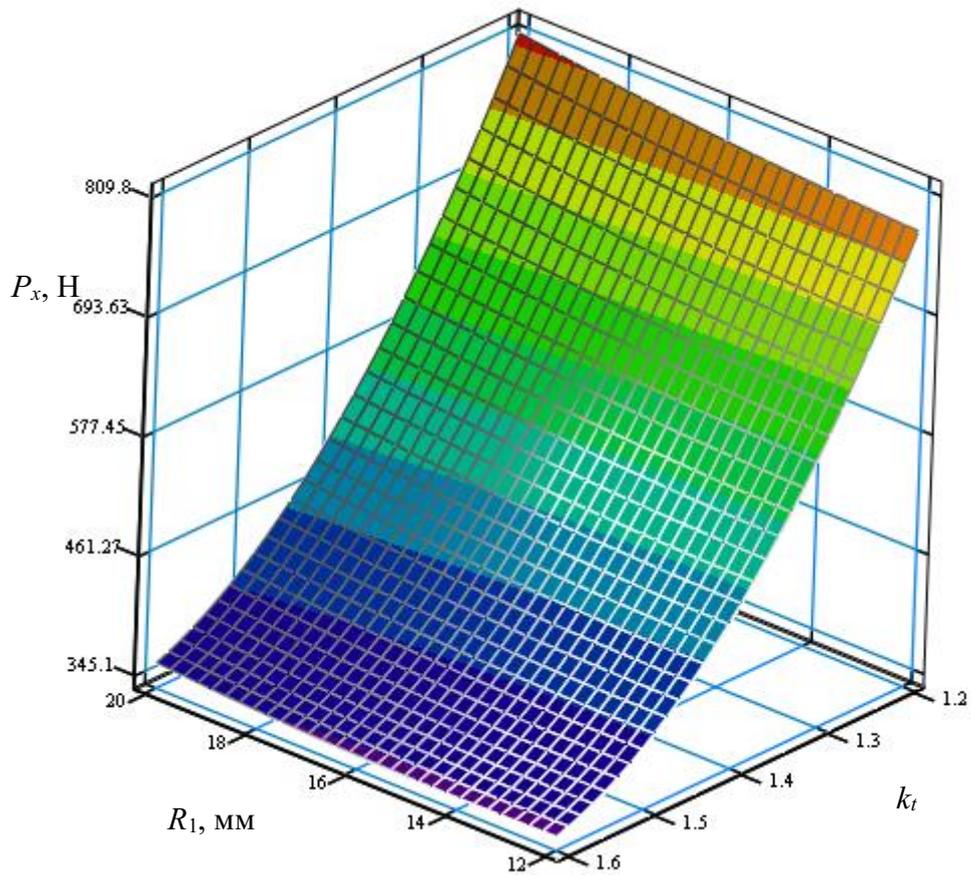
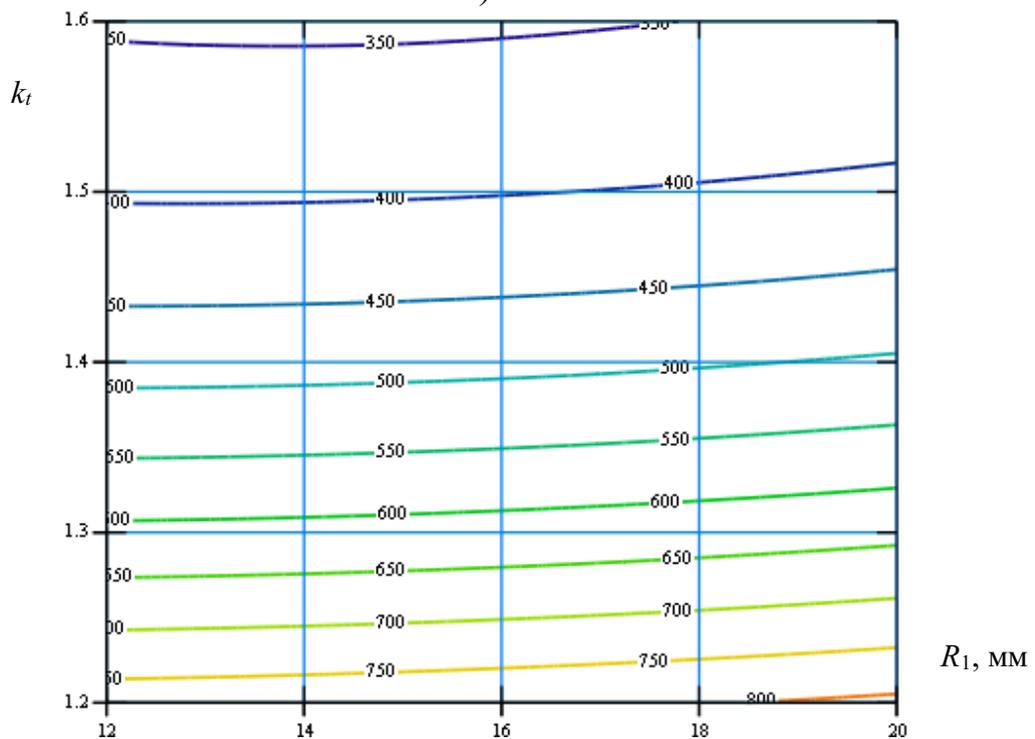


Рис. 3.23. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності тангенціальної  $P_z$  складової сили різання при заточуванні гвинтових елементів від ширини  $H$  зрізаної частини витка гвинтового елемента та співвідношення  $k_t$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця ( $R_1 = 16$  мм)



а)



б)

Рис. 3.24. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності осьової  $P_x$  складової сили різання при заточуванні гвинтових елементів від співвідношення  $k_t$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною країки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця та від радіуса  $R_1$  ріжучої пластини різця ( $H=0,7$  мм)

Максимальне значення тангенціальної  $P_z$  складової сили різання при заточуванні гвинтових елементів становило 2481 Н., а мінімальне – 218 Н, при цьому максимальне значення осьової  $P_x$  складової сили різання становило 1671 Н., а мінімальне – 138 Н.

Збільшення ширини  $H$  зрізаної частини витка гвинтового елемента від 0,4 мм. до 1,0 мм. призводить до зростання тангенціальної  $P_z$  складової сили різання в 5,9 разів та до зростання осьової  $P_x$  складової сили різання в 6,8 разів. При цьому збільшення радіуса  $R_1$  ріжучої пластини різця від 12 мм до 20 мм призводить до зростання тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання в 1,04 рази, а збільшення співвідношення  $k_t$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця від 1,2 до 1,6 призводить до зменшення тангенціальної  $P_z$  складової сили різання в 1,85 рази та до зменшення осьової  $P_x$  складової сили різання в 2,02 рази.

Отримані рівняння регресії (4.3) можуть бути використані для прогнозування тангенціальна  $P_z$  та осьова  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів у таких межах зміни факторів:

$$0,4 \leq H \leq 1,0 \text{ (мм)}; 12 \leq R_1 \leq 20 \text{ (мм)}; 1,2 \leq k_t \leq 1,6.$$

### 3.6. Висновки

1. Представлено програму і методику проведення експериментальних досліджень для досягнення мети та виконання завдань кваліфікаційної роботи, встановлення адекватності одержаних теоретичних взаємозв'язків конструктивних та силових параметрів процесів формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі, практичної реалізації розробленого технологічного процесу та перевірки працездатності спроектованого оснащення та інструментів.

2. Розроблено та практично реалізовано технологічний процес виготовлення ножів-подрібнювачів на навитих щільним пакетом на ребро

спіралях шнеків з виконанням наступних базових операцій: калібрування навитої щільним пакетом на ребро спіралі шнека з певним кроком на спеціальну оправку; проточування зовнішньої крайки спіралі шнека; заточування зовнішньої крайки спіралі шнека спеціальним різцем; розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека на певну глибину з відповідним кроком дисковою фрезою з метою отримання заготовок під ножі-подрібнювачі; загинання ножів-подрібнювачів на спіралі шнека на певний кут спеціальним роликом.

3. Розроблено та виготовлено для виконання операцій технологічного процесу виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки спеціальне технологічне оснащення та інструменти, зокрема спеціальну оправку для базування та закріплення заготовки гвинтового елемента, різець для заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента, ролик для загинання ножів-подрібнювачів на спіралі гвинтового елемента, вибрано устаткування для вимірювання силових параметрів процесів із застосуванням частотного перетворювача Altivar 71, програмного забезпечення PowerSuite, тензодатчика.

4. Представлено методику проведення експериментальних досліджень з метою встановлення взаємозв'язку конструктивних та силових параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі та тангенціальної і осьової складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів.

5. Представлено результати експериментальних досліджень сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів від зміни трьох основних факторів: кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів, кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі; товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі-подрібнювачі у таких межах зміни вхідних факторів:  $40 \leq \beta_b \leq 80$  (град);  $20 \leq \theta_s \leq 30$  (град);  $1,8 \leq H_b \leq 2,2$  (мм). Проведено статистичне оброблення даних, виведено емпіричне рівняння, яке сформовано на основі регресії другого порядку, при цьому враховано ефекти взаємодії змінних параметрів на трьох рівнях, що дає можливість адекватно прогнозувати силу  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів.

6. Встановлено, що максимальне значення сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів становило 944 Н., а мінімальне – 141 Н. Збільшення кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів від 40 град. до 80 град. призводить до зменшення сили подачі ролика в 2,75 рази. При цьому збільшення кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі від 20 град. до 30 град призводить до збільшення сили подачі ролика в 1,5 рази, а збільшення товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі-подрібнювачі від 1,8 мм. до 2,2 мм призводить до збільшення сили подачі ролика в 1,57 рази.

7. Представлено результати експериментальних досліджень та виведені рівняння регресії, що визначають вплив конструктивних та технологічних параметрів, зокрема ширини  $H$  зрізаної частини витка гвинтового елемента, радіуса  $R_1$  ріжучої пластини різця, співвідношення  $k_t$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця  $k_t=R_1/L_2$  на середні значення тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів у таких межах зміни вхідних факторів:  $0,4 \leq H \leq 1,0$  (мм);  $12 \leq R_1 \leq 20$  (мм);  $1,2 \leq k_t \leq 1,6$ .

8. Встановлено, що максимальне значення тангенціальної  $P_z$  складової сили різання при заточуванні гвинтових елементів становило 2481 Н., а мінімальне – 218 Н, при цьому максимальне значення осьової  $P_x$  складової сили різання становило 1671 Н., а мінімальне – 138 Н. Збільшення ширини  $H$  зрізаної частини витка гвинтового елемента від 0,4 мм. до 1,0 мм. призводить до зростання тангенціальної  $P_z$  складової сили різання в 5,9 разів та до зростання осьової  $P_x$  складової сили різання в 6,8 разів. При цьому збільшення радіуса  $R_1$  ріжучої пластини різця від 12 мм до 20 мм призводить до зростання тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання в 1,04 рази, а збільшення співвідношення  $k_t$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця від 1,2 до 1,6 призводить до зменшення тангенціальної  $P_z$  складової сили різання в 1,85 рази та до зменшення осьової  $P_x$  складової сили різання в 2,02 рази.

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

#### 4.1. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки

Гвинтові робочі органи у сільськогосподарському виробництві широко використовуються у якості подрібнювачів, змішувачів, калібрувальників, пресувальників, сортувальників, підбирачів, транспортерів, очисників, дозувальників, нагнітальників, ворошильників, готувальників кормів тощо [42, 83]. Тому на практиці існує ціла гамма спіралі шнеків, які доцільно класифікувати за способом виготовлення, напрямком руху, формою, профілем і згідно функціонального призначення (рис. 4.1).

Виготовлення спіралей шнеків є складний, енерговитратний і трудомісткий процес. Залежно від функціонального призначення технологія виготовлення має певні особливості [9, 11, 15, 18, 110, 111, 112, 134]. До таких особливих способів виготовлення належить виготовлення шнекових спіралей оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами. Існують різні способи виготовлення шнекових спіралей оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами, окремі з яких були обґрунтовані у праці [15]. Ці способи передбачають відгинання лопатей чи ножів-подрібнювачів на певний кут при використанні ручного інструменту. З метою вдосконалення функціональних можливостей гвинтових елементів сільськогосподарської техніки розроблено нові механізовані способи виготовлення шнекових спіралей оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами, які реалізуються з допомогою технологічного обладнання і оснащення.

На рис. 4.2 представлено пристрій для виготовлення ножів-подрібнювачів на шнековій спіралі. Такі спіралі у засобах сільськогосподарського призначення широко використовуються для подрібнення і змішування

сільськогосподарських продуктів при приготуванні різних видів кормів для годівлі тварин.



Рис. 4.1. Класифікація спіралей шнеків

Пристрій для виготовлення ножів-подрібнювачів 9 на шнековій спіралі 8 (рис. 4.2) передбачає використання формувальних інструментів у вигляді оправи 1, яка кріпиться в шпинделі токарного верстату, та ролика 4, який кріпиться у різцетримачі токарного верстату, оснащених спеціальними формувальними втулками 2 і 7. На зовнішній поверхні формувальної втулки 2 виконані вирізи 3 для загинання ножів-подрібнювачів 9 на гвинтовій заготовці 8. А на торцевій поверхні формувальної втулки 7, яка забезпечена можливістю кругового обертання, виконані вирізи 6 та нахилені виступи 5, які відповідають

формі ножів-подрібнювачів 9. Слід відмітити, що особливістю пристрою (рис. 4.2) є точне попадання нахилених виступів 5 формувальної втулки 7 ролика 4 у вирізи 3 формувальної втулки 2 оправи 1.

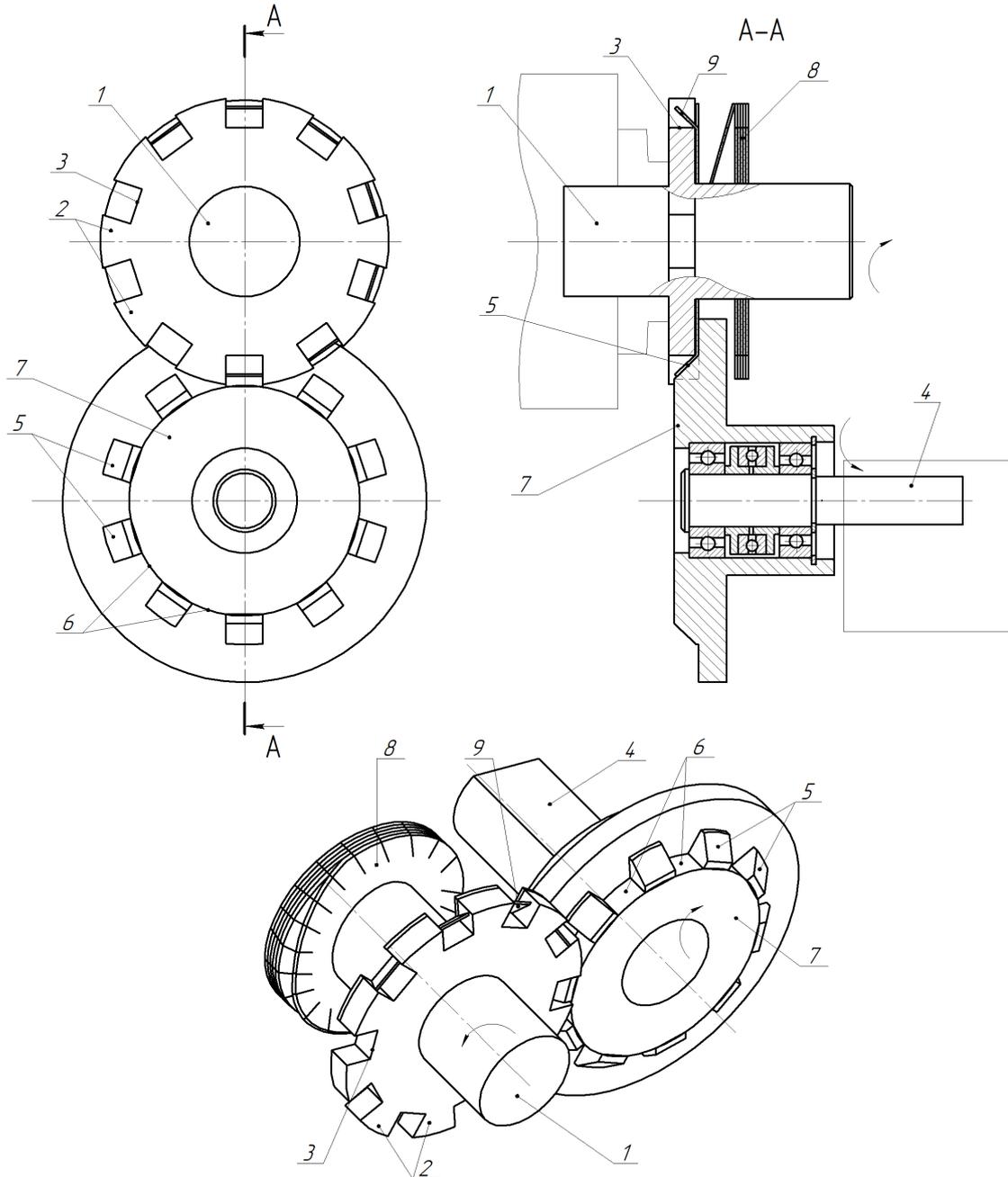


Рис. 4.2. Пристрій для виготовлення ножів-подрібнювачів на гвинтовій заготовці

Спосіб виготовлення ножів-подрібнювачів 9 на шнековій спіралі 8 (рис. 4.2) передбачає виконання таких технологічних операцій:

1. Навивання щільним пакетом на ребро шнекової спіралі 8 відомим способом.

2. Надрізання по зовнішньому контуру торцевої поверхні навитої щільним пакетом шнекової спіралі 8 вирізів на потрібну глибину зі встановленим кроком.

3. Виставлення і закріплення спіральної заготовки 8 на оправі 1, яка закріплена в шпинделі токарного верстата.

4. Виставлення і закріплення в різцетримачі токарного верстата ролика 4.

5. Загинання крайнього ножа-подрібнювача 9 на шнековій спіралі 8 шляхом подачі різцетримача, точного попадання і притискання нахилених виступів 5 формувальної втулки 7 ролика 4 до вирізів 3 формувальної втулки 2 оправі 1.

6. Приведення зі встановленою частотою в обертовий рух шпинделя із оправою 1 і спіральною заготовкою 8, та зі встановленою швидкістю у рух подачі різцетримача з роликом 4, що забезпечує виготовлення ножів-подрібнювачів 9 на всій довжині шнекової спіралі 8 шляхом попадання нахилених виступів 5 формувальної втулки 7 ролика 4 у вирізи 3 формувальної втулки 2 оправі 1. По завершенні операції зупинка усіх рухів.

7. Відведення різцетримача; зняття з нього спеціального ролика 4; закріплення у різцетримачі спеціального затискного інструменту (на рис. 4.2 не показано); підведення різцетримача із спеціальним затискним інструментом до спіральної заготовки 8; закріплення у спеціальному затискному інструменті крайнього витка спіральної заготовки 8.

8. Калібрування на заданий крок спіральної заготовки 8 із виготовленими ножами-подрібнювачами 9 шляхом вмикання руху подачі різцетримача. По завершенні операції зупинка усіх рухів.

9. Відкріплення готової спіральної заготовки 8 із виготовленими ножами-подрібнювачами 9 від спеціального затискного інструменту та оправі 1 і її зняття.

На рис. 4.3 представлено конструктивні схеми пристроїв для виготовлення лопатей на шнековій спіралі із застосуванням калібрувально-загинальних інструментів та використанням зворотно-поступального руху.

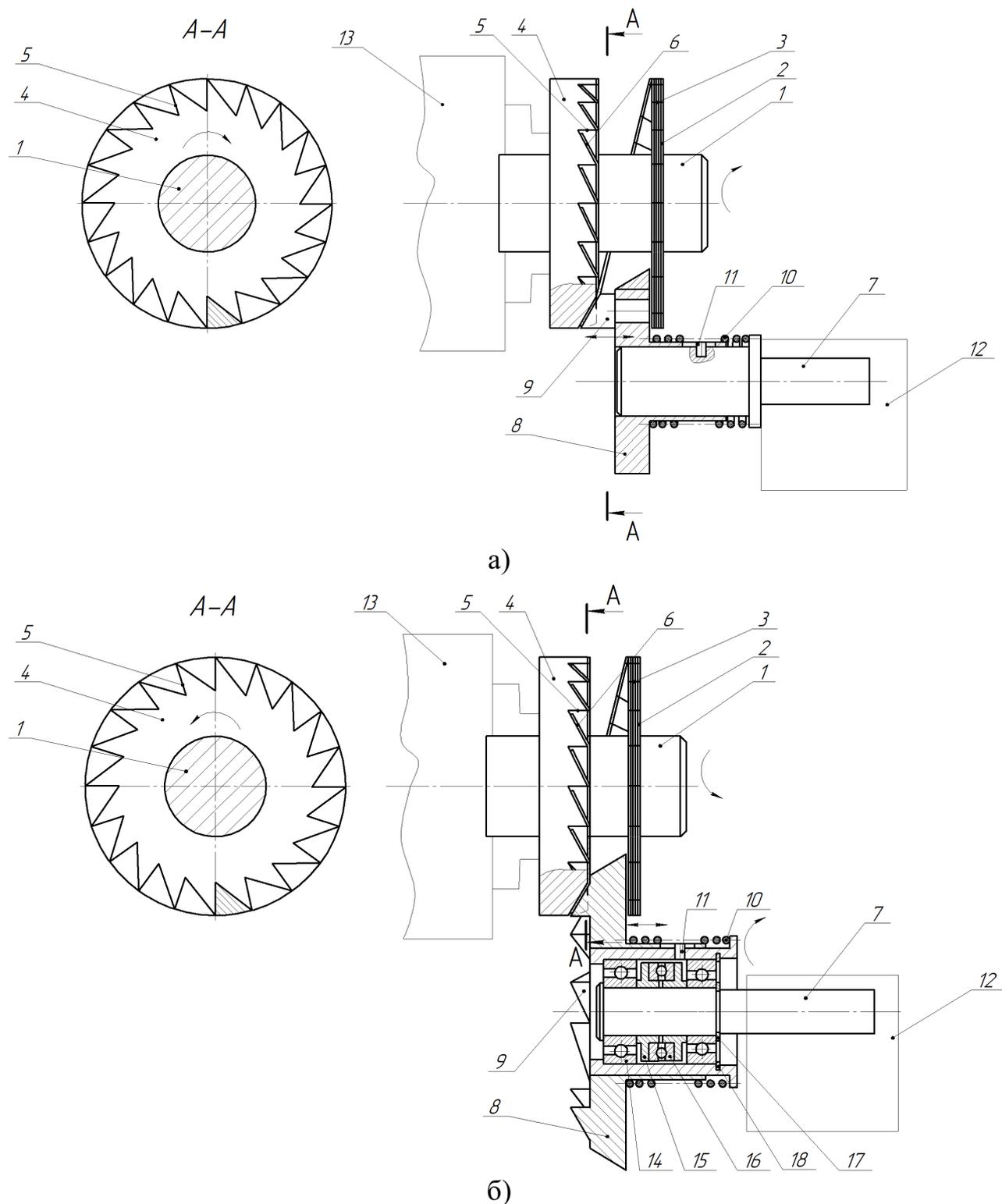


Рис. 4.3. Пристрої для виготовлення лопатей на гвинтовій заготовці а) із лінійним та б) обертовим рухом калібрувально-загинальних інструментів

Пристрої для виготовлення лопатей 6 на шнековій спіралі 2 з надрізами 3 (рис. 4.3) із застосуванням калібрувально-загинальних інструментів 8 із використанням зворотно-поступального руху передбачає використанням оправи 1, яку кріпиться в шпинделі 13 токарного верстату, та ролика 7, який

кріпиться у різцетримачі 12 токарного верстату. Оправа 1 оснащена формувальною втулкою 4, на торцевій поверхні якої виконано заглиблення 5. Ролик 7 оснащено з можливістю здійснення зворотно-поступального руху загинальним інструментом 8, який містить або загинальний пуансон 9 (рис. 4.3 а), або формувальну втулку з можливістю кругового обертання з виступами 9 (рис. 4.3 б), форма яких є дзеркальним відображенням форми заглиблень 5 формувальної втулки 4. Зворотно-поступальний рух загинального інструменту 8 реалізується підтисканням пружини стиснення 10 і пальцем 11, який дозволяє загинальному інструменту 8 не провертатися відносно ролика 7 (рис. 4.3 а) і основи загинального інструменту 8 (рис. 4.3 б), забезпечуючи, при цьому, можливість осьового зміщення при загинах лопатей.

На відміну від попередньо представленої конструкції пристрою для виготовлення ножів-подрібнювачів на гвинтовій заготовці (рис. 4.2), де особливістю є точне попадання нахилених виступів 5 формувальної втулки 7 ролика 4 у вирізи 3 формувальної втулки 2 оправи 1, дані конструктивні рішення не потребують точного співпадіння заглиблень та виступів формувальних елементів, позаяк воно регулюється пружиною стиснення 10 (рис. 4.3).

Спосіб виготовлення лопатей 6 на шнековій спіралі 2 передбачає виконання певної послідовності технологічних операцій:

1. Виготовлення шнекової спіралі 2 відомими способами.
2. Виконання надрізів 3 на торцевій поверхні шнекової спіралі 2 на потрібну глибину зі встановленим кроком.
3. Виставлення та закріплення шнекової спіралі 2 на оправі 4.
4. Закріплення оправи 4 в шпинделі 13 токарного верстата.
5. Закріплення в різцетримачі 12 верстата ролика 7, оснащеного загинальним інструментом 8.
6. Введення загинального інструменту 8 у міжвитковий простір першого витка шнекової спіралі 2 і загинання у заглиблення 5 першої лопаті 6 шнекової спіралі 2.

7. Надання встановленого обертового руху шпинделю 13 та руху подачі різцетримачу 12, і виготовлення лопатей 6 на всій довжині шнекової спіралі 2.

