

УДК 621.86

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2025-26-04

Гевко Ів. Б., Стібайло О. Ю., Лещук Р. Я., Гупка А. Б., Гурик О. Я.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ШНЕКОВИХ СПІРАЛЕЙ ОСНАЩЕНИХ ЛОПАТЕВИМИ, РІЗАЛЬНИМИ ТА ПОДРІБНЮВАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

У статті представлено і проаналізовано п'ять технологічних способів виготовлення на навивних спіралях лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів з основними конструктивно-технологічними параметрами. Зокрема три способи з переважанням використання ручної роботи і два механізовані. Встановлено, що перші три способи є високовартісними, низькопродуктивними і трудомісткими, й не забезпечують високої точності виготовлення, проте можуть широко використовуватись в одиничному виробництві. Значно ефективнішим в технічному та економічному плані є четвертий спосіб, проте в процесі його виконання проходить накладання отриманих елементів один на одний, що призводить до поступового зменшення вигнутого профілю на наступних елементах, та втрати їх заданої геометричної форми. Найбільш ефективним є п'ятий спосіб, який усуває основні недоліки попередніх способів, і забезпечує виготовлення таких елементів із значно якіснішими характеристиками. Результати економічного розрахунку виробничої собівартості виготовлення на навивній спіралі довжиною 1 м/п лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів показали, що її величина для першого способу становить 537,46 грн., для другого способу - 505,0 грн., для третього способу - 1127,81 грн., для четвертого способу - 166,83 грн., а для п'ятого способу є найменшою і становить 148,08 грн.

Ключові слова: спіраль, шнек, лопаті, подрібнювачі, гвинтова заготовка, спосіб, операція, обладнання, техніко-економічне обґрунтування.

Постановка проблеми. Існує значна різноманітність спіралей шнеків, відтак, і вагома відмінність у способах їх виготовлення. Конструктивні особливості цих елементів зумовлюють появу нових технологій їх виготовлення [1, 2]. Особливо широка гамма гвинтових елементів використовуються у якості робочих органів сільськогосподарської техніки, де вони використовуються для поперечного і повздовжнього транспортування сільськогосподарської продукції, її зведення і пресування, очищення від вороху, сепарації і калібрування, а також для подрібнення і змішування при виробництві різних компонентів, кормів тощо [1-9]. Зокрема використання спіралей шнеків оснащених лопатевими та подрібнювальними елементами (ножами) забезпечує їх широке застосування при приготуванні кормів з коренеплодами для годівлі свиней, великої рогатої худоби, кролів, птиці тощо [1]. Враховуючи вищесказане, техніко-економічне обґрунтування способів виготовлення шнекових спіралей оснащених лопатевими та подрібнювальними елементами є актуальним завданням.

Аналіз стану досліджень. Розробленню технологій отримання гвинтових спіралей різноманітної номенклатури і типорозмірів присвячено багато досліджень [2, 10-26]. Основний акцент в них був звернутий на вивчення способів отримання спіралей прокатуванням, штампуванням, і, особливо, навиванням. Також досліджувались інші методи, такі як отримання гвинтових заготовок з плоских заготовок [10, 12, 17, 18], способи отримання гофрованих заготовок, з пружними (еластичними) поверхнями, Г-подібних, П-подібних, У-подібних та інших [11, 13, 15, 16, 19-23]. Останнім часом розроблені і вивчаються технологічні способи отримання лопатевих шнекових спіралей та гвинтових спіралей оснащених ножами-подрібнювачами [23-26], які широко використовуються в багатьох галузях економіки і, в першу чергу, в сільськогосподарському виробництві. Значна увага в проведених дослідженнях зверталась на забезпеченні високої технологічності процесів виготовлення спіралей, специфіці створення ефективного технологічного інструментарію для їх виготовлення, конструктивній і технологічній наслідуваності процесів тощо [2, 14-16, 18-23]. Проте обґрунтування ефективних способів виготовлення шнекових спіралей оснащених лопатевими та подрібнювальними елементами є недостатньо вивчене і потребує подальшого дослідження.

