

УДК 621.82

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.24-34](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.24-34)

І.Б. Гевко, проф., д-р техн. наук, Р.Я. Лещук, доц., канд. техн. наук, А.О. Брикса, асп.,  
О.Ю. Стібайло, асп., С.О. Коваль, асп.

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль,  
Україна*

*e-mail: gevkoivan1@ukr.net*

## Особливості конструкцій і технологічного проектування робочих органів лопатевих гвинтових змішувачів

Проаналізовано типові конструктивні схеми лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів і розроблено найбільш технологічні способи їх виготовлення. Визначено основні конструктивно-технологічні параметри способів їх виготовлення з використанням навивання і встановлено основні фактори, які впливають на їх технологічне проектування. Визначено технологічні особливості конструктивних параметрів лопатевих спіралей змішувачів, які виготовлені різними способами, і охарактеризовано найбільш вживані конструкційні та супутні матеріали при їх виготовленні. Встановлено, що найбільш економічно ефективним способом виготовлення лопатевих спіралей змішувачів є навивання спіралей щільним пакетом по внутрішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок з подальшим вилученням сегментних отворів для створення лопатей і калібруванням на заданий крок.

**лопати, гвинтовий робочий орган, змішувач, спосіб, технологічне проектування**

**Постановка проблеми.** Лопатеві гвинтові змішувачі є типовими засобами для виконання операції змішування будівельних матеріалів, комбікормів, різних видів продуктів у харчовій промисловості тощо [20] і принцип їх роботи використовує поєднання операції переміщення багатокомпонентних сумішей із операцією їх перемішування. Для створення і використання раціональних конструкцій лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів, що забезпечують необхідну якість процесу змішування, потрібно розробити і обґрунтувати найбільш технологічні способи їх виготовлення при забезпеченні мінімальної собівартості виготовлення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Специфіка розробки і дослідження технологічних процесів виготовлення спіралей шнеків широко висвітлена у наукових працях Б.М. Гевка [12, 21], М.І. Пилипця [9, 12, 18, 19], Р.М. Рогатинського [7, 20], В.В. Васильківа [9-12, 18], О.Л. Ляшука [4, 8, 16, 17, 21], А.Є. Дячуна [1, 4, 8, 16, 17, 20], А.П. Драгана [21] та інших вітчизняних і зарубіжних вчених [2, 3, 5, 6, 13, 15]. Основна увага цими науковцями зосереджувалась на особливостях одержання спіралей шнеків навиванням, прокатуванням, штампуванням та іншими. Також багато уваги приділялось забезпеченню технологічності конструкцій гвинтових спіралей і зниженню енерго- та матеріаловитрат при їх одержанні; проектуванню відповідного технологічного оснащення і обладнання для забезпечення процесів виробництва спіралей шнеків тощо.

**Постановка завдання.** Метою роботи є технологічне проектування робочих органів лопатевих гвинтових змішувачів.

**Виклад основного матеріалу.** Особливостями лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів є розташування лопатей по гвинтовій лінії вздовж осі вала, на якому

вони, як правило, нерухомо закріплені (рис. 1 а). Проте окремі конструкції робочих органів можуть розташовуватись на валу з можливістю провертання (рис. 1 б).

На рис. 1 зображені найбільш типові представники лопатевих шнеків, виготовлення яких може забезпечуватись різними способами. Для проведення їх технологічного проектування розглянемо більш детально їхні конструктивні схеми (рис. 1). Шнек для змішування з механічним кріпленням елементів (пат. України № 153687) виконано у вигляді пустотілого вала 1 (рис. 1 а), в якому по гвинтовій лінії закріплено елементи 3 відомим способом в отворах 4 спіралі незначної висоти 2. Між елементами 3 існують отвори для просипання та змішування матеріалів 5. При цьому існує можливість здійснювати підбір необхідної величини елементів 3 для регулювання отворів для просипання та змішування матеріалів 5 з метою кращого змішування матеріалів.

