

УДК 621.82

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.99-108](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.99-108)

І. Б. Гевко, проф., д-р техн. наук, **А. Є. Дячун**, доц., канд. техн. наук,
Т. С. Дубиняк, доц., канд. техн. наук, **О. Ю. Стібайло**, **Р. З. Золотий**, доц., канд. техн. наук
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна
e-mail: gevkoivan1@ukr.net

Дослідження операцій технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків

Представлено дослідження та практична реалізація основних операцій технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків, що включають 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, базування та оброблення спіралі шнека розроблено та виготовлено спеціальну оправку, спеціальний інструмент для заточування крайки шнека та ролик для загинання ножів подрібнювачів. Проведено експериментальні дослідження для визначення закономірностей взаємозв'язку конструктивних параметрів ножів подрібнювачів шнека, зокрема кута загинання сектора шнека, кутового значення сектора сегмента, товщини матеріалу шнека із силою загинання сегмента шнека. Проведено статистичне оброблення даних результатів експериментальних досліджень з одержанням рівнянь регресії у кодованих та натуральних величинах залежності сили загинання сегмента шнека від його конструктивних незалежних змінних параметрів а також перевірку адекватності одержаних рівнянь за допомогою прикладного програмного забезпечення.

ножі-подрібнювачі, спіраль шнека, гвинтовий робочий орган, спосіб, технологія, технологічний процес, експериментальні дослідження

Постановка проблеми. У різних галузях промисловості, таких, як будівельна, харчова, переробна, гірничо-видобувна та сільського господарства знайшли застосування гвинтові робочі органи із ножами-подрібнювачами та лопатевими елементами. Перевагами таких шнеків є поєднання переміщення сільськогосподарських та інших матеріалів із різними технологічними операціями їх перероблення, зокрема подрібнення, змішування [1-4]. Досить широко використовуються такі шнеки при виробництві матеріалів, комбікормів та інших кормів сільськогосподарського призначення для годівлі тварин та птиці [1-4] при змішуванні сипких матеріалів та подрібненні коренеплодів. Тому технологічне забезпечення виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків в умовах середньосерійного виробництва є важливим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проектуванню та дослідженню окремих операцій технологічних процесів виготовлення шнеків різними методами із проектуванням інструментів та оснащення присвячені праці багатьох авторів [5-20]. Їхні дослідження пов'язані із розробленням технологічних процесів виготовлення стандартних і спеціальних шнеків, зокрема гофрованих, стрічкових, лопатевих, Г- і П-подібних, оснащених лопатями і ножами-подрібнювачами різних конфігурацій і типів, з пружними та еластичними елементами тощо [5-14]. При підготовці виробництва таких шнеків значну увагу приділено оптимізації технологічних параметрів, режимів оброблення, проектуванню устаткування, оснащення та інструментів для пластичного формоутворення та механічного оброблення [5, 6, 8-12, 16-20].

Складність технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків пов'язана із особливостями їхньої конструкції та порівняно малою жорсткістю, що вимагає проектування спеціального технологічного оснащення. Розроблені технології виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків представлено у роботах [6, 8, 9]. При цьому ножі-подрібнювачі на шнеках формуються із застосуванням ручних інструментів [6, 8] та способів механізації. Технології включають неповне розрізання на визначену глибину зовнішньої крайки попередньо навитого шнека, загинання окремих секцій під ножі-подрібнювачі з використанням оправки та обертових матриць і пуансонів [9]. Розглянуті технологічні процеси не забезпечують однаковий кут нахилу при згині ножів-подрібнювачів, тому потребують вдосконалення.

Метою роботи є експериментальні дослідження та практична реалізація операцій технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків.

Виклад основного матеріалу. Детально технологічний процес виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків представлено у роботі [21]. 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. 1.