8. Зняття з різцетримача 12 загинального інструменту 8 і встановлення у ньому калібрувального інструменту.

9. Виконання операції калібрування на потрібний крок шнекової спіралі 2 з виготовленими лопатями 6.

10. Зняття відкаліброваної на потрібний крок шнекової спіралі 2 з виготовленими лопатями 6 з токарного верстату.

Сила, яку необхідно прикласти для загину лопаті калібрувально-загинальним інструментом, визначається за формулою:

$$F_{C3} = \frac{1,15 \cdot B \cdot \left[ \sigma_{TO} \cdot \frac{s^2}{4} + \Pi \cdot \left( \frac{(r+s)^2 + r^2}{4} \cdot \ln \sqrt{\frac{r+s}{r}} - \frac{(r+s)^2 - r^2}{8} \right) \right] (1 + \mu \cdot \sin \alpha)}{L \cdot \cos \alpha}, \quad (4.1)$$

де  $B$  – довжина лінії згину заготовки, мм;  $\sigma_{TO}$  – екстрапольована границя текучості матеріалу заготовки, МПа;  $s$  – товщина заготовки, мм;  $\Pi$  – лінійний модуль зміцнення матеріалу заготовки, МПа;  $r$  – радіус кромки інструмента, по якій відбувається згин матеріалу, мм;  $\mu$  – коефіцієнт тертя між поверхнями заготовки та інструменту;  $\alpha$  – кут нахилу лопаті, град;  $L$  – довжина лопаті, мм.

Сила підтиску пружини розтягу-стиснення калібрувально-загинального інструменту визначається за формулою [12]:

$$F_{PP} = C \cdot (X_1 - \Delta), \quad (4.2)$$

де  $F_{pp}$  – сила затиску пружини, Н;  $C$  – жорсткість пружин, Н/мм;  $\Delta$  – попередній натяг пружини, мм;  $X_1$  – величина відгину лопаті від основної лінії шнекової спіралі, мм.

Відтак, попередній натяг пружини розтягу-стиснення у запропонованих пристроях для виготовлення лопатей визначатиметься за формулою:

$$\Delta = \frac{1,15 \cdot B \cdot \left[ \sigma_{TO} \cdot \frac{s^2}{4} + \Pi \cdot \left( \frac{(r+s)^2 + r^2}{4} \cdot \ln \sqrt{\frac{r+s}{r}} - \frac{(r+s)^2 - r^2}{8} \right) \right] (1 + \mu \cdot \sin \alpha)}{C \cdot L \cdot \cos \alpha} + X_1. \quad (4.3)$$

В таблиці 4.1 представлені раціональні конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення шнекових спіралей оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами. При цьому повздовжня подача ролика повинна відповідати товщині спіральної заготовки.

Таблиця 4.1

Раціональні конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення шнекових спіралей оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами

№	Частота обертання, оправи, об/хв	Повздовжня подача ролика, мм/об	Діаметр оправи, мм	Висота спіралі, мм	Товщина заготовки, мм	Кут сегменту (лопаті, ножа-подрібнювача), град
1	0,05...0,15	0,8	30...250	30...100	0,8	10...45
2	0,05...0,15	1,0	35...250	30...100	1,0	12...50
3	0,05...0,15	1,5	40...250	30...125	1,5	15...55
4	0,05...0,20	2,0	45...250	30...250	2,0	15...65
5	0,05...0,25	3,0	50...250	30...250	3,0	15...75

Матеріали шнекових спіралей оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами представлено у підрозділі 1.1. Стандартна товщина смуги, яку доцільно використовувати для виготовлення шнекових спіралей оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами, повинна становити від 1 до 3 мм (1, 1,5; 2,5; 3) і шириною від 30 до 250 мм (30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 250). Також з метою зменшення зусиль та усунення прилипання деталей, утворення задирків, заїдання тощо, доцільно використовувати індустріальні та синтетичні силіконові мастила різних марок (И-20, И-20А, И-40, И-50, ПМС-20 і ПМС-50) [15, 112].

#### 4.2. Особливості конструкцій і технологічного проектування робочих органів лопатевих гвинтових змішувачів-подрібнювачів

Особливостями лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів є розташування лопатей по гвинтовій лінії вздовж осі вала, на якому вони, як

правило, нерухомо закріплені (рис. 4.4 а). Проте окремі конструкції робочих органів можуть розташовуватись на валу з можливістю провертання (рис. 4.4 б). На рис. 4.4 зображені найбільш типові представники лопатевих шнеків, виготовлення яких може забезпечуватись різними способами, зокрема шнек для змішування з механічним кріпленням елементів (пат. України № 153687) та гвинтовий робочий орган змішувача (пат. України № 153774).

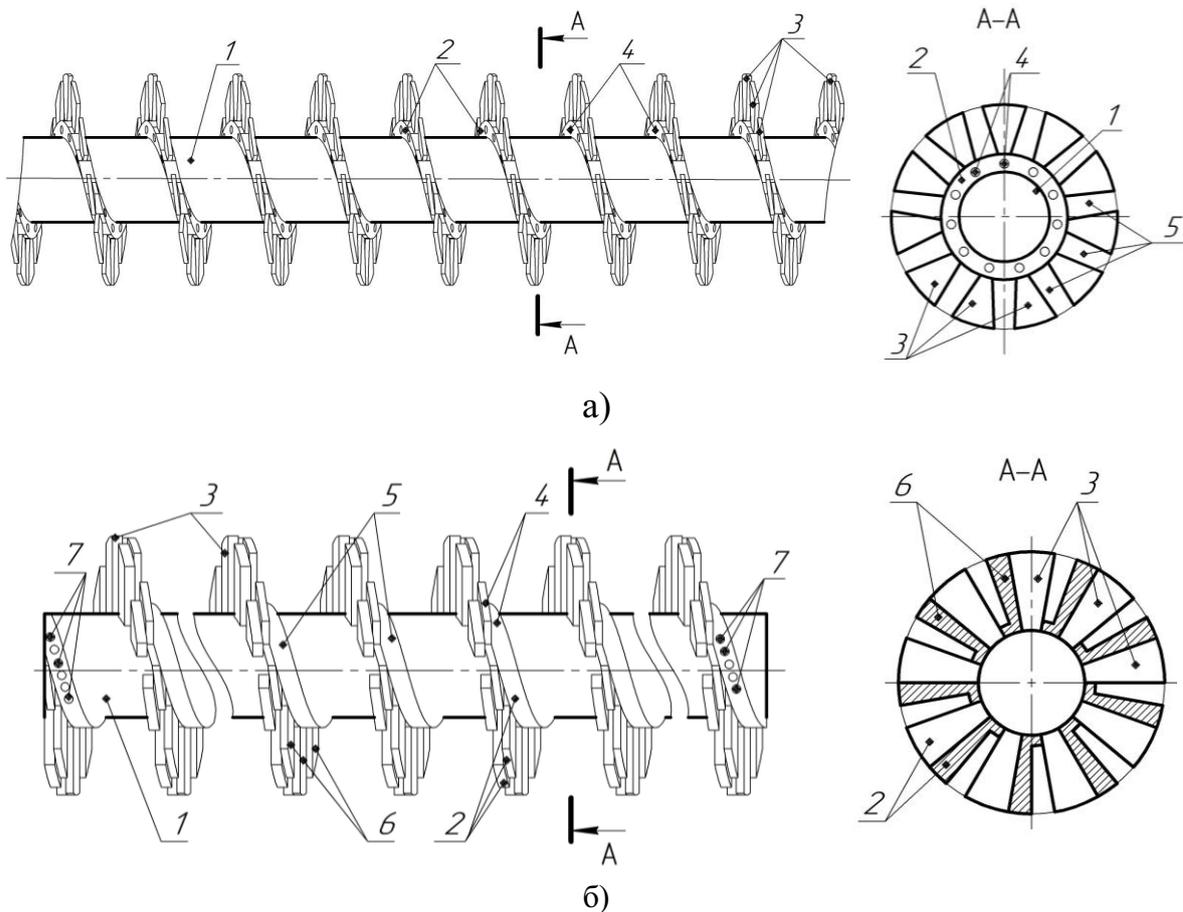


Рис. 4.4. Конструктивні схеми лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів-подрібнювачів: а) шнек для змішування з механічним кріпленням елементів [97]: 1 - вал; 2 - спіраль малої висоти; 3 - змішувально-подрібнювальні елементи; 4 – кріпильні отвори; 5 - просипальні отвори; б) гвинтовий робочий орган змішувача [4]: 1 - вал; 2 - шнек; 3 - базова лопатева спіраль; 4 - спіралі Г-подібної форми; 5 - суцільна циліндрична частина спіралі 4; 6 - зовнішня спіральна частина спіралі 4; 7 - кінці спіралі 4

Проаналізувавши запропоновані конструктивні рішення, можна зробити висновок, що лопатеві шнеки можна виготовляти різними способами. Розглянемо найбільш технологічні з них.

Виготовлення робочого органу лопатевого гвинтового змішувача

зображеного на (рис. 4.4 а) передбачає наступну послідовність технологічних операцій:

1. Навивання спіралі 2 відповідного діаметра.
2. Свердління свердлильною головкою отворів 4 на торцевій поверхні навитої щільним пакетом на ребро спіралі 2, яка встановлена в кондуктор (за умови, що в конструкції шнека буде використовуватись механічне з'єднання).
3. Калібрування спіралі 2 на заданий крок.
4. Встановлення (нагвинчування) спіралі 2 на пустотілий вал 1 із витримкою заданого кроку.
5. Закріплення спіралі 2 на пустотілому валу 1 (зварним з'єднанням).
6. Виготовлення лопатевих елементів 3 відповідного профілю (штампуванням, вирізанням).
7. Свердління кріпильних отворів на торцевій поверхні лопатевих елементів 3 (за умови, що в конструкції шнека буде використовуватись механічне з'єднання).

8. Закріплення лопатевих елементів 3 на спіралі 2:

- варіант 1: в отворах 4 болтовим чи заклепковим з'єднанням;
- варіант 2: з допомогою зварного з'єднання.

Виготовлення робочого органу лопатевого гвинтового змішувача зображеного на (рис. 4.4 б) відрізняється від попередньо викладеного і з поміж іншого передбачає виготовлення двох окремих лопатевих спіралей. Зокрема базової лопатевої спіралі 3 та спіралі Г-подібної форми 4 із внутрішньою суцільною циліндричною частиною 5 та зовнішньою спіральною лопатевою частиною 6. Тому окремо розглянемо послідовність технологічних операцій при виготовленні базової лопатевої спіралі 3, спіралі Г-подібної форми 4 і гвинтового робочого органу змішувача, представленого на рис. 4.4 б.

Виготовлення базової лопатевої спіралі 3, зображеної на рис. 4.4 б, передбачає наступну послідовність технологічних операцій:

1. Навивання спіралі 3 відповідного діаметра із заготовки прямокутного профілю.
2. Вирубання (вирізання) сегментних отворів (вилучень) відповідної

величини і профілю на торцевій поверхні навитої щільним пакетом на ребро спіралі 3 для формування на ній необхідних лопатевих елементів.

2. Калібрування спіралі 3 на заданий крок.

3. Встановлення (нагвинчування) спіралі 3 на пустотілий вал 1 із витримкою заданого кроку.

4. Закріплення спіралі 3 на пустотілому валу 1 (зварним з'єднанням).

Можна застосовувати менш технологічний спосіб виготовлення, як правило, коли використовується готова спіраль, який передбачає вирізання на торцевій поверхні вже готової спіралі сегментних отворів (вилучень) відповідної величини і профілю.

Виготовлення лопатевої спіралі Г-подібної форми 4, зображеної на рис. 4.4 б, передбачає наступну послідовність технологічних операцій:

1. Вирубання (вирізання) сегментних отворів (вилучень) відповідної величини і профілю на торцевій поверхні заготовки Г-подібного профілю для формування на ній необхідних лопатевих елементів (операція може використовуватись і для прямокутної заготовки).

2. Навивання спіралі Г-подібної форми 4 на оправу внутрішньою суцільною циліндричною частиною 5 відповідного діаметра.

3. Калібрування спіралі Г-подібної форми 4 на заданий крок.

4. Свердління кріпильних отворів кінцях 7 на торцевій поверхні циліндричної частини 5 спіралі Г-подібної форми 4.

Подальше виготовлення робочого органу лопатевого гвинтового змішувача зображеного на (рис. 4.4 б) передбачає формування гвинта 2 на валу 1 шляхом нагвинчування на нього, поряд базової лопатевої спіралі 3, спіралі Г-подібної форми 4 із внутрішньою суцільною циліндричною частиною 5 та зовнішньою спіральною лопатевою частиною 6, з подальшою механічною фіксацією кінців 7 спіралі Г-подібної форми 4 на валу 1.

Також існують конструкції робочих органів лопатевих гвинтових змішувачів із вигнутими пелюстками [44] (рис. 4.5), що потребують відгинання лопатей на певний кут. Це потребує додаткової операції, які виконують, як правило, з допомогою ручного інструменту.

Основні конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів навиванням представлено в таблиці 4.2.

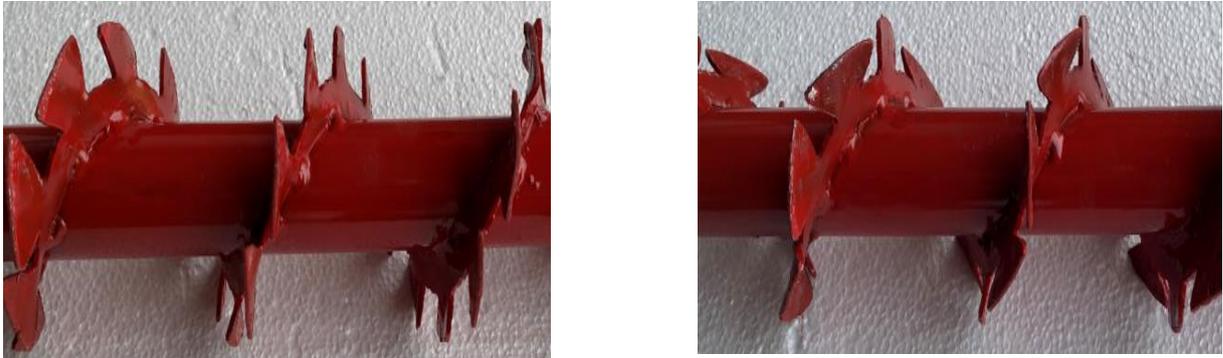


Рис. 4.5. Загальний вигляд лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів з відігнутими лопатями (пелюстками) [44]

Таблиця 4.2

Основні конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів навиванням

№	Частота обертання, оправи, об/хв	Повздожня подача формувального ролика, мм/об	Діаметр оправи, мм	Висота спіралі, мм	Товщина заготовки, мм	Крок спіралі, мм	Площа лопатей до площі спіралі (в %)
1	0,05...0,55	21...132	20...50	5...30	0,8...1,5	21...132	0,1...0,45
2	0,058...0,1	24,5...240	25...100	5...50	0,8...2,0	24,5...240	0,12...0,5
3	0,067...0,15	28...360	30...150	5...75	0,8...3,0	28...360	0,15...0,55
4	0,067...0,2	28...480	30...200	5...100	0,8...3,0	28...480	0,15...0,65
5	0,067...0,25	28...600	30...250	5...125	0,8...3,0	28...600	0,15...0,75

Головними факторами, які впливають на технологічне проектування робочих органів лопатевих гвинтових змішувачів, є: специфіка призначення і важливість одного з поєднаних процесів - транспортування чи змішування; тип виробництва і специфіка використовуваних при виготовленні технологічних процесів з можливістю застосування типізації, конструктивної наслідуваності, наявного і можливого до використання обладнання та оснащення; мінімізація собівартості виготовлення з врахуванням відповідності матеріалів і їх використання (безвідходності); вимоги до простоти та безпеки використовуваних процесів і їх можливості забезпечувати відповідні якісні, естетичні та ергономічні характеристики виробів.

На першому етапі проектування лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів вибирають матеріали, з яких їх слід виготовляти; на другому уточнюють обсяг виробництва, тип і його характер. Далі розроблять декілька варіантів технологічного процесу виготовлення лопатевих гвинтових робочих органів і вибирають кращий з врахуванням собівартості процесу і часу виготовлення.

Матеріали лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів представлено у підрозділі 1.1. При навиванні лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів зі стрічкового матеріалу доцільно використовувати холоднокатаний прокат стандартної товщини (1, 1,5; 2,5; 3 мм) і ширини (30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 125, 250, 400, 500, 600 мм). При потребі можливе використання відмінних від стандартних розмірів стрічок (нарубаних із листового прокату). При навиванні лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів із кутника доцільно використовувати кутники стандартних розмірів 25x25мм; 30x30мм; 35x35мм; 40x40мм; 50x50мм та інші товщиною 2, 2,5; 3 мм, або нестандартних (нарубаних із листового прокату і зігнутих) 20x30мм; 20x40мм; 30x50мм та інші. Для штампування кілець з листового прокату рекомендується його вибір стандартного типорозміру:

- з холоднокатаного листового прокату: 1,0 мм (1,00x2,00); 1,0 мм (1,25x2,50); 1,2 мм (1,00x2,00); 1,2 мм (1,25x2,50); 1,5 мм (1,00x2,00); 1,5 мм (1,25x2,50);

- з гарячекатаного листового прокату: 2,0 мм (1,00x2,00); 2,0 мм (1,25x2,50); 3,0 мм (1,00x2,00); 3,0 мм (1,25x2,50); 3,0 мм (1,50x6,00); 4,0 мм (1,50x6,00).

Для зменшення зусиль при виготовленні лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів і усунення недоцільного схоплювання, утворення задирків, заїдання, прилипання деталей, як роздільне технологічне середовище доцільно використовувати різні види мастил. Зокрема індустріальні марок И-20, И-20А, И-40, И-50 чи більш ефективних але дорожчих синтетичних силіконових марок ПМС-20 і ПМС-50 з низькою в'язкістю та кращою проникненістю, які мають вищу текучість, добре прилягають до поверхні і не реагують на низькі і високі

температури. Також доцільно використовувати силіконові мастила у вигляді аерозолей, позаяк для їх нанесення на оброблювану поверхню не потрібне використання додаткового устаткування. Проте слід враховувати те, що силіконові мастила мають високу водостійкість, а відтак важко змиваються з поверхонь деталей водою та іншими розчинниками. Тому для подальшого нанесення на лопатеву гвинтову поверхню лакофарбових матеріалів необхідно для видалення силікону використовувати різні спиртові розчини, ацетон тощо.

При розробці процесів виготовлення лопатевих гвинтових робочих органів аналізуються базові показники технологічності та конструктивної складності способів їх виготовлення [36]. Технологія виготовлення лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів суттєво впливає на їх техніко-економічні показники і забезпечується використанням різних способів. Технологічні особливості конструктивних параметрів лопатевих спіралей змішувачів, які виготовлені різними способами з листового прокату, стрічки чи Г-подібного профілю (кутника), представлено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Технологічні особливості конструктивних параметрів лопатевих спіралей змішувачів виготовлених різними способами

№ з/п	Спосіб виготовлення	Коефіцієнт використання матеріалу, $K$	Питома висота витка, ( $b'=B/H$ , де $B$ і $H$ – висота і товщина витка)
1	2	3	4
1.	Штапування кілець з лопатевими елементами відповідного профілю з подальшим їх розгинанням на заданий крок та зварюванням (механічним кріпленням) у спіраль	0,2 - 0,5	1 - 50
2.	Прокатування заготовок різної форми у спіралі на прокатних станах з наступним кріпленням до них лопатевих елементів відповідного профілю виготовлених штапуванням чи вирізанням	0,4 - 0,8	$\leq 3$
3.	Навивання щільним пакетом спіралей по внутрішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок з подальшим вирубання (вирізання) сегментних отворів (вилучень) і калібруванням на заданий крок	0,5 – 0,8	3 - 16

Закінчення таблиці 4.3

1	2	3	4
4.	Навивання щільним пакетом спіралей по внутрішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок з калібруванням на заданий крок і подальшим вирізанням сегментних отворів (вилучень)	0,5 – 0,8	3 - 16
5.	Розрізання торцевої частини заготовки Г-подібного профілю з подальшим навиванням на оправу її внутрішньою суцільною циліндричною частиною та калібруванням (за необхідності) спіралі Г-подібної форми на заданий крок	0,98 – 1,0	2 - 25
6.	Вирубування (вирізання) на торцевій частині заготовки Г-подібного профілю сегментних отворів (вилучень) з подальшим навиванням на оправу її внутрішньою суцільною циліндричною частиною та калібруванням (за необхідності) спіралі Г-подібної форми на заданий крок	0,7 – 0,95	2 – 30

#### 4.3. Технологічне проектування гвинтових U-подібних транспортно-технологічних робочих органів сільськогосподарської техніки

На даний час гвинтові робочі органи широко використовуються не лише за основним призначенням для транспортування вантажів, а й у якості технологічних робочих органів при виконанні різноманітних операцій, таких як подавання, змішування, калібрування, дозування, нагнітання, подрібнення тощо [20]. Зокрема у сільськогосподарському виробництві вони широко використовуються у якості поперечних транспортно-очисних засобів для переміщення і очищення від землі, вороху та непотрібних решток коренебульбоплодів. Зокрема з метою підвищення очищувальних можливостей коренебульбоплодів, овочів та фруктів гвинтові транспортно-технологічні робочі органи (ГТТРО) виготовляють із ексцентричним зміщенням осей обертання, еліпсо-конусної або ступінчатої форми тощо.

З метою покращення функціональних можливостей таких ГТТРО розроблено ряд способів виготовлення U-подібних гвинтових заготовок, на які

отримано патенти України на корисну модель [89, 91, 92]. Розглянемо їх більш детально. На рис. 4.6 представлено схему виготовлення вминань на гвинтовій заготовці, а на рис. 4.7 - рис. 4.9 - схеми навивання гвинтових заготовок при використанні різного формоутворюючого інструменту. Зокрема, на рис. 4.7 зображено спосіб навивання на оправу листа з U-подібними вминаннями, який виконується шляхом згинання листа з U-подібними вминаннями за допомогою клину, на рис. 4.8 - спосіб навивання на оправу листа з U-подібними вминаннями за допомогою суцільного формувального вала, а на рис. 4.9 - за допомогою формувального вала з U-подібними впадинами.

Представлені способи виготовлення ГТТРО реалізується наступним чином. На першій операції (рис. 4.6) на листі 3 під відповідним кутом до його довжини наносяться U-подібні вминання 4 пуансоном 1 в матрицю 2 з необхідним кроком. На другій операції здійснюється навивання на оправу 5 шляхом попереднього закріплення листа 3 з U-подібним вминаннями 4 на оправі 5 гвинтами 6, та закріпленням оправу 5 у привідній опорі 7 та центрі 8. Навивання на оправу 5 листа 3 з U-подібним вминаннями 4 виконується шляхом згинання листа 3 з U-подібним вминаннями 4 за допомогою або клину 9 (рис. 4.7), або формувального вала 9 (рис. 4.8), або формувального вала з U-подібними впадинами 9 (рис. 4.9), на якому U-подібні впадини геометрично відповідають U-подібним вминанням 4, нанесеним на листі 3.

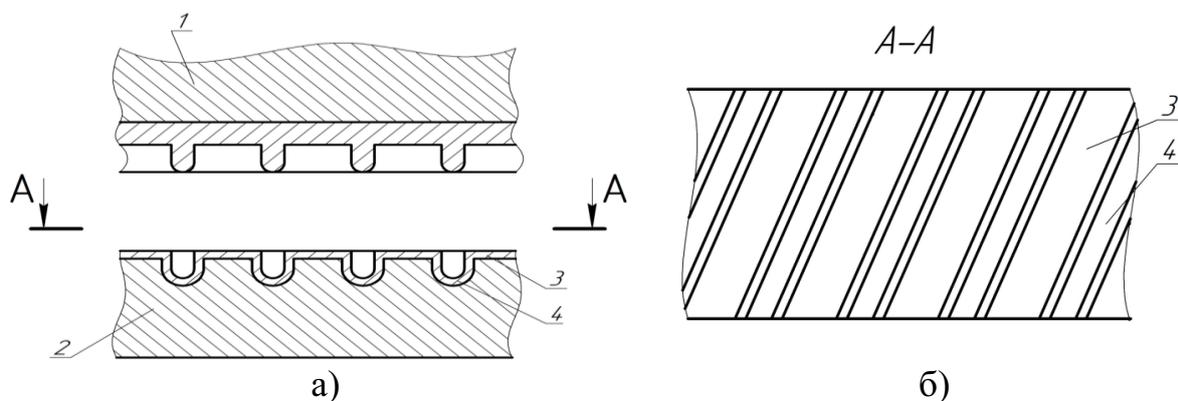


Рис. 4.6. Схема виготовлення вминань на гвинтовій заготовці:  
 а) виготовлення вминань; б) вид А-А

Ширина листа 3 визначається необхідним діаметром гвинтової заготовки, а згинання передбачає накладання суміжних U-подібних вминань 4 одні на

одних з подальшим закріпленням країв листа 3 між собою відомим способом (наприклад зварюванням чи клепаанням).