Гвинтовий робочий орган змішувача (пат. України № 153774) виконано у вигляді вала 1 (рис. 1 б) 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 провертання 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. При цьому для інтенсифікації змішування існує можливість здійснювати підбір необхідного зазору між лопатями базової лопатевої спіралі 3 та спіралі Г-подібної форми 4 шляхом провертання спіралі Г-подібної форми 4 відносно вала 1 з подальшою фіксацією її кінців 7 на ньому.

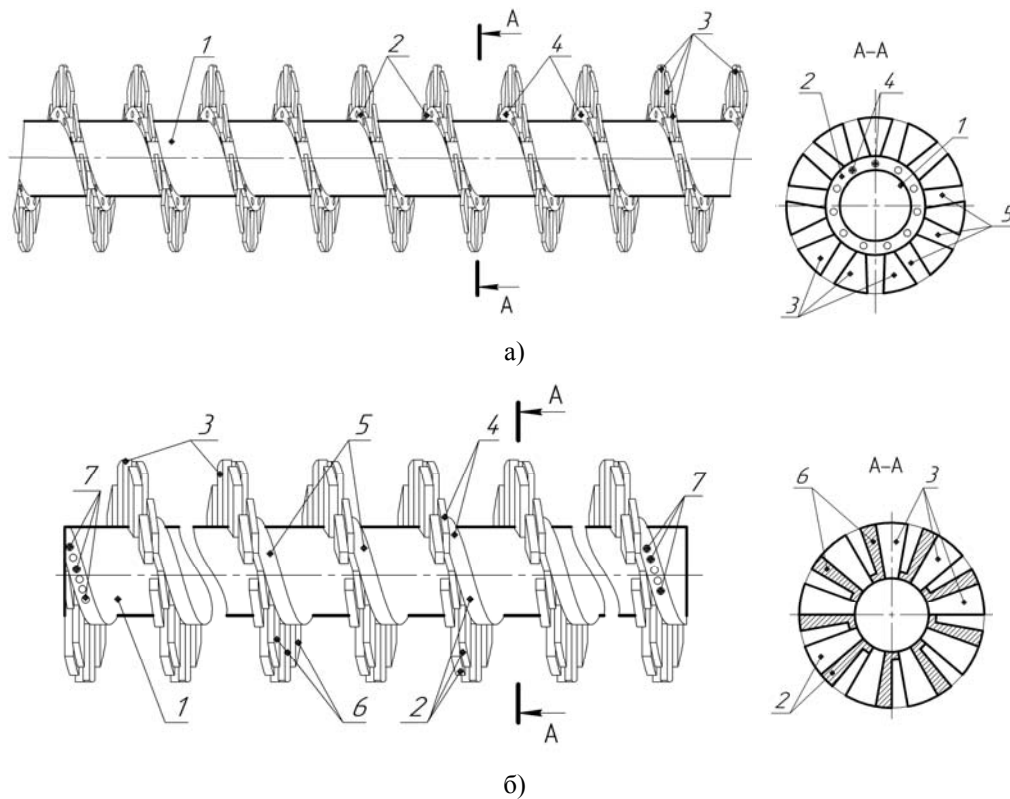


Рисунок 1 – Конструктивні схеми лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів  
Джерело: розроблено авторами

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. 1 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. 1 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. 1 б.

Виготовлення базової лопатевої спіралі 3, зображеної на рис. 1 б, передбачає наступну послідовність технологічних операцій:

1. Навивання спіралі 3 відповідного діаметра із заготовки прямокутного профілю.
2. Вирубвання (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. 1 б, передбачає наступну послідовність технологічних операцій:

1. Вирубвання (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. 1 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 [14] (рис. 2), що потребують відгинання лопатей на певний кут. Це потребує додаткової операції, які виконують, як правило, з допомогою ручного інструменту.