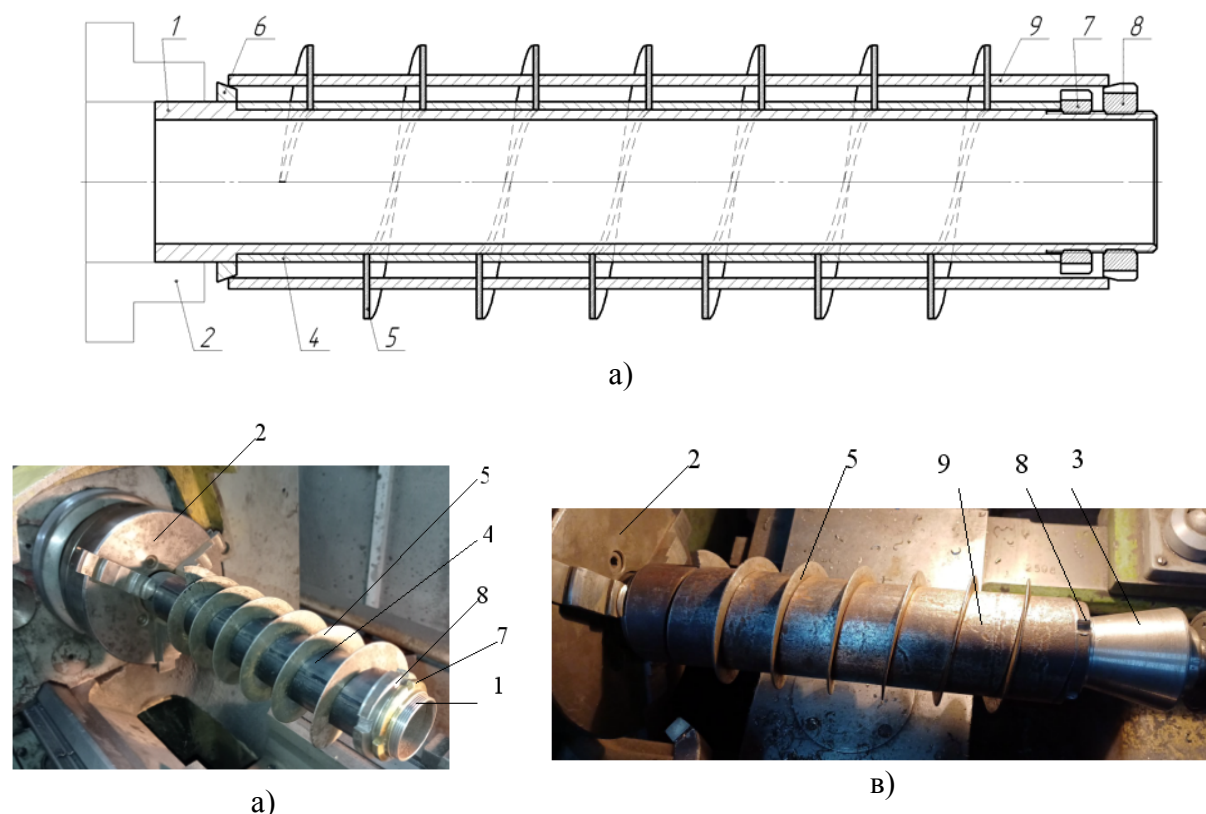


Рисунок 1 – Оправка для затиску та базування спіралі шнека а) креслення перерізу оправки; б) оправка без зовнішньої гвинтової труби; в) оправка із зовнішньою гвинтовою трубою

Джерело: розроблено авторами

Оправка (рис. 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. 1 використано процес вирізання гвинтової канавки лазером на верстаті з ЧПК. Процес вирізання гвинтової канавки лазером показано на рис. 2.

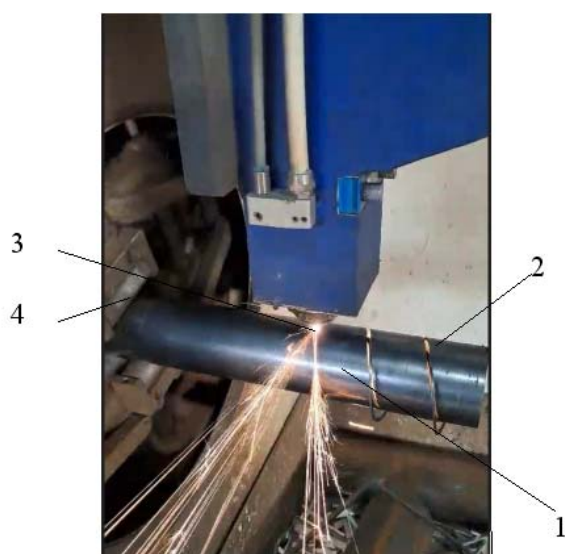


Рисунок 2 – Процес нарізання гвинтової канавки при виготовленні гвинтових труб для оправки:

1 – труба; 2 – гвинтова канавка; 3 – лазер; 4 – патрон верстата

Джерело: розроблено авторами

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. 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. 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. 5.

Інструмент для заточування крайки шнека (рис. 5) виконаний у вигляді корпусу 1, двох точильних елементів у вигляді дисків 2, що виготовленні із швидкоріжучої сталі

Р6М5, ручки 3, прямої державки 4 та пружини 5.

