

**А. Є. Дячун**, доц., канд. техн. наук, **В. Ю. Грасовник**

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

*e-mail: dyachun\_andriy@ukr.net*

## Дослідження операції навивання стрічкових гвинтових робочих органів

Проведено проектування, виготовлення, практична реалізація та експериментальні дослідження оснащення для операції навивання стрічки на оправку технологічного процесу виготовлення стрічкових гвинтових робочих органів. Запропоновано нові конструкції технологічного оснащення для підвищення якості та розширення можливостей навивання стрічкових гвинтових робочих органів. Представлено результати експериментальних досліджень для визначення закономірностей взаємозв'язку конструктивних параметрів стрічкового гвинтового робочого органу та силових параметрів навивання стрічки, зокрема впливу товщини стрічки, ширини стрічки та радіуса оправки на крутний момент обертання оправки. Поведено статистичне оброблення даних результатів експериментальних досліджень з виведенням рівняння регресії у кодованих та натуральних величинах залежності моменту обертання оправки при навиванні гвинтового робочого органу від його конструктивних параметрів.

**гвинтовий робочий орган, навивання, деформація, крутний момент, технологічне оснащення, силові параметри, експериментальні дослідження**

**Постановка проблеми.** Технологічні параметри гвинтових робочих органів різноманітних машин забезпечують можливість їх застосування у різних виробничих процесах. Зокрема, гвинтові робочі органи використовують в сільському господарстві, будівельній, харчовій, переробній, гірничо-видобувній промисловостях. Гвинтові робочі органи виконують функції транспортуючих і технологічних робочих органів у різноманітних машинах та механізмах, зокрема у складі шнекових транспортерів. Незважаючи на тривалий період наукових досліджень і технологічного вдосконалення методів їх виготовлення, процес формоутворення таких деталей і дотепер характеризується підвищеною складністю та значною енергоємністю. Зростання вимог до експлуатаційних характеристик гвинтових робочих органів, зокрема показників якості, надійності та зносостійкості, а також до точності геометричних параметрів і стабільності технологічних параметрів обумовлює актуальність розроблення та впровадження ефективніших і технологічно досконалих методів їх виготовлення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням проектування технологічних процесів та дослідження методів виготовлення гвинтових робочих органів різного профілю присвячено значну кількість наукових праць багатьох дослідників. Вагомий внесок у розвиток теоретичних основ та практичних аспектів розроблення і дослідження технологій одержання гвинтових робочих органів здійснили Гевко Б.М. [1, 2], Рогатинський Р.М. [9, 13, 14, 16], Пилипець М.І. [1, 3, 4], Гевко І.Б. [7-21], Васильків В.В. [3-6], Ляшук О.Л. [7-9, 12] а також інші науковці.

Особливості пластичної деформації стрічкових заготовок у процесі навивання ґрунтовно досліджено у роботах [1, 5, 7, 9], де наведено аналітичні залежності, що дають змогу визначати параметри напружено-деформованого стану матеріалу, величини згинальних моментів, а також зусилля формоутворення, необхідні для реалізації процесу.

Сучасні технології виготовлення гвинтових робочих органів ґрунтуються на методі навивання стрічкової заготовки на оправку відповідної конструкції. Формування гвинтової поверхні при цьому здійснюється шляхом поступового згинання стрічки до поверхні оправки за допомогою формоутворювальних роликів спеціальної конструкції. Відмінності між існуючими технологічними схемами полягають передусім у взаємному розміщенні ролика, оправки та стрічкової заготовки, що визначає кінематичні особливості процесу формоутворення [4, 5, 12]. Основну увагу у роботах приділено питанням конструювання спеціалізованого технологічного оснащення та забезпечення високого рівня технологічності його конструкцій [10, 11, 15, 20].

**Метою роботи** є проектування, практична реалізація та експериментальні дослідження оснащення для операції навивання технологічного процесу виготовлення стрічкових гвинтових робочих органів.