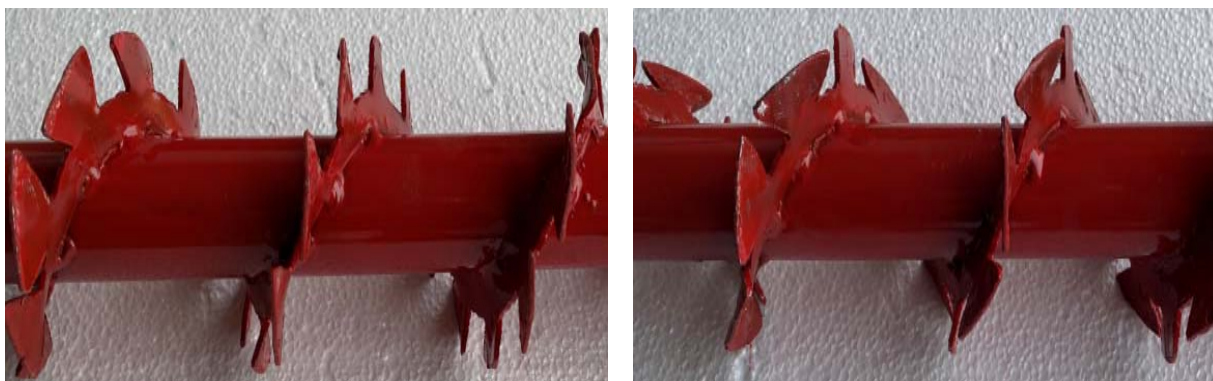


Рисунок 2 – Загальний вигляд лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів з відігнутими лопатями (пелюстками)

Джерело: [14]

Основні конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів навіванням представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів навіванням

№	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

Джерело: розроблено авторами

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.

Конструкційні матеріали, які найчастіше використовують при виготовленні лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів, є сталі марок 08 кп ДСТУ 2834-94, Ст 3 ДСТУ 4651:2005 (аналоги 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), 3C, DC01, DC04, DD13, FB8, Fd4, FR8, XC6 (Франція)), а також сталь 20, 30, 45, 09Г2С, 08Х17Т, 12Х17, AISI 304, AISI 316 та інші аналоги.

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 задирів, 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 [13]. 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 2.

Таблиця 2 – Технологічні особливості конструктивних параметрів лопатевих спіралей змішувачів виготовлених різними способами

№ п/п	Спосіб виготовлення	Коефіцієнт використання матеріалу, $K$	Питома висота витка, $(b'=B/H, \text{ де } B \text{ і } H - \text{ висота і товщина витка})$
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 вирубування (вирізання) сегментних отворів (вилучень) і калібруванням на заданий крок	0,5 – 0,8	3 - 16
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

*Джерело: розроблено авторами*

Проведемо економічний підрахунок окремих способів виготовлення лопатевих спіралей змішувачів з використанням даних таблиці 2. Розрахунок проведемо для лопатевої спіралі товщиною 3 мм, з висотою витка - 30 мм, зовнішнім діаметром - 100 мм, кроком 100 мм, з вирізами по зовнішньому контуру спіралі, які складають 30% її простору, з матеріалу сталь 08кп.

Наведені орієнтовні дані в таблиці 3 можуть змінюватись при виборі іншого

обладнання. Підрахунок відповідних калькуляційних статей проведено за загальновідомою методикою [7]. При цьому слід зазначити, що операція зварювання виконується за участю двох робітників; вартість матеріалів приймалась з прайс-листа ПМП «Рост» на 24.02.2023 р. (лист 1,00×2,00 – 1973,70 грн., смуга 30×3 – 27,16 грн./м/п, кутник 30×30 – 52,84 грн./м/п); годинна тарифна ставка на цей же період робітника 1-го розряду приймалась на рівні 46,75 грн.; тарифні коефіцієнти приймалися наступними: 1,09 для другого розряду, 1,24 для третього розряду, 1,35 для четвертого розряду і 1,54 для п'ятого розряду; вартість електроенергії на цей же період становила 1893,94 грн. за 1 МВт-год., без ПДВ (тариф на розподіл електроенергії «Укренерго» для непобутових споживачів в Тернопільській обл.).