Мета роботи. Метою роботи є проведення техніко-економічного обґрунтування способів отримання шнекових спіралей оснащених лопатевими, різальними та подрібнювальними елементами.

Виклад основного матеріалу. 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 рівня механізації [23–26].

В роботі [24] 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 одиничному чи дрібносерійному виробництві і він є низькопродуктивним.

Другий спосіб передбачає навивання спіралі щільним пакетом з подальшим штампуванням (вирубуванням, 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 (лопатевих, різальних і подрібнювальних) для забезпечення їх функціонального призначення, проводиться формування їх необхідного профілю. Наведений спосіб також доцільно використовувати в одиничному чи дрібносерійному виробництві і він є низькопродуктивним і трудомістким.

Також існує спосіб виготовлення елементів (лопатевих, 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 [24] виготовлення навивних шнекових спіралей оснащених лопатевими, різальними та подрібнювальними елементами, представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення навивних шнекових спіралей оснащених лопатевими, різальними та подрібнювальними елементами

№	Частота обертання, оправки, об/хв.	Повздовжня подача ролика, мм/об.	Діаметр оправки, мм	Висота спіралі, мм	Товщина заготовки, мм	Крок спіралі, мм	Площа елементів до площі спіралі
1	15...30	21...132	20...50	5...30	0,8...1,5	21...132	0,1...0,45
2	10...20	24,5...240	25...100	5...50	0,8...2,0	24,5...240	0,12...0,5
3	7,5...15	28...360	30...150	5...75	0,8...3,0	28...360	0,15...0,55
4	6...15	28...480	30...200	5...100	0,8...3,0	28...480	0,15...0,65
5	5...15	28...600	30...250	5...125	0,8...3,0	28...600	0,15...0,75

В праці [25] розроблено механізовані способи виготовлення ножів-подрібнювачів та лопатевих 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 накладання в процесі виготовлення отриманих елементів (лопатевих, різальних і подрібнювальних) один на одний, що призводить до поступового зменшення вигнутого профілю на наступних елементах, та втрати їх заданої геометричної форми.

В таблиці 2 представлені конструктивно-технологічні параметри способів [25] виготовлення ножів-подрібнювачів та лопатевих елементів на спіралях шнеків з використанням формувальних втулки та оправки (оснащених спеціальними профілями).

Таблиця 2 – Конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення ножів-подрібнювачів та лопатевих елементів на спіралях шнеків

№	Частота обертання, оправки, об/хв.	Повздовжня подача ролика, мм/об.	Діаметр оправки, мм	Висота спіралі, мм	Товщина заготовки, мм	Кут загику ножів-подрібнювачів, град.	Кут загику 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

Крім того, було розроблено технологічний процес виготовлення ножів-подрібнювачів [26] на спіралях шнеків механізованим способом, який усуває основні недоліки попередніх способів, і забезпечує їх виготовлення із значно якіснішими характеристиками.

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

Після виконання даних операцій оправка шнекового 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 круглошліфувальному верстаті, або на токарно-гвинторізному верстаті).

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

В таблиці 3 відображено конструктивно-технологічні параметри операцій проточування та заточування зовнішньої крайки шнекової спіралі, а в таблиці 4 операції розрізання і загинання елементів (ножів-подрібнювачів) на спіралі шнека [26].

Таблиця 3 – 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
1	3...9	7...18	50	10...15	0,8...2,0
2	3...12	7...20	80	10...25	1,0...2,5
3	3...15	7...25	100	10...35	1,0...3
4	3...18	7...30	125	10...45	1,2...3,5
5	3...22	7...35	150	10...55	1,5...3,5
6	3...25	7...45	200	10...75	1,8...4,0
7	3...30	7...50	250	10...90	2,0...4,0

Таблиця 4 – Конструктивно-технологічні параметри операції розрізання і загинання елементів (ножів-подрібнювачів) на спіралі шнека