**Виклад основного матеріалу.** Серед основних операцій технологічного процесу виготовлення стрічкових гвинтових робочих органів є процес навивання металевої стрічки на оправку. Спосіб навивання стрічки на оправку представлено у роботі, використовуючи технологічне оснащення для навивання стрічкових гвинтових робочих органів, що зображено на рисунках 1-5. Основними конструктивними елементами вказаного оснащення є трубчаста конічна або циліндрична оправка 1, на лівому торці якої приєднано оправу 2, що закріплюється у кулачках 3 патрона 4 токарно-гвинторізного верстата. Друга сторона оправки 1 встановлюється отвором на конічній поверхні заднього центра 5 верстата. На зовнішній циліндричній поверхні оправи 2 приєднано Г-подібну державку 6 із пазом 7, кут  $\alpha$  якого дорівнює куту нахилу витків на зовнішньому діаметрі гвинтового робочого органу, та гвинтом 8. У різцетримачі 9 токарно-гвинторізного верстата встановлено під кутом  $\alpha$  у вертикальній площині державку 10 із роликом 11, що має можливість вільного обертання на підшипниках кочення відносно осі 12 із пазом 13, ширина якого дорівнює товщині стрічки із зазором 0,1 мм. Центр обертання ролика 11 повинен бути на одному рівні із центром обертання оправки 1, або бути вищим до 5 мм. При цьому глибина паза на 1 мм менша за ширину стрічки, яку навивають на оправу. Для розширення універсальності процесу навивання стрічок різних типорозмірів ширина паза 13 виконується регульована за рахунок зміщення двох торцевих поверхонь ролика 11, при цьому глибина паза регулюється за рахунок встановлення компенсаційних кілець на базову циліндричну поверхню ролика 11.

Спосіб реалізується у такій послідовності. Стрічку 14 прямокутного поперечного перерізу встановлюють у паз 7 та закріплюють гвинтом 8 при розташуванні стрічки 14 внизу оправки 1 та дотиканні її кромки до зовнішнього діаметра оправки 1. Після цього патрон 4 разом з оправкою 1 та закріпленою стрічкою 14 повертають в сторону до ролика 11, до встановлення стрічки 14 у вертикальному положенні, якщо дивитись зі сторони патрона. Зі сторони ролика кут нахилу стрічки буде відповідати куту нахилу  $\alpha$  ролика. Після цього поперечною подачею підводять ролик 11 до стрічки 14 із заходом стрічки 14 у паз 13 ролика та із її підтисканням роликом до оправки 1 без деформації стрічки. Після цього на верстаті вмикають подачу  $S$  ролика 11, що дорівнює кроку витків гвинтового робочого органу, та обертовий рух патрона 4 із оправкою 1. Внаслідок цього виконується навивання стрічки 14 на оправку 1 у гвинтовий робочий орган 15. При завершенні процесу навивання гвинтовий робочий орган виходить із паза 13 ролика 11. Відводять задній центр 5 верстата, розкріплюють стрічку 14 за рахунок вигинчування гвинта 8 та знімають гвинтовий робочий орган 15.

Для виготовлення гвинтових робочих органів із різними кроками витків, а відповідно із різними кутами  $\alpha$  нахилу витків у конструкції передбачено можливість



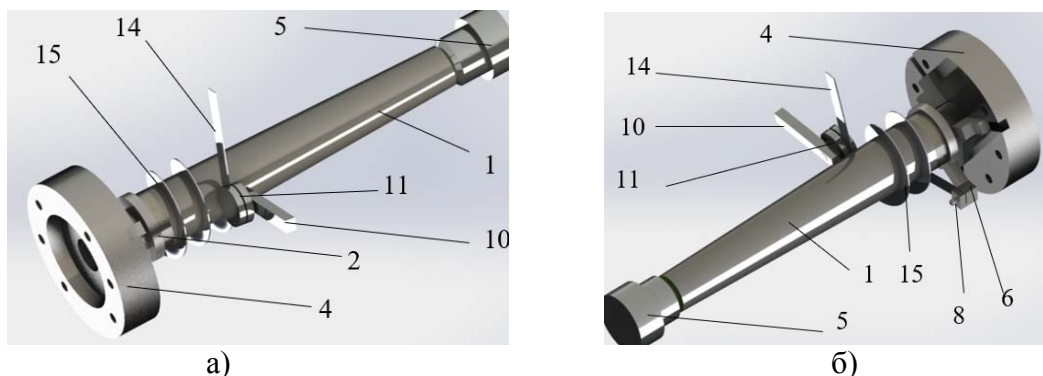


Рисунок 2 – Трьохмірне моделювання технологічного оснащення для навивання стрічкових гвинтових робочих органів: а) вигляд зі сторони ролика 11; б) вигляд зі сторони оправки 1  
Джерело: розроблено авторами