Таблиця 3 – Орієнтовні дані для порівняння способів виготовлення лопатевої спіралі

Номер способу з табл. 2	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	Спосіб №6 з табл. 2
Відходи матеріалу, %	65	30	30	30	-	15
Витрати електроенергії обладн., год./кВт:						
- 1 операція:	8,3	12	7,5	7,5	1,05	1,05
- 2 операція:	3,2	8,3	8,3	1,05	7,5	7,5
- 3 операція:		3,2				
Тип і марка обладнання:						
- 1 операція:	1. Прес КД 2128 і спеціальний штамп;	1. Спеціальний прокатний стан;	1. Верстат 16E16КП і спеціальне оснащення;	1. Верстат 16E16КП і спеціальне оснащення;	1. Шліф-машина кутова Dnipro-M GL-125S;	1. Шліф-машина кутова Dnipro-M GL-125S;
- 2 операція:	2. Зварний інвенторний апарат Tesla Weld MMA 245.	2. Прес КД 2128 і спеціальний штамп;	2. Прес КД 2128 і спеціальний штамп.	2. Шліф-машина кутова Dnipro-M GL-125S.	2. Верстат 16E16КП і спеціальне оснащення.	2. Верстат 16E16КП і спеціальне оснащення.
- 3 операція:		3. Зварний інвенторний апарат Tesla Weld MMA 245.				
Тривалість операції, м/п/хв.:						
- 1 операція:	5,0	2,5	3,0	3,0	1,0	20,0
- 2 операція:	60,0	5,0	5,0	10,0	3,0	3,0
- 3 операція:		90,0				
Розряд робітника:						
- 1 операція:	2	5	5	5	4	4
- 2 операція:	4 і 2	2	2	4	5	5
- 3 операція:		4 і 2				

Джерело: розроблено авторами

Результати розрахунку виробничої собівартості виготовлення 1 м/п лопатевої спіралі при використанні різних способів виготовлення відображено в таблиці 4. При цьому приймалось, що вартість повернених відходів становитиме 5% від початкової вартості матеріалів, а загальнозаводські витрати приймались у розмірі 200% від заробітної плати виробничих робітників.

Таблиця 4 – Результати розрахунків виробничої собівартості виготовлення 1 м/п лопатевої спіралі за окремими способами

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	Спосіб №6 з табл. 2
Сировина і основні матеріали (з врахуванням повернення відходів)	95,48	66,88	66,88	66,88	132,1	131,11
Зарплата виробничих робітників	117,56	177,22	7,8	14,03	4,63	24,48
Енергія на технологічні цілі	8,72	10,75	2,39	1,51	1,16	7,9
Загальнозаводські витрати	235,12	354,44	15,6	28,06	9,26	48,96
Разом виробнича собівартість	456,88	609,29	92,67	110,48	147,15	212,45

*Джерело: розроблено авторами*

Аналізуючи дані таблиці 4 можна зробити висновок, що найбільш ефективним в економічному плані способом виготовлення лопатевих спіралей є навивання щільним пакетом спіралей по внутрішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок з подальшим вирубування (вирізання) сегментних отворів (вилучень) і калібруванням на заданий крок, як загалом і інші методи, які використовують навивання (способи № 4 – № 6 з табл. 2). Виготовлення лопатевих спіралей іншими способами з використанням штампування (спосіб № 1 з табл. 2) чи прокатування (спосіб № 2 з табл. 2) є в рази дорожчим.

**Висновки.** 1. При проведенні технологічного проектування лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів проаналізовано типові їхні конструктивні схеми і розроблено найбільш технологічні способи їх виготовлення з використанням процесів штампування, прокатування і навивання. Визначено основні конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення лопатевих гвинтових робочих органів змішувачів навиванням і встановлено основні фактори, які впливають на їх технологічне проектування.

2. Визначено технологічні особливості конструктивних параметрів лопатевих спіралей змішувачів, 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.

3. Проведено економічний розрахунок окремих способів виготовлення лопатевих спіралей змішувачів і встановлено, що найбільш ефективним в економічному плані способом їх виготовлення є навивання щільним пакетом спіралей по внутрішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок з подальшим вирубування (вирізання) сегментних отворів (вилучень) і калібруванням на заданий крок, як загалом і інші методи, які використовують навивання (способи № 4 – № 6 з табл. 2). Виготовлення лопатевих спіралей іншими способами з використанням штампування (спосіб № 1 з табл. 2) чи прокатування (спосіб № 2 з табл. 2) є в рази дорожчим.