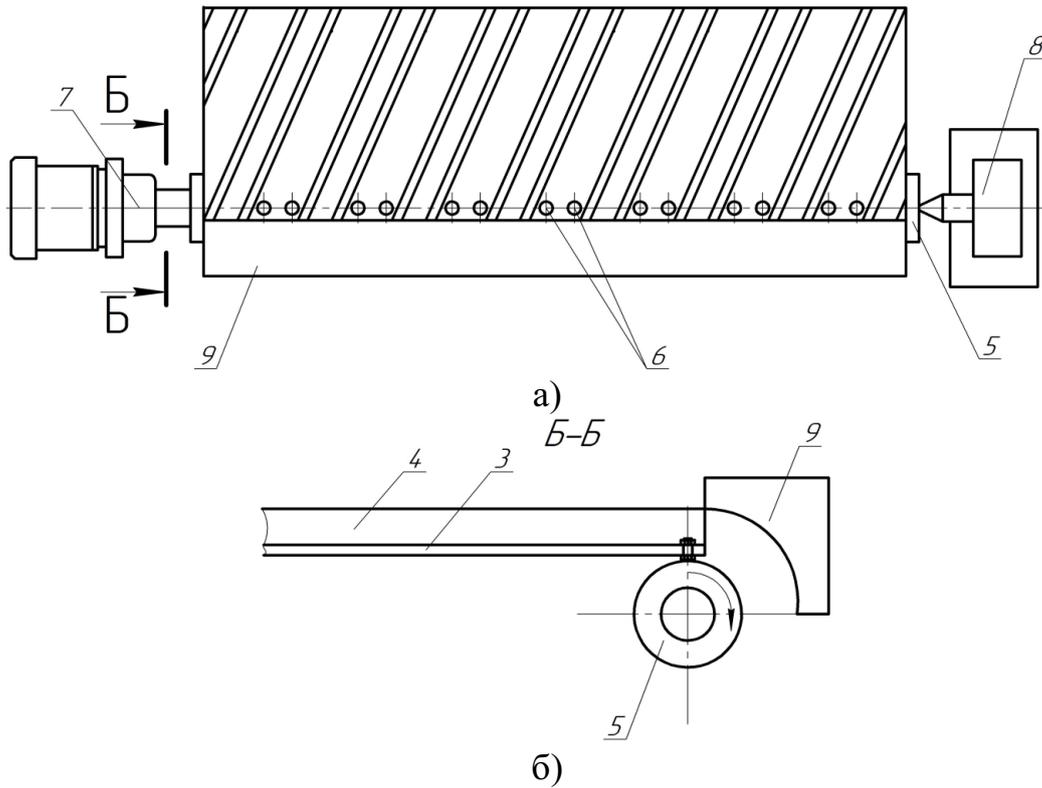


Рис. 4.7. Навивання на оправу листа шляхом його згинання за допомогою клину: а) схема навивання; б) вид Б-Б

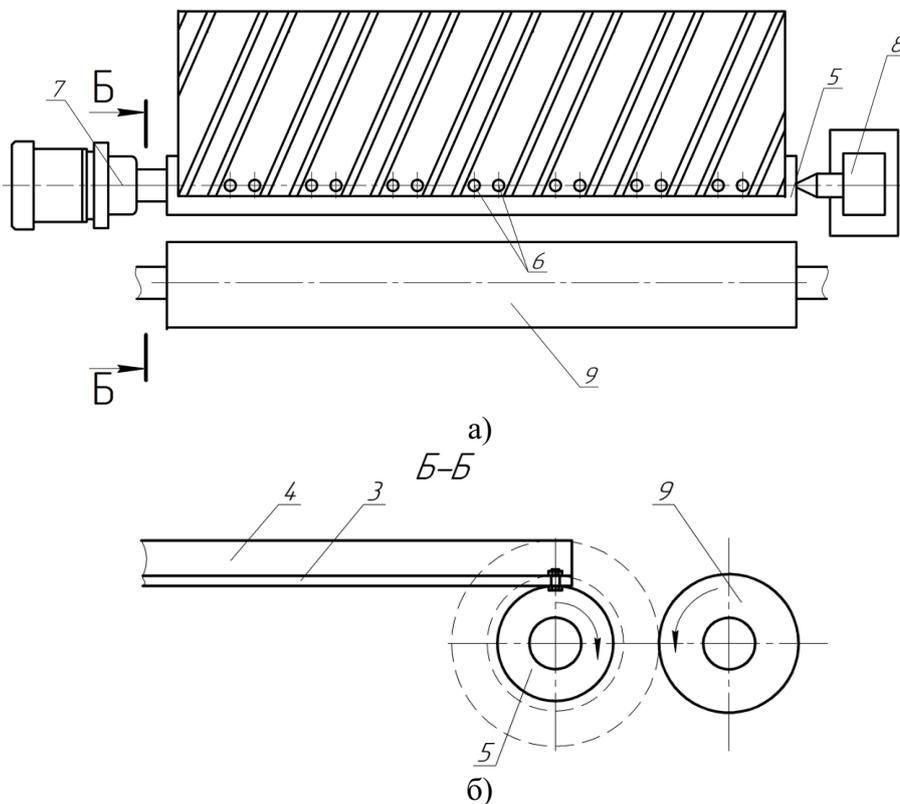


Рис. 4.8. Навивання на оправу листа шляхом його згинання за допомогою суцільного формувального вала: а) схема навивання; б) вид Б-Б

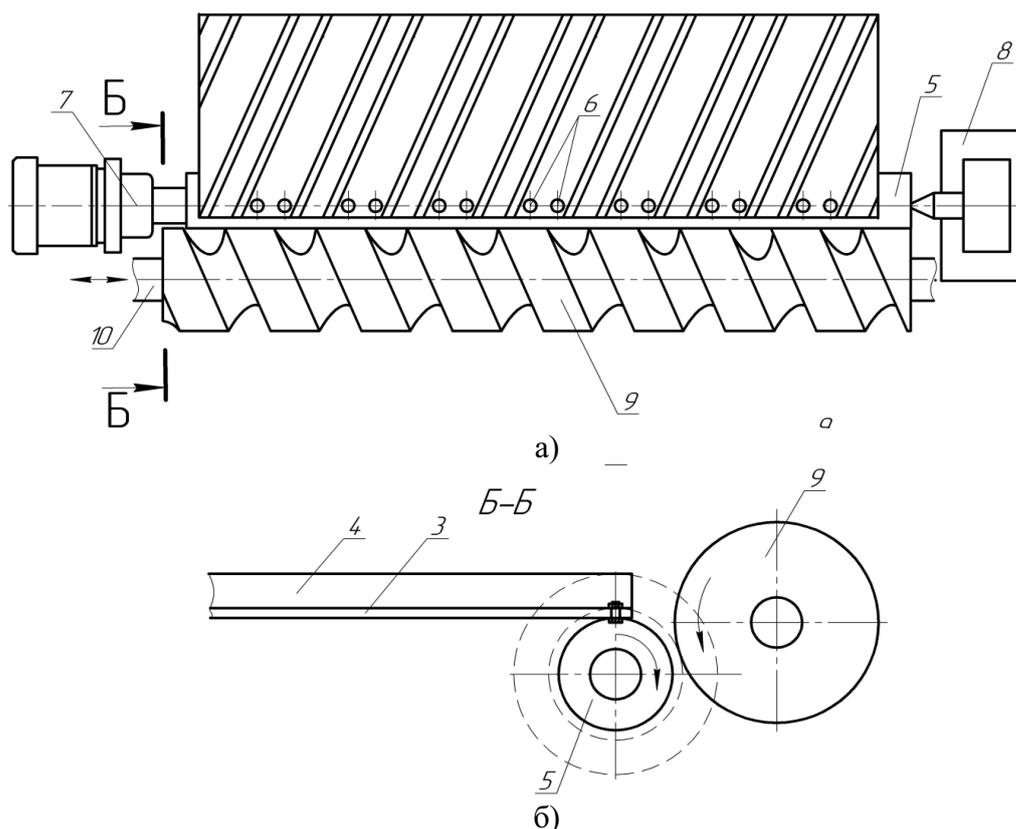


Рис. 4.9. Навивання на оправу листа шляхом його згинання за допомогою формувального вала з U-подібними впадинами:  
а) схема навивання; б) вид Б-Б

Основні конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення U-подібних ГТТРО шляхом: штампуванням і навиванням на оправу листа з U-подібними вмінаннями з допомогою клина, суцільного формувального вала та формувального вала з U-подібними впадинами відображено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Основні конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення U-подібних ГТТРО

№	Ширина листа, мм	Крок витка гвинтової заготовки, мм	Внутрішній діаметр гвинтової заготовки, мм	Товщина листа заготовки, мм	Висота U-подібних вмінань, мм
1	315	70...120	100	0,8...1,5	5...50
2	472	120...180	150	1,0...2,0	5...70
3	630	170...240	200	1,5...2,5	5...90

Також розроблено інші способи виготовлення U-подібних гвинтових заготовок, на які подано заявки на отримання патентів України. Зокрема на рис. 4.10 представлено схему виготовлення гвинтових заготовок шляхом виконання на трубній заготовці U-подібних вмінань, а на рис. 4.11 - схему навивання

ГТТРО U-подібного профілю з прямокутного прокату.

Спосіб виготовлення таких ГТТРО реалізується наступним чином. На першій операції на оправі 1 з U-подібним спіральним виступом 2 закріплюють трубну заготовку 3 (рис. 4.10) чи стрічку прямокутного січення 3 (рис. 4.11) гвинтами 4, а далі оправу 1 з U-подібним спіральним виступом 2 і трубною заготовкою 3 (рис. 4.10) чи стрічкою прямокутного січення 3 (рис. 4.11) закріплюють в привідній опорі 5 та центрі 6. На другій операції здійснюється притискання формувального ролика 7 з U-подібною впадиною 8 до трубної заготовки 3 (рис. 4.10) чи стрічки прямокутного січення 3 (рис. 4.11) і навивання на трубній заготовці 3 (рис. 4.10) чи стрічці прямокутного січення 3 (рис. 4.11) U-подібного спірального виступу 9 по усій її довжині шляхом вмивання за допомогою формувального ролика 7 з U-подібною впадиною 8, яка геометрично відповідає U-подібному спіральному виступу 2 оправы 1. Для ефективного виконання процесу формувальний ролик 7 з U-подібною впадиною 8 виставлений під відповідним кутом, який відповідає кроку U-подібного спірального виступу 2 оправы 1. На третій операції трубну заготовку 3 (рис. 4.10) чи стрічку прямокутного січення 3 (рис. 4.11) з оправою 1 знімають з привідної опори 5 та центра 6. Далі проводять вигвинчування гвинтів 4 і скручування трубної заготовки 3 (рис. 4.10) чи стрічки прямокутного січення 3 (рис. 4.11) з виконаними U-подібними спіральними виступами 9 з U-подібного спірального виступу 2 оправы 1.

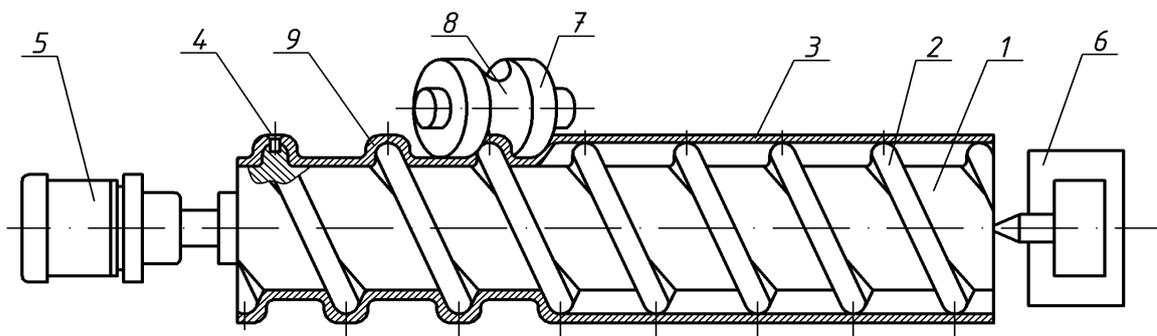


Рис. 4.10. Схема виготовлення гвинтових заготовок шляхом виконання на трубній заготовці U-подібних вмивань

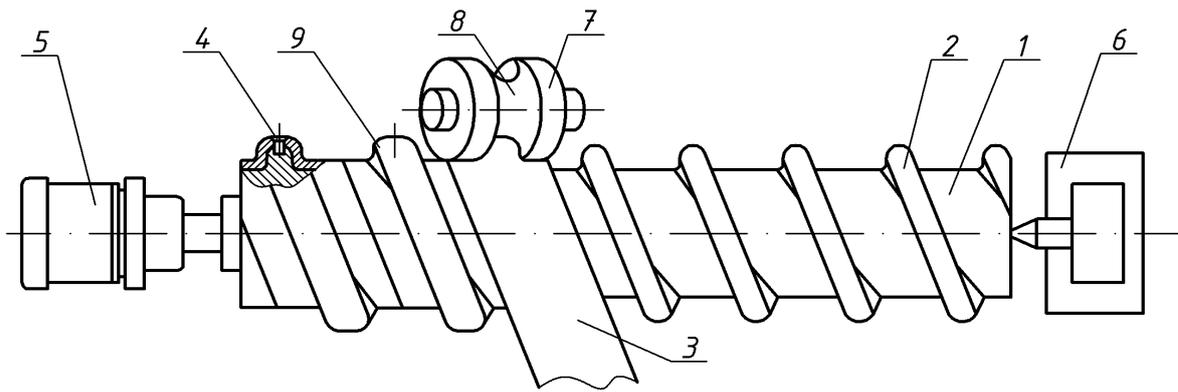


Рис. 4.11. Схема виготовлення гвинтових заготовок шляхом навивання U-подібного профілю з прямокутного прокату

Основні конструктивно-технологічні параметри способу виготовлення гвинтової заготовки шляхом виконання на трубній заготовці U-подібних вминань або навивання спіралі U-подібного профілю з прямокутного прокату, де повздовжня подача ролика чітко відповідає кроку U-подібного спірального виступу оправи, відображено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

Основні конструктивно-технологічні параметри способу виготовлення гвинтових заготовок шляхом виконання на трубній заготовці U-подібних вминань або навивання спіралі U-подібного профілю з прямокутного прокату

№	Частота обертання, оправи, об/хв	Повздовжня подача формувального ролика, мм/об	Крок U-подібного спірального виступу, мм	Діаметр оправи, мм	Товщина заготовки, мм	Висота U-подібних вминань, мм
1	0,083...0,15	70...120	70...120	100	0,8...1,5	5...50
2	0,125...0,225	120...180	120...180	150	1,0...2,0	5...70
3	0,166...0,3	170...240	170...240	200	1,5...2,5	5...90

Основними факторами, які впливають на технологічне проектування U-подібних ГТТРО, є наступні:

- особливості функціонального призначення, що враховують властивості перетворюваних продуктів, і відповідність виконуваним транспортно-технологічним операціям з перетворення й транспортування продуктів (коренебульбоплодів, овочів та фруктів);

- специфіка технологічних процесів, застосування типізації і конструктивна наслідуваність;

- використання уніфікованого і стандартизованого оснащення та обладнання при проектуванні технологічних процесів виготовлення U-подібних ГТТРО;

- відповідність матеріалів (їх вартість і витрати), які застосовуються для виготовлення U-подібних ГТТРО;

- мінімізація собівартості виготовлення та вимоги до простоти та безпечності виконання процесу;

- відповідність естетичним вимогам і ергономічним характеристикам.

Важливими вимогами, що ставляться до U-подібних ГТТРО, є наступні:

- відповідність функціональному призначенню з врахуванням властивостей перетворюваних продуктів (коренебульбоплодів, овочів та фруктів);

- простота і дешевизна конструкції;

- довговічність конструкції ГТТРО, її опірність корозії та зношенню.

При проектуванні U-подібних ГТТРО слід керуватися системою розроблення та поставлення продукції на виробництво (ДСТУ 3278-95, ДСТУ 3973-2000, ДСТУ 3974-2000) і єдиною системою конструкторської документації (ДСТУ ГОСТ 2.601:2006, ДСТУ ГОСТ 2.001:2006), які визначають загальні правила до розробки виробів і конструкторських документів. У [12] представлено базові показники технологічності та конструктивної складності виготовлення спіралей шнеків. Матеріали U-подібних ГТТРО представлено у підрозділі 1.1.

Найдоцільніше застосовувати холоднокатаний прокат у вигляді смуг згідно ДСТУ EN 10139:2019, який регламентує стандартні товщини від 0,1 до 10 мм. Застосовувані нами розміри –1,5; 2,5; 3,5; 4 мм. Стандартна ширина смуг згідно ДСТУ EN 10139:2019: 40, 125, 250, 400, 500, 600 мм. В окремих випадках допускається 650 мм. Для виробництва гвинтових заготовок із U-подібними вминаннями практично застосовувати смуги шириною 80, 125 мм. Даний сортамент поставляється у рулонах чи мірних відрізках.

При потребі використання смуг, відмінних від стандартних розмірів, варто звернути увагу на листовий прокат, який можна порізати на необхідну

ширину на штампах, дискових верстатах чи дискових прокатних станах.

Рекомендована до використання товщина листового прокату із стандартного ряду: 1,20; 1,30; 1,40; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0 мм.

Інші розміри і класифікація гарячекатаного листового прокату, граничні відхилення розмірів та маси гарячекатаного листового прокату згідно ДСТУ 8540:2015, прокат гарячекатаний тонколистовий (до 4 мм).

Для зменшення зусиль при навиванні і як роздільне технологічне середовище, при нанесенні на лист U-подібних вминань пуансоном, доцільно застосовувати відповідні мастила: індустріальні чи силіконові, застосування яких регламентоване ДСТУ 4310:2004 чи ISO 6743-7:86. Застосування мастил усуває схоплювання, задирки, заїдання, прилипання деталей при технологічних операціях формоутворення. Індустріальні мастила марок И-20, И-20А, И-40, И-50 є відносно недорогим рішенням, проте синтетичні силіконові мастила з низькою в'язкістю мають кращу проникність. Вони текучі і добре прилягають до поверхні. Цей матеріал здатний витримати високі навантаження і не реагує на дуже низькі і високі температури. Рекомендовані марки ПМС-20 і ПМС-50.

При підготовчих операціях для виробництва гвинтових заготовок, при нанесенні на лист U-подібних вминань, доцільно застосовувати відповідне пресове обладнання. Залежно від товщини вихідної заготовки можна застосовувати кривошипні преси типу К2116Б, КД2124, КД2128, КД2130; ексцентрикові і кривошипні електромеханічні ПЕ-16, К2118Б; преси-автомати ESSA PLA-15, АВ 6224; гідравлічні П6328Б, НДТ 100, YL41-100, АР 1520/100.

Технологія виготовлення ГТТРО суттєво впливає на їх конструктивні параметри і техніко-економічні показники. Вона забезпечує виготовлення спіралей різними способами, до яких відносять штампування з одночасним чи наступним розгинанням витка і зварювання у спіраль, прокатування смугових заготовок на спеціальних прокатних станах, чи навивання їх на ребро, виготовлення U-подібних вминань на листі штампуванням із подальшим його навиванням на оправу, виконання на трубній заготовці U-подібних вминань, навивання ГТТРО U-подібного профілю з плоскої заготовки тощо. Також існують і інші способи виготовлення ГТТРО з еластичними поверхнями, які не

є дослідженням даної праці. Загалом технологічні особливості конструктивних параметрів ГТТРО виготовлених різними способами з листа чи стрічки представлено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

Технологічні особливості конструктивних параметрів ГТТРО виготовлених різними способами

№ п/п	Спосіб формоутворення	Коефіцієнт використання матеріалу, К	Питома висота витка, ( $b'=B/H$ , де $B$ і $H$ – ширина (висота витка) і товщина заготовки)
1.	Штампуння ГТТРО	0,4 - 0,5	Необмежена
2.	Прокатування ГТТРО з прямокутних заготовок	0,55 - 0,98	$\leq 3$
3	Прокатування ГТТРО з трапецієвидних заготовок	0,55 - 0,98	$\leq 3,5$
4	Прокатування ГТТРО з круглого прокату	0,55 - 0,98	$\leq 1,5$
5.	Навивання ГТТРО по внутрішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок	0,9 – 1,0	2 - 16
6.	Навивання ГТТРО по внутрішньому торцевому профілю з трапецієвидних заготовок	0,9 – 1,0	2 - 21
7.	Навивання ГТТРО по внутрішньому торцевому профілю з круглого прокату	0,9 – 1,0	0,8 – 3
8.	Навивання ГТТРО із заготовок з вирізом по внутрішньому діаметрі	0,85 - 0,95	15 - 30
9.	Навивання ГТТРО по зовнішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок	0,9 – 1,0	2 - 19
10	Навивання ГТТРО по зовнішньому торцевому профілю з круглого прокату	0,9 – 1,0	0,8 – 3,4
11.	Навивання ГТТРО із заготовок з вирізом по зовнішньому діаметрі	0,5 – 0,9	15 - 30
12.	Виготовлення ГТТРО штампуванням і навиванням на оправу листа з U-подібними вмиваннями	1,0	6,25 - 36
13.	Виготовлення ГТТРО шляхом виконання на трубній заготовці U-подібних вмивань	1,0	6,25 - 36
14.	Навивання ГТТРО U-подібного профілю з прямокутних заготовок	1,0	6,25 - 36

Відпрацювання конструкції ГТТРО на технологічність рекомендують виконувати у такій послідовності. На початку підбирають і аналізують вихідні матеріали. Далі уточнюють обсяг випуску, тип і характер виробництва. Потім аналізують показники технологічності проєктованого ГТТРО і собівартості його виготовлення й розробляються заходи з їх покращення. Можна спрогнозувати, що U-подібні ГТТРО, виготовлені запропонованими способами у порівнянні з раніше відомими, володітимуть вищою якістю, експлуатаційною надійністю і довговічністю.

#### **4.4. Техніко-економічне обґрунтування способів виготовлення шнекових спіралей оснащених лопатевими, різальними та подрібнювальними елементами**

Виготовлення додаткових елементів на спіралях шнеків (лопатевих, різальних і подрібнювальних) вимагає реалізації цілого ряду операцій. Існують різні технологічні способи отримання цих елементів, які значно відрізняються між собою і залежать від серійності, задіяного інструментарію, обладнання і рівнем механізації [13, 15, 17, 94].

В роботі [15] опрацьовано послідовність технологічних операцій при виготовленні елементів (лопатевих, різальних і подрібнювальних) на спіралях шнеків двома основними способами, які передбачають значну частку ручної роботи з залученням елементів механізації.

Перший передбачає навивання спіралі незначної висоти з подальшим свердлінням на її торцевій поверхні (спіраль не калібрована і піддається обробці щільний пакет) кріпильних отворів (у разі механічного кріплення елементів), подальше її калібрування на потрібний крок і закріплення на валу. Цей спосіб передбачає індивідуальне отримання необхідних (лопатевих, різальних і подрібнювальних) елементів (як правило, з листового прокату) вирубуванням (вирізанням), з виготовленням на їх торцевій поверхні кріпильних отворів (у разі механічного кріплення елементів). Остання операція – кріплення (лопатевих, різальних і подрібнювальних) елементів на

спіралі механічним або зварним з'єднанням. Цей спосіб доцільно використовувати в дрібносерійному виробництві і він є низькопродуктивним.

Другий спосіб передбачає навивання спіралі щільним пакетом з подальшим штампуванням (вирубубанням, вирізанням) вилучень відповідної форми з її поверхні, що дозволяє отримати на поверхні шнека потрібні елементи. Далі виконується операція калібрування спіралі на потрібний крок, її виставлення та закріплення на валу. Після цього, якщо існує потреба у вигинанні елементів на спіралі шнека (лопатових, різальних і подрібнювальних) для забезпечення їх функціонального призначення, проводиться формування їх необхідного профілю. Наведений спосіб також доцільно використовувати в дрібносерійному виробництві і він є низькопродуктивним і трудомістким.

Також існує спосіб виготовлення елементів (лопатових, різальних і подрібнювальних) на наперед навитих і відкаліброваних спіралях шнеків, який виконується з використанням ручного інструменту і передбачає вирізання на зовнішній крайці спіралі елементів потрібної форми і наступне їх вигинання у потрібному напрямку. Проте такий спосіб можна застосовувати лише в одиничному виробництві, він є досить трудомістким і не забезпечує високої точності виготовлення.

Конструктивно-технологічні параметри наведених способів [15] виготовлення навивних шнекових спіралей оснащених лопатовими, різальними та подрібнювальними елементами, представлено у таблиці 4.2.

В праці [94] розроблено механізовані способи виготовлення ножів-подрібнювачів та лопатових елементів на спіралях шнеків з використанням оригінального калібрувально-загинального інструменту (формувальних втулок), які можуть виконуватись на токарно-гвинторізних чи інших верстатах.

Перший передбачає виконання наступної серії технологічних операцій. Після навивання шнекової спіралі проводиться розрізання її зовнішньої торцевої поверхні зі встановленим кроком на відповідну глибину. Далі проводиться закріплення і введення у вихідний робочий стан формувальних елементів (оправки і ролика з формувальними втулками зі спеціальними профілями) та спіралі шнека, після чого при наданні обертового руху

шпинделю та руху подачі супорту з їх допомогою реалізується процес формоутворення ножів-подрібнювачів на спіралі шнека шляхом їх загинання у відповідні вирізи формувальної втулки оправки виступами формувальної втулки ролика. По завершенню процесу формоутворення ножів-подрібнювачів проводиться калібрування спіралі шнека на потрібний крок відомим способом. Цей спосіб потребує чіткого співпадання профілю формувальних поверхонь інструментів.

Другий передбачає виготовлення лопатевих спіралей і його здійснення є подібним до попереднього способу, з різницею у профілях торцевих поверхонь формувальних елементів, та конструкцією самого ролика, який забезпечує зворотно-поступальний рух загинального інструменту. Зворотно-поступальний рух загинального інструменту (ролика) дозволяє, на відміну від попереднього способу, проводити технологічний процес загинання елементів (лопатевих, різальних і подрібнювальних) на спіралях шнеків без точного співпадання елементів профілю (заглиблень та виступів) загинальних інструментів. Крім того, конструкція ролика може містити як загинальний пуансон (без кругового обертання), так і формувальну втулку (з круговим обертанням).

Недоліком представлених способів є поступове, в процесі виготовлення, накладання виготовлюваних елементів (лопатевих, різальних і подрібнювальних) один на одній, що призводить до поступового зменшення вигнутого профілю на наступних елементах та втрати їх заданої геометричної форми.