При навиванні стрічок на оправку із значним співвідношенням ширини стрічки до її товщини можливе виникнення явища формування гофр на внутрішньому діаметрі гвинтового робочого органу. Для можливості уникнення цього процесу необхідно збільшувати площу бокових опор стрічки в зоні деформації в процесі її навивання на оправку. У ролику такими опорами виступають торцеві поверхні паза ролика. Тому одним із варіантів є збільшення діаметра ролика. Для збільшення площі бокових опор стрічки в зоні деформації із меншими витратами матеріалу ніж при збільшенні діаметра ролика запропоновано конструкцію ролика, що зображена на рисунку 3. Особливістю цієї конструкції є те, що під основною державкою 10 та роликом 11 під кутом  $\alpha$  прикріплено додаткову державку 16 із пазом 17, що розміщений під пазом ролика 11 і є його продовженням. Стрічка 14 під час навивання на оправку 1 подається через пази ролика 11 та державки 16, що забезпечує збільшенні площі її бокових опор в зоні деформації та підвищує стійкість до утворення гофр на внутрішньому діаметрі гвинтового робочого органу.

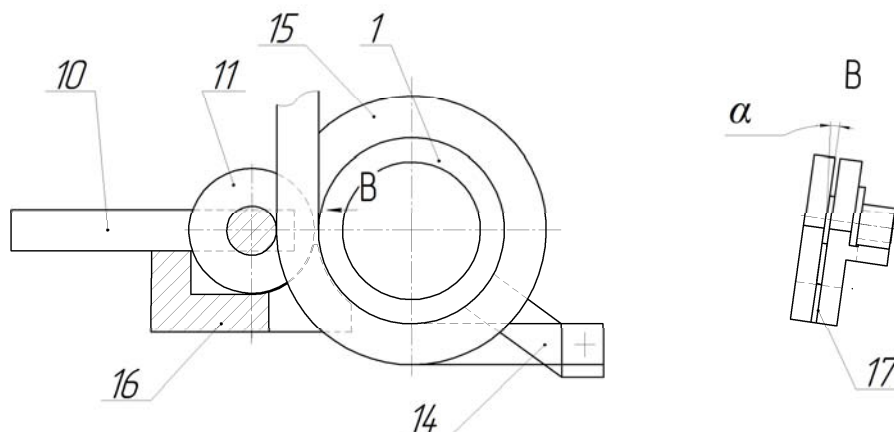


Рисунок 3 – Конструкція ролика із додатковою державкою для навивання стрічкових гвинтових робочих органів

Джерело: розроблено авторами

Для можливості навивання кінцевих гвинтових робочих органів та збільшення площі бокових опор стрічки в зоні деформації в процесі її навивання на оправку запропоновано конструкцію ролика, що зображена на рисунку 4.

Особливістю цієї конструкції є те, що ролик 11 для навивання стрічки встановлено на двох опорах державки 10 із зазором у горизонтальному пазі напрямної 20 з можливістю вільного обертання. Напрямна 20 встановлена пазом на виступі державки 10 з можливістю зворотно-поступального радіального переміщення до

оправки 1 за допомогою пружини стиснення 22. На вільній правій стороні напрямної 20 виконано паз 21, через який подається стрічка 14 при навиванні на оправку 1 роликком 11 для формування гвинтового робочого органу 15. На лівій боковій стороні напрямної 20 встановлено копіювальний ролик 23 з можливістю вільного обертання, що контактує із робочою поверхнею оправки 1. При навиванні гвинтових робочих органів на конічну оправку 1 за рахунок контакту ролика 23 із поверхнею оправки та деформації пружини стиснення 22 відбувається переміщення напрямної 20 у радіальному напрямку відносно оправки 1 з відслідковуванням її геометрії, внаслідок чого бокові опори паза 21 для стрічки 14 перебувають із нею в постійному контакті в зоні деформації, зменшуючи ймовірність утворення гофр на внутрішньому діаметрі гвинтового робочого органу 15 при зміні діаметра оправки відносно розташування різцетримача та ролика.