## Список літератури

1. Diachun A., Vasylykiv V., Korol O., Myhailiuk V., Golovaty I., Kuras A. Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. *Scientific Journal of TNTU*. 2021. Vol. 101, No. 1. P. 68–78. [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2021.01.068](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.01.068)
2. Feng Guang-liang, Bai Yin-shan. Some moulding ways of spiral vane. *Coal Mine Machinery*. 2006 Vol. 27, No. 9. P. 835-849.
3. Gheorghe Pleșu. Package of calculus, drawing and design of the rolling tools for manufacturing of the helical surfaces. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*. 2014. No. 1. P. 65-70.
4. Hevko I.B., Dyachun A.Ye., Lyashuk O.L., Martsenko S.V., Gypka A.B. Research the force parameters of forming the screw cleaning elements. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 49, № 2. P.77-82.
5. 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/753-755.1386>
6. Quan-Quan Han and Ri-Liang Liu. Mathematical model and tool path calculation for helical groove whirling. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 2013. 6(19). P. 3584–3587. <https://doi.org/10.19026/rjaset.6.3563>
7. 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 Agricultrae*. 2017. No. 2. P. 36–41. <https://doi.org/10.1515/ata-2017-0007>
8. Ivan Hevko, Andrii Diachun, Oleg Lyashuk, Yuriy Vovk, Andriy Hupka. Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning. *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange: Book of Abstracts of the 4th International Conference, June 8-11, 2021. Sumy: IATDI, 2021. Vol. 1. P. 385-394.*
9. 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 TNTU*. 2021. Vol. 104, No. 4. P. 33–43. [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2021.04.033](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.04.033)
10. Васильків В. В. Розвиток науково-прикладних основ розроблення технологій виробництва гвинтових і шнекових заготовок з використанням уніфікації: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техніч. наук: спец. 05.02.08. Львів, 2015. 48 с.
11. Васильків В. В., Радик Л. Д., Гевко І. Б.. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових заготовок з листового прокату. *Наукові нотатки*. 2004. Вип. 14. С. 12–18.
12. Технологічні основи формотворення різнопрофільних гвинтових заготовок / Гевко Б. М., Пилипець М. І., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль: Вид-во ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. 457 с.
13. Гевко Ів., Клендій В. Технологічність конструкцій гвинтових секційних робочих органів. *Вісник ТНТУ*. 2015. № 3, т. 79. С. 148-155.
14. 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.
15. Гнучкі гвинтові конвеєри: проектування, технологія виготовлення, експериментальні дослідження / Гевко І. Б. та ін. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 207 с.
16. Ляшук О. Л., Дячун А. Є., Клендій В. М., Третьяков О. Л. Дослідження силових параметрів процесу зміцнення гвинтових поверхонь робочих органів деформуючими пуансонами. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2018. № 1 (66). С. 38-43.
17. Ляшук О. Л., Дячун А. Є., Третьяков О. Л. Дослідження деформації заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок пристроєм із декількома різцями. *Перспективні технології та прилади*. 2018. Вип. 12. С. 105-110.
18. 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.
19. Пилипець М. І. Науково-технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.03.01. Львів, 2002. 35 с.
20. 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.
21. Технологічні основи формотворення спеціальних профільних гвинтових деталей / Гевко Б.М. та ін. – Тернопіль: ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. 367 с.