У таблиці 4.7 представлені конструктивно-технологічні параметри способів [94] виготовлення ножів-подрібнювачів та лопатевих елементів на спіралях шнеків з використанням формувальних втулки та оправки (оснащених спеціальними профілями).

Також було розроблено технологічний процес виготовлення ножів-подрібнювачів [13] на спіралях шнеків механізованим способом, який усуває основні недоліки попередніх способів, і забезпечує їх виготовлення із значно якіснішими характеристиками.

Таблиця 4.7

Конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення ножів-подрібнювачів та лопатевих елементів на спіралях шнеків

№	Частота обертання, оправы, об/хв.	Повздожня подача ролика, мм/об.	Діаметр оправы, мм	Висота спіралі, мм	Товщина заготовки, мм	Кут загину ножів-подрібнювачів, град.	Кут загину лопаті, град.
1	10...30	0,8	30...50	30...50	0,8	0...90	1...45
2	7,5...25	1,0	35...75	30...75	1,0	0...90	12...50
3	6...20	1,5	40...100	30...100	1,5	0...90	15...55
4	5...18	2,0	45...150	30...150	2,0	0...90	15...65
5	4...15	3,0	50...250	30...250	3,0	0...90	15...75

Він включає операцію попереднього калібрування спіралі з врахуванням відповідності кроку поздовжній подачі токарного верстату та висоті ножів-подрібнювачів. Далі проводяться операції (можуть проводитись одночасно) проточування та заточування зовнішнього контуру спіралі, яка попередньо закріплена в оригінальній оправці цангового типу на токарно-гвинторізному верстаті.

Після виконання даних операцій оправка цангового типу із закріпленою на ній оброблюваною спіраллю шнека закріплюється в патроні ділильної головки та допоміжному центру горизонтально-фрезерного або круглошліфувального верстата, на якому проводиться розрізання зовнішнього контуру спіралі на встановлену ширину та глибину по усій її довжині з подальшим повторенням процесу (при провертанні патрона ділильної головки на кут, що відповідає кроку розташування виготовлюваних елементів на спіралі), аж до виготовлення усіх заготовок під ножі-подрібнювачі на зовнішній поверхні спіралі.

Наступна операція – загинання заготовок під ножі-подрібнювачі на необхідний кут з допомогою формувального ролика (може проводитись одночасно з попередньою операцією на горизонтально-фрезерному або круглошліфувального верстаті, або на токарно-гвинторізному верстаті).

Остання операція передбачає калібрування оснащеної ножами-подрібнювачами спіралі на потрібний крок.

В таблиці 2.1 відображено конструктивно-технологічні параметри

операцій проточування та заточування зовнішньої крайки шнекової спіралі, а у таблиці 2.2 операції розрізання і загинання елементів (ножів-подрібнювачів) на спіралі шнека [13].

Аналізуючи проведені дослідження [15], можна зробити припущення, що наведені способи виготовлення додаткових елементів (лопатевих, різальних і подрібнювальних) на спіралях шнеків, що виготовлені навиванням, є значно дешевшими (приблизно в 4...6 разів) у порівнянні із способами, які використовують операції штампування кілець з додатковими елементами з їх подальшим розгинанням та зварюванням чи прокатування з подальшим кріпленням цих елементів. Тож зосередимось на проведенні техніко-економічного обґрунтування способів виготовлення шнекових спіралей отриманих навиванням і оснащених лопатевими, різальними та подрібнювальними елементами. Для цього розглянемо способи виготовлення на навивних спіралях лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів, які представлено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8

Технологічні способи виготовлення на навивних спіралях лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів

№ п/п	Спосіб виготовлення	Перелік операцій виготовлення на навивних спіралях елементів	Використання матеріалу, %
1	2	3	4
1.	Калібрування спіралі (незначної висоти) і закріплення на ній елементів	1. Свердління кріпильних отворів на торцевій поверхні щільно навитої спіралі. 2. Калібрування спіралі. 3. Роздільна операція (вирубання, вирізання) елементів. 4. Свердлінням кріпильних отворів на торцевій поверхні елементів. 5. Кріплення елементів на спіралі.	30 – 90
2.	Виконання розділювальної операції на щільно навитій спіралі та її калібрування	1. Розділювальна операція (вирубання, вирізання) виготовлення елементів на щільно навитій спіралі. 2. Калібрування спіралі. 3. Формозмінна операція вигинання елементів на спіралі (виконується при потребі).	30 - 90

Закінчення таблиці 4.8

1	2	3	4
3.	Формування необхідного профілю елементів на відкаліброваних спіралі вирізанням і вигинанням	1. Калібрування спіралі. 2. Розділювальна операція вирізання елементів; 3. Формозмінна операція вигинання елементів на спіралі (виконується при потребі).	30 - 90
4.	Часткове розрізання зовнішньої торцевої поверхні щільно навитої спіралі, загинання елементів з використанням формувальних втулки та оправки, з подальшим калібруванням	1. Розділювальна операція часткового розрізання зовнішньої торцевої поверхні щільно навитої спіралі. 2. Загинання елементів з використанням формувальних втулки та оправки (оснащені спеціальними профілями). 3. Калібрування спіралі.	97 - 99
5.	Проточування та заточування зовнішнього контуру попередньо відкаліброваної спіралі, часткове розрізання її зовнішньої торцевої поверхні і загинання на ній елементів, з подальшим калібруванням на потрібний крок	1. Попереднє калібрування спіралі (з врахуванням відповідності кроку поздовжній подачі токарного верстату та висоті ножів-подрібнювачів). 2. Проточування і заточування зовнішнього контуру спіралі. 3. Розділювальна операція часткового розрізання зовнішньої торцевої поверхні спіралі (виготовлення заготовок під елементи) одночасно з формозмінною операцією загинання елементів. 4. Калібрування спіралі.	97 - 99

Вихідні дані для проведення техніко-економічного обґрунтування способів виготовлення на навивних спіралях лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів з табл. 4.8 наведено в таблиці 4.9.

З використанням даних наведених у таблицях 4.8 і 4.9 виконано економічний розрахунок наведених технологічних способів виготовлення на навивній спіралі довжиною 1 м/п (матеріал - сталь 08кп) лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів, при її товщині - 3 мм, висоті - витка - 30 мм (для способу №1 – 16 мм, з подальшим нарощуванням за рахунок 6 елементів

на одному витку до 30 мм), зовнішньому діаметрі - 100 мм, кроку - 90 мм, з процентом використання матеріалу (для способів №1 – №3 наведених в табл. 4.8) - 70% (прийнято вартість відходів у розмірі 5% від вартості матеріалів).

Таблиця 4.9

Вихідні дані для проведення техніко-економічного обґрунтування способів виготовлення на навивних спіралях лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів

Номер способу	Спосіб №1	Спосіб №2	Спосіб №3	Спосіб №4	Спосіб №5
Вихідні дані					
1	2	3	4	5	6
Відходи матеріалів, %	-	30	30	-	-
Обладнання та інструментарій:					
- 1 операція:	Верстат OPTIdrill RB 6T 3009161	Прес КД 2128 і спеціальний штамп	Верстат 16К20 і спеціальне оснащення	Шліф-машина кутова Dnipro-M GL-125S	Верстат 16К20 і спеціальне оснащення
- 2 операція:	Верстат 16К20 і спеціальне оснащення	Верстат 16К20 і спеціальне оснащення	Шліф-машина кутова Dnipro-M GL-125S	Верстат 16К20 і формувальний інструмент	Верстат 16К20 і ріжучий інструмент
- 3 операція:	Прес КД 2128 і спеціальний штамп	Універсальний ручний інструмент	Універсальний ручний інструмент	Верстат 16К20 і спеціальне оснащення	Верстат 6P82 і спеціальний інструмент
- 4 операція:	Верстат OPTIdrill RB 6T 3009161				Верстат 16К20 і спеціальне оснащення
- 5 операція:	Універсальний ручний інструмент				
Розряд робітника:					
- 1 операція:	2	3	4	3	4
- 2 операція:	4	4	2 і 3	5	5
- 3 операція:	3	2 і 3	2 і 3	4	5
- 4 операція:	2				4
- 5 операція:	2 і 3				

Закінчення таблиці 4.9

1	2	3	4	5	6
Тривалість операції, хв.:					
- 1 операція:	3,0	3,0	4,0	6,0	4,0
- 2 операція:	4,0	4,0	120,0	12,0	5,0
- 3 операція:	5,0	90,0	90,0	4,0	3,0
- 4 операція:	22,2				4,0
- 5 операція:	66,7				
Енерг. потужність обладнання, кВт/год.:					
- 1 операція:	0,75	9,0	11,0	1,05	11,0
- 2 операція:	11,0	11,0	1,05	11,0	11,0
- 3 операція:	9,0	-	-	11,0	7,5
- 4 операція:	0,75				11,0
- 5 операція:	-				
Вартість обладнання, тис. грн.:					
- 1 операція:	20,3	100,0	145,0	1,44	145,0
- 2 операція:	145,0	145,0	1,44	145,0	145,0
- 3 операція:	100,0	-	-	145,0	141,6
- 4 операція:	20,3				145,0
- 5 операція:	-				

При виконанні розрахунків загальновиробничі витрати прийнято у розмірі 160% від з/п виробничих робітників, а вартість смуги із прайс-листа ПМП «Рост» від 10.03.2025 р. Для способу №1 використовується смуга висотою 16 мм (2 м/п вартістю 15,48 грн. за м/п) і для проведення роздільної операції виготовлення лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів смуга висотою 30 мм (2 м/п вартістю 28,25 грн. за м/п), а також кріпильні елементи (67 шт. вартістю 0,6 грн./шт.). Для способів №2 – №5 використовується смуга висотою 30 мм (3,25 м/п вартістю 28,25 грн. за м/п).

Також прийнято годинну тарифна ставка у розмірі 48 грн. (для робітника 1-го розряду) згідно нормативних актів на 01.01.2025 р. Прийнято наступні тарифні коефіцієнти: II розряду - 1,09, III розряду - 1,24, IV розряду - 1,35, V розряду - 1,54.

Вартість електроенергії і тариф на розподіл електроенергії, що встановлені для непобутових споживачів в Тернопільській обл. «Укренерго» від 01.01.2025 р. відповідно прийнято у розмірі 2256,66 грн. за 1 МВт-год. без ПДВ та 686,23 грн. за 1 МВт-год. без ПДВ.

Результати проведеного економічного розрахунку виробничої собівартості виготовлення на навивній спіралі довжиною 1 м/п лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів різними способами, викладеними в табл. 4.8, при використанні відомої методики [17] відображено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10

Результати економічного розрахунку виробничої собівартості виготовлення на навивній спіралі довжиною 1 м/п лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів

Елементи витрат, грн.	Спосіб №1	Спосіб №2	Спосіб №3	Спосіб №4	Спосіб №5
Сировина і основні матеріали з врахуванням відходів	127,66	90,5	90,5	91,88	91,88
Зарплата виробничих робітників	155,58	175,06	395,76	25,06	18,5
Енергія на технологічні цілі	5,29	3,48	8,33	8,93	8,11
Загальновиробничі витрати	248,93	280,96	633,22	40,96	29,59
Разом виробнича собівартість	537,46	505,0	1127,81	166,83	148,08

Аналізуючи отримані результати з таблиці 4.10, робимо висновок, що спосіб №5, який передбачає проточування та заточування зовнішнього контуру попередньо відкаліброваної спіралі, з подальшим частковим розрізанням її зовнішньої торцевої поверхні і загинанням на ній елементів та калібруванням на потрібний крок, є найефективнішим з технічного та економічного напрямку. Він забезпечує найвищу точність отримання елементів на спіралях і є найдешевшим. Найбільш наближеним по ефективності до нього є спосіб № 4, який передбачає часткове розрізання зовнішньої торцевої поверхні щільно навитої спіралі, загинання елементів з використанням формувальних втулки та оправки, і її калібрування. Ці обидва способи використовують мінімальну кількість ручної роботи, проте їх використання не є ефективним в одиничному виробництві і доцільне починаючи з дрібносерійного виробництва, позаяк вони

потребують створення спеціального оснащення і формувального інструменту. Перші три способи є високовартісними, низькопродуктивним і трудомісткими, й не забезпечують високої точності виготовлення, проте можуть широко використовуватись в одиничному виробництві.

#### **4.5. Висновки**

1. Обґрунтовано технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки. Розроблено класифікацію спіралей шнеків, яка передбачає їх поділ за способом виготовлення, напрямком руху, формою, профілем і згідно функціонального призначення. Запропоновано пристрої й розроблено способи виготовлення ножів-подрібнювачів та лопатей на гвинтовій заготовці навитій щільним пакетом, і визначено їх основні технологічні та конструктивні особливості.

2. Розроблено способи виготовлення лопатевих гвинтових змішувачів-подрібнювачів з використанням процесів штампування, прокатування і навивання. Визначено технологічні особливості конструктивних параметрів лопатевих спіралей, які виготовлені різними способами з листового прокату, стрічки чи Г-подібного профілю (кутника), а також охарактеризовано найбільш вживані конструкційні та супутні матеріали для їх виготовлення. Встановлено основні конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів-подрібнювачів і визначено основні фактори, які впливають на їх технологічне проектування.

3. Запропоновано нові способи виготовлення U-подібних гвинтових транспортно-технологічних робочих органів шляхом виконання на листі U-подібних вминань і подальшим навиванням його на оправу. Встановлено основні фактори, які впливають на технологічне проектування U-подібних гвинтових транспортно-технологічних робочих органів та визначено основні конструктивно-технологічні параметри виготовлення цих елементів різними способами.

4. Проведено техніко-економічне обґрунтування способів виготовлення шнекових спіралей оснащених лопатевими, різальними та подрібнювальними елементами і встановлено, що найбільш ефективним є розроблений і досліджений в кваліфікаційній роботі спосіб, який передбачає проточування та заточування зовнішнього контуру попередньо відкаліброваної спіралі, часткове розрізання її зовнішньої торцевої поверхні і загинання на ній елементів. Ефективність розроблених конструкцій спіралей шнеків оснащених лопатевими, різальними чи подрібнювальними елементами і способів їх виготовлення підтверджено дев'ятьма патентами України на корисні моделі та актами впровадження у ПП «Хлопівецьке» (Тернопільська обл., м. Копичинці), ТОВ "УНІВЕРСТ ЛТД" з економічним ефектом у 70,3 тис. грн. та частково у ФГ «КРОК ВПЕРЕД 2019», ФГ «ДАРИ ДОЛИНИ».

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У дисертації виконано аналіз і узагальнення результатів досліджень формоутворення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки, проведено теоретичне та експериментальне дослідження, пов'язане із виготовленням ножів-подрібнювачів на спіралях гвинтових елементів, шляхом розроблення технологічного забезпечення та вибору раціональних конструктивно-технологічних параметрів операцій розробленого технологічного процесу.

2. Розроблено технологічний процес виготовлення ножів-подрібнювачів на навитих щільним пакетом на ребро спіралях шнеків з виконанням наступних базових операцій: калібрування навитого щільним пакетом на ребро гвинтового елемента на певний крок; проточування зовнішньої крайки гвинтового елемента; заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента; розрізання зовнішньої крайки гвинтового елемента на певну глибину з відповідним кроком з метою отримання заготовок під ножі-подрібнювачі; загинання ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі на певний кут; гартування ножів-подрібнювачів та зовнішньої частини витків шнека струмами високої частоти з метою підвищення твердості та міцності ріжучих частин шнека (виконується для шнеків виготовлених із вуглецевих та легованих сталей із вмістом вуглецю від 0,35%); калібрування гвинтового елемента з виготовленими ножами-подрібнювачами на встановлений крок. Розроблено схеми проточування та заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента, розрізання зовнішньої крайки гвинтового елемента для отримання заготовок під ножі-подрібнювачі, їх загинання, а також калібрування гвинтового елемента з виготовленими ножами-подрібнювачами на потрібний крок, встановлено конструктивно-технологічні параметри цих операцій.

3. Виведено залежності миттєвої площі, складових сили різання стружки в процесі загострення зовнішньої крайки гвинтового елемента різцем з круглими ріжучими пластинами від конструктивних параметрів інструмента,

ширини зрізаної частини витка гвинтового елемента, відхилень від ідеальної гвинтової поверхні та зовнішнього радіуса витків. 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. 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 1,2 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 40 градусів до 57 градусів. Встановлено, що при збільшенні відхилення гвинтової поверхні  $\Delta T$  в сторону зменшення кроку витків та зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  у сторону зменшення радіуса витка, площа частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається, зменшується, і навпаки, при збільшенні відхилення гвинтової поверхні  $\Delta T$  в сторону збільшення кроку витків та зовнішнього радіуса витків  $\Delta R$  у сторону збільшення радіуса витка, площа частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається збільшується. При цьому приріст площі частини матеріалу гвинтового елемента, що зрізається для відхилення  $\Delta R$  у сторону збільшення радіуса витка у 1,55 менший, ніж для відхилення  $\Delta T$  в сторону збільшення кроку витків.

4. Розроблено динамічну модель заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента різцем із круглими ріжучими пластинами і на основі рівняння Лагранжа другого роду виведено систему диференціальних рівнянь, що дозволяють прогнозувати коливання елементів динамічної моделі. Встановлено, що в момент врізання ріжучої пластини різця у гвинтовий

елемент відбувається стрибкоподібне зростання величини деформації гвинтового елемента до 0,055 мм, ріжучої пластини різця – до 0,034 мм, оправки – до 0,002 мм. Подальша деформація вказаних елементів залежить від зміни сили різання, а отже і від похибок виготовлення та базування заготовки гвинтового елемента. Найбільша швидкість деформації елементів приведеної системи виникає також в момент врізання різця і для гвинтового елемента становить 1,6 мм/с. Найбільше динамічне навантаження на різець досягає величини 2000 Н. Виведена система диференціальних рівнянь із застосуванням чисельного методу розв'язку дозволяє прогнозувати взаємозв'язок параметрів точності, та режимів різання з динамічними параметрами токарного оброблення зовнішньої крайки гвинтового елемента.

5. Проведено дослідження конструктивних та силових параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі:

- встановлено взаємозв'язок кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів із перекриттям  $l_b$  (при налагодженні верстата) зовнішнього радіуса  $R_r$  ролика відносно зовнішнього діаметра  $D$  гвинтового елемента і визначено, що для більших значень величин кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів та висоти  $L_b$  сектора під ножі-подрібнювачі потрібно попередньо налагоджувати більшу величину перекриття  $l_b$  зовнішнього радіуса  $R_r$  ролика відносно зовнішнього діаметра  $D$ . При малих значеннях величини  $l_b$  існує обмеження щодо формування кута  $\beta_b$ , яке знаходиться в межах від 0 до точки, що відповідає мінімальному теоретичному куту  $\beta_{bmin}$  гнуття ножів-подрібнювачів. Зокрема, для  $L_b = 10$  мм  $\beta_{bmin} = 20,41$  град, для  $L_b = 15$  мм  $\beta_{bmin} = 13,69$  град, для  $L_b = 20$  мм  $\beta_{bmin} = 10,29$  град.;

- виведено рівняння для визначення мінімального технологічного кута  $\beta_{bminT}$  гнуття ножів-подрібнювачів, що залежить від мінімальної величини перекриття  $l_{bmin}$  зовнішнього радіуса  $R_r$  ролика відносно зовнішнього діаметра  $D$ , яку можна забезпечити на верстаті, що знаходиться в межах від 0,5 мм до 1 мм і встановлено, що для більших значень висоти  $L_b$  сектора під ножі-подрібнювачі та менших значень товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі-

подрібнювачі можна одержати менші значення мінімальних технологічних кутів  $\beta_{\text{minT}}$  гнуття ножів-подрібнювачів, що знаходяться в межах від 35 град до 41 град.;

- виведено рівняння для знаходження сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів залежно від конструктивних та технологічних параметрів процесу і встановлено, що збільшення кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів, висоти  $L_b$  сектора під ножі-подрібнювачі призводить до зменшення сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів, при цьому збільшення товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі-подрібнювачі та кута сектора під ножі-подрібнювачі призводить до збільшення вказаної сили.

6. Представлено програму і методику проведення експериментальних досліджень для досягнення мети та виконання завдань кваліфікаційної роботи, встановлення адекватності одержаних теоретичних взаємозв'язків конструктивних та силових параметрів процесів формування ножів-подрібнювачів на гвинтовому елементі, практичної реалізації розробленого технологічного процесу та перевірки працездатності спроектованого оснащення та інструментів. Розроблено та практично реалізовано технологічний процес виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків зі спеціально розробленими та виготовленими технологічним оснащенням та інструментами, а також використанням устаткування для вимірювання силових параметрів процесів із застосуванням частотного перетворювача Altivar 71, програмного забезпечення PowerSuite і тензодатчика.

7. Представлено результати експериментальних досліджень та виведені рівняння регресії, що визначають вплив конструктивних та технологічних параметрів, зокрема ширини  $H$  зрізаної частини витка гвинтового елемента, радіуса  $R_1$  ріжучої пластини різця, співвідношення  $k_t$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється до центра круглої ріжучої пластини різця  $k_t=R_1/L_2$  на середні значення тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів у таких межах зміни вхідних факторів:

$0,4 \leq H \leq 1,0$  (мм);  $12 \leq R_1 \leq 20$  (мм);  $1,2 \leq k_t \leq 1,6$ . Встановлено, що максимальне значення тангенціальної  $P_z$  складової сили різання при заточуванні гвинтових елементів становило 2481 Н, а мінімальне – 218 Н. При цьому максимальне значення осьової  $P_x$  складової сили різання становило 1671 Н., а мінімальне – 138 Н. Збільшення ширини  $H$  зрізаної частини витка гвинтового елемента від 0,4 мм до 1,0 мм призводить до зростання тангенціальної  $P_z$  складової сили різання в 5,9 разів та до зростання осьової  $P_x$  складової сили різання в 6,8 разів. Збільшення радіуса  $R_1$  ріжучої пластини різця від 12 мм до 20 мм призводить до зростання тангенціальної  $P_z$  та осьової  $P_x$  складових сили різання в 1,04 рази, а збільшення співвідношення  $k_t$  радіуса ріжучої пластини різця до відстані  $L_2$  між вершиною крайки гвинтового елемента, що загострюється, до центра круглої ріжучої пластини різця від 1,2 до 1,6 призводить до зменшення тангенціальної  $P_z$  складової сили різання в 1,85 рази та до зменшення осьової  $P_x$  складової сили різання в 2,02 рази.

8. Представлено результати експериментальних досліджень сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів від зміни трьох основних факторів: кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів, кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі; товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі-подрібнювачі у таких межах зміни вхідних факторів:  $40 \leq \beta_b \leq 80$  (град);  $20 \leq \theta_s \leq 30$  (град);  $1,8 \leq H_b \leq 2,2$  (мм). Проведено статистичне оброблення даних, виведено емпіричне рівняння, яке сформовано на основі регресії другого порядку, при цьому враховано ефекти взаємодії змінних параметрів на трьох рівнях, що дає можливість адекватно прогнозувати силу  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів. Встановлено, що максимальне значення сили  $P_r$  подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів становило 944 Н., а мінімальне – 141 Н. Збільшення кута  $\beta_b$  гнуття ножів-подрібнювачів від 40 град. до 80 град. призводить до зменшення сили подачі ролика в 2,75 рази. При цьому збільшення кута  $\theta_s$  сектора під ножі-подрібнювачі від 20 град. до 30 град. призводить до збільшення сили подачі ролика в 1,5 рази, а збільшення товщини  $H_b$  матеріалу сектора під ножі-подрібнювачі від 1,8 мм. до 2,2 мм призводить до

збільшення сили подачі ролика в 1,57 рази.

9. Розроблено класифікацію спіралей шнеків, яка передбачає їх поділ за способом виготовлення, напрямком руху, формою, профілем і функціональним призначенням. Розроблено оригінальні способи виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки оснащених ножами-подрібнювачами, лопатями та U-подібних гвинтових транспортно-технологічних робочих органів; визначено їх основні конструктивно-технологічні параметри; запропоновано найбільш придатні конструкційні матеріали для їх виготовлення, а також супутні матеріали (мастила), пресове та інше обладнання. Проаналізовано різні технологічні способи виготовлення на навивних спіралях лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів і встановлено, що найбільш ефективним є розроблений і досліджений в кваліфікаційній роботі спосіб, який передбачає проточування та заточування зовнішньої крайки попередньо відкаліброваного гвинтового елемента, часткове розрізання її зовнішньої торцевої поверхні і загинання на ній елементів. Ефективність розроблених конструкцій спіралей шнеків оснащених лопатевими, різальними чи подрібнювальними елементами і способів їх виготовлення підтверджено дев'ятьма патентами України на корисні моделі та актами впровадження у ПП «Хлопівецьке» (Тернопільська обл., м. Копичинці), ТОВ "УНІВЕРСТ ЛТД" з економічним ефектом у 70,3 тис. грн. та частково у ФГ «КРОК ВПЕРЕД 2019», ФГ «ДАРИ ДОЛИНИ».

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Васильків В. В. Технологічне забезпечення виробництва гвинтових заготовок з листового прокату: дис. кандидата техн. наук : 05.02.08. Тернопіль, 2005. 263 с.
2. Васильків В.В. Розвиток науково-прикладних основ розроблення технологій виробництва гвинтових і шнекових заготовок з використанням уніфікації : дис. ... докт. техн. наук : 05.02.08. Львів, 2015. 470 с.
3. Васильків В.В., Радик Л.Д., Гевко І.Б. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових заготовок з листового прокату. *Міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка") "Наукові нотатки"*. Луцьк, 2004. Вип. 14. С. 12-18.
4. Гвинтовий робочий орган змішувача: пат. 153774 Україна: МПК 65G 33/16. № u202301002; заявл. 13.13.23; опубл. 24.08.23, Бюл.№34. 5 с.
5. Гевко Б. М., Дячун А. Є. Динаміка процесу розточування гвинтових гофрованих заготовок. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. Тернопіль, 2008. Т.13, №1. С. 70-79.
6. Гевко Б. М., Дячун А. Є., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Чвартацький Р. І. Особливості виготовлення гвинтових робочих органів підвищеної надійності і довговічності. *Вісник Харківського національного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2011. Вип. 114. С. 137-141.
7. Гевко Б. М., Новосад І. Я., Дячун А. Є. Динамічна модель профілювання робочих органів гнучких гвинтових конвеєрів при виготовленні і відновленні. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха, 2007. № 91. С. 299-304.
8. Гевко Б.М., Гевко І.Б. Технологія виготовлення деталей шнекових механізмів на штамп-автоматах. *Наукові нотатки: Міжвузівський збірник*. Луцьк: ЛДТУ, 2000. Вип. 7. С. 61-66.
9. Гевко Б.М., Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Драган А.П., Новосад І.Я. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових деталей : монографія. Тернопіль: ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. 367 с.