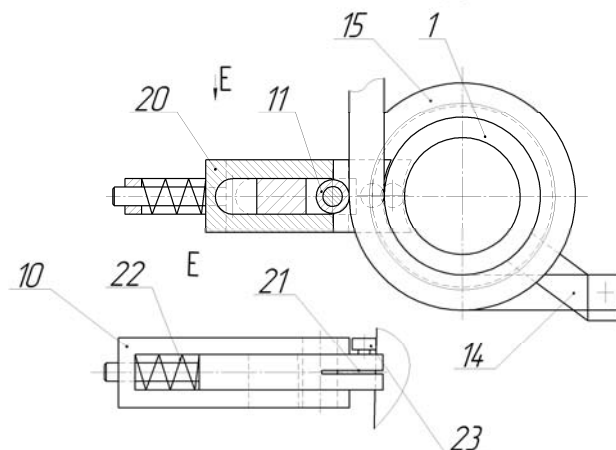


Рисунок 4 – Конструкція ролика із напрямною для навивання конічних стрічкових гвинтових робочих органів

Джерело: розроблено авторами

Для встановлення взаємозв'язків конструктивних та силових параметрів процесу навивання стрічкових гвинтових робочих органів на оправку, практичної реалізації спроектованого оснащення проведено експериментальні дослідження. Навивання стрічки 1 на конічну оправку 2 закріплену у патроні 3 верстата роликком 4 закріпленим у різцетримачі 5 для формування конічних стрічкових гвинтових робочих органів 6 виконували на токарно-гвинторізному верстаті, що зображено на рисунку 5.

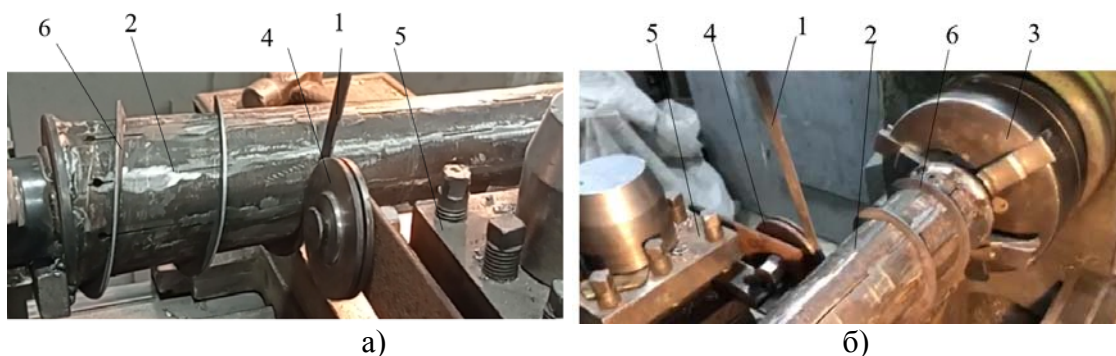


Рисунок 5 – Процес навивання стрічкових гвинтових робочих органів: а) вигляд зі сторони ролика 4; б) вигляд зі сторони оправки 2

Джерело: розроблено авторами

До програми експериментальних досліджень входило: проектування та виготовлення для виконання операції навивання стрічки на оправку спеціального технологічного оснащення, зокрема конічної оправки та ролика для навивання, вибір устаткування для вимірювання силових параметрів процесів; проведення експериментальних досліджень з метою встановлення взаємозв'язку конструктивних

параметрів стрічкового гвинтового робочого органу та силових параметрів навивання стрічки, зокрема впливу товщини стрічки  $H$ , ширини стрічки  $B$  та радіуса оправки  $r$  на крутний момент  $M$  обертання оправки; статистичне оброблення даних результатів експериментальних досліджень з виведенням рівняння регресії. Експериментальні дослідження проводили для стрічок із сталі 08 кп. Для збору даних про крутний момент  $M$  обертання оправки при навиванні гвинтового робочого органу використовували частотний перетворювач Altivar з програмним забезпеченням PowerSuite. Попереднє тарування виконували за допомогою динамометра.