## References

1. Diachun, A., Vasykiv, V., Korol, O., Myhailiuk, V., Golovaty, I. & Kuras, A. (2021). Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. *Scientific Journal of TNTU, Vol. 101, No. 1*, P. 68–78. [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2021.01.068](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.01.068) [in English].
2. Feng, Guang-liang & Bai, Yin-shan (2006). Some moulding ways of spiral vane. *Coal Mine Machinery, Vol. 27, No. 9*, P. 835-849 [in English].
3. Gheorghe Pleşu (2014). Package of calculus, drawing and design of the rolling tools for manufacturing of the helical surfaces. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies, No 1*, P. 65-70 [in English].
4. 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, Vol. 49, №2, P. 77-82* [in English].
5. Li Zheng Feng & Li Qiang Jiang (2013). Design of combined helical blade manufacturing device. *Advanced Materials Research, Vol. 753–755*, 1386–1390. Crossref. Doi: 10.4028/www.scientific.net/amr/753-755.1386. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR> [in English].
6. Quan-Quan Han & Ri-Liang Liu (2013). Mathematical model and tool path calculation for helical groove whirling. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 6 (19)*, 3584–3588 <https://doi.org/10.19026/rjaset.6.3563> [in English].
7. 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 Agricultrae, No. 2*, 36-41. <https://doi.org/10.1515/ata-2017-0007> [in English].
8. 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. *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange: Book of Abstracts of the 4th International Conference, June 8-11, 2021. Sumy: IATDI, 2021. Vol. 1. P. 385-394* [in English].
9. Vasykiv, V., Pylypets, M., Danylchenko, L. & Radyk, D. (2021). Investigation of deflections of winded screw flights and auger billets in the processes of their manufacture. *Scientific Journal of TNTU, Vol. 104, No. 4*, P. 33–43. [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2021.04.033](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.04.033) [in English].
10. Vasykiv, V. V. (2015). Rozvytok naukovo-prykladnykh osnov rozroblennia tekhnolohij vyrobnytstva hvyntovykh i shnekovykh zahotovok z vykorystanniam unifikatsii [Development of the scientific and applied foundations of the development of technologies for the production of screw and auger blanks using unification]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. L'viv [in Ukrainian].
11. Vasykiv, V. V., Radyk, L. D. & Hevko, I. B. (2004). Tekhnolohichni ta konstruktyvni osoblyvosti vyhotovlennia hvyntovykh zahotovok z lystovoho prokatu [Technological and constructive features of the production of screw blanks from rolled sheet]. *Naukovi notatky – Scientific notes, 14*, 12–18 [in Ukrainian].
12. Hevko, B.M. et al. (2009). *Tekhnolohichni osnovy formotvorennia riznoprofil'nykh hvyntovykh zahotovok [Technological bases of shaping of various profile screw blanks]*. Ternopil: Publication of TDTU named after I. Pulyuya [in Ukrainian].
13. Hevko, Iv. (2015). Tekhnolohichnist' konstruksij hvyntovykh sektiynnykh robochykh orhaniv [Technological features of designs of helical sectional working bodies]. *Visnyk TNTU – Bulletin of TNTU, 79, 3, 148-155* [in Ukrainian].
14. Hud', V.Z. (2021). Mekhaniko-tekhnolohichni osnovy rozrobky bahatofunktsional'nykh sektiynnykh shnekiv dlia zernovoho materialu [Mechanical and technological basics of the development of multifunctional sectional screws for grain material]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Ternopil' [in Ukrainian].
15. Hevko, I. B. et al. (2019). *Hnuchki hvyntovi konveieri: proektuvannia, tekhnolohiia vyhotovlennia, eksperymental'ni doslidzhennia [Flexible screw conveyors: design, manufacturing technology, experimental studies]*. Ternopil': FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
16. Liashuk, O. L., Diachun, A. Ye., Klendij, V. M. & Tret'iakov, O. L. (2018). Doslidzhennia sylovykh parametriv protsesu zmitsnennia hvyntovykh poverkhon' robochykh orhaniv deformuiuchymy puansonamy [Study of force parameters of the process of strengthening the helical surfaces of working bodies by deforming punches]. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovysch – Exploration and development of oil and gas deposits, 1 (66)*, 38-43 [in Ukrainian].
17. Liashuk, O. L., Diachun, A. Ye. & Tret'iakov, O. L. (2018). Doslidzhennia deformatsii zahotovky v protsesi narizannia zovnishnikh radiusnykh kanavok prystroiem iz dekil'koma riztsiamy [Study of deformation of the workpiece in the process of cutting external radius grooves with a device with several cutters]. *Perspektyvni tekhnolohii ta prylady – Promising technologies and devices, 12*, 105-110 [in Ukrainian].

