

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

УДК 621.82

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).2.69-78](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).2.69-78)**І. Б. Гевко**, проф., д-р техн. наук, **Р. М. Рогатинський**, проф., д-р техн. наук,**О. Л. Ляшук**, проф., д-р техн. наук, **М. І. Пилипець**, проф., д-р техн. наук,**І. Г. Ткаченко**, доц., канд. техн. наук, **Р. В. Комар**, доц., канд. техн. наук*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна**e-mail: gevkoivan1@ukr.net*

Технологічне проектування способів навівання широкосмугових гвинтових спіралей обертовою втулкою

Дослідження присвячено технологічному проектуванню способів навівання широкосмугових гвинтових спіралей обертовою втулкою. У статті обґрунтовано схеми двох типів виготовлення широкосмугових гвинтових спіралей обертовою втулкою. Зокрема без калібрування на етапі навівання та з операцією калібрування при навіванні. Висота отриманих широкосмугових гвинтових спіралей в значній мірі залежить від попередньої підготовки смуги. Вона передбачає виконання додаткових операцій перед навіванням, таких як вирубування або вирізання трикутних чи трапецієдальних сегментів на смуговій заготовці. Тому, при забезпеченні таких варіантів способу отримання широкосмугових гвинтових спіралей, їхня висота відповідно зростатиме у порівнянні із класичними аналогами. Для обох типів обґрунтованих способів навівання широкосмугових гвинтових спіралей обертовою втулкою визначено і представлено базові конструктивно-технологічні параметри процесу їх виготовлення. Також в роботі значна увага приділена аналізу конструкційних матеріалів та інструментарію, які використовуються при виготовленні широкосмугових гвинтових спіралей.

технологічне проектування, спосіб, гвинтова спіраль, широкосмугові, обертова втулка, навівання, операція

Постановка проблеми. Технологічне проектування окремих способів навівання широкосмугових гвинтових спіралей характеризується цілим рядом конструкторських, технологічних і виробничих проблем, які вимагають системного осмислення та ефективного вирішення у кожному окремому випадку. До рішень, пов'язаних із вирішенням проблем в процесі виготовлення широкосмугових гвинтових спіралей, відносять пошук можливих рішень зниження енерговитрат, скорочення кількості операцій і зменшення їх тривалості, пошук оригінальних способів їх виготовлення та прорахунок і відбір найраціональніших, мінімізація витрат на оснастку, ефективний вибір матеріалів в залежності від висунутих конструктивних вимог та умов експлуатації. Також важливим фактором при виготовленні широкосмугових гвинтових спіралей, особливо в одиничному та дрібносерійному виробництві, є забезпечення необхідної точності параметрів їх геометричних поверхонь, позаяк ці поверхні мають досить складну просторову форму, а це використання спеціалізованого високоточного оснащення та інструменту. Ще однією важливою проблемою при виготовленні широкосмугових гвинтових спіралей є забезпечення їх відповідних механічних властивостей, таких як зносостійкість, міцність, втомна витривалість. Це інколи вимагає використання в технологічному процесі додаткових технологічних операцій, таких як поверхневе зміцнення зовнішнього контуру спіралі, термічна обробка спіралі тощо. Відтак, одержання широкосмугових гвинтових спіралей потребує технологічного проектування ефективних способів їх виготовлення, які можуть забезпечити отримання цих спіралей з потрібними характеристиками за мінімальних часових, енергетичних та інших витрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологічному проектуванню та дослідженню різноманітних способів виготовлення різнопрофільних гвинтових спіралей присвячені здобутки значної кількості вітчизняних та закордонних учених. Значний вклад у технологічне проектування та розроблення і вивчення різнотипових технологій отримання шнеків зробили Б.М. Гевко [1, 2], М.І. Пилипець [3, 4], В.В. Васильків [3-6], А.Є. Дячун [7-14] та багато інших дослідників [15-21]. У їхніх працях викладено оригінальні підходи з одержання гвинтових спіралей різного профілю. Проведено дослідження різних способів навивання і прокатування, штампування та пресування, вирізання і складання окремих елементів у гвинтові поверхні тощо. Чільна увага ними була сконцентрована на конструюванні та забезпеченні технологічності конструкцій спеціалізованого технологічного інструментарію. Значна кількість останніх досліджень, яка пов'язана із отриманням гвинтових заготовок, присвячена технологічному проектуванню різнопрофільних гвинтових спіралей [1, 2, 6-17, 19-21].

Постановка завдання. Метою роботи є технологічне проектування способів навивання ширококутових гвинтових спіралей обертовою втулкою.

Виклад основного матеріалу. Ширококутові гвинтові спіралі застосовуються в багатьох галузях промисловості передусім завдяки своїм основним функціональним властивостям: високій продуктивності, здатності транспортувати або перемішувати матеріали, стійкості до зношування. Основні сфери використання механізмів із ширококутовими гвинтовими спіралями:

- харчова промисловість, а саме транспортування сипучих продуктів, перемішування компонентів та їх виробництво (сухі суміші, добавки). Для таких процесів важливим є те, що широкий виток забезпечує м'яке переміщення і більшу пропускну здатність механізмів;

- будівельна галузь – це подача цементу, піску, щебеню, гіпсу у змішувачі або бетонні міксери, використання у шнекових дозаторах. Широке застосування зумовлене здатністю спіралей витримувати великі абразивні навантаження;

- аграрний сектор застосовує ширококутові гвинтові спіралі для транспортування зерна, комбікорму, насіння. А також для використання у шнекових елеваторах, завантажувачах, бункерах. Основною експлуатаційною функцією є рівномірна подача сипучих матеріалів на значні відстані;

- хімічна та фармацевтична промисловість використовують такі спіралі завдяки можливості їх виготовлення з нержавіючої сталі, яка не вступає в реакцію з агресивними речовинами, відповідно для транспортування порошків, гранулятів, хімічних компонентів, використання у змішувачах та реакторах для перемішування реагентів;

- машинобудування та енергетика передбачають застосування гвинтових спіралей у системах видалення і транспортування стружки, щепи, пластикових гранул тощо. А також це частина живильників, завантажувальних пристроїв, дозаторів, систем охолодження або нагрівання матеріалу під час транспортування.