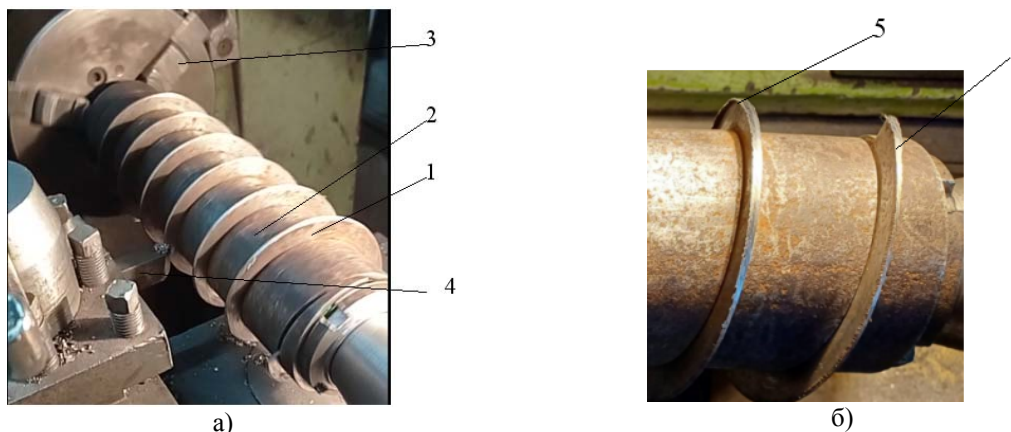


Рисунок 3 – Процес проточування зовнішньої крайки спіралі шнека а) із сформованим заусенцем на крайці б): 1 – спіраль шнека; 2 – оправка; 3 – патрон верстата; 4 – прохідний різець; 5 – заусенець на зовнішній крайці шнека

Джерело: розроблено авторами

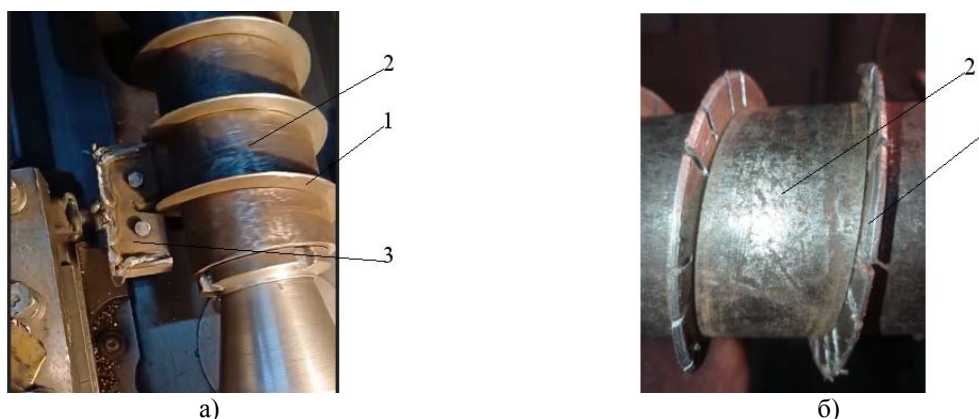


Рисунок 4 – Процес заточування зовнішньої крайки спіралі шнека а) із сформованим клином на крайці б): 1 – спіраль шнека; 2 – оправка; 3 – інструмент для заточування

Джерело: розроблено авторами

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. 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.

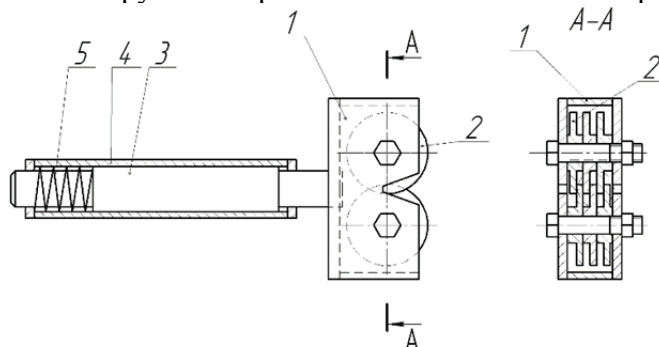


Рисунок 5 – Інструмент для заточування крайки шнека

Джерело: розроблено авторами

В процесі заточування зовнішньої крайки спіралі шнека досліджували вплив параметрів процесу різання на головну складову сили різання.

Наступною розглянуто операцію розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека для отримання заготовок під ножі-подрібнювачі, що зображено на рис. 6. 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.



Рисунок 6 – Процес розрізання зовнішньої крайки спіралі шнека: 1 – оправка із спіраллю шнека; 2 – патрон; 3 – ділильна головка; 4 – центр; 5 – дискова фреза

Джерело: розроблено авторами

Дослідження операції загинання заготовок під ножі-подрібнювачі виконувалось на токарно-гвинторізному верстаті із використанням додаткового устаткування, що зображено на рис. 7, 8, 9.