10. Гевко Б.М., Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Кучвара І.М. Результати експериментальних досліджень з визначення впливу технологічних факторів на конструктивні параметри гвинтових заготовок. *Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей*. Луцьк, 2013. Вип. 24. С. 53-60.

11. Гевко Б.М., Пилипець М.І., Васильків В.В., Радик Д.Л. Технологічні основи формоутворення різнопрофільних гвинтових заготовок деталей машин: монографія. Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2009. 457 с.

12. Гевко І. Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.02. Львів, 2013. 322 с.

13. 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.

14. 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.

15. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Брикса А. О., Стібайло О. Ю., Коваль С. О. Особливості конструкцій і технологічного проектування робочих органів лопатевих гвинтових змішувачів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(39), ч. 2. С. 24–34.

16. 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 : монографія. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 207 с.

17. Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Дячун А. Є., Гупка А. Б., Третьяков О. Л. Технологічне проектування та виготовлення гвинтових транспортно-технологічних робочих органів : монографія. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2025. 457 с.

18. Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Цьонь О. П., Станько А. І. Технологія виготовлення еластичних шнеків. *Збірник наукових праць X Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології у машинобудуванні ОТМЕ-2022»*, м. Івано-Франківськ, Яремче, 1-5 лютого 2022. Івано-Франківськ, 2022. С. 69-71.

19. 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.

20. Гевко І. Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи. *Вісник ТНТУ*, Тернопіль, 2011. Том 16. № 1. С. 69-77.

21. Гевко І., Дубиняк Т., Стібайло О. Проведення експериментальних досліджень з виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків сільськогосподарської техніки. *Збірник матеріалів Міжнародної наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій»*, присвяченої 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 28-29 травня 2025. Тернопіль, 2025. С. 122-123.

22. Гевко І., Дячун А., Стібайло О. Дослідження параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтових робочих органах сільськогосподарської техніки. *Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" присвяченої 125-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка*, м. Київ, 17–18 жовтня, 2025. Київ, 2025. С. 63-66.

23. Гевко І., Дячун А., Стібайло О. Особливості конструкцій і технологічного проектування гвинтових робочих органів сільськогосподарської техніки. *Збірник тез доповідей XXV міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" присвяченої 124-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, 95-й річниці з дня заснування механіко-технологічного факультету НУБіП України*, м. Суми, 17–19 жовтня 2024. Київ, 2024. С. 126-129.

24. Гевко І., Дячун А., Стібайло О. Спосіб виготовлення лопатевих спіралей змішувачів. *Збірник матеріалів XIII Міжнародної наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»*, м. Тернопіль, 11-12 грудня 2024. Тернопіль, 2024. С. 139-140.

25. Гевко І.Б. Визначення конструктивних параметрів гвинтових елементів, виготовлених з круглих профілів. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. 2002. Т 7, № 1. С. 80-87.

26. Гевко І.Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання. Тернопіль: ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. 307 с.

27. Гевко І.Б. До питання моделювання гофрованих гвинтових робочих органів машин. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем*. *Збірник наукових праць*. Краматорськ, 2010. Вип. 26. С. 373-377.

28. Гевко І.Б. Результати експериментальних досліджень з визначення впливу технологічних факторів на конструктивні параметри гвинтових деталей. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем*. *Збірник наукових праць*. Краматорськ, 2008. Вип. 23. С. 202-207.

29. Гевко І.Б., Васильків В.В., Гупка А.Б. Шнекові очисники дискових копачів коренеплодів з Г-подібними спіралями. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка: «Механізація сільськогосподарського виробництва»*. 2015. Вип. 156. С. 519-525.

30. Гевко І.Б., Драган А.П. Методика розрахунку інструментів для формування гвинтових гофрованих робочих органів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. «Механізація сільськогосподарського виробництва». 2007. Вип. № 59, Т. 1. С. 124-128.

31. Гевко І.Б., Драган А.П., Тарасюк Ю.М. Технологічні передумови розрахунку інструментів для формування гвинтових гофрованих робочих органів сільськогосподарських машин. *Сільськогосподарські машини*. *Збірник наукових статей*. Луцьк, 2014. Вип. 29-30. С. 8-14.

32. Гевко І.Б., Лещук Р.Я., Гудь В.З. Технологічні особливості профілювання гвинтових заготовок. *Наукові нотатки*. Луцьк, 2001. Вип. 9. С. 72-76.
33. Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Комар Р.В., Ткаченко І.Г., Гупка А.Б. Технологічне проектування способів виготовлення U-подібних гвинтових поверхонь транспортних труб. *Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий вісник»*. Кропивницький, 2025. Вип. №11(42) II. С. 109-116.
34. Гевко І.Б., Ткаченко І.Г., Нагорняк Г.С., Драган А.П., Влас Н.Є. Обґрунтування економічної ефективності виготовлення гвинтових робочих органів сільськогосподарських машин. *Сільськогосподарські машини*. Луцьк, 2007. Вип. 16. С. 37-44.
35. Гевко Ів. Б., Лещук Р. Я., Пік А. І., Стібайло О. Ю. Спосіб виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки. *Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики* : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. присвяченої 90-річчю Рибка Тимофія Івановича та 60-річчю кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин, м. Тернопіль, 29–30 вересня 2022. Тернопіль, 2022. С. 99-100.
36. Гевко Ів., Клендій В. Технологічність конструкцій гвинтових секційних робочих органів. *Вісник ТНТУ*. 2015. № 3, Т. 79. С. 148-155.
37. Гевко Ів.Б., Гарматюк О.О., Нагорняк Г.С., Гупка А.Б., Гевко О.-М.І. Техніко-економічне обґрунтування вибору способу виготовлення вигнутого профілю на гвинтових спіралях. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві»*. Харків, 2016. Вип. № 168. С. 97-103.
38. Гевко Ів.Б., Гудь В.З., Круглик О.А. Синтез способів навивання спіралей шнеків. *Перспективні технології та прилади*. Луцьк, 2018. Вип. 12. С. 39-47.

39. Гевко Ів.Б., Гупка А.Б., Катрич О.В. Результати експериментальних досліджень процесів виготовлення полицок на гвинтових поверхнях. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця: ВНАУ, 2016. № 1 (93). С. 68 – 73.

40. Гевко Ів.Б., Дячун А.Є., Гупка А.Б., Гупка Б.В., Круглик О.А. Дослідження силових параметрів процесу формоутворення полицки на гвинтовій заготовці. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Технічні системи і технології тваринництва. Технічний сервіс машин для рослинництва»*. 2017. Вип. № 181. С. 305-314.

41. Гевко Ів.Б., Круглик О.А., Гудь В.З., Дубиняк Т.С. Спосіб навивання спіралей шнеків робочих органів сільськогосподарських машин та механізмів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Механізація сільськогосподарського виробництва»*. 2019. Вип. № 198. С. 261-366.

42. Грицай Ю. В. Обґрунтування параметрів комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Тернопіль, ТНТУ. 2020. 200 с.

43. Гудь В. З. Динамічна модель процесу перервного розточування спірального шнека. *Вісник Луцького аграрного університету*. Луцьк, 2003. С. 36-42.

44. Гудь В.З. Механіко-технологічні основи розробки багатофункціональних секційних шнеків для зернового матеріалу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техніч. наук: спец. 05.05.11. Тернопіль, 2021. 44 с.

45. Гупка А. Б., Гевко Ів. Б., Дячун А. Є. Дослідження силових параметрів формоутворення гвинтових очисних елементів. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. Житомир, 2015. Вип. 1, №72. С. 21-26.

46. Гупка А.Б. Технологічне забезпечення виготовлення гвинтових стрічкових заготовок з вигнутим профілем: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08.

Тернопіль, 2016. 201 с.

47. Данильченко Л.М., Гевко І.Б., Драган А.П. Дослідження напружено-деформованого стану в процесі формоутворення гнутих заготовок для гвинтових профілів. *Наукові нотатки*. Луцьк, 2002. Вип. 10. С. 49-57.

48. Драган А. П. Теоретичні передумови технологічного процесу виготовлення гвинтових гофрованих заготовок: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08. Тернопіль, 2007. 183 с.

49. Драган А. П., Дячун А. Є. Динамічна модель процесу розточування гофрованих гвинтових заготовок. *Процеси механічної обробки в машинобудуванні*. Житомир, 2006. № 3. С. 50-55.

50. Душинський В. В. Основи наукових досліджень. Теорія і практикум з програмним забезпеченням : навч. посібник. Київ : НТУУ “КПІ”, 1998. 408 с.

51. Дячун А. Є. Моделювання поверхні гвинтових гофрованих заготовок. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва»*. Х., 2007. №51. С. 326-331.

52. Дячун А. Є. Технологічні основи виготовлення гвинтових гофрованих заготовок методом навивання. *Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей*. Луцьк, 2007. №15. С. 124-129.

53. Дячун А. Є., Гевко І. Б., Стібайло О. Ю., Лещук Р. Я., Комар Р. В. Теоретичне дослідження технологічного процесу оброблення зовнішньої крайки гвинтових елементів сільськогосподарської техніки. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 12(43), ч. 1. С. 115–125.

54. Дячун А. Є., Дзюра В. О., Клендій В. М., Третьяков О. Л. Дослідження методом 3d сканування шорсткості гвинтових поверхонь після процесу ударного зміцнення. *Сільськогосподарські машини*. Луцьк, 2017. №38. С. 66-74.

55. Дячун А.Є. Обґрунтування параметрів технологічного процесу виготовлення профільних гвинтових заготовок: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08. Тернопіль, 2008. 208 с.

56. Коваль С. О., Стібало О. Ю. Особливості виготовлення лопатевих спіралей змішувачів. *Матеріали та програма XI Всеукраїнської наук.-техн. конф. «Сучасні технології у промисловому виробництві»*, м. Суми, 23-26 квітня 2024. Суми, 2024. С. 40-41.

57. Лясота О. М. Технологічне забезпечення виробництва ширококутових профільних гвинтових заготовок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08. Тернопіль, 2008. 21 с.

58. Ляшук О. Л., Дячун А. Є., Клендій В. М., Тесля В. О., Навроцька Т. Д., Радик М. Д. Дослідження динаміки процесу калібрування конічної гвинтової заготовки на крок. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. Харків, 2018. №. 12. С. 74-82.

59. Ляшук О. Л., Дячун А. Є., Третьяков О. Л., Навроцька Т. Д., Круглик О. А. Техніко-економічне обґрунтування процесу виготовлення гвинтових робочих органів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Механізація сільськогосподарського виробництва*. Харків, 2019. Вип. 198. С. 244-251.

60. Ляшук О.Л. Науково-прикладні основи створення транспортно-технологічних механізмів неперервної дії сільськогосподарських машин : дис. ... докт. техн. наук : 05.05.11. Тернопіль: ТНТУ, 2015. 451 с.

61. Ляшук О.Л. Технологічне забезпечення виготовлення деталей тіл обертання з профільного прокату: дис. ... канд техн. наук : 05.02.08. Тернопіль, 2006. 274 с.

62. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Клендій В.М., Третьяков О.Л. Алгоритм зміцнення робочого органа екструдера. *XIX Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка технологія та інженерна освіта»* ( Київ 19 – 22 червня 2018р). Київ, 2018. С. 168–171.

63. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Клендій В.М., Третьяков О.Л. Дослідження силових параметрів процесу зміцнення гвинтових поверхонь робочих органів деформуєчими пуансонами. *Журнал “Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ”*. Івано-Франківськ, 2018. Вип. 1, №66. С. 38–44.

64. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Клендій В.М., Третьяков О.Л. Стендове

обладнання та теоретичне дослідження зміцнення гвинтових поверхонь робочих органів екструдерів. *«Науковий вісник. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів»*. Харків, 2018. Вип. 11. С. 10–19.

65. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Третьяков О.Л. Дослідження деформації заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок пристроєм із декількома різцями. *Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади»*. Луцьк, 2018. Вип. №12. С. 105–111.

66. Ляшук О.Л., Третьяков О.Л., Дмитренко В.П., Колесник О.А. Технологічність конструкцій механізмів гвинтових робочих органів екструдерів. *Збірник наукових статей «Сільськогосподарські машини»*. Луцьк, 2015. Вип. 33. С. 94–101.

67. Мехдрайв: веб-сайт. URL: <https://mehdrive.com/shnekovyi-podribniuvach-hilok/> (дата звернення: 21.10.2024).

68. Навроцька Т.Д. Технологічне забезпечення виготовлення гвинтових секційних робочих органів машин: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08. Тернопіль, 2021. 253 с.

69. Несвідомін А., Пилипака С., Несвідомін В., Воліна Т., Бабка В., Грищенко І. Згинання поверхні обертання у гвинтовий коноїд. *Сучасні проблеми моделювання*. 2025. 27. С. 159-171. <https://doi.org/10.33842/2313-125X-2025-19-159-171>.

70. Новосад І.Я. Технологічне забезпечення виготовлення секцій робочих органів гнучких гвинтових конвеєрів : дис. ... канд техн. наук : 05.02.08. Тернопіль, 2007. 229 с.

71. Павловський М. А. Теоретична механіка. Київ : Техніка, 2002. 512 с.

72. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

73. Паньків В. Р. Обґрунтування параметрів гвинтового конвеєра з

комбінованим робочим органом : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.05.

Тернопіль, ТНТУ. 2018. 232 с.

74. Пилипець М. І. Науково-технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин: дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.08. Львів, 2002. 445 с.

75. Пилипець М. І., Кучвара І. М., Гевко І. Б., Дячун А. Є. Дослідження силових параметрів формоутворення профільних гвинтових елементів сільськогосподарських машин. *Сільськогосподарські машини*. Луцьк, 2015. Вип. 33. С. 116-124.

76. Пилипець М.І., Гевко І.Б., Генік І.С., Комар Р.В. Технологія виготовлення гвинтових деталей різних типорозмірів. *Сільськогосподарські машини*. ЛДТУ, Луцьк, 2000. Вип. 7. С. 120-127.

77. Пилипець М.І., Гевко І.Б., Лещук Р.Я. Дослідження неперервного процесу профілювання гвинтових стрічок. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. Львів, Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2001. Вип. 36. С. 36 -41.

78. Пилипець М.І., Гевко І.Б., Лещук Р.Я., Гудь В.З. Оптимізація параметрів технологічного процесу виготовлення гвинтової заготовки. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. Львів, Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. Вип. 37. С. 52 -58.

79. Пилипець М.І., Гевко І.Б., Назар І.В. Обґрунтування конструкторсько-технологічних параметрів технологічного устаткування і спорядження для виробництва раціональних навивних заготовок. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. Львів, 2003. Вип. 37. С. 59-63.

80. Пристрій для виготовлення лопатей на гвинтовій заготовці: пат. 160881. Україна: МПК В21D11/06. № u202501728; заявл. 18.04.25; опубл. 15.10.25, Бюл. №42. 5 с.

81. Пулька Ч., Сенчишин В., Шарик М. Методика визначення амплітуди коливань електромагнітного вібратора при індукційному наплавленні. *Вісник ТНТУ*. 2011. Том 16. № 4. С. 120-125.

82. 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 : монографія. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 212 с.

83. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дячун А.Є. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : монографія. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 280 с.

84. Сенчишин В. С. Підвищення ефективності індукційного наплавлення шляхом застосування механічної вібрації : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.06. Тернопіль, 2021. 182 с.

85. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок: пат. 157048. Україна: МПК В21Н 3/12, В21D 11/06. № u202400164; заявл. 11.01.24; опубл. 05.09.24, Бюл. №36. 5 с.

86. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок: пат. 157208. Україна: МПК В21Н 3/12, В21D 11/06. № u202400167. заявл. 11.01.24; опубл. 19.09.24, Бюл. № 38. 5 с.

87. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок: пат. 158470. Україна: МПК В21Н3/12, В21D11/06. № 202402777. заявл. 24.05.24; опубл. 13.02.25, Бюл. №7. 7 с.

88. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок: пат. 99244. Україна: МПК В21D11/06. № u201413348. заявл. 12.12.14; опубл. 25.05.15, Бюл. №10. 5с.

89. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок: пат. 152214, Україна. МПК В21D11/06. № u202202071; заявл. 15.06.22; опубл. 09.11.22, Бюл. № 45. 4с.

90. Спосіб виготовлення гвинтових транспортних труб: пат. 158211. Україна: МПК В21D 9/00, В21D 9/10 (2006.01). № u202402778. заявл. 24.05.24; опубл. 09.01.25, Бюл. №2. 5 с.

91. Спосіб виготовлення шнеків: пат. 152212, Україна. МПК В21D11/06. № u202202060; заявл. 15.06.22; опубл. 09.11.22, Бюл. № 45. 5 с.

92. Спосіб виготовлення шнеків: пат. 152213, Україна. МПК В21D11/06. № u202202061; заявл. 15.06.22; опубл. 09.11.22, Бюл. № 45. 4 с.
93. Спосіб виготовлення шнекової заготовки: пат. 131071. Україна: МПК В21D11/06. № u201806077. заявл. 01.06.18; опубл. 10.01.19, Бюл. № 1. 5 с.
94. Стібайло О. Ю. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 10(41). ч. 2. С. 55-64.
95. Часов Д. П. Обґрунтування параметрів шнекового конвеєра з додатковими лопатями для транспортування стружки : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.05. Тернопіль, ТНТУ. 2015. 160 с.
96. Шнек для змішування з еластичною щіткоподібною поверхнею: пат. 157049 Україна: МПК В65G 33/16. № u202400169; заявл. 11.01.24; опубл. 05.09.24, Бюл. №36. 5 с.
97. Шнек для змішування з механічним кріпленням елементів: пат. 153687 Україна: МПК 65G 33/16, 65G 33/26. № u202301003; заявл. 13.03.23; опубл. 10.08.23, Бюл. №32. 5 с.
98. Шнек з механічним кріпленням спіралей: пат. 157050. Україна: МПК В65G 33/26, В65G 33/16. № u202400170. заявл. 11.01.24; опубл. 05.09.24, Бюл. №36. 5 с.
99. Afzala M., Maqboola F., Hajavifardb R., Buhla J., Waltherb F., Vambacha M. Modeling the residual stresses induced in the metastable austenitic stainless steel disc springs manufactured by incremental sheet forming by a combined hardening model with phase transformation. *Procedia Manufacturing*. 2020. 47. P. 1410–1415. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.300>.
100. Ahn K. Plastic bending of sheet metal with tension/compression asymmetry. *International Journal of Solids and Structures*. 2020. 204–205. P. 65–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2020.05.022>.
101. Akyildiz HK, Livatyali H. Prediction and experimental analysis of cutting forces during machining of precision external threads. *Mach Sci Technol*. 2011. 15(4). P. 485–506.

102. Apparatus and method for forming spirally wound stator core or rotary electric: Pat. US6308549 USA: H02K15/02; H02K15/02; application number: US9990440511 19991115; priority numbers: JP19980336156 19981126; 90223588 19990806; publication date: 30.10.01.

103. Arrangement for making spiral stator core for rotating field machine has stopper limiting distance between rollers that gradually reduce magnetic strip thickness from one side to the other Pat US6308549(B1) USA: H02K15/02; H02K15/022; application number DE19991056716 19991125; priority numbers: JP19980336156 19981126; JP19990224501 19990806; JP19990223588 19990806; publication date: 31.05.00.

104. Atlas Engineers: веб-сайт. URL: <https://www.atlasengineers.in/screw-flights> (дата звернення: 20.10.2024).

105. Bin Jiang, Jiao Zhao, Minli Zheng, Tiantian He, Bin Sun. Transient cutting force model in turning large-pitch external thread. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017. V. 98. P. 1–16.

106. Budak E, Ozlu E. Development of a thermomechanical cutting process model for machining process simulations. *Cirp Ann Manuf Technol*. 2008. 57(1). P. 97–100.

107. Cai S, Yao B, Feng W An improved cutting force prediction model in the milling process with a multi-blade face milling cutter based on FEM and NURBS. *Int J Adv Manuf Technol*. 2019. 104(5). P. 2487–2499.

108. Dai H. J., D'Souza N., Dong H. B. Grain Selection in Spiral Selectors During Investment Casting of Single-Crystal Turbine Blades: Part I. Experimental Investigation. *Metallurgical and Materials. Transactions A*. 2011. 4. P. 3430–3438. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11661-011-0760-6>.

109. Diachun A., Vasylyk V., Korol O., Myhailiuk V., Golovaty I., Kuras A. Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. Тернопіль, 2021. № 1(101). С. 68–78.

110. Hevko I., Diachun A., Lyashuk O., Vovk Y., Hupka A. Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile

Turning. *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange. IV. DSMIE 2021*. Springer, Cham., 2021. P. 385-394.

111. Hevko I., Dyachun A., Lyashuk O., Martsenko, Gypka A. Research the force parameters of forming the screw cleaning elements. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2016. 49(1). P. 77–82.

112. 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, No 1. P. 5–15.

113. Hu YJ, Wang ZL, Dong C, Wang Y The cutting force predication based on integration of symmetric fuzzy number and finite element method. *J Vibrat Meas Diagn*. 2014. 34(04). P. 33–40.

114. Ji SH, Liu XL, Li MY Modeling and simulation on milling forces in automobile mould corner. *J Harbin Uni Sci Tech*. 2016. 21(4). P. 50–58.

115. Jiangsu Hualiang Machinery CO: веб-сайт. URL: <https://4176c7d4178c5b81.en.made-in-china.com/product/UdgGfFcoblVa/China-Folding-Type-Spiral-Flight-for-Screw-Conveyor.html> (дата звернення: 21.10.2024).

116. Kase Conveyors: веб-сайт. URL: <https://www.kaseconveyors.com/resources/screw-conveyor-engineering-guide/flight-pitch-types/> (дата звернення: 21.10.2024).

117. Kresan T., Ahmed, A.K., Pylypaka S., Volina T., Voloshko T. Construction of the working surfaces of the tillage screw body from the compartments of the developable helicoid. *Machinery & Energetics*. 2024. 15(3). P. 9-21. doi: 10.31548/machinery/3.2024.09.

118. KWS: веб-сайт. URL: <https://www.kwsmfg.com/component-guide/cut-screw-cut-and-folded-screw/> (дата звернення: 20.10.2024).

119. Li BL. Cutting force prediction based on oblique cutting theory in end milling. *Ch Mech Eng*. 2011. 22(19). P. 2283–2288.

120. Li Zheng Feng, Li Qiang Jiang. Design of combined helical blade manufacturing device. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 753–755. P. 1386–1390. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.753-755.1386>

121. Li ZQ, Liu Q, Yuan SM, Huang KS. Prediction of dynamic cutting force

and regenerative chatter stability in inserted cutters milling. *Chin J Mech Eng.* 2013. 26(3). P. 555–563.

122. Lyashuk O., Rogatynskiy R., Hevko I., Navrotska T., Diachun A. Study of Power Parameters of the Screw Spirals Forming. *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange VII. DSMIE.* Springer Nature Switzerland, 2024. P. 287-298.

123. Lyashuk O., Diachun A., Kuchvara I., Vovk Y., Dzyura V. Study of power parameters of forming profile elliptical screw workpieces. *The International Journal of Integrated Engineering.* 2021. 4(13). P. 142–151. DOI: <https://orcid.org/0000-0002-1801-2419>.

124. Manufacture of molding paired roller spiral ring plate and manufacturing apparatus thereof: Pat JP2001054260 Japan: H02K15/02; H02K15/02; application number: JP19990223532 19990806; priority number: JP19990223532 19990806; publication date: 23.02.01.

125. Manufacturing method for tube with spiral fin, manufacturing apparatus for tube with spiral fin and tube with spiral fin: Pat. JP2003130568 Japan: B3P15/26; B21D11/10; 821D11/14; application number JP20010327204 2001025; priority number JP2001d327204 20011025; publication date: 08.05.03.

126. Matejic M., Dragoi M., Blagojevic M., Filip A., Miletic I. Progressive screw shaft manufacturing technology. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* 2021. 1009. 012038. DOI: [10.1088/1757-899X/1009/1/012038](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1009/1/012038).

127. Minli Zheng, Xiangfu Fu, Zhe Li, Bin Jiang, Xiurui Wang, Junwei Li. Establishment and analysis of a time-varying dynamic model of the large-pitch external thread during high-feed turning process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* 2018. V. 96. P. 2373–2388.

128. Nesvidomin A., Pylypaka S., Volina T., Kalenyk M., Botvinovska S., Hryshchenko I., Spirintsev D., Kolodnenko V., Borodai S., Zakharova I. Mathematical description of bending a surface of revolution into a helical conoid. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2025. 135. P. 30–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.328825>.