Класичні способи навивання гвинтових спіралей передбачають їх формоутворення навиванням смуги на різні види оправ шляхом її підтискання формоутворюючими роликками [3-6, 14]. Проте для виготовлення ширококутових гвинтових спіралей більш ефективними є способи їх отримання з допомогою обертової втулки [9, 17, 22-26]. Ці способи передбачають проведення процесу формоутворення із обтиском заготовки по зовнішньому контуру із затиском бокових поверхонь. При цьому внутрішня поверхня гвинтової заготовки, як правило, є не залученою до процесу формоутворення і не контактує з оправкою, формоутворюючих роликів чи обертової

втулки. Це дозволяє забезпечувати значну висоту навивної стрічки і отримання ширококутових гвинтових спіралей. Такі способи реалізуються із використанням обертової втулки і є двох видів: без калібрування на етапі навивання [22-24] і з калібрування на етапі навивання [25, 26]. Розглянемо їх детальніше.

Схеми реалізації способу навивання ширококутових гвинтових спіралей із використанням обертової втулки без калібрування при навиванні представлено на рис. 1.

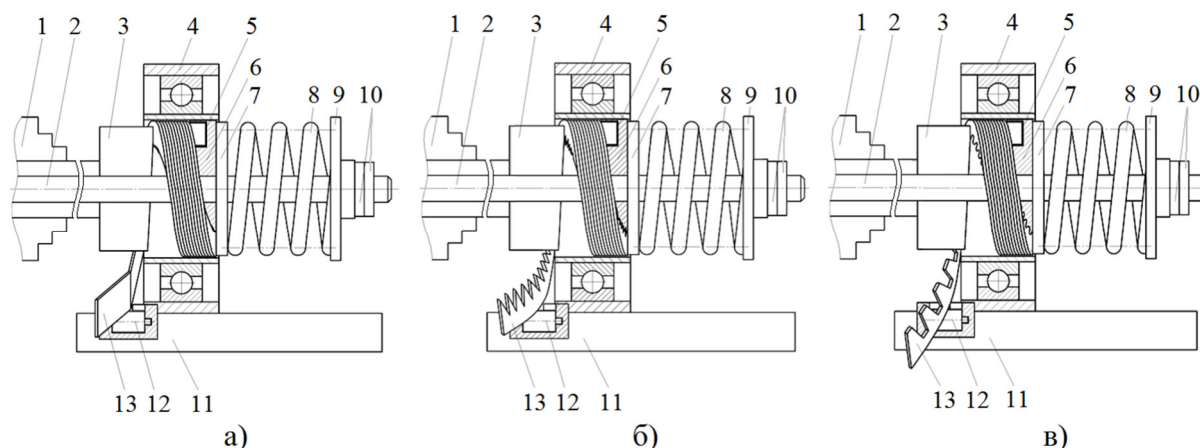


Рисунок 1 – Схеми виготовлення ширококутових гвинтових спіралей обертовою втулкою без калібрування на етапі навивання:

а – пат. України № 127385; б – пат. України № 127577; в – пат. України № 127985;

1 – патрон токарного верстата; 2 – оправка; 3 – ліва коса втулка; 4 – обертова втулка; 5 – паз;

6 – права коса втулка; 7 – шайба; 8 – пружина; 9 – упорна шайба; 10 – гайка;

11 – супорт токарного верстата; 12 – напрямний ролик; 13 – смуга

Джерело: розроблено авторами

Реалізація способу навивання ширококутових гвинтових спіралей із використанням обертової втулки без калібрування на етапі навивання (рис. 1) може проводитись без попередньої підготовки смуги (рис. 1.а) та з її попередньою підготовкою (рис. 1.б і рис. 1.в), що передбачає виконання додаткових операцій перед навиванням, таких як вирубування або вирізання трикутних (рис. 1.б) чи трапецеїдальних (рис. 1.в) сегментів на смуговій заготовці 13. Відповідно при забезпеченні таких варіантів способу отримання ширококутових гвинтових спіралей їхня висота значно зростатиме у порівнянні із класичними аналогами. Відтак порівняно найменшу висоту ширококутової гвинтової спіралі можна отримати реалізуючи схему виготовлення ширококутових гвинтових спіралей обертовою втулкою без калібрування на етапі навивання зображену на рис. 1.а, а найбільшу, при реалізації схеми зображеної на рис. 1.в.

Спосіб передбачає використання пристрою для навивання ширококутових гвинтових спіралей обертовою втулкою. Пристрій містить оправку 2, на якій з лівої сторони (рис. 1) розташована ліва коса втулка 3, а з правої – права коса втулка 6. Причому права коса втулка 6 має обмежену можливість осьового зміщення по оправці 2 в процесі навивання, тому, що її права торцева поверхня шайби 7 контактує з пружиною 8, величина затиску і зміщення якої через упорну шайбу 9 регулюється і обмежується гайками 10. А на лівій торцевій поверхні косої втулки 6 виконано паз 5 для кріплення Г-подібного кінця смуги 13. Ліва коса втулка 3 з лівої сторони виконана меншого діаметру, по якому здійснюється її затиск в патроні 1 токарного верстату. З лівої сторони оправка 2 закріплена у пневмоциліндрі (на рисунку не показаний) і має