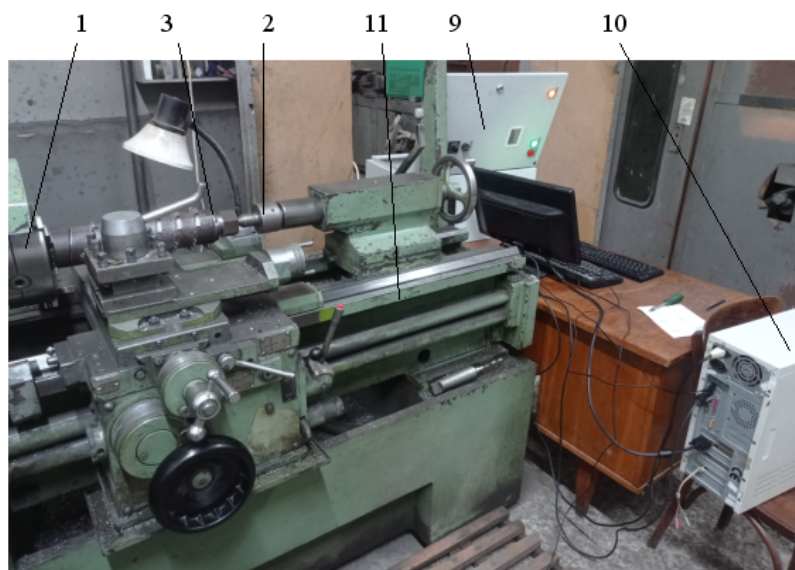


Рисунок 7 – Устаткування для дослідження операції загинання сегментів шнека під ножі-подрібнювачі
Джерело: розроблено авторами

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° , 25° , 30° . 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. 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 та даних про крутний момент на валі електродвигуна визначали силу загинання сегмента шнека під ножі-подрібнювачі.

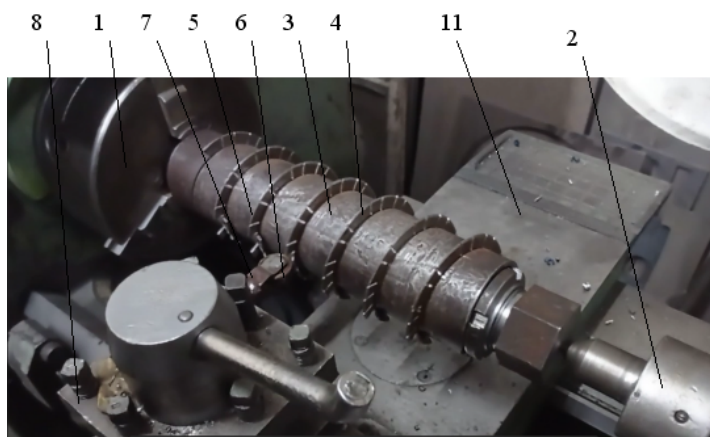


Рисунок 8 – Процес загинання сегментів шнека під ножі-подрібнювачі

Джерело: розроблено авторами

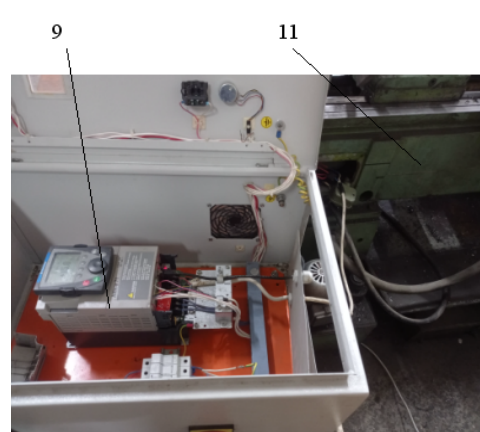


Рисунок 9 – Під'єднання перетворювач частоти струму (Altivar 71) до електродвигуна приводу подач верстата

Джерело: розроблено авторами

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 10.

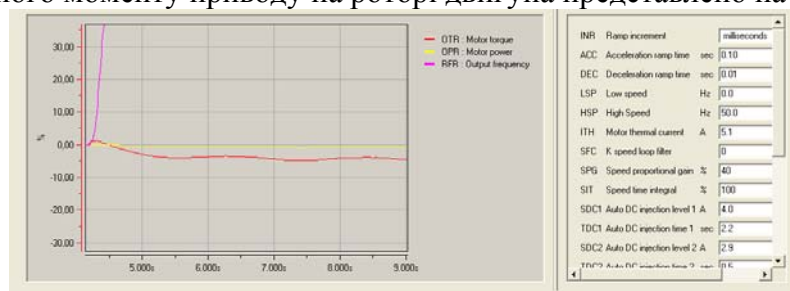


Рисунок 10 – Фрагмент результатів збору та оброблення даних за частотного перетворювача Altivar 71 програмним забезпеченням PowerSuite

Джерело: розроблено авторами

На основі вибору змінних вхідних факторів, рівнів їх варіювання та теоретичних розрахунків одержано таблицю 1 при дослідженні сили загинання сегмента шнека на основі повнофакторного експерименту.