129. Nesvidomin A., Pylypaka S., Volina T., Ruzhilo Z., Kozlova O., Shuliak I., Pylypaka T., Kremets Y., Nalobina O., Rebrii A. Mathematical description of winding helicoid section construction based on the predefined structural parameters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. 2(1 (134)). P. 6–12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.324542>
130. Nesvidomin A., Pylypaka S., Volina T., Shtyka Yu., Rybenko I. Optimisation of a developable surface model passing through a helical curve with variable pitch. *Machinery & Energetics*. 2025. 16(2). P. 49-57. doi: 10.31548/machinery/2.2025.49. <https://technicalscience.com.ua/en/journals/t-16-2-2025/optimizatsiya-modeli-rozgortnoyi-poverkhni-yaka-prokhodit-cherez-gvintovu-liniyu-zminnogo-kroku>
131. Peiai L., Baoyu W., Jiapeng W. Numerical Simulation and Experimental Study on Rotary Cold Extrusion Forming of Screw Rod. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 2101, 012017. DOI: 10.1088/1742-6596/2101/1/012017
132. Poulin C., Barrett T., Knezevic M. Inferring post-necking strain hardening behavior of sheets by a combination of continuous bending under tension testing and finite element modeling. *Experimental Mechanics*. 2020. 60. P. 459–473. DOI: [10.1007/s11340-019-00577-1](https://doi.org/10.1007/s11340-019-00577-1).
133. Pylypaka S., Hropost V., Kresan T., Volina T., Semirnenko S. Design of a Helical Shredding Drum Blade and Determination of Its Unfolding. *Advanced Manufacturing Processes VI. Interpartner 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. first Online. 2025. P. 587–595 [https://doi.org/10.1007/978-3-031-82746-4\\_52](https://doi.org/10.1007/978-3-031-82746-4_52)
134. Rogatinskiy 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*. Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2017. No. 2. P. 36–41. <https://doi.org/10.1515/ata-2017-0007>
135. Sanchez Vega L.R., Hanzon D.W. Quantification of large uniaxial Bauschinger effects in sheet metal from pure bending/unbending tests and interferometer techniques. *Int. J. Mech. Sci.* 2016. 118. P. 144–154. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2016.09.017>.

136. Shao-Yi H., Yu-Tuan C., Guan-Fan L. Analysis of Sheet Metal Tapping Screw Fabrication Using a Finite Element Method. *Appl. Sci.* 2016. 6. 300. DOI: <https://doi.org/10.3390/app6100300>.

137. Sitar M., Kosel F., Brojan M. Numerical and experimental analysis of elastic–plastic pure bending and springback of beams of asymmetric cross-sections. *International Journal of Mechanical Sciences.* 2015. 90. P. 77–88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2014.11.006>.

138. Stok B., Halilovic M. Analytical solutions in elasto-plastic bending of beams with rectangular cross section. *Applied Mathematical Modelling.* 2009. 33. P. 1749–1760. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2008.03.011>.

139. Structure and manufacturing method for spiral core: Pat KR20050088800 Korea: EP1709721(A3); application number: KR20040014311 120040303; priority number: KR20040014311 20040303; publication date: 07.09.2005.

140. Vasylykiv V. Features of using air-plasma cutting technology for manufacturing of helical flights and auger billets. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University.* 2023. 2(110). P. 23–32. DOI: [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2023.02.023](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.02.023).

141. Vasylykiv V., Pylypets M., Danylchenko L., Radyk D. Formalized description and synthesis of schemes for shaping helical flights and auger billets based on the componentic methods. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University.* 2021. 4(104). P. 44–57. DOI: [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2021.04.044](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.04.044).

142. Vasylykiv 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 the Ternopil National Technical University.* 2021. 4(104). P. 33–43. DOI: [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2021.04.033](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.04.033).

143. Gurey V., Maruschak P., Hurey I., Dzyura V., Hurey T., Wojtowicz W. Dynamic analysis of the thermo-deformation treatment process of flat surfaces of machine parts. *Journal of Manufacturing and Materials Processing.* 2023. Vol. 7(3).

101.

144. Gurey V., Hurey I., Hurey T., Bartoszek M., Hera R. Modelling of the amplitude response of the process of thermo-deformation treatment of flat surfaces of machine parts. *Smart Innovations in Energy and Mechanical Systems. SIEMS 2025. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2025. Vol. 1480. P. 44-52.

145. Hurey I., Augousti A., Maruschak P., Flowers A., Gurey V., Dzyura V., Prentkovskis O. Influence of process liquids on the formation of strengthened nanocrystalline structures in surface layers of steel parts during thermo-deformation treatment. *Applied Sciences*. 2024. 14(17). 8053.

146. Wengfei P., Wenjing Y., Siji J., Xuedao S., Baoshou S., Liu Y., Lihua Z. Analysis of cross wedge rolling of spiral shaft parts. *Procedia Engineering*. 2014. 81. P. 322 – 327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.171>.

147. Yi L., Pengxiao Z., Cai T., Zhi S. Effect of Lost-Foam Casting Process on Properties of Spiral Blade. Crystals. *Microstructure Characterization and Design of Alloys*. 2022. 12. 1075. DOI: <https://doi.org/10.3390/cryst12081075>.

148. Zhe Li, Xiangfu Fu, Chao Li, Bin Jiang, Minli Zheng. Modeling of instantaneous cutting force for large pitch screw with vibration consideration of the machine tool. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2020. V. 108. P. 3893–3904.

# ДОДАТКИ

## Додаток А

Таблиця А.1

План-матриця проведення повного факторного експерименту  $3^3$  для дослідження сили подачі ролика при гнутті ножів-подрібнювачів та тангенціальної і осьової складових сили різання при заточуванні гвинтових елементів

№ досл.	Рівні факторів				Взаємодія факторів				Параметр оптимізації, У			Середні значення
									повторюваність			
	x <sub>0</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	1	2	3	У <sub>сер.</sub>
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	У11	У12	У13	У1с
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	У21	У22	У23	У2с
3	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	У31	У32	У33	У3с
4	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	У41	У42	У43	У4с
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	У51	У52	У53	У5с
6	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	У61	У62	У63	У6с
7	+1	-1	0	-1	0	+1	0	0	У71	У72	У73	У7с
8	+1	+1	0	-1	0	-1	0	0	У81	У82	У83	У8с
9	+1	0	0	-1	0	0	0	0	У91	У92	У93	У9с
10	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	У10	У10	У10	У10с
11	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	У11	У11	У11	У11с
12	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	У12	У12	У12	У12с
13	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	У13	У13	У13	У13с
14	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	У14	У14	У14	У14с
15	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	У151	У152	У153	У15с
16	+1	-1	0	+1	0	-1	0	0	У161	У162	У163	У16с
17	+1	+1	0	+1	0	+1	0	0	У171	У172	У173	У17с
18	+1	0	0	+1	0	0	0	0	У181	У182	У183	У18с
19	+1	-1	-1	0	+1	0	0	0	У191	У192	У193	У19с
20	+1	+1	-1	0	-1	0	0	0	У201	У202	У203	У20с
21	+1	0	-1	0	0	0	0	0	У211	У212	У213	У21с
22	+1	-1	+1	0	-1	0	0	0	У221	У222	У223	У22с
23	+1	+1	+1	0	+1	0	0	0	У231	У232	У233	У23с
24	+1	0	+1	0	0	0	0	0	У241	У242	У243	У24с
25	+1	-1	0	0	0	0	0	0	У251	У252	У253	У25с
26	+1	+1	0	0	0	0	0	0	У261	У262	У263	У26с
27	+1	0	0	0	0	0	0	0	У271	У272	У273	У27с

Додаток Б  
Одержані патенти



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **153687** (13) **U**  
 (51) МПК  
**B65G 33/16** (2006.01)  
**B65G 33/26** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ  
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: **u 2023 01003**  
 (22) Дата подання заявки: **13.03.2023**  
 (24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: **10.08.2023**  
 (46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: **09.08.2023, Бюл.№ 32**

(72) Винахідник(и):  
**Гевко Іван Богданович (UA),**  
**Лещук Роман Ярославович (UA),**  
**Гурик Олег Ярославович (UA),**  
**Довбуш Тарас Анатолійович (UA),**  
**Довбуш Анатолій Дмитрович (UA),**  
**Мариненко Сергій Юрійович (UA),**  
**Сенчишин Віктор Степанович (UA),**  
**Коваль Сергій Олександрович (UA),**  
**Стібайло Олег Юрійович (UA),**  
**Головко Володимир Васильович (UA)**

(73) Володілець (володільці):  
**Гевко Іван Богданович,**  
 вул. Крушельницької, 6, с. Гаї-Гречинські,  
 Тернопільський р-н, Тернопільська обл.,  
 46016 (UA),  
**Лещук Роман Ярославович,**  
 вул. Лесі Українки, 7, кв. 14, м. Тернопіль,  
 46000 (UA),  
**Гурик Олег Ярославович,**  
 вул. 15 Квітня, 5, кв. 84, м. Тернопіль, 46000  
 (UA),  
**Довбуш Тарас Анатолійович,**  
 вул. Березова, 14-а, кв. 25, м. Тернопіль,  
 46003 (UA),  
**Довбуш Анатолій Дмитрович,**  
 вул. Броварна, 25, кв. 30, м. Тернопіль,  
 46003 (UA),  
**Мариненко Сергій Юрійович,**  
 вул. Шептицького, 111, с. Петриків,  
 Тернопільський р-н, Тернопільська обл.,  
 47720 (UA),  
**Сенчишин Віктор Степанович,**  
 вул. Морозенка, 62, с. Колодне,  
 Тернопільський р-н, Тернопільська обл.,  
 47335 (UA),  
**Коваль Сергій Олександрович,**  
 вул. Шевченка, 3, кв. 12, смт Гусятин,  
 Тернопільський р-н, Тернопільська обл.,  
 48201 (UA),  
**Стібайло Олег Юрійович,**  
 вул. Лесі Українки, 3, кв. 8, м. Львів, 49008  
 (UA),  
**Головко Володимир Васильович,**  
 вул. Пушкіна, 5, кв. 1, м. Тернопіль, 46024  
 (UA)

**UA 153687 U**

(54) ШНЕК ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ З МЕХАНІЧНИМ КРІПЛЕННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ

UA 153687 U

Корисна модель належить до галузі піднімально-транспортних машин і може мати використання в багатьох галузях економіки для транспортування та змішування матеріалів.

Відомий шнек, який виконано у вигляді пустотілого вала, в якому по гвинтовій лінії закріплені елементи [Патент № 142241 Україна "Шнек з еластичною щіткоподібною поверхнею" Гевко Р.Б. та інші. Бюл. № 10, 2020 р.] – найближчий аналог.

Основний недолік найближчого аналога - обмежені технологічні можливості при транспортуванні та змішуванні матеріалів.

Задачею корисної моделі є вдосконалення конструкції шнека для змішування з механічним кріпленням елементів.

Поставлена задача вирішується тим, що у шнеку для змішування з механічним кріпленням елементів, який виконано у вигляді пустотілого вала, в якому по гвинтовій лінії закріплено елементи, згідно з корисною моделлю, елементи закріплено відомим способом в кріпильних отворах спіралі незначної висоти, яку жорстко закріплено на пустотілому валу, крім того, між елементами утворені отвори для просипання та змішування матеріалів.

Шнек для змішування з механічним кріпленням елементів зображено на фіг. 1 і фіг. 2 - розріз по А-А на фіг. 1.

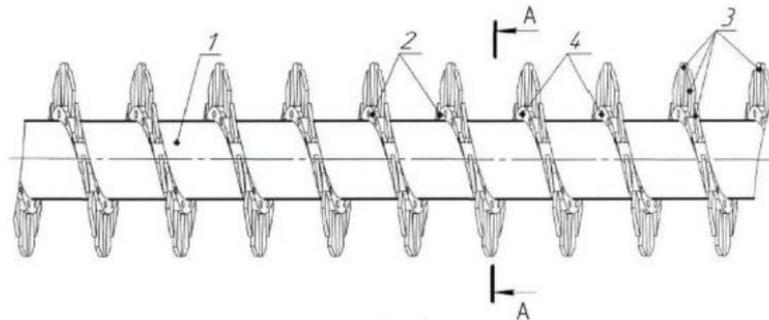
Шнек для змішування з механічним кріпленням елементів виконано у вигляді пустотілого вала 1, в якому по гвинтовій лінії закріплено елементи 3 відомим способом в отворах 4 спіралі незначної висоти 2. Між елементами 3 утворені отвори для просипання та змішування матеріалів 5.

Працює шнек для змішування з механічним кріпленням елементів наступним чином. Матеріали для змішування подаються в зону перевантаження на зовнішню поверхню пустотілого вала 1 і за допомогою елементів 3, закріплених відомим способом в отворах 4 спіралі незначної висоти 2, переміщуються в зону вивантаження. При переміщенні матеріали потрапляють в отвори для просипання та змішування матеріалів 5, що утворені між елементами 3, і інтенсивно змішуються. При цьому існує можливість здійснювати підбір необхідної величини елементів 3 для регулювання отворів для просипання та змішування матеріалів 5 з метою кращого змішування матеріалів.

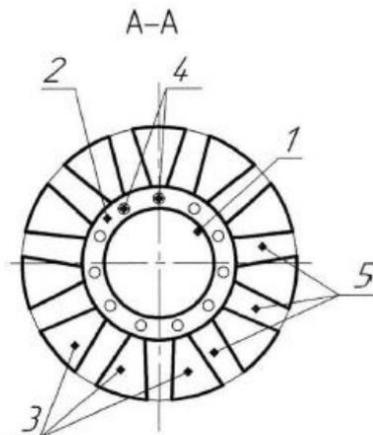
До переваг шнека для змішування з механічним кріпленням елементів належить можливість підбору необхідної величини елементів для регулювання отворів для просипання та змішування матеріалів з метою кращого їх змішування та простота кріплення елементів.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Шнек для змішування з механічним кріпленням елементів, який виконано у вигляді пустотілого вала, в якому по гвинтовій лінії закріплено елементи, який **відрізняється** тим, що елементи закріплено відомим способом в кріпильних отворах спіралі незначної висоти, яку жорстко закріплено на пустотілому валу, крім того, між елементами утворені отвори для просипання та змішування матеріалів.



Фиг. 1



Фиг. 2



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **153774** (13) **U**  
 (51) МПК  
**B65G 33/16** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
 ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ  
 "УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
 ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2023 01002</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>13.03.2023</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>24.08.2023</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>23.08.2023, Бюл.№ 34</b></p>	<p>(72) Винахідник(и):  <b>Гевко Іван Богданович (UA),</b>  <b>Лещук Роман Ярославович (UA),</b>  <b>Окіпний Ігор Богданович (UA),</b>  <b>Довбуш Тарас Анатолійович (UA),</b>  <b>Довбуш Анатолій Дмитрович (UA),</b>  <b>Гурик Олег Ярославович (UA),</b>  <b>Радик Дмитро Леонідович (UA),</b>  <b>Мариненко Сергій Юрійович (UA),</b>  <b>Коваль Сергій Олександрович (UA),</b>  <b>Стібайло Олег Юрійович (UA)</b></p> <p>(73) Володілець (володільці):  <b>Гевко Іван Богданович,</b>      вул. Крушельницької, 6, с. Гаї-Гречинські,      Тернопільський р-н, Тернопільська обл.,      46016 (UA),  <b>Лещук Роман Ярославович,</b>      вул. Лесі Українки, 7, кв. 14, м. Тернопіль,      46000 (UA),  <b>Окіпний Ігор Богданович,</b>      вул. Руська, 54, кв. 16, м. Тернопіль, 46000      (UA),  <b>Довбуш Тарас Анатолійович,</b>      вул. Березова, 14-а, кв. 25, м. Тернопіль,      46003 (UA),  <b>Довбуш Анатолій Дмитрович,</b>      вул. Броварна, 25, кв. 30, м. Тернопіль,      46003 (UA),  <b>Гурик Олег Ярославович,</b>      вул. 15 Квітня, 5, кв. 84, м. Тернопіль, 46000      (UA),  <b>Радик Дмитро Леонідович,</b>      вул. Симоненка, 5, кв. 208, м. Тернопіль,      46016 (UA),  <b>Мариненко Сергій Юрійович,</b>      вул. Шептицького, 111, с. Петриків,      Тернопільський р-н, Тернопільська обл.,      47720 (UA),  <b>Коваль Сергій Олександрович,</b>      вул. Шевченка, 3, кв. 12, смт Гусятин,      Тернопільський р-н, Тернопільська обл.,      48201 (UA),  <b>Стібайло Олег Юрійович,</b>      вул. Лесі Українки, 3, кв. 8, м. Львів, 49008      (UA)</p>
---	---

**UA 153774 U**

(54) **ГВИНТОВИЙ РОБОЧИЙ ОРГАН ЗМІШУВАЧА**

(57) Реферат:

## UA 153774 U

Корисна модель належить до галузі піднімально-транспортних машин і може мати використання в багатьох галузях економіки для транспортування та змішування матеріалів.

Як найближчий аналог вибрано шнек, який виконано у вигляді вала з гвинтом (Гевко Б.М. та інші "Механізми із гвинтовими пристроями. Монографія. Видавництво "Світ", Львів, 1993).

5 Основний недолік - обмежені технологічні можливості при транспортуванні та змішуванні матеріалів.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення конструкції гвинтового робочого органа змішувача.

10 Поставлена задача вирішена шляхом виконання гвинтового робочого органа змішувача у вигляді вала з гвинтом, причому гвинт виконано збірним з двох лопатевих спіралей однакового зовнішнього діаметра та кроку, з яких базову лопатеву спіраль жорстко закріплено на валу, а іншу виконано Г-подібної форми із внутрішньою суцільною циліндричною частиною та зовнішньою спіральною лопатевою частиною, крім того, спіраль Г-подібної форми внутрішньою поверхнею контактує з валом, а торцевою - з базовою лопатевою спіраллю, крім того, спіраль Г-подібної форми на кінцях зафіксовано на валу відомим способом з можливістю повертання відносно вала.

Гвинтовий робочий орган змішувача зображено на фіг. 1 і фіг. 2 - вид по А на фіг. 1.

20 Гвинтовий робочий орган змішувача виконано у вигляді вала 1 з гвинтом 2, який виконано збірним з базової лопатевої спіралі 3 та спіралі Г-подібної форми 4 із внутрішньою суцільною циліндричною частиною 5 та зовнішньою спіральною лопатевою частиною 6. Базова лопатева спіраль 3 та спіралі Г-подібної форми 4 є однаковими по зовнішньому діаметру та кроку. Базову лопатеву спіраль 3 жорстко закріплено на валу 1, а спіраль Г-подібної форми 4 внутрішньою суцільною циліндричною частиною 5 розміщено на валу 1 з можливістю повертання відносно нього. Кінці 7 спіралі Г-подібної форми 4 зафіксовано на валу 1 відомим способом. Крім того, спіраль Г-подібної форми 4 торцевою зовнішньою спіральною лопатевою частиною 6 контактує з базовою лопатевою спіраллю 3.

30 Працює гвинтовий робочий орган змішувача наступним чином. Матеріали для змішування подаються в зону перевантаження на зовнішню поверхню пустотілого вала 1 і за допомогою базової лопатевої спіралі 3 та спіралі Г-подібної форми 4 переміщуються в зону вивантаження. При переміщенні матеріали потрапляють в отвори між лопатями базової лопатевої спіралі 3 та спіралі Г-подібної форми 4 й інтенсивно змішуються. При цьому для інтенсифікації змішування існує можливість здійснювати підбір необхідного зазору між лопатями базової лопатевої спіралі 3 та спіралі Г-подібної форми 4 шляхом повертання спіралі Г-подібної форми 4 відносно вала 1 з подальшою фіксацією її кінців 7 на ньому.

35 До переваг гвинтового робочого органа змішувача належить можливість підбору необхідної величини зазору між лопатями спіралей для інтенсифікації процесу змішування матеріалів і простота конструкції.

## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

40 Гвинтовий робочий орган змішувача, який виконано у вигляді вала з гвинтом, який відрізняється тим, що гвинт виконано збірним з двох лопатевих спіралей однакового зовнішнього діаметра та кроку, з яких базову лопатеву спіраль жорстко закріплено на валу, а іншу виконано Г-подібної форми із внутрішньою суцільною циліндричною частиною та зовнішньою спіральною лопатевою частиною, крім того, спіраль Г-подібної форми внутрішньою поверхнею контактує з валом, а торцевою - з базовою лопатевою спіраллю, крім того, спіраль Г-подібної форми на кінцях зафіксовано на валу відомим способом з можливістю повертання відносно вала.

UA 153774 U

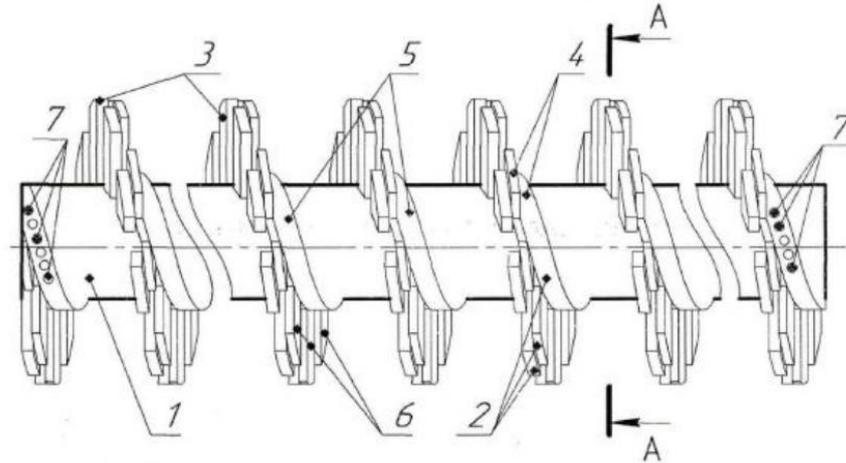


Fig. 1

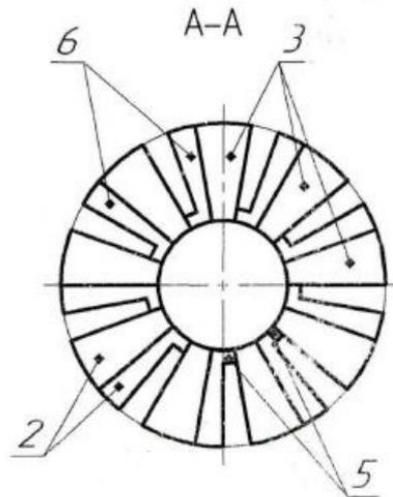


Fig. 2



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **157048** (13) **U**

(51) МПК

**B21H 3/12** (2006.01)**B21D 11/06** (2006.01)**B29C 59/14** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ  
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2024 00164</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>11.01.2024</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>05.09.2024</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>04.09.2024, Бюл.№ 36</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Гевко Іван Богданович (UA), Пік Андрій Іванович (UA), Комар Роман Васильович (UA), Гевко Богдан Романович (UA), Брикса Андрій Олегович (UA), Коваль Сергій Олександрович (UA), Стібайло Олег Юрійович (UA)</b></p> <p>(73) Володілець (володільці): <b>ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)</b></p>
---	---

**(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК****(57) Реферат:**

Спосіб виготовлення гвинтових заготовок здійснюють шляхом нанесення U-подібних вмінань і навівання. Спочатку на оправі з U-подібним спіральним виступом закріплюють трубну заготовку гвинтами, а оправу з U-подібним спіральним виступом - в привідній опорі та центрі, і здійснюють на трубній заготовці навівання U-подібного спірального виступу по усій її довжині шляхом вмінання за допомогою формувального ролика з U-подібною западиною, яка геометрично відповідає U-подібному спіральному виступу оправі, що під відповідним кутом, який відповідає кроку U-подібного спірального виступу оправі, розташовано на осі з можливістю колового обертання та осьового зміщення. Крім цього, довжина трубної заготовки визначається довжиною оправі з U-подібним спіральним виступом.

**UA 157048 U**

UA 157048 U

Корисна модель належить до галузі машинобудування і може мати широке використання в сільськогосподарській та інших галузях машинобудування.

Відомий спосіб виготовлення гвинтових заготовок, який здійснюється шляхом нанесення U-подібних вмивань і навивання (Патент № 6431. Україна. "Спосіб виготовлення гофрованих гвинтових заготовок" Гевко І.Б., Драган А.П., Дячун А.Є. Бюл. № 5, 2005 р.).

Основний недолік способу - обмежені технологічні можливості.

Задачею корисної моделі є вдосконалення способу виготовлення гвинтових заготовок.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі виготовлення гвинтових заготовок, який здійснюють шляхом нанесення U-подібних вмивань і навивання, згідно з корисною моделлю, спочатку на оправі з U-подібним спіральним виступом закріплюють трубку заготовку гвинтами, а оправу з U-подібним спіральним виступом в привідній опорі та центрі, і здійснюють на трубній заготовці навивання U-подібного спірального виступу по усій її довжині шляхом вмивання за допомогою формувального ролика з U-подібною впадиною, яка геометрично відповідає U-подібному спіральному виступу оправу, що під відповідним кутом, який відповідає кроку U-подібного спірального виступу оправу, розташовано на осі з можливістю колового обертання та осьового зміщення, крім цього, довжина трубної заготовки визначається довжиною оправу з U-подібним спіральним виступом.

Спосіб виготовлення гвинтових заготовок представлено на графічному зображенні.

Спосіб виготовлення гвинтових заготовок реалізується наступним чином. На першій операції на оправі 1 з U-подібним спіральним виступом 2 закріплюють трубку заготовку 3 гвинтами 4, а далі оправу 1 з U-подібним спіральним виступом 2 і трубною заготовкою 3 закріплюють в привідній опорі 5 та центрі 6.

На другій операції здійснюється притискання формувального ролика 7 з U-подібною впадиною 8 до трубної заготовки 3 і навивання на трубній заготовці 3 U-подібного спірального виступу 9 по усій її довжині шляхом вмивання за допомогою формувального ролика 7 з U-подібною впадиною 8, яка геометрично відповідає U-подібному спіральному виступу 2 оправу 1. Для ефективного виконання процесу формувальний ролик 7 з U-подібною впадиною 8 виставлений під відповідним кутом, який відповідає кроку U-подібного спірального виступу 2 оправу 1. Довжина трубної заготовки 3 визначається довжиною оправу 1 з U-подібним спіральним виступом 2.

На третій операції трубку заготовку 3 з оправою 1 знімають з привідної опорі 5 та центра 6. Далі проводять вигвинчування гвинтів 4 і скручування трубної заготовки 3, із виконаними U-подібними спіральними виступами 9, з U-подібного спірального виступу 2 оправу 1.