У таблиці 1 представлено результати вибору змінних вхідних факторів та рівнів їх варіювання при дослідженні крутного моменту  $M$  обертання оправки при навиванні гвинтового робочого органу на основі повнофакторного експерименту.

Таблиця 1 – Результати кодування факторів та рівні їх варіювання при дослідженні крутного моменту обертання оправки при навиванні гвинтового робочого органу

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Товщина стрічки	$H$ , мм	$x_1$	0,4	2,0 (+1)	1,6 (0)	1,2 (-1)
Ширина стрічки	$B$ , мм	$x_2$	4	18 (+1)	14 (0)	10 (-1)
Радіус оправки	$r$ , мм	$x_3$	5	45 (+1)	40 (0)	35 (-1)

Джерело: розроблено авторами

Загальний вигляд рівняння регресії моменту обертання оправки при навиванні гвинтового робочого органу за результатами експериментів у кодованих та натуральних величинах:

$$M_{(x_1, x_2, x_3)} = 68,73 + 18,7x_1 + 43,29x_2 + 3,06x_3 + 10,83x_1x_2 + 0,77x_1x_3 + 1,53x_2x_3 + 0,012x_1^2 + 7,542x_2^2 + 0,057x_3^2, \quad (1)$$

$$M_{(H, B, r)} = 133,264 - 63,652H - 16,266B - 1,257r + 6,768HB + 0,385Hr + 7,65 \cdot 10^{-2} Br + 7,5 \cdot 10^{-2} H^2 + 0,471B^2 + 2,28 \cdot 10^{-3} r^2. \quad (2)$$

За результатами експериментальних досліджень та рівняння регресії (2), побудовано поверхні відгуку та їх двомірні перерізи залежності моменту обертання оправки при навиванні гвинтового робочого органу, що представлено на рис. 6 та 7.

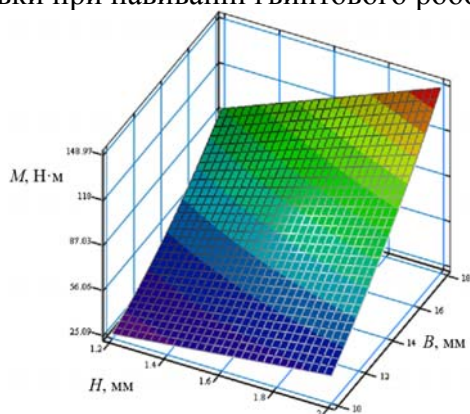


Рисунок 6 - Поверхня відгуку залежності моменту обертання оправки від товщини стрічки  $H$  та ширини стрічки  $B$  ( $r=40$  мм)

Джерело: розроблено авторами

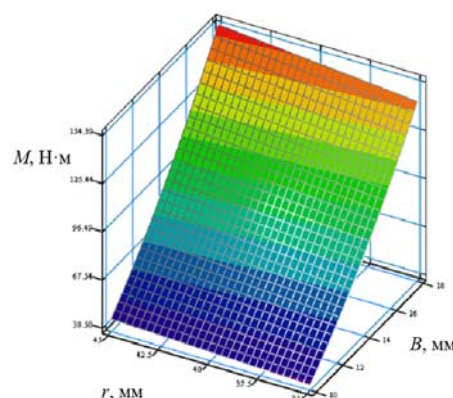


Рисунок 7 - Поверхня відгуку залежності моменту обертання оправки від ширини стрічки  $B$  та радіуса оправки  $r$  ( $H=2$  мм)

Джерело: розроблено авторами

На основі рівняння регресії (1) встановлено, що основним фактором, який впливає на момент обертання оправки при навиванні гвинтового робочого органу є фактор  $x_2(B)$ . Менший вплив має фактор  $x_1(H)$  і найменший - фактор  $x_3(r)$ . Зростання усіх факторів призводить до збільшення моменту обертання оправки при навиванні гвинтового робочого органу.

З рисунків 6, 7 та рівняння регресії (2) зроблено висновки, що максимальне значення моменту обертання оправки дорівнювало 155 Н·м, а мінімальне – 24 Н·м. Збільшення товщини стрічки  $H$  від 1,2 мм до 2 мм призводить до зростання моменту обертання оправки в 1,67 рази. При цьому збільшення ширини стрічки  $B$  від 10 мм до 18 мм призводить до зростання моменту обертання оправки в 3,66 рази, а зміна радіуса оправки  $r$  від 35 мм до 45 мм призводить до зростання моменту обертання оправки в 1,08 рази.