18. Pylypets', M. I., Vasyl'kiv, V. V., Radyk, D. L. & Pylypets', O. M. (2021). Peredumovy rozroblennia kombinovanykh operatsij vyhotovlennia hvyntovykh i shnekovykh zahotovok metodom obrobky metaliv tyskom [Prerequisites for the development of combined operations for the production of screw and auger workpieces by the method of pressure metal processing]. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady – Promising technologies and devices*, 18, 112–123 [in Ukrainian].
19. Pylypets', M. I. (2002). Naukovo-tekhnolohichni osnovy vyrobnytstva navyvnykh zahotovok detalej mashyn [Scientific and technological basis of production of winding blanks of machine parts] *Extended abstract of Doctor's thesis*. L'viv [in Ukrainian].
20. Rohatyns'kyj, R.M., Hevko, I.B. & Diachun, A.Ye. (2014). *Naukovo-prykladni osnovy stvorennia hvyntovykh transportno-tekhnolohichnykh mekhanizmiv [Scientific and applied foundations of the creation of screw transport and technological mechanisms]*. Ternopil' : Vyd-vo TNTU imeni Ivana Puliuia [in Ukrainian].
21. Hevko, B.M. et al. (2008). *Tekhnolohichni osnovy formoutvorennia spetsial'nykh profil'nykh hvyntovykh detalej [Technological bases of forming of special profile screw parts]*. Ternopil': TDTU imeni Ivana Puliuia [in Ukrainian].

**Ivan Hevko**, Prof., DSc., **Roman Leshchuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andriy Briksa**, post-graduate, **Oleg Stibailo**, post-graduate, **Serhiy Koval**, post-graduate  
*Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu, Ternopil, Ukraine*

### **Features of structures and technological design of working bodies of bladed screw mixers**

Blade screw mixers are typical tools for mixing building materials, compound feed, various types of products in the food industry, etc. The principle of their operation uses a combination of the operation of moving multicomponent mixtures with the operation of mixing them. Features of bladed screw working bodies of mixers are the arrangement of blades along a helical line along the axis of the shaft, on which they are, as a rule, immovably fixed. However, separate structures of working bodies can be located on the shaft with the possibility of rotation.

The production of the working body of the blade screw mixer in the most technological ways may involve the following sequence of technological operations:

1. Winding a spiral of the appropriate diameter. Drilling holes with a drill head on the end surface of a spiral wound with a dense package on the edge of the spiral, which is installed in the conductor (provided that a mechanical connection will be used in the design of the auger). Calibrating the helix to a given pitch. Installation (screwing) of a spiral on a hollow shaft with a given pitch. Fixation of the spiral on the hollow shaft (welded connection). Production of blade elements of the appropriate profile (stamping, cutting). Drilling of mounting holes on the end surface of the blade elements (provided that a mechanical connection will be used in the design of the auger). Fastening the blade elements on the spiral: option 1: in the holes with a bolt or rivet connection; option 2: using a welded connection.

2. Winding a spiral of the appropriate diameter from a rectangular profile blank. Cutting (cutting) segmental openings (removals) of the appropriate size and profile on the end surface of a dense package wound on the edge of a spiral to form the necessary blade elements on it. Calibrating the helix to a given pitch. Installation (screwing) of a spiral on a hollow shaft with a given pitch. Fixation of the spiral on the hollow shaft (welded connection).

3. The production of an L-shaped bladed spiral involves the cutting (cutting) of segmental holes (removals) of the appropriate size and profile on the end surface of the L-shaped profile workpiece to form the necessary blade elements on it (the operation can also be used for a rectangular workpiece). Winding the L-shaped spiral on the frame with an internal continuous cylindrical part of the corresponding diameter. Calibration of the L-shaped spiral to a given pitch. Drilling of fastening holes at the ends on the end surface of the cylindrical part of the L-shaped spiral.

The manufacturing technology of bladed screw working bodies of mixers significantly affects their technical and economic indicators and is ensured by the use of various methods. Technological features of the design parameters of the blade spirals of the mixers, which are made in various ways from rolled sheet, tape or L-shaped profile (angle). The results of calculating the production cost of manufacturing 1 m/p of a bladed spiral using different manufacturing methods showed that the most economically effective method of manufacturing bladed spirals is winding a dense package of spirals along the inner end profile from rectangular blanks followed by cutting (cutting out) segmental holes (removals) and calibration to a given step, as in general and other methods that use winding. The production of blade spirals by methods using stamping or rolling is many times more expensive.

#### **blades, screw working body, mixer, method, technological design**

*Одержано (Received) 30.10.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 30.11.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023*