№	Частота обертання фрези, об/хв.	Поздовжня подача фрези, мм/зуб	Поздовжня подача ролика, мм/хв.	Зовнішній діаметр шнека, мм	Кут нахилу елементів, град.	Товщина спіралі, мм	Висота елементів, мм
1	2800...11000	0,02...0,03	500...1000	50	1...90	0,8...2,0	5...10
2	2800...11000	0,02...0,03	500...1000	80	1...90	1,0...2,5	5...12
3	2800...11000	0,02...0,03	500...1000	100	1...90	1,0...3	5...15
4	2800...11000	0,02...0,03	400...900	125	1...90	1,2...3,5	5...20
5	2800...11000	0,02...0,03	400...900	150	1...90	1,5...3,5	5...25
6	2800...11000	0,02...0,035	300...800	200	1...90	1,8...4,0	5...35
7	2800...11000	0,025...0,035	300...800	250	1...90	2,0...4,0	5...40

Аналізуючи проведені дослідження [24] 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 лопатевидами, різальними та подрібнювальними елементами. Для цього розглянемо наступні способи виготовлення на навивних спіралях лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів, які представлено в таблиці 5.

Таблиця 5 – 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 (вирубування, вирізання) елементів. 4. Свердління 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 (вирубування, вирізання) виготовлення елементів на щільно навитій спіралі. 2. Калібрування спіралі. 3. Формозмінна операція вигинання елементів на спіралі (виконується при потребі).	30 - 90

Продовження таблиці 5

1	2	3	4
3.	Формування необхідного профілю елементів на відкаліброваній 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 розроблених способів виготовлення на наливних спіралях лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів, наведено в таблиці 6.

З використанням даних наведених у таблицях 5 і 6 виконано економічний розрахунок наведених технологічних способів виготовлення на наливній 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 з табл. 5 – 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. 5) - 70% (прийнято вартість відходів у розмірі 5% від вартості матеріалів).

При виконанні розрахунків загальнопромислові 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 по виготовленню 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 побутових споживачів в Тернопільській обл. «Укренерго» від 01.01.2025 р., прийнято 2256,66 грн. за 1 МВт-год. без ПДВ та 686,23 грн. за 1 МВт-год. без ПДВ.

Таблиця 6 – Вихідні дані для проведення техніко-економічного обґрунтування способів виготовлення на навивних спіралях лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів

Номер способу з табл. 5	Спосіб №1 з табл. 5	Спосіб №2 з табл. 5	Спосіб №3 з табл. 5	Спосіб №4 з табл. 5	Спосіб №5 з табл. 5
Вихідні дані					
Відходи матеріалів, %	-	30	30	-	-
Обладнання та інструментарій:					
- 1 операція:	Верстат OPTIdrill RB 6T 3009161	Прес КД 2128 і спеціальний штамп	Верстат 16K20 і спеціальне оснащення	Шліф-машина кутова Dnipro-M GL-125S	Верстат 16K20 і спеціальне оснащення
- 2 операція:	Верстат 16K20 і спеціальне оснащення	Верстат 16K20 і спеціальне оснащення	Шліф-машина кутова Dnipro-M GL-125S	Верстат 16K20 і формувальний інструмент	Верстат 16K20 і ріжучий інструмент
- 3 операція:	Прес КД 2128 і спеціальний штамп	Універсальний ручний інструмент	Універсальний ручний інструмент	Верстат 16K20 і спеціальне оснащення	Верстат 6P82 і спеціальний інструмент
- 4 операція:	Верстат OPTIdrill RB 6T 3009161				Верстат 16K20 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				
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	193,0	245,0	1,44	245,0
- 2 операція:	245,0	245,0	1,44	245,0	245,0
- 3 операція:	193,0	-	-	245,0	241,6
- 4 операція:	20,3				245,0
- 5 операція:	-				

Результати проведеного економічного розрахунку виробничої собівартості виготовлення на навивній спіралі довжиною 1 м/п лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів різними способами, при використанні відомої методики [23], відображено в таблиці 7.