#### **Висновки:**

1. Проведено проектування, виготовлення, практична реалізація та експериментальні дослідження оснащення для операції навивання стрічки на оправку технологічного процесу виготовлення стрічкових гвинтових робочих органів. Запропоновано нові конструкції технологічного оснащення для підвищення якості та розширення можливостей навивання стрічкових гвинтових робочих органів.

2. Представлено результати експериментальних досліджень для визначення закономірностей взаємозв'язку конструктивних параметрів стрічкового гвинтового робочого органу та силових параметрів навивання стрічки, зокрема впливу товщини стрічки  $H$ , ширини стрічки  $B$  та радіуса оправки  $r$  на крутний момент  $M$  обертання оправки. Поведено статистичне оброблення даних результатів експериментальних досліджень з виведенням рівняння регресії у кодovаних та натуральних величинах залежності моменту обертання оправки при навиванні гвинтового робочого органу від його конструктивних параметрів.

3. Встановлено, що максимальне значення моменту обертання оправки дорівнювало 155 Н·м, а мінімальне – 24 Н·м. Збільшення товщини стрічки  $H$  від 1,2 мм до 2 мм призводить до зростання моменту обертання оправки в 1,67 рази. При цьому збільшення ширини стрічки  $B$  від 10 мм до 18 мм призводить до зростання моменту обертання оправки в 3,66 рази, а зміна радіуса оправки  $r$  від 35 мм до 45 мм призводить до зростання моменту обертання оправки в 1,08 рази.

#### **Список літератури**

1. Гевко Б. М., Пилипець М. І., Васильків В. В., Радик Д. Л. Технологічні основи формоутворення різнопрофільних гвинтових заготовок деталей машин. Тернопіль : Вид-во ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. 457 с. ISBN 966-305-014-4.
2. Гевко Б. М., Ляшук О. Л., Гевко І. Б., Драган А. П., Новосад І. Я. Технологічні основи формоутворення спеціальних профільних гвинтових деталей. Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008. 367 с.
3. Пилипець М. І., Васильків В. В., Радик Д. Л., Пилипець О. М. Передумови розроблення комбінованих операцій виготовлення гвинтових і шнекових заготовок методом обробки металів тиском. *Перспективні технології та прилади*. 2021. Вип. 18. С. 112–123.
4. Vasylyk V., Pylypets M., Danylchenko L., Radyk D. Investigation of deflections of winded screw flights and auger billets in the processes of their manufacture. *Scientific Journal of TNTU*. Ternopil : TNTU, 2021. Vol. 104, № 4. P. 33–43.
5. Васильків В. В. Розвиток науково-прикладних основ розроблення технологій виробництва гвинтових і шнекових заготовок з використанням уніфікації : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.08. Львів, 2015. 48 с.
6. Васильків В. В., Радик Л. Д., Гевко І. Б. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових заготовок з листового прокату. *Наукові нотатки*. 2004. Вип. 14. С. 12–18.
7. Nevko 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.