Таблиця 1 - Результати кодування факторів та рівні їх варіювання при дослідженні сили загинання сегмента шнека

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Кут загинання сектора	β , град	x_1	20	80 (+1)	60 (0)	40 (-1)
Кутове значення сектора сегмента	α , град	x_2	5	30 (+1)	25 (0)	20 (-1)
Товщина матеріалу шнека	s , мм	x_3	0,2	2,2 (+1)	2,0 (0)	1,8 (-1)

Джерело: розроблено авторами

Загальний вигляд рівняння регресії сили загинання сегмента шнека за результатами проведених експериментів у кодованих та натуральних величинах має вигляд відповідно:

$$P_{(x_1, x_2, x_3)} = 866 + 104,6x_1 + 179,5x_2 + 202,2x_3 + 21x_1x_2 + 23,75x_1x_3 + 40,75x_2x_3 + 23,12x_1^2 + 0,63x_2^2 + 15,12x_3^2, \quad (1)$$

$$P_{(\beta, \alpha, s)} = 2433,53 - 18,83\beta - 59,46\alpha - 1876s + 0,21\beta\alpha + 5,94\beta s + 40,75\alpha s + 0,058\beta^2 + 0,025\alpha^2 + 378s^2. \quad (2)$$

Використовуючи дані результатів експериментальних досліджень, рівняння регресії (2), в межах змінних вхідних факторів за допомогою прикладного програмного забезпечення побудовано поверхні відгуку та їх двомірні перерізи залежності сили загинання сегмента шнека, що представлено на рис. 11 та 12.

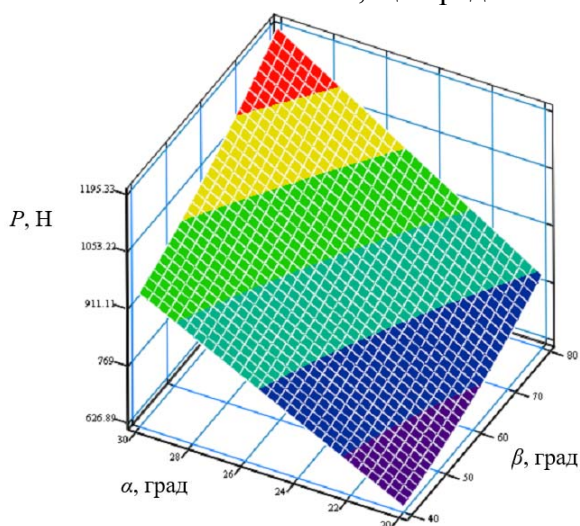


Рисунок 11 - Поверхня відгуку залежності сили загинання сегмента шнека від кута загинання сектора шнека β та кутового значення сектора сегмента α ($s=2$ мм)

Джерело: розроблено авторами

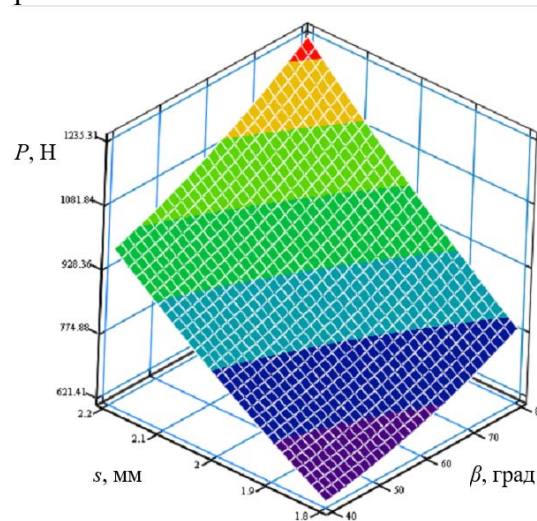


Рисунок 12 - Поверхня відгуку залежності сили загинання сегмента шнека від кута загинання сектора шнека β та товщини матеріалу шнека s ($\alpha=25$ град)

Джерело: розроблено авторами

Аналізуючи рівняння регресії (1), встановлено, що основним фактором, який впливає на силу загинання сегмента шнека є фактор $x_3(s)$. Менший вплив має фактор $x_2(\alpha)$ і найменший - фактор $x_1(\beta)$. Зростання усіх факторів призводить до збільшення сили загинання сегмента шнека.