Приклад виконання способу виготовлення гвинтової заготовки, де повздовжня подача ролика повинна відповідати кроку U-подібного спірального виступу оправу, відображено в таблиці.

Таблиця

Приклад виконання способу виготовлення гвинтових заготовок

№	Частота обертання, оправу, об/хв.	Повздовжня подача формувального ролика, мм/об.	Крок U-подібного спірального виступу, мм	Діаметр оправу, мм	Товщина заготовки, мм	Висота U-подібних вмивань, мм
1	0,083-0,15	70-120	70-120	100	0,8-1,5	5-50
2	0,125-0,225	120-180	120-180	150	1,0-2,0	5-70
3	0,166-0,3	170-240	170-240	200	1,5-2,5	5-90

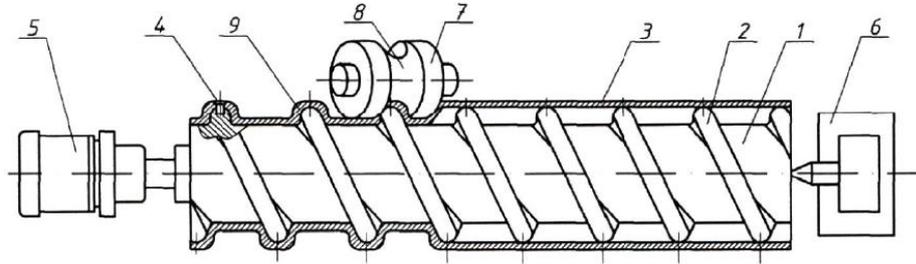
До переваг способу належить розширення технологічних можливостей.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб виготовлення гвинтових заготовок, який здійснюють шляхом нанесення U-подібних вмивань і навивання, який **відрізняється** тим, що спочатку на оправі з U-подібним спіральним виступом закріплюють трубку заготовку гвинтами, а оправу з U-подібним спіральним виступом - в привідній опорі та центрі, і здійснюють на трубній заготовці навивання U-подібного спірального виступу по усій її довжині шляхом вмивання за допомогою формувального ролика з U-подібною западиною, яка геометрично відповідає U-подібному спіральному виступу оправу, що під відповідним кутом, який відповідає кроку U-подібного спірального виступу оправу,

UA 157048 U

розташовано на осі з можливістю колового обертання та осьового зміщення, крім цього, довжина трубної заготовки визначається довжиною оправи з U-подібним спіральним виступом.





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **157049** (13) **U**

(51) МПК

**B65G 33/26** (2006.01)**B65G 33/16** (2006.01)

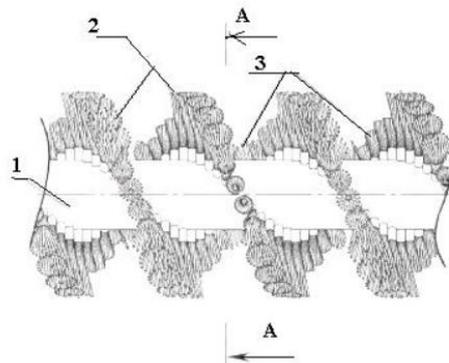
НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ  
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2024 00169</b>	(72) Винахідник(и): <b>Гевко Іван Богданович (UA), Довбуш Тарас Анатолійович (UA), Гевко Богдан Романович (UA), Никеруй Юрій Степанович (UA), Хорошун Роман Васильович (UA), Брикса Андрій Олегович (UA), Коваль Сергій Олександрович (UA), Стібайло Олег Юрійович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>11.01.2024</b>	(73) Володілець (володільці): <b>ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>05.09.2024</b>	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>04.09.2024, Бюл.№ 36</b>	

**(54) ШНЕК ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ З ЕЛАСТИЧНОЮ ЩІТКОПОДІБНОЮ ПОВЕРХНЕЮ****(57) Реферат:**

Шнек для змішування з еластичною щіткоподібною поверхнею виконано у вигляді пустотілого вала, в якому по гвинтовій лінії закріплені еластичні елементи. Еластичні елементи періодично закріплені меншої та більшої висоти відносно пустотілого вала.



Фіг. 1

UA 157049 U

UA 157049 U

Корисна модель належить до галузі піднімально-транспортних машин і може мати використання в багатьох галузях економіки для транспортування та змішування сипких матеріалів.

Відомий шнек, який виконано у вигляді пустотілого вала, в якому по гвинтовій лінії закріплені еластичні елементи (Патент № 142241 Україна "Шнек з еластичною щіткоподібною поверхнею" Гевко Р.Б. та інші. Бюл. № 10, 2020 р.).

Основний недолік аналога обмежені можливості при здійсненні змішування матеріалів.

В основу корисної моделі поставлена задача виконати конструкцію шнека для змішування з еластичною щіткоподібною поверхнею шляхом його виконання у вигляді пустотілого вала.

Поставлена задача вирішується тим, що шнек для змішування з еластичною щіткоподібною поверхнею, який виконано у вигляді пустотілого вала, в якому по гвинтовій лінії закріплені еластичні елементи, згідно з корисною моделлю, еластичні елементи періодично закріплені меншої та більшої висоти відносно пустотілого вала.

Суть корисної моделі пояснюють креслення.

На фіг. 1 і фіг. 2 - вид по А-А на фіг. 1.

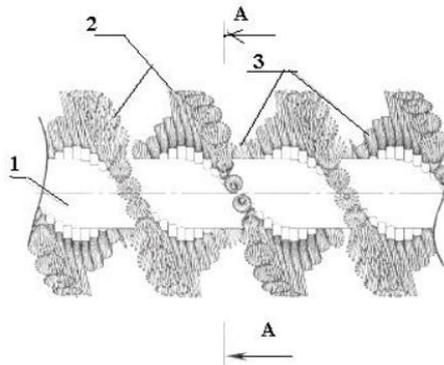
Шнек для змішування з еластичною щіткоподібною поверхнею виконано у вигляді пустотілого вала 1, в якому по гвинтовій лінії періодично закріплені еластичні елементи меншої 2 та більшої 3 висоти переміщуються в зону вивантаження.

Працює шнек для змішування з еластичною щіткоподібною поверхнею наступним чином. Матеріали, які підлягають змішуванню, подаються в зону перевантаження на зовнішню поверхню пустотілого вала 1 і за допомогою еластичних елементів меншої 2 та більшої 3 висоти відносно вала, після чого переміщуються в зону вивантаження. При цьому матеріали при потраплянні у зони еластичних елементів меншої висоти 2 періодично просипаються та інтенсивно змішуються.

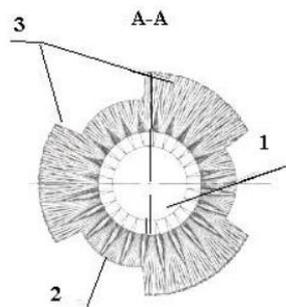
Перевагою шнека для змішування з еластичною щіткоподібною поверхнею є покращення процесу змішування матеріалів за рахунок їх просипання при потраплянні у зони еластичних елементів меншої висоти.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Шнек для змішування з еластичною щіткоподібною поверхнею, який виконано у вигляді пустотілого вала, в якому по гвинтовій лінії закріплені еластичні елементи, який **відрізняється** тим, що еластичні елементи періодично закріплені меншої та більшої висоти відносно пустотілого вала.



Фиг. 1



Фиг. 2



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **157050** (13) **U**

(51) МПК

**B65G 33/26** (2006.01)**B65G 33/16** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ  
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2024 00170</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>11.01.2024</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>05.09.2024</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>04.09.2024, Бюл.№ 36</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Гевко Іван Богданович (UA), Довбуш Тарас Анатолійович (UA), Гевко Богдан Романович (UA), Зяйлик Марія Федорівна (UA), Хорошун Роман Васильович (UA), Брикса Андрій Олегович (UA), Коваль Сергій Олександрович (UA), Стібайло Олег Юрійович (UA)</b></p> <p>(73) Володілець (володільці): <b>ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)</b></p>
---	--

**(54) ШНЕК З МЕХАНІЧНИМ КРІПЛЕННЯМ СПІРАЛЕЙ****(57) Реферат:**

Шнек з механічним кріпленням спіралей виконаний у вигляді пустотілого вала, де по гвинтовій лінії закріплено елементи. Елементи виконано у вигляді спарених планок меншої висоти спіралі, які розташовано між собою на відстані товщини спіралі і закріплено на зовнішній поверхні пустотілого вала. Між спареними планками по гвинтовій лінії встановлено спіраль, яку з обох сторін обмежено стопорними кільцями, що встановлені у виточках пустотілого вала.

**UA 157050 U**

UA 157050 U

Корисна модель належить до галузі піднімально-транспортних машин і може мати використання в багатьох галузях економіки для транспортування матеріалів.

Відомий шнек, що виконано у вигляді пустотілого вала, в якому по гвинтовій лінії закріплені елементи [патент України № 142241 "Шнек з еластичною щіткоподібною поверхнею" Гевко Р.Б. та інші. Бюл. № 10, 2020 р.].

Основний недолік найближчого аналога - складність кріплення спіралей до пустотілого вала і їх заміни.

Задачею корисної моделі є вдосконалення конструкції шнека з механічним кріпленням спіралей.

Поставлена задача вирішується тим, що у шнеку, що виконаний у вигляді пустотілого вала, де по гвинтовій лінії закріплено елементи, згідно з корисною моделлю, елементи виконано у вигляді спарених планок меншої висоти спіралі, які розташовано між собою на відстані товщини спіралі, і які закріплено на зовнішній поверхні пустотілого вала, крім того, між спареними планками по гвинтовій лінії встановлено спіраль, яку з обох сторін обмежено стопорними кільцями, що встановлені у виточках пустотілого вала.

Шнек з механічним кріпленням спіралей зображено на графічному зображенні.

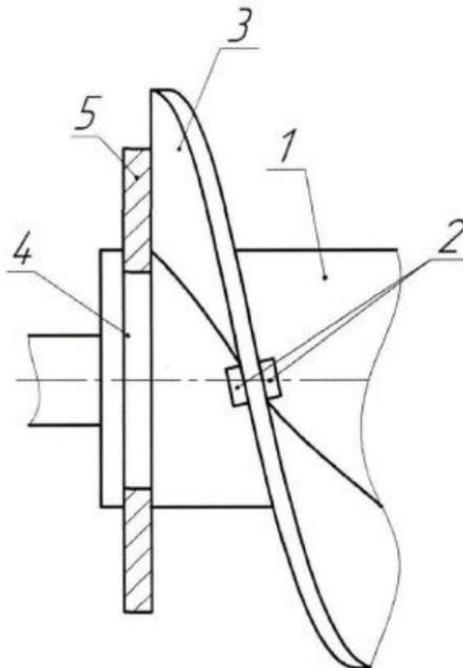
Шнек з механічним кріпленням спіралей виконаний у вигляді пустотілого вала 1, на зовнішній поверхні якого по гвинтовій лінії відомим способом закріплені спарені планки 2 меншої висоти спіралі 3. При цьому відстань між спареними планками 2 відповідає товщині спіралі 3. Між спареними планками 2 по гвинтовій лінії встановлена спіраль 3, яка з обох сторін обмежена стопорними кільцями 5, що встановлені у виточках 4 пустотілого вала 1.

Працює шнек з механічним кріпленням спіралей наступним чином. Транспортований матеріал подається в зону перевантаження на зовнішню поверхню пустотілого вала 1 і за допомогою спіралей 3 переміщується в зону вивантаження. При необхідності заміни спіралі 3 з виточки 4 знімається стопорне кільце 5. Далі проводиться вигвинчування зі спарених планок 2 старої спіралі 3 і загвинчування на її місце нової. Після проведеної операції заміни спіраль 3 на пустотілому валу 1 фіксується стопорним кільцем 5, яке вставляється у виточку 4.

До переваг шнека з механічним кріпленням спіралей належить простота кріплення спіралей до пустотілого вала і їх заміни.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Шнек з механічним кріпленням спіралей, що виконаний у вигляді пустотілого вала, де по гвинтовій лінії закріплено елементи, який **відрізняється** тим, що елементи виконано у вигляді спарених планок меншої висоти спіралі, які розташовано між собою на відстані товщини спіралі і закріплено на зовнішній поверхні пустотілого вала, крім того, між спареними планками по гвинтовій лінії встановлено спіраль, яку з обох сторін обмежено стопорними кільцями, що встановлені у виточках пустотілого вала.





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **157208** (13) **U**

(51) МПК

**B21H 3/12** (2006.01)**B21D 11/06** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ  
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2024 00167</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>11.01.2024</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>19.09.2024</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>18.09.2024, Бюл.№ 38</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Гевко Іван Богданович (UA), Пік Андрій Іванович (UA), Комар Роман Васильович (UA), Гевко Богдан Романович (UA), Брикса Андрій Олегович (UA), Коваль Сергій Олександрович (UA), Стібайло Олег Юрійович (UA)</b></p> <p>(73) Володілець (володільці): <b>ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)</b></p>
---	---

**(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК****(57) Реферат:**

Спосіб виготовлення гвинтових заготовок здійснюють шляхом нанесення U-подібних вмивань і навівання. Спочатку на оправі з U-подібним спіральним виступом закріплюють стрічку прямокутного перерізу гвинтами, а оправу з U-подібним спіральним виступом закріплюють в привідній опорі та центрі. Здійснюють на стрічці прямокутного перерізу навівання U-подібного спірального виступу по усій її довжині шляхом вмивання за допомогою формувального ролика з U-подібною западиною, яка геометрично відповідає U-подібному спіральному виступу оправі, що під відповідним кутом, який відповідає кроку U-подібного спірального виступу оправі, розташовано на осі з можливістю колового обертання та осьового зміщення. Довжину стрічки прямокутного перерізу визначають довжиною оправі з U-подібним спіральним виступом.

**UA 157208 U**

UA 157208 U

Корисна модель належить до галузі машинобудування і може мати широке використання в сільськогосподарській та інших галузях машинобудування.

Відомий спосіб виготовлення гвинтових заготовок, який здійснюють шляхом нанесення U-подібних вмінань і навівання (Патент України № 6431, "Спосіб виготовлення гофрованих гвинтових заготовок" Гевко І.Б., Драган А.П., Дячун А.Є. Бюл. № 5, 2005 р.).

Основний недолік способу - обмежені технологічні можливості.

В основу корисної моделі поставлена задача, що полягає у вдосконаленні способу виготовлення гвинтових заготовок.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі виготовлення гвинтових заготовок, при якому здійснюють шляхом нанесення U-подібних вмінань і навівання, згідно з корисною моделлю, спочатку на оправі з U-подібним спіральним виступом закріплюють стрічку прямокутного перерізу гвинтами, а оправу з U-подібним спіральним виступом закріплюють в привідній опорі та центрі, і здійснюють на стрічці прямокутного перерізу навівання U-подібного спірального виступу по усій її довжині шляхом вмінання за допомогою формувального ролика з U-подібною впадиною, яка геометрично відповідає U-подібному спіральному виступу оправі, що під відповідним кутом, який відповідає кроку U-подібного спірального виступу оправі, розташовано на осі з можливістю колового обертання та осьового зміщення, крім цього, довжина стрічки прямокутного перерізу визначається довжиною оправі з U-подібним спіральним виступом.

Спосіб виготовлення гвинтових заготовок представлено на кресленні.

Спосіб виготовлення гвинтових заготовок реалізують наступним чином.

На першій операції на оправі 1 з U-подібним спіральним виступом 2 закріплюють стрічку прямокутного перерізу 3 гвинтами 4, а оправу 1 з U-подібним спіральним виступом 2 і стрічку прямокутного перерізу 3 закріплюють в привідній опорі 5 та центрі 6.

На другій операції здійснюють притискання формувального ролика 7 з U-подібною впадиною 8 до стрічки прямокутного перерізу 3 і навівання на стрічці прямокутного перерізу 3 U-подібного спірального виступу 9 по усій її довжині шляхом вмінання за допомогою формувального ролика 7 з U-подібною впадиною 8, яка геометрично відповідає U-подібному спіральному виступу 2 оправі 1. Для ефективного виконання процесу формувальний ролик 7 з U-подібною впадиною 8 виставлений під відповідним кутом, який відповідає кроку U-подібного спірального виступу 2 оправі 1. Довжину стрічки прямокутного перерізу 3 визначають довжиною оправі 1 з U-подібним спіральним виступом 2.

На третій операції стрічку прямокутного перерізу 3 з оправою 1 знімають з привідної опори 5 та центра 6. Далі проводять вигинчування гвинтів 4 і скручування стрічки прямокутного перерізу 3, із виконаними U-подібними спіральними виступами 9, з U-подібного спірального виступу 2 оправі 1.

Приклад виконання способу виготовлення гвинтової заготовки, де поздовжня подача ролика повинна відповідати кроку U-подібного спірального виступу оправі, відображено в таблиці.

Таблиця

№	Частота обертання, оправі, об/хв.	Повздовжня подача формувального ролика, мм/об.	Крок U-подібного спірального виступу оправі, мм	Діаметр оправі, мм	Товщина заготовки, мм	Висота U-подібних вмінань, мм
1	0,083...0,15	70...120	70...120	100	0,8...1,5	5...50
2	0,125...0,225	120...180	120...180	150	1,0...2,0	5...70
3	0,166...0,3	170...240	170...240	200	1,5...2,5	5...90

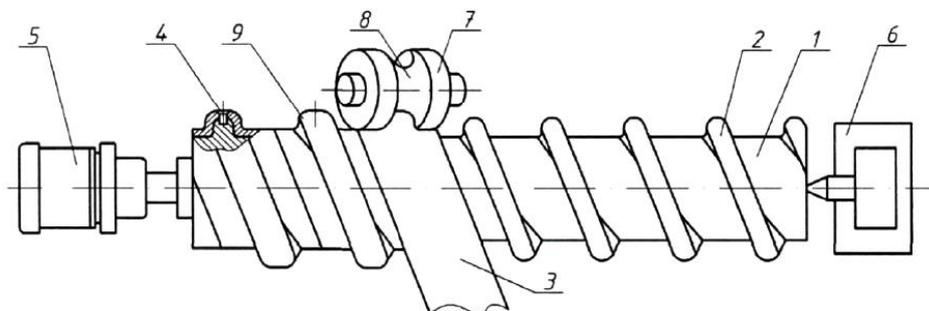
Перевагою запропонованого способу є розширення технологічних можливостей.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб виготовлення гвинтових заготовок, який здійснюють шляхом нанесення U-подібних вмінань і навівання, який **відрізняється** тим, що спочатку на оправі з U-подібним спіральним виступом закріплюють стрічку прямокутного перерізу гвинтами, а оправу з U-подібним спіральним виступом закріплюють в привідній опорі та центрі, і здійснюють на стрічці прямокутного перерізу навівання U-подібного спірального виступу по усій її довжині шляхом вмінання за допомогою формувального ролика з U-подібною западиною, яка геометрично відповідає U-подібному спіральному виступу оправі, що під відповідним кутом, який відповідає кроку U-подібного спірального виступу оправі, розташовано на осі з можливістю колового

UA 157208 U

обертання та осьового зміщення, крім цього, довжину стрічки прямокутного перерізу визначають довжиною оправи з U-подібним спіральним виступом.





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **158211** (13) **U**

(51) МПК (2024.01)

**B21D 9/00****B21D 9/10** (2006.01)

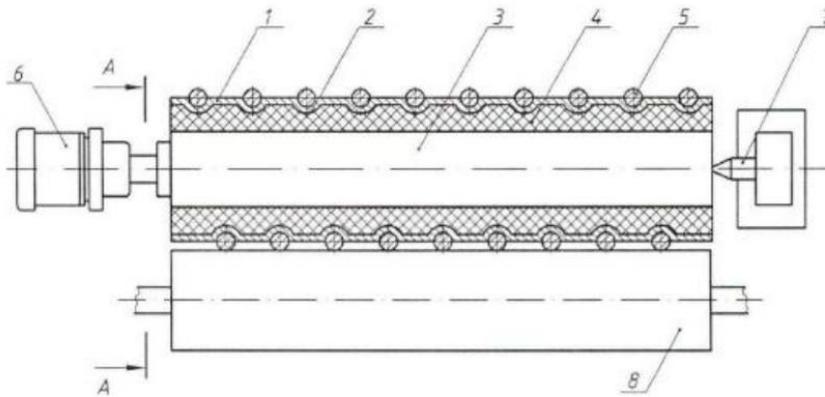
НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ  
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2024 02778</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>24.05.2024</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>09.01.2025</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>08.01.2025, Бюл.№ 2</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Гевко Іван Богданович (UA), Пік Андрій Іванович (UA), Гевко Богдан Романович (UA), Мосій Ольга Бориславівна (UA), Гарматюк Оксана Олегівна (UA), Стібайло Олег Юрійович (UA), Пік Микола Андрійович (UA)</b></p> <p>(73) Володілець (володільці): <b>ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)</b></p>
--	---

**(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ТРУБ****(57) Реферат:**

Спосіб виготовлення гвинтових транспортних труб здійснюють шляхом деформування з U-подібним вмінанням і наступним навіванням. Спочатку трубу закріплюють на оправі відомим способом, зовнішню поверхню якої виконано із жорсткої гуми, а на трубу встановлюють пружину, потім оправу з трубою і пружиною закріплюють в привідній опорі та в обертовому центрі здійснюють деформування з U-подібними вмінаннями на трубі шляхом притискання формувального вала. Здійснюють навівання U-подібних вмінань на трубі шляхом виконання різностороннього обертання встановленої в привідній опорі та обертовому центрі оправу з трубою та пружиною, і притиснутого до них формувального вала.



Фіг. 1

UA 158211 U

## UA 158211 U

Корисна модель належить до галузі машинобудування і може мати широке використання в будівництві, сільському господарстві та інших галузях машинобудування.

Відомий спосіб виготовлення шнеків, який здійснюється шляхом деформування з U-подібним вмінанням і наступним навиванням [Патент № 6431. Україна. Бюлетень № 5, 2005 р.].

5 Основний недолік способу - обмежені технологічні можливості.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення способу виготовлення гвинтових транспортних труб, який здійснюють шляхом деформування з U-подібним вмінанням і наступним навиванням, причому спочатку трубу закріплюють на оправі відомим способом, зовнішню поверхню якої виконано із жорсткої гуми, а на трубу встановлюють пружину, потім  
10 оправу з трубою і пружиною закріплюють в привідній опорі та в обертовому центрі і здійснюють деформування з U-подібними вмінаннями на трубі шляхом притискання формувального вала, а далі здійснюють навивання U-подібних вмінань на трубі шляхом виконання різностороннього обертання встановленої в привідній опорі та обертовому центрі оправу з трубою та пружиною, і притиснутого до них формувального вала.

15 Поставлена задача вирішується тим, що у способі виготовлення гвинтових транспортних труб, який здійснюють шляхом деформування з U-подібним вмінанням і наступним навиванням, згідно з корисною моделлю, спочатку трубу закріплюють на оправі відомим способом, зовнішню поверхню якої виконано із жорсткої гуми, а на трубу встановлюють пружину, потім оправу з трубою і пружиною закріплюють в привідній опорі та в обертовому  
20 центрі здійснюють деформування з U-подібними вмінаннями на трубі шляхом притискання формувального вала, а далі здійснюють навивання U-подібних вмінань на трубі шляхом виконання різностороннього обертання встановленої в привідній опорі та обертовому центрі оправу з трубою та пружиною, і притиснутого до них формувального вала.

Суть корисної моделі пояснюють креслення.

25 На фіг. 1 - наведено виготовлення вмінань.

На фіг. 2 - наведено вид по А-А на фіг. 1.

Спосіб виготовлення гвинтових транспортних труб реалізують наступним чином.

На першій операції трубу 1, на якій виконують U-подібні вмінання 2, закріплюють на оправі 3 відомим способом. Зовнішня поверхня оправу 3 виконана із жорсткої гуми 4. На трубу 1 встановлюють пружину 5. Потім оправу 3 з трубою 1 і пружиною 5 закріплюють в привідній опорі 6 та в обертовому центрі 7 і здійснюють деформування з U-подібними вмінаннями 2 на трубі 1  
30 шляхом притискання формувального вала 8.

На другій операції здійснюють навивання U-подібних вмінань 2 на трубі 1 шляхом виконання різностороннього обертання встановленої в привідній опорі 6 та обертовому центрі 7 оправу 3 з трубою 1 та пружиною 5, і притиснутого до них формувального вала 8.

35 Приклад виконання способу виготовлення гвинтових транспортних труб відображено в таблиці.

Таблица

№	Діаметр прутка пружини, мм	Крок пружини, мм	Зовнішній діаметр трубної заготовки, мм	Товщина трубної заготовки, мм	Висота U-подібних вмінань, мм
1	≥50	10...150	80...300	0,8...2,5	1...50
2	≥70	10...180	150...500	0,8...3,0	1...70
3	≥100	10...220	200...1000	0,8...3,0	1...100

40 До переваг запропонованого способу виготовлення гвинтових транспортних труб належить розширення технологічних можливостей.

## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

45 Спосіб виготовлення гвинтових транспортних труб, який здійснюють шляхом деформування з U-подібним вмінанням і наступним навиванням, який **відрізняється** тим, що спочатку трубу закріплюють на оправі відомим способом, зовнішню поверхню якої виконано із жорсткої гуми, а на трубу встановлюють пружину, потім оправу з трубою і пружиною закріплюють в привідній опорі та в обертовому центрі здійснюють деформування з U-подібними вмінаннями на трубі  
50 шляхом притискання формувального вала, а далі здійснюють навивання U-подібних вмінань на трубі шляхом виконання різностороннього обертання встановленої в привідній опорі та обертовому центрі оправу з трубою та пружиною, і притиснутого до них формувального вала.