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. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. Proceedings of the 4th International Conference DSMIE-2021*. Lviv, 2021. Vol. 1. P. 385–394.
9. Oleg Lyashuk, Roman Rogatynskyy, Ivan Hevko, Tetiana Navrotska, Andrii Diachun. Study of power parameters of the screw spirals forming. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. Proceedings of the 7th International Conference DSMIE-2024*. Pilsen, Czech Republic, 2024. Vol. 1. P. 287–298.
10. Гевко І. Б., Дячун А. Є., Дубиняк Т. С., Стібайло О. Ю., Гупка А. Б. Технологічні особливості виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. 1. С. 75–83.
11. Гевко І. Б., Дячун А. Є., Дубиняк Т. С., Стібайло О. Ю., Золотий Р. З. Дослідження операцій технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. 2. С. 99–108.
12. Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Дячун А. Є., Гупка А. Б., Третьяков О. Л. Технологічне проектування та виготовлення гвинтових транспортно-технологічних робочих органів. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 457 с.
13. Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Ляшук О. Л. та ін. Перспективні гвинтові конвеєри : монографія. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2019. 212 с.
14. Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Дячун А. Є. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортнотехнологічних механізмів : монографія. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2014. 280 с.
15. Ivan Hevko, Andriy Pik, Roman Komar, Oleh Stibaylo, Serhiy Koval. Peculiarities of technological design of Ushaped screw working bodies. *Scientific Journal of TNTU*. Ternopil : TNTU, 2024. Vol. 113, № 1. P. 5–15.
16. Rogatinskiy R., Hevko I., Gypka A., Garmatyk O., Martsenko S. Feasibility study of manufacturing method choice for screw elements. *Acta Technologica Agriculturae*. 2017. № 2. P. 36–41.
17. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Гудь В. З., Дмитрів О. Р. та ін. Гнучкі гвинтові конвеєри: проектування та дослідження. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2019. 207 с.
18. Гевко І. Б. Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи. *Вісник ТНТУ*. 2011. Т. 16, № 1. С. 69–77.
19. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Брикса А. О. та ін. Особливості конструкцій і проектування лопатевих гвинтових змішувачів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(39), ч. 2. С. 24–34.
20. Гевко І. Б., Рогатинський Р. М., Комар Р. В. та ін. Технологічне проектування способів виготовлення U-подібних гвинтових поверхонь. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. 2. С. 109–116.
21. Гевко І. Б., Стібайло О. Ю., Лещук Р. Я. та ін. Техніко-економічне обґрунтування виготовлення шнекових спіралей. *Перспективні технології та прилади*. 2025. Вип. 26. С. 29–37.

## References

1. Hevko, B. M., Pylypets, M. I., Vasylykiv, V. V., & Radyk, D. L. (2009). Technological fundamentals of shaping of multi-profile screw blanks of machine parts. Ternopil: Vyd-vo TDTU im. I. Puliuia. ISBN 966-305-014-4 [in Ukrainian].
2. Hevko, B. M., Liashuk, O. L., Hevko, I. B., Drahan, A. P., & Novosad, I. Ya. (2008). Technological fundamentals of shaping of special profile screw parts. Ternopil: TDTU imeni Ivana Puliuia [in Ukrainian].
3. Pylypets, M. I., Vasylykiv, V. V., Radyk, D. L., & Pylypets, O. M. (2021). Preconditions for the development of combined operations for manufacturing screw and auger blanks by metal forming. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady*, 18, 112–123 [in Ukrainian].
4. Vasylykiv, V., Pylypets, M., Danylchenko, L., & Radyk, D. (2021). Investigation of deflections of winded screw flights and auger billets in the processes of their manufacture. *Scientific Journal of TNTU*, 104(4), 33–43.
5. Vasylykiv, V. V. (2015). Development of scientific and applied foundations for the development of technologies for the production of screw and auger blanks using unification (Extended abstract of Doctoral dissertation). Lviv [in Ukrainian].
6. Vasylykiv, V. V., Radyk, L. D., & Hevko, I. B. (2004). Technological and design features of manufacturing screw blanks from sheet metal. *Naukovi notatky*, 14, 12–18 [in Ukrainian].
7. Hevko, I. B., Dyachun, A. Ye., Lyashuk, O. L., Martsenko, S. V., & Gypka, A. B. (2016). Research the force parameters of forming the screw cleaning elements. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 49(2), 77–82.
8. Hevko, I., Diachun, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., & Hupka, A. (2021). Study of dynamic and power parameters of the screw workpieces with a curved profile turning. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. Proceedings of the 4th International Conference DSMIE-2021*, 1, 385–394.