З рисунків 11, 12 та рівняння регресії (2) зроблено висновки, що максимальне значення сили загинання сегмента шнека дорівнювало 1484 Н, а мінімальне – 496 Н. Збільшення кута загинання сектора шнека β від 40 град до 80 град призводить до зростання сили загинання сегмента шнека в 1,26 рази. При цьому збільшення кутового значення сектора сегмента α від 20 град до 30 град призводить до зростання сили загинання сегмента шнека в 1,5 рази, а зміна товщини матеріалу шнека від 1,8 мм до 2,2 мм призводить до зростання сили загинання сегмента шнека в 1,58 рази.

Висновки:

1. Представлено дослідження та практична реалізація основних операцій технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків, що включають 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.

2. Представлено результати експериментальних досліджень для визначення закономірностей взаємозв'язку конструктивних параметрів ножів подрібнювачів шнека, зокрема кута загинання сектора шнека, кутового значення сектора сегмента, товщини матеріалу шнека із силою загинання сегмента шнека. Проведено статистичне оброблення даних результатів експериментальних досліджень з одержанням рівнянь регресії у кодованих та натуральних величинах залежності сили загинання сегмента шнека від його конструктивних незалежних змінних параметрів а також перевірку адекватності одержаних рівнянь за допомогою прикладного програмного забезпечення.

3. Встановлено, що максимальне значення сили загинання сегмента шнека дорівнювало 1484 Н, а мінімальне – 496 Н. Збільшення кута загинання сектора шнека β від 40 град до 80 град призводить до зростання сили загинання сегмента шнека в 1,26 рази. При цьому збільшення кутового значення сектора сегмента α від 20 град до 30 град призводить до зростання сили загинання сегмента шнека в 1,5 рази, а зміна товщини матеріалу шнека від 1,8 мм до 2,2 мм призводить до зростання сили загинання сегмента шнека в 1,58 рази.

Список літератури

1. Hrytsai Yu. IN. Justification of the parameters of the combined screw conveyor-shredder of root crops: thesis ... technical college Sciences: special 05.05.11. Ternopil, 2020. 137 p.
2. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дмитрів Д.В. Моделювання роботи малогабаритного лопатево-гвинтового змішувача. Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. Вип. 6. Луцьк, 2000. С. 129-135.
3. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дмитрів Д.В., Гудь В.З., Дмитрів О.Р. Моделювання змішування компонентів гвинтовими конвеєрами-змішувачами. Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. Випуск 45. Луцьк, 2020. С. 84-93.
4. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дячун А.Є. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів: монографія. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 280 с.
5. Гевко Б.М., Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Драган А.П., Новосад І.Я. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових деталей, Тернопіль: ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. 367 с.
6. Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Гупка А.Б., Третьяков О.Л. Технологічне проектування та виготовлення гвинтових транспортно-технологічних робочих органів. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2025. 457 с.
7. Ivan Hevko, Andriy Pik, Roman Komar, Oleh Stibaylo, Serhiy Koval' Peculiarities of technological design of U-shaped screw transport and technological working bodies : Scientific Journal of TNTU. Ternopil.: TNTU, 2024. Vol 113. No 1. P. 5–15.
8. 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). Част.2. С. 24-34.

9. 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.
10. Пилипець М. І., Васильків В. В., Радик Д. Л., Пилипець О. М. Передумови розроблення комбінованих операцій виготовлення гвинтових і шнекових заготовок методом обробки металів тиском. *Перспективні технології та прилади*. 2021. Вип. 18. С. 112–123.
11. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Гудь В. З., Дмитрів О. Р., Дубиняк Т. С., Навроцька Т. Д., Круглик О. А. Гнучкі гвинтові конвеєри: проектування, технологія виготовлення, експериментальні дослідження. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 207 с.
12. Васильків В. В., Л. Д. Радик, І. Б. Гевко Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових заготовок з листового прокату : Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»): «Наукові нотатки»; ЛДТУ. 2004. Вип. 14. С. 12–18.
13. Hevko. I.B., Dyachun A.Ye., Lyashuk O.L., Martsenko S.V., Gypka A.B. Research the force parameters of forming the screw cleaning elements. *INMATEH - Agricultural Engineering*. Polytechnic University of Bucharest, 2016, - Vol. 49, № 2, p.77-82.
14. 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. doi.org/10.1515/ata-2017-0007
15. Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning // [Ivan Hevko, Andrii Diachun, Oleg Lyashuk, Yuriy Vovk, Andriy Hupka] – *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. Proceedings of the 4th International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2021, June 8–11, 2021, Lviv, Ukraine Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering*, P. 385-394.
16. Hevko. I.B., Dyachun A.Ye., Hud V.Z., Rohatynska L.R., Klendiy V.M. Investigation of the stability of the torsorial vibrations of a screw conveyer under the influence of pulse forces. *INMATEH - Agricultural Engineering*. Polytechnic University of Bucharest, 2015, Vol. 45, № 1, p.77-86.
17. Гевко І. Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи. *Вісник ТНТУ, Тернопіль*, 2011, Том 16. № 1, с.69-77.
18. Гурик О.Я. Гевко І.Б., Драган А.П. До питання моделювання геометрії робочих органів гвинтових змішувачів. *Вісник ТДТУ, Тернопіль*, 2002, Том 7 , № 4, с. 54-60.
19. Feng Guang- liang, Bai Yin-shan. Some moulding ways of spiral vane. *Coal Mine Machinery*. 2006 Vol. 27 No. 9, p. 835-849.
20. Li Zheng Feng, Li Qiang Jiang. Design of combined helical blade manufacturing device. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 753–755. P. 1386–1390. Crossref. Doi: 10.4028/www.scientific.net/amr 753-755.1386. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR>
21. 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.