UA 158211 U

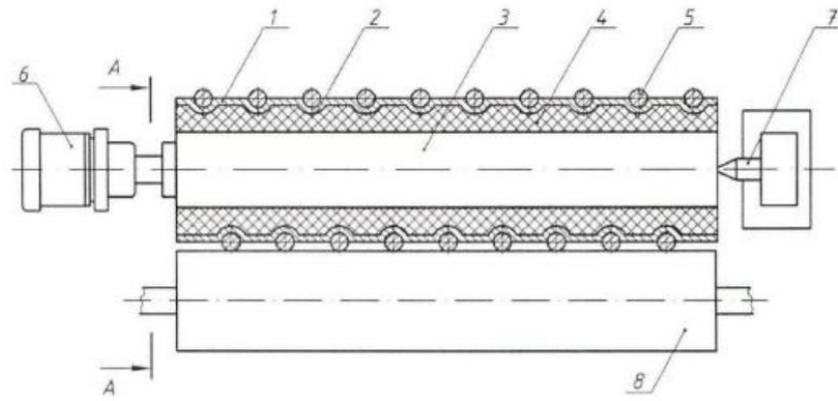


Fig. 1

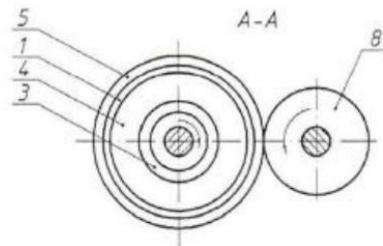


Fig. 2



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **158470** (13) **U**

(51) МПК

**B21H 3/12** (2006.01)**B21D 11/06** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ  
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2024 02777</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>24.05.2024</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>13.02.2025</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>12.02.2025, Бюл.№ 7</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Гевко Іван Богданович (UA), Пік Андрій Іванович (UA), Гевко Богдан Романович (UA), Мосій Ольга Бориславівна (UA), Гарматюк Оксана Олегівна (UA), Стібайло Олег Юрійович (UA), Пік Микола Андрійович (UA)</b></p> <p>(73) Володілець (володільці): <b>ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)</b></p>
--	---

**(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК****(57) Реферат:**

Спосіб виготовлення гвинтових заготовок здійснюють шляхом деформування з U-подібним вмінанням і наступним навиванням. При цьому спочатку в гвинтовому пазу оправи закріплюють спіральну пружину, потім на оправу зі спіральною пружиною надягають і закріплюють трубну заготовку. Оправу зі спіральною пружиною та трубною заготовкою закріплюють в привідній опорі та в обертовому центрі. Здійснюють на трубній заготовці навивання U-подібного спірального виступу по усій її довжині шляхом вмінання за допомогою формувального ролика з U-подібною заглибиною, що під відповідним кутом, який відповідає кроку спіральної пружини, розташовано на осі з можливістю колового обертання та осьового зміщення.

**UA 158470 U**

## UA 158470 U

Корисна модель належить до галузі машинобудування і може мати широке використання в будівництві, сільському господарстві та інших галузях машинобудування.

Найближчим аналогом є спосіб виготовлення шнеків, який здійснюється шляхом деформування з U-подібним вмінанням і наступним навиванням (Патент № 6431. Україна. Бюл. № 5, 2005 р.).

Основний недолік найближчого аналога - обмежені технологічні можливості.

Задачею корисної моделі є вдосконалення способу виготовлення гвинтових заготовок, який здійснюють шляхом деформування з U-подібним вмінанням і наступним навиванням.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі виготовлення гвинтових заготовок, який здійснюють шляхом деформування з U-подібним вмінанням і наступним навиванням, згідно з корисною моделлю, спочатку в гвинтовому пазу оправи закріплюють спіральну пружину, потім на оправу зі спіральною пружиною надягають і закріплюють трубну заготовку, а далі оправу зі спіральною пружиною та трубною заготовкою закріплюють в привідній опорі та в обертовому центрі і здійснюють на трубній заготовці навивання U-подібного спірального виступу по усій її довжині шляхом вмінання за допомогою формувального ролика з U-подібною заглибиною, що під відповідним кутом, який відповідає кроку спіральної пружини, розташовано на осі з можливістю колового обертання та осьового зміщення.

Спосіб виготовлення гвинтових заготовок представлено на графічному зображенні.

Спосіб виготовлення гвинтових заготовок реалізується наступним чином:

На першій операції в гвинтовому пазу 1 оправи 2 закріплюють відомим способом спіральну пружину 3. Потім на оправу 2 зі спіральною пружиною 3 надягають і закріплюють відомим способом трубну заготовку 4. Далі оправу 2 зі спіральною пружиною 3 та трубною заготовкою 4 закріплюють в привідній опорі 5 та в обертовому центрі 6.

На другій операції здійснюється притискання формувального ролика 7 з U-подібною заглибиною 8 до трубної заготовки 4, що забезпечує її притискання у місці контакту до оправи 2 та спіральної пружини 3. Далі приводиться в обертальний рух привідна опора 5, і, відповідно, оправа 2 з спіральною пружиною 3, трубною заготовкою 4 і обертовим центром 6. А в обертально-поступальний, вздовж осі оправи 2, формувальний ролик 7 з U-подібною заглибиною 8, що під відповідним кутом, який відповідає кроку спіральної пружини 3, розташовано до осі оправи 2 з можливістю колового обертання та осьового зміщення. Це забезпечує виконання на трубній заготовці 4 навивання U-подібного спірального виступу 9.

На третій операції оправу 2 зі спіральною пружиною 3 та трубною заготовкою 4 знімають з привідної опори 5 та обертового центра 6. Далі проводять згинчування трубної заготовки 4, із виконаннями U-подібними спіральними виступами 9, з оправи 2 зі спіральною пружиною 3.

Приклад виконання способу виготовлення гвинтових заготовок відображено в таблиці.

Таблиця

Приклад виконання способу виготовлення гвинтових транспортних труб

№	Діаметр прутка пружини, мм	Крок пружини, мм	Зовнішній діаметр трубної заготовки, мм	Товщина трубної заготовки, мм	Висота U-подібних вмінань, мм
1	≥50	10...150	80...300	0,8...2,5	1...30
2	≥70	10...180	150...500	0,8...3,0	1...40
3	≥100	10...220	200...1000	0,8...3,0	1...70

Перевагами корисної моделі є розширення технологічних можливостей.

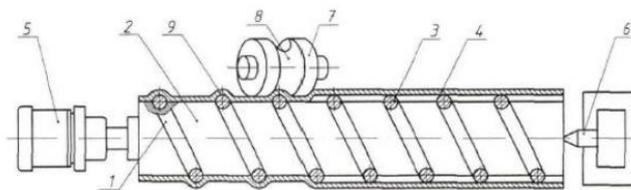
40

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб виготовлення гвинтових заготовок, який здійснюють шляхом деформування з U-подібним вмінанням і наступним навиванням, який **відрізняється** тим, що спочатку в гвинтовому пазу оправи закріплюють спіральну пружину, потім на оправу зі спіральною пружиною надягають і закріплюють трубну заготовку, а далі оправу зі спіральною пружиною та трубною заготовкою закріплюють в привідній опорі та в обертовому центрі і здійснюють на трубній заготовці навивання U-подібного спірального виступу по усій її довжині шляхом вмінання за допомогою формувального ролика з U-подібною заглибиною, що під відповідним

UA 158470 U

кутом, який відповідає кроку спіральної пружини, розташовано на осі з можливістю колового обертання та осьового зміщення.





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **160881** (13) **U**  
 (51) МПК  
**B21D 11/06** (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ  
 ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ  
 "УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
 ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2025 01728</b>	(72) Винахідник(и): <b>Гевко Іван Богданович (UA), Дячун Андрій Євгенович (UA), Стібайло Олег Юрійович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>18.04.2025</b>	(73) Володілець (володільці): <b>ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>16.10.2025</b>	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>15.10.2025, Бюл.№ 42</b>	

**(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛОПАТЕЙ НА ГВИНТОВІЙ ЗАГОТОВЦІ****(57) Реферат:**

Пристрій для виготовлення лопатей на гвинтовій заготовці виконаний у вигляді оправи, яка оснащена формувальною втулкою і жорстко встановлена в патроні токарного верстата, гвинтової заготовки і формувального ролика, який встановлено на валу паралельно до оправи, який жорстко встановлений в різцетримачі. На правій торцевій поверхні формувальної втулки періодично виконано заглиблення для загинання в них лопатей гвинтової заготовки, яку розташовано на оправі. На зовнішній торцевій поверхні гвинтової заготовки попередньо виконані розрізи для загинання лопатей, а на лівій торцевій поверхні формувального ролика виконано виступи аналогічного профілю до профілю заглиблень на правій торцевій поверхні формувальної втулки, які відповідають формі лопатей. Крім цього формувальний ролик встановлено на втулці за допомогою шпоночного з'єднання з можливістю осьового зміщення на ній, а правою торцевою поверхнею він підпружинений пружиною стиснення, яка іншим кінцем впирається у торцевий виступ втулки. При цьому втулку встановлено на валу з можливістю кругового обертання в підшипниковий опору, яка застопорена зовнішнім стопорним кільцем на втулці і внутрішнім стопорним кільцем на валу.

**UA 160881 U**

UA 160881 U

Корисна модель належить до галузі обробки металів тиском і може мати широке практичне використання в багатьох галузях економіки для транспортування та змішування матеріалів.

Відомий пристрій для гнуття і калібрування гвинтових профільних заготовок, який виконано у вигляді оправи, яка оснащена формувальною втулкою і жорстко встановлена в патроні токарного верстата, гвинтової заготовки і формувального ролика, який встановлено на валу паралельно до оправи, який жорстко встановлений в різцетримачі (Патент № 137479. Україна. "Пристрій для гнуття і калібрування гвинтових профільних заготовок". Гевко І.Б. та інші. Бюл. № 20, 2019 р.) - найближчий аналог.

Основний недолік найближчого аналога - обмежені технологічні можливості при виготовленні лопатей на гвинтових заготовках.

Задачею корисної моделі є розширення технологічних можливостей пристрою.

Поставлена задача вирішується тим, що у пристрої для виготовлення лопатей на гвинтовій заготовці, який виконано у вигляді оправи, яка оснащена формувальною втулкою і жорстко встановлена в патроні токарного верстата, гвинтової заготовки і формувального ролика, який встановлено на валу паралельно до оправи, який жорстко встановлений в різцетримачі, згідно з корисною моделлю, на правій торцевій поверхні формувальної втулки періодично виконано заглиблення для загинання в них лопатей гвинтової заготовки, яку розташовано на оправі, і на зовнішній торцевій поверхні гвинтової заготовки попередньо виконані розрізи для загинання лопатей, а на лівій торцевій поверхні формувального ролика виконано виступи аналогічного профілю до профілю заглиблень на правій торцевій поверхні формувальної втулки, які відповідають формі лопатей, крім того, формувальний ролик встановлено на втулці за допомогою шпоночного з'єднання з можливістю осьового зміщення на ній, а правою торцевою поверхнею він підпружинений пружиною стиснення, яка іншим кінцем впирається у торцевий виступ втулки, крім того втулку встановлено на валу з можливістю кругового обертання в підшипниковій опорі, яка застопорена зовнішнім стопорним кільцем на втулці і внутрішнім стопорним кільцем на валу.

Пристрій для виготовлення лопатей на гвинтовій заготовці зображено на фіг. 1 - головний вигляд, фіг. 2 - переріз по А-А на фіг. 1.

Пристрій для виготовлення лопатей на гвинтових заготовках містить оправу 1, яка оснащена формувальною втулкою 2 і жорстко встановлена в патроні токарного верстата 3. На правій торцевій поверхні формувальної втулки 2 періодично виконано заглиблення 4 для загинання в них лопатей 5 гвинтової заготовки 6, яку розташовано на оправі 1. На зовнішній торцевій поверхні гвинтової заготовки 6 попередньо виконані розрізи 7 для загинання лопатей 5. Також пристрій включає формувальний ролик 8, який встановлений на втулці 9 за допомогою шпоночного з'єднання 10 з можливістю осьового зміщення на ньому. На лівій торцевій поверхні формувального ролика 8 виконано виступи 11 аналогічного профілю до профілю заглиблень 4, виконаних на правій торцевій поверхні формувальної втулки 2, які відповідають формі лопатей 5. Правою торцевою поверхнею формувальний ролик 8 підпружинений пружиною стиснення 12, яка іншим кінцем впирається у торцевий виступ 13 втулки 9. Втулку 9 встановлено на валу 14 з можливістю кругового обертання в підшипниковій опорі 15. Підшипникова опора 15 застопорена зовнішнім стопорним кільцем 16 на втулці 9 і внутрішнім стопорним кільцем 17 на валу 14. Вал 14 жорстко встановлений в різцетримачі 18 паралельно до оправи 1.

Пристрій для виготовлення лопатей на гвинтовій заготовці працює наступним чином. Оправу 1, яка оснащена формувальною втулкою 2, жорстко встановлюють в патроні токарного верстата 3. На оправі 1 розташовують гвинтову заготовку 6, на зовнішній торцевій поверхні якої попередньо виконані розрізи 7 для загинання лопатей 5. Паралельно до оправи 1 в різцетримачі 18 жорстко встановлюють вал 14, на якому в підшипниковій опорі 15 з можливістю кругового обертання встановлена втулка 9, а на ній за допомогою шпоночного з'єднання 10 з можливістю осьового зміщення встановлений формувальний ролик 8.

Після встановлення оправи 1, гвинтової заготовки 6 і вала 14, формувальний ролик 8 подачею різцетримача 18 підводять до оправи 1 у зазор першого витка гвинтової заготовки 6.

Далі виставляють гвинтову заготовку 6 з розрахунком співпадання виконаних на ній розрізів 7 для загинання лопатей 5 із заглибленнями 4, виконаними на правій торцевій поверхні формувальної втулки 2, та виступами 11, виконаними на лівій торцевій поверхні формувального ролика 8.

Потім перший виток гвинтової заготовки 6 підтискають формувальним роликом 8 повздовжньою подачею різцетримача 18 до формувальної втулки 2, що забезпечує загинання лопатей 5 гвинтової заготовки 6 у заглиблення 4 формувальної втулки 2.

Далі приводять в обертальний рух патрон токарного верстата 3, і, відповідно, оправу 1 з формувальною втулкою 2 та гвинтовою заготовкою 6, а різцетримач 18 з формувальним

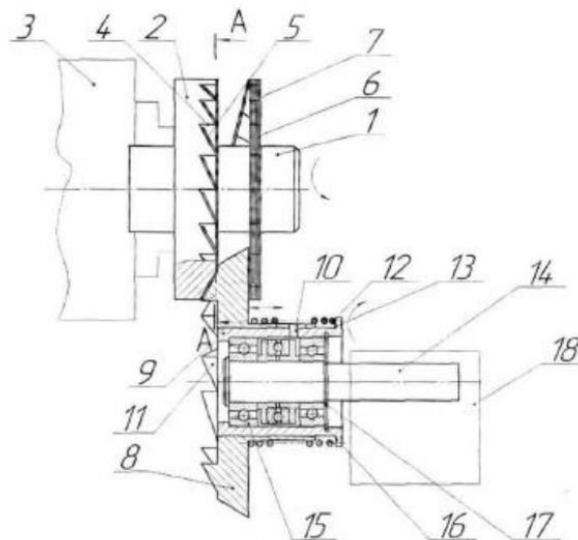
UA 160881 U

роликом 8 в поступальний рух вздовж осі оправи 1 з кроком, який відповідає товщині гвинтової заготовки 6 на один оберт патрона токарного верстата 3. Це забезпечує відносно повертання формувального ролика 8 та оправи 1 з формувальною втулкою 2 та гвинтовою заготовкою 6, і, відповідно, загинання лопатей 5 по всій довжині гвинтової заготовки 6 у заглиблення 4 формувальної втулки 2. Компенсування не точного співпадання заглиблень 4 формувальної втулки 2 та виступів 11 формувального ролика 8 регулюється пружиною стиснення 12.

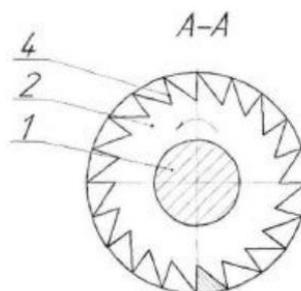
До переваг корисної моделі належить розширення технологічних можливостей пристрою за рахунок забезпечення можливості виготовлення лопатей на гвинтових заготовках.

#### 10 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пристрій для виготовлення лопатей на гвинтовій заготовці, який виконано у вигляді оправи, що оснащена формувальною втулкою і жорстко встановлена в патроні токарного верстата, гвинтової заготовки і формувального ролика, який встановлено на валу паралельно до оправи, що жорстко встановлений в різцетримачі, який **відрізняється** тим, що на правій торцевій поверхні формувальної втулки періодично виконано заглиблення для загинання в них лопатей гвинтової заготовки, яку розташовано на оправі, і на зовнішній торцевій поверхні гвинтової заготовки попередньо виконані розрізи для загинання лопатей, а на лівій торцевій поверхні формувального ролика виконано виступи аналогічного профілю до профілю заглиблень на правій торцевій поверхні формувальної втулки, які відповідають формі лопатей, крім того формувальний ролик встановлено на втулці за допомогою шпоночного з'єднання з можливістю осьового зміщення на ній, а правою торцевою поверхнею він підпружинений пружиною стиснення, яка іншим кінцем впирається у торцевий виступ втулки, крім того втулку встановлено на валу з можливістю кругового обертання в підшипниковій опорі, яка застопорена зовнішнім стопорним кільцем на втулці і внутрішнім стопорним кільцем на валу.



Фиг. 1



Фиг. 2

Додаток В  
Акти впровадження

АКТ

про впровадження наукової розробки у ТОВ "УНІВЕРСТ ЛТД"

**Об'єкт впровадження:** Технологічний процес виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків.

**Ким запропоновано, виконавці, адреса:** Гевко І.Б., проф., д-р техн. наук, Дячун А.Є., доц., канд. техн. наук, Дубиняк Т.С., доц., канд. техн. наук, О. Ю. Стібайло, аспірант, Золотий Р.З., доц., канд. техн. наук (Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, вул. Руська, 56, м. Тернопіль).

**Джерело інформації:** 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. Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий вісник». Кропивницький, 2025. Випуск №11(42) II. С. 99-108.

**Ким впроваджено:** ТОВ "УНІВЕРСТ ЛТД".

**Термін виконання:** 2025 р.

**Висновок по впровадженню:** Розроблений і апробований технологічний процес виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків впроваджено в ТОВ "УНІВЕРСТ ЛТД", що дозволило ефективно вдосконалити існуючу технологію виготовлення таких засобів і отримати економічний ефект на суму 32,2 тис. грн.

Директор  
ТОВ "УНІВЕРСТ ЛТД"



Ігор Петришин

Приватне підприємство  
**« ХЛОПІВЕЦЬКЕ »**

48260, м. Копичинці, вул. Мазепи 18, Тернопільської обл., тел. (035-57) 4-24-32, код ЄДРПОУ 34036731

від 14.11 2024р. № 81-237

**АКТ**  
**впровадження у виробництво гвинтових робочих органів змішувачів**

У ПП «ХЛОПІВЕЦЬКЕ» при розробці змішувальних апаратів було використано конструкції гвинтових робочих органів, виготовлених на основі пат. України №153687 та №153774. Вони забезпечують високу однорідність сумішей в процесі виконання технологічного процесу змішування сільськогосподарських компонентів, а також характеризуються високою надійністю.

Економічний ефект від впровадження і використання даних винаходів на корисні моделі (пат. України №153687 та №153774) становив 38100 грн.

Директор ПП «Хлопівецьке»



Романовський О.Я.



**ФЕРМЕРСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО "ДАРИ ДОЛИНИ"****АКТ****впровадження у виробництво гвинтових робочих органів змішувачів**

У фермерському господарстві "ДАРИ ДОЛИНИ" в 2024 році у змішувальних апаратах було використано конструкції гвинтових робочих органів, виготовлених на основі пат. України №153687 та №153774, що забезпечують високу однорідність сумішей в процесі виконання технологічного процесу змішування компонентів, а також характеризуються високою надійністю.

Економічний ефект від впровадження і використання даних винаходів на торисні моделі становив 15300 грн.

Керівник



A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Лисак".

Леся ЛИСАК

**Список публікацій здобувача за темою дисертації*****Публікації у фахових виданнях***

1. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Брикса А. О., Стібайло О. Ю., Коваль С. О. Особливості конструкцій і технологічного проектування робочих органів лопатевих гвинтових змішувачів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(39), ч. 2. С. 24–34. (Автором проведено аналіз технологічності робочих органів лопатевих гвинтових змішувачів).
2. Nevko 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, No 1. P. 5–15. (Автором запропоновано способи виготовлення U-подібних в поперечному перерізі гвинтових елементів).
3. Стібайло О. Ю. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 10(41). ч. 2. С. 55-64.
4. 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. (Автором запропоновано способи виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків).
5. 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. (Автором розроблено технологічне оснащення, інструменти для виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків, виведено рівняння регресії силового параметру формування ножів-подрібнювачів).

6. 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. (Автором проведено техніко-економічний аналіз технології виготовлення гвинтових елементів).

7. Дячун А. Є., Гевко І. Б., Стібайло О. Ю., Лещук Р. Я., Комар Р. В. Теоретичне дослідження технологічного процесу оброблення зовнішньої крайки гвинтових елементів сільськогосподарської техніки. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 12(43), ч. 1. С. 115–125. (Автором виведено рівняння для знаходження геометричних параметрів процесу заточування зовнішньої крайки гвинтового елемента).

### ***Тези конференцій та семінари***

8. Гевко Ів. Б., Лещук Р. Я., Пік А. І., Стібайло О. Ю. Спосіб виготовлення гвинтових елементів сільськогосподарської техніки. *Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики* : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. присвяченої 90-річчю Рибака Тимофія Івановича та 60-річчю кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин, м. Тернопіль, 29–30 вересня 2022. Тернопіль, 2022. С. 99-100. (Автором запропоновано спосіб виготовлення гвинтових елементів).

9. Коваль С. О., Стібало О. Ю. Особливості виготовлення лопатевих спіралей змішувачів. *Матеріали та програма XI Всеукраїнської наук.-техн. конф. «Сучасні технології у промисловому виробництві»*, м. Суми, 23-26 квітня 2024. Суми, 2024. С. 40-41. (Автором проаналізовано способи виготовлення гвинтових робочих органів змішувачів).

10. Гевко І., Дячун А., Стібайло О. Особливості конструкцій і технологічного проектування гвинтових робочих органів сільськогосподарської техніки. *Збірник тез доповідей XXV міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" присвяченої 124-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, 95-й річниці з дня заснування*

механіко-технологічного факультету НУБіП України, м. Суми, 17–19 жовтня 2024. Київ, 2024. С. 126-129. (Автором запропоновано способи виготовлення гвинтових елементів).

11. Гевко І., Дячун А., Стібайло О. Спосіб виготовлення лопатевих спіралей змішувачів. *Збірник матеріалів XIII Міжнародної наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»*, м. Тернопіль, 11-12 грудня 2024. Тернопіль, 2024. С. 139-140. (Автором запропоновано спосіб виготовлення гвинтових елементів).

12. Гевко І., Дубиняк Т., Стібайло О. Проведення експериментальних досліджень з виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків сільськогосподарської техніки. *Збірник матеріалів Міжнародної наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», присвяченої 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя*, м. Тернопіль, 28-29 травня 2025. Тернопіль, 2025. С. 122-123. (Автором запропоновано конструкцію технологічного устаткування для проведення експериментальних досліджень).

13. Гевко І., Дячун А., Стібайло О. Дослідження параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтових робочих органах сільськогосподарської техніки. *Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" присвяченої 125-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка*, м. Київ, 17–18 жовтня, 2025. Київ, 2025. С. 63-66. (Автором виведено теоретичні залежності параметрів процесу формування ножів-подрібнювачів на гвинтових робочих органах).

### **Патенти України**

14. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок: пат. 157048. Україна: МПК В21Н 3/12, В21D 11/06. № u202400164; заявл. 11.01.24; опубл. 05.09.24, Бюл. №36. 5 с. (Частка всіх авторів однакова).

15. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок: пат. 157208. Україна: МПК В21Н 3/12, В21D 11/06. № u202400167. заявл. 11.01.24; опубл. 19.09.24, Бюл. № 38. 5 с. (*Частка всіх авторів однакова*).

16. Спосіб виготовлення гвинтових транспортних труб: пат. 158211. Україна: МПК В21D 9/00, В21D 9/10 (2006.01). № u202402778. заявл. 24.05.24; опубл. 09.01.25, Бюл. №2. 5 с. (*Частка всіх авторів однакова*).

17. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок: пат. 158470. Україна: МПК В21Н3/12, В21D11/06. № 202402777. заявл. 24.05.24; опубл. 13.02.25, Бюл. №7. 7 с. (*Частка всіх авторів однакова*).

18. Шнек для змішування з механічним кріпленням елементів: пат. 153687 Україна: МПК 65G 33/16, 65G 33/26. № u202301003; заявл. 13.03.23; опубл. 10.08.23, Бюл. №32. 5 с. (*Частка всіх авторів однакова*).

19. Гвинтовий робочий орган змішувача: пат. 153774 Україна: МПК 65G 33/16. № u202301002; заявл. 13.13.23; опубл. 24.08.23, Бюл. №34. 5 с. (*Частка всіх авторів однакова*).

20. Шнек для змішування з еластичною щіткоподібною поверхнею: пат. 157049 Україна: МПК В65G 33/16. № u202400169; заявл. 11.01.24; опубл. 05.09.24, Бюл. №36. 5 с. (*Частка всіх авторів однакова*).

21. Пристрій для виготовлення лопатей на гвинтовій заготовці: пат. 160881. Україна: МПК В21D11/06. № u202501728; заявл. 18.04.25; опубл. 15.10.25, Бюл. №42. 5 с. (*Частка всіх авторів однакова*).

22. Шнек з механічним кріпленням спіралей: пат. 157050. Україна: МПК В65G 33/26, В65G 33/16. № u202400170. заявл. 11.01.24; опубл. 05.09.24, Бюл. №36. 5 с. (*Частка всіх авторів однакова*).