9. Lyashuk, O., Rohatynskyy, R., Hevko, I., Navrotska, T., & Diachun, A. (2024). Study of power parameters of the screw spirals forming. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. Proceedings of the 7th International Conference DSMIE-2024*, 1, 287–298.
10. Hevko, I. B., Diachun, A. Ye., Dubyniak, T. S., Stibailo, O. Yu., & Hupka, A. B. (2025). Technological features of manufacturing shredding knives on auger spirals. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42/1), 75–83 [in Ukrainian].
11. Hevko, I. B., Diachun, A. Ye., Dubyniak, T. S., Stibailo, O. Yu., & Zoloty, R. Z. (2025). Research of operations of the technological process of manufacturing shredding knives on auger spirals. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42/2), 99–108 [in Ukrainian].
12. Hevko, I. B., Liashuk, O. L., Diachun, A. Ye., Hupka, A. B., & Tretiakov, O. L. (2025). Technological design and manufacturing of screw transport-technological working bodies. Ternopil: FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
13. Rohatynskyy, R. M., Hevko, I. B., Liashuk, O. L., et al. (2019). Perspective screw conveyors: monograph. Ternopil: FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
14. Rohatynskyy, R. M., Hevko, I. B., Diachun, A. Ye. (2014). Scientific and applied foundations of creation of screw transport-technological mechanisms: monograph. Ternopil: TNTU im. I. Puliuia [in Ukrainian].
15. Hevko, I., Pik, A., Komar, R., Stibaylo, O., & Koval, S. (2024). Peculiarities of technological design of U-shaped screw working bodies. *Scientific Journal of TNTU*, 113(1), 5–15.
16. Rogatynskiy, R., Hevko, I., Gypka, A., Garmatyk, O., & Martsenko, S. (2017). Feasibility study of manufacturing method choice for screw elements. *Acta Technologica Agriculturae*, 2, 36–41..
17. Hevko, I. B., Leshchuk, R. Ya., Hud, V. Z., Dmytriv, O. R., et al. (2019). Flexible screw conveyors: design and research. Ternopil: FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
18. Hevko, I. B. (2011). Modeling of load character on screw working bodies. *Visnyk TNTU*, 16(1), 69–77 [in Ukrainian].
19. Hevko, I. B., Leshchuk, R. Ya., Bryksa, A. O., et al. (2023). Features of designs and design of blade screw mixers. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 8(39/2), 24–34 [in Ukrainian].
20. Hevko, I. B., Rohatynskyy, R. M., Komar, R. V., et al. (2025). Technological design of manufacturing methods for U-shaped screw surfaces. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42/2), 109–116 [in Ukrainian].
21. Hevko, I. B., Stibailo, O. Yu., Leshchuk, R. Ya., et al. (2025). Technical and economic justification for manufacturing auger spirals. *Perspektyvni tekhnolohii ta prylady*, 26, 29–37 [in Ukrainian].

**Andrii Diachun**, Assoc. Prof., PhD, **Vasyl Grasovnyk**

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine*

### **The Study of the Winding Operation of Strip Helical Working Elements**

The technological parameters of helical working elements of various machines ensure the possibility of their application in different production processes. In particular, helical working elements are widely used in agriculture, construction, food, processing, and mining industries. Helical working elements perform the functions of conveying and technological working bodies in various machines and mechanisms, in particular as components of screw conveyors. The aim of this work is the design, practical implementation, and experimental investigation of tooling for the winding operation in the technological process of manufacturing strip helical working elements. The design, manufacturing, practical implementation, and experimental investigation of tooling for the strip winding operation onto a mandrel in the technological process of manufacturing strip helical working elements were carried out. New designs of technological tooling are proposed in order to improve the quality and expand the capabilities of winding strip helical working elements. The results of experimental investigations aimed at determining the relationships between the structural parameters of strip helical working elements and the force parameters of strip winding are presented. In particular, the influence of strip thickness, strip width, and mandrel radius on the torque required for mandrel rotation was studied. Statistical processing of the experimental data was performed, resulting in regression equations expressed in both coded and natural variables that describe the dependence of the mandrel torque during the winding of a helical working element on its structural parameters. The maximum value of the mandrel torque was 155 N·m, while the minimum value was 24 N·m. An increase in the strip thickness from 1.2 mm to 2 mm results in a 1.67-fold increase in the mandrel torque. At the same time, an increase in the strip width from 10 mm to 18 mm leads to a 3.66-fold increase in the mandrel torque, whereas a change in the mandrel radius from 35 mm to 45 mm results in a 1.08-fold increase in the mandrel torque.

**helical working element, winding, deformation, torque, technological tooling, force parameters, experimental investigations**

*Одержано (Received) 07.03.2026*

*Прорецензовано (Reviewed) 10.03.2026*

*Прийнято до друку (Approved) 12.03.2026*