Таблиця 7 – Результати економічного розрахунку виробничої собівартості виготовлення на навивній спіралі довжиною 1 м/п лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів

Елементи витрат, грн.	Спосіб №1 з табл. 2	Спосіб №2 з табл. 2	Спосіб №3 з табл. 2	Спосіб №4 з табл. 2	Спосіб №5 з табл. 2
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 викладені в таблиці 7 робимо висновок, що спосіб №5, який передбачає проточування та заточування зовнішнього контуру попередньо відкаліброваної спіралі, з подальшим частковим розрізанням її зовнішньої торцевої поверхні і загином 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, загином 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, низькопродуктивними і трудомісткими, й не забезпечують високої точності виготовлення, проте можуть широко використовуватись в одиничному виробництві.

Висновки. Представлено і проаналізовано п'ять технологічних способів виготовлення на навивних спіралях лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів з їхніми основними конструктивно-технологічними параметрами. Зокрема три способи з переважанням використанням ручної роботи: №1 - калібрування спіралі (незначної висоти) і закріплення на ній елементів; №2 - виконання розділювальної операції на щільно навитій спіралі та її калібрування; №3 - формування необхідного профілю елементів на відкаліброваній спіралі вирізанням і вигинанням; і два механізовані способи: №4 - проточування та заточування зовнішнього контуру попередньо відкаліброваної спіралі, з подальшим частковим розрізанням її зовнішньої торцевої поверхні і загином на ній елементів та калібруванням на потрібний крок; №5 - часткове розрізання зовнішньої торцевої поверхні щільно навитої спіралі, загином елементів з використанням формувальних втулки та оправки, і її калібрування. Встановлено, що перші три способи є високовартісними, низькопродуктивними і трудомісткими, й не забезпечують високої точності виготовлення, проте можуть широко використовуватись в одиничному виробництві. Значно ефективнішим в технічному та економічному плані є спосіб №4, проте в процесі його виконання проходить поступове накладання виготовлюваних елементів один на одний, що призводить до поступового зменшення вигнутого профілю на наступних елементах та втрати їх заданої геометричної форми. Найбільш ефективним є спосіб №5, який усуває основні недоліки попередніх способів, і забезпечує їх виготовлення із значно якіснішими характеристиками. Результати економічного розрахунку виробничої собівартості виготовлення на навивній спіралі довжиною 1 м/п лопатевих, різальних чи подрібнювальних елементів показали, що її величина для способу №1 становить 537,46 грн., для способу №2 становить 505,0 грн., для способу №3 становить 1127,81 грн., для способу №4 становить 166,83 грн., а для способу №5 є найменшою і становить 148,08 грн.

Інформаційні джерела

1. Грицай Ю. В. Обґрунтування параметрів комбінованого шнекового транспортера-подрібнювача коренеплодів: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.11. Тернопіль, 2020. 137 с.
2. 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.
3. Rogatinskiy R., Hevko I., Dyachun A., Skyba O., Melnychuk A. Feasibility study of improving the transport performance by means of screw conveyors with rotary casings. Acta Technologica Agriculturae. 2019. No. 4. P. 140-145.

4. Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Дмитрів Д. В. Моделювання роботи малогабаритного лопатево-гвинтового змішувача. Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей. 2000. Вип. 6. С. 129-135.
5. Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Дмитрів Д. В., Гудь В. З., Дмитрів О. Р. Моделювання змішування компонентів гвинтовими конвеєрами-змішувачами. Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей. 2020. Вип. 45. С. 84-93.
6. Гевко І. Б., Вітровий А. О., Гурик О. Я. Динамічна модель процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром. Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей. 2001. Вип. 8. С. 72-82.
7. Гевко І. Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи. Вісник ТНТУ. 2011. Т. 16. № 1. С. 69-77.
8. Лещук Р., Гевко І., Комар Р. Результати експериментальних досліджень гвинтових переважувальних механізмів. Вісник ТДТУ. 2003. Т. 8. № 4. С. 56-61.
9. 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. 2015. Vol. 45. No. 1. P. 77-86.
10. Feng G.-I., Bai Y.-s. Some moulding ways of spiral vane. Coal Mine Machinery. 2006. Vol. 27. No. 9. P. 835-849.
11. Hevko I. B., Dyachun A. Ye., Lyashuk O. L., Martsenko S. V., Gypka A. B. Research the force parameters of forming the screw cleaning elements. INMATEH - Agricultural Engineering. 2016. Vol. 49. No. 2. P. 77-82.
12. Li Z. F., Li Q. J. Design of combined helical blade manufacturing device. Advanced Materials Research. 2013. Vol. 753-755. P. 1386-1390. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr753-755.1386.
13. Peculiarities of technological design of U-shaped screw transport and technological working bodies / Hevko I., Pik A., Komar R., Stibaylo O., Koval S. Scientific Journal of TNTU. 2024. Vol. 113. No. 1. P. 5-15.
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. 2017. No. 2. P. 36-41. DOI: 10.1515/ata-2017-0007.
15. Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning / Hevko I., Diachun A., Lyashuk O., Vovk Y., Hupka A. Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV: Proceedings of DSMIE-2021, June 8-11, 2021, Lviv, Ukraine. Vol. 1. P. 385-394.
16. Study of power parameters of the screw spirals forming / Lyashuk O., Rogatynskyy R., Hevko I., Navrotska T., Diachun A. Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV: Proceedings of DSMIE-2024, June 4-7, 2024, Pilsen, Czech Republic. Vol. 1. P. 287-298.
17. Васильків В. В., Радик Л. Д., Гевко І. Б. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових заготовок з листового прокату. Наукові нотатки ЛДТУ. 2004. Вип. 14. С. 12-18.
18. Гевко Б. М., Пилипець М. І., Васильків В. В., Радик Д. Л. Технологічні основи формотворення різнопрофільних гвинтових заготовок. Тернопіль: ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. 457 с. ISBN 966-305-014-4.
19. Гевко Р. Б., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Дячун А. Є., Залуцький С. З., Станько А. І., Довбуш Т. А. Гвинтові конвеєри з еластичними поверхнями. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. 239 с.
20. Гевко І. Б., Клендій В. Технологічність конструкцій гвинтових секційних робочих органів. Вісник ТНТУ. 2015. Т. 79, № 3. С. 148-155.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.

25. 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.

26. 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. 31-41.

Ivan Hevko, Oleg Stibailo, Roman Leshchuk, Andrii Gupka, Oleg Hurik
Ternopil Ivan Puluj National Technical University

TECHNICAL AND ECONOMIC SUBSTITUTION OF METHODS FOR MANUFACTURING SCREW ROLLERS EQUIPPED WITH BLADES, CUTTING AND CRUSHING ELEMENTS

The article presents and analyzes five technological methods for manufacturing blade, cutting, or grinding elements on winding spirals with their main design and technological parameters. In particular, three methods with the predominant use of manual labor and two mechanized ones. It has been established that the first three methods are high-cost, low-productivity, and labor-intensive, and do not provide high manufacturing accuracy, but can be widely used in single-unit production. The fourth method is much more effective in technical and economic terms, however, in the process of its implementation, the manufactured elements are gradually superimposed on each other, which leads to a gradual reduction in the curved profile on subsequent elements and the loss of their given geometric shape. The most effective is the fifth method, which eliminates the main disadvantages of the previous methods and ensures their production with significantly higher quality characteristics.

The results of the economic calculation of the production cost of manufacturing blade, cutting or grinding elements on a winding spiral with a length of 1 m/s showed that its value for the first method is 537.46 UAH, for the second method - 505.0 UAH, for the third method - 1127.81 UAH, for the fourth method - 166.83 UAH, and for the fifth method it is the smallest and is 148.08 UAH.

Keywords: spiral, auger, blades, shredders, screw blank, method, operation, equipment, feasibility study.