References

1. Hrytsai Yu. IN. Justification of the parameters of the combined screw conveyor-shredder of root crops: thesis ... technical college Sciences: special 05.05.11. Ternopil, 2020. 137 p. [in Ukrainian].
2. Rohatynskiy, R. M., Hevko, I. B., & Dmytriv, D. V. (2000). Modeliuvannia roboty malohabarytnoho lopatevohvyntovoho zmishuvacha. *Silskohospodarski mashyny: zb. nauk. statei.*–Lutsk, 129-135. [in Ukrainian]
3. Rohatynskiy, R. M., Hevko, I. B., Dmytriv, D. V., Hud, V. Z., & Dmytriv, O. R. (2020). Modeliuvannia zmishuvannia komponentiv hvyntovymy konveieramy-zmishuvachamy. *Silskohospodarski mashyny*, (45), 84-93. [in Ukrainian].
4. Rohatynskiy, R. M., Hevko, I. B., & Diachun, A. I. (2014). Naukovo-prikladni osnovi stvorennia gvintovikh transportno-tehnologichnikh mekhanizmiv [Scientific and applied foundations of the creation of screw transport and technological mechanisms]. Ternopil: TNTU imeni Ivana Pulyuya.[in Ukrainian].
5. Hevko, B. M., Liashuk, O. L., Hevko, I. B., Drahan, A. P., & Novosad, I. Ya. (2008). Tekhnolohichni osnovy formoutvorennia spetsialnykh profilnykh hvyntovykh detalei. Ternopil: SMP “Taip. [in Ukrainian].
6. Hevko, I. B., Liashuk, O. L., Diachun, A. Ye., Hupka, A. B., & Tretiakov, O. L. (2025). Tekhnolohichne proiektuvannia ta vyhotovlennia hvyntovykh transportno-tehnolohichnykh robochykh orhaniv. *FOP Palianytsia V. A.* [in Ukrainian].
7. Hevko, I., Pik, A., Komar, R., Stibaylo, O., & Koval, S. (2024). Peculiarities of technological design of Ushaped screw transport and technological working bodies. *Scientific Journal of TNTU*, 113(1), 5–15.
8. Hevko, I. B., Leshchuk, R. Ya., Bryksa, A. O., Stibailo, O. Yu., & Koval, S. O. (2023). Osoblyvosti konstruktсии i tekhnolohichnoho proiektuvannia robochykh orhaniv lopatevykh hvyntovykh zmishuvachiv. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 8(39, chast. 2), 24–34. [in Ukrainian]
9. Stibailo, O. Yu. (2024). Tekhnolohichni ta konstruktyvni osoblyvosti vyhotovlennia hvyntovykh elementiv silskohospodarskoi tekhniky. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 10(41, chast. 2), 55–64 [in Ukrainian].

10. Pylypets, M. I., Vasylykiv, V. V., Radyk, D. L., & Pylypets, O. M. (2021). Peredumovy rozroblennia kombinovanykh operatsii vyhotovlennia hvyntovykh i shnekovykh zahotovok metodom obrobky metaliv tyskom. Perspektivni tekhnologii ta prylady, 18, 112–123. [in Ukrainian].
11. Hevko, I. B., Leshchuk, R. Ya., Hud, V. Z., Dmytriv, O. R., Dubyniak, T. S., Navrotska, T. D., & Kruhlyk, O. A. (2019). Hnuchki hvyntovi konveiry: proektuvannia, tekhnologii vyhotovlennia, eksperymentalni doslidzhennia. FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
12. Vasylykiv, V. V., Radyk, L. D., & Hevko, I. B. (2004). Tekhnologichni ta konstruktyvni osoblyvosti vyhotovlennia hvyntovykh zahotovok z lystovoho prokatu. Naukovi notatky LDTU, 14, 12–18. [in Ukrainian].
13. Hevko, I. B., Dyachun, A. Ye., Lyashuk, O. L., Martsenko, S. V., & Gypka, A. B. (2016). Research the force parameters of forming the screw cleaning elements. INMATEH - Agricultural Engineering, 49(2), 77–82 [in English].
14. Rogatinskiy, R., Hevko, I., Gypka, A., Garmatyk, O., & Martsenko, S. (2017). Feasibility study of the method choice of manufacturing screw cleaning elements with the development and use of software. Acta Technologica Agriculturae, 2, 36–41. <https://doi.org/10.1515/ata-2017-0007> [in English].
15. Hevko, I., Diachun, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., & Hupka, A. (2021). Study of dynamic and power parameters of the screw workpieces with a curved profile turning. In Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV: Proceedings of the 4th International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2021 (Vol. 1, pp. 385–394) [in English].
16. Hevko, I. B., Dyachun, A. Ye., Hud, V. Z., Rohatynska, L. R., & Klendiy, V. M. (2015). Investigation of the stability of the torsional vibrations of a screw conveyor under the influence of pulse forces. INMATEH - Agricultural Engineering, 45(1), 77–86. [in English].
17. Hevko, I. (2011). Modeliuvannia kharakteru navantazhennia na hvyntovi robochi orhany. Visnyk TNTU, 16(1), 69–77. [in Ukrainian].
18. Huryk, O. Ya., Hevko, I. B., & Drahan, A. P. (2002). Do pyttannia modeliuvannia heometrii robochykh orhaniv hvyntovykh zmishuvachiv. Visnyk TDTU, 7(4), 54–60. [in Ukrainian].
19. Feng, G.-L., & Bai, Y.-S. (2006). Some moulding ways of spiral vane. Coal Mine Machinery, 27(9), 835–849.
20. Li, Z. F., & Li, Q. J. (2013). Design of combined helical blade manufacturing device. Advanced Materials Research, 753–755, 1386–1390. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR753-755.1386>.
21. Hevko I. B., Diachun A. Ye., Dubyniak T. S., Stibailo O. Yu., & Hupka A. B. (2025). Tekhnologichni osoblyvosti vyhotovlennia nozhiv-podribniuvachiv na spiraliakh shnekiv. Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky, 11(42, chast. 1), 75–83. [in Ukrainian].

Ivan Hevko, Prof., DSc., **Andrii Diachun**, Assoc. Prof., PhD, **Taras Dubyniak**, Assoc. Prof., PhD, **Oleg Stibailo**, **Roman Zolotyi**, Assoc. Prof., PhD

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

Research of Technological Process Operations for Manufacturing Shredder Knives on Screw Spirals

Screw working bodies with shredder knives and blade elements have been used in various industries, such as construction, food and processing, mining and agriculture. The advantages of such screws are the combination of the movement of agricultural and other materials with various technological operations of their processing, in particular, crushing and mixing. Such augers are widely used in the production of materials, compound feeds and other agricultural feeds for feeding animals and poultry, when mixing loose materials and grinding root crops. Therefore, technological support for the manufacture of shredder knives on screw spirals in medium-volume production is an important task. The purpose of the work is experimental research and practical implementation of the operations of the technological process of manufacturing shredder knives on screw spirals.

The research and practical implementation of the main operations of the technological process of manufacturing shredder knives on screw spirals are presented, including grinding and sharpening the outer edge of the screw spiral, cutting the outer edge of the screw spiral to obtain blanks for shredder knives, and bending them. To perform the above operations, special technological equipment and tools were designed and manufactured. A special mandrel was designed and manufactured for clamping, basing and machining the screw spiral, a special tool for sharpening the screw edge and a roller for bending the knives of the shredders. Experimental studies were conducted to determine the patterns of the relationship between the design parameters of the knives of screw crushers, in particular the angle of bending of the screw sector, the angular value of the segment sector, the thickness of the screw material with the bending force of the screw segment. Statistical processing of experimental research results was carried out to obtain regression equations in coded and natural values of the dependence of the bending force of the screw segment on its constructive independent variable parameters, as well as checking the adequacy of the obtained equations using application software. The maximum value of the bending force of the screw segment was 1484 N, and the minimum was 496 N. An increase in the bending angle of the screw sector from 40 degrees to 80 degrees leads to an increase in the bending force of the screw segment by 1.26 times.

chopper knives, auger spiral, screw working body, method, technology, technological process, experimental research

Одержано (Received) 09.05.2025

Прорецензовано (Reviewed) 15.05.2025

Прийнято до друку (Approved) 20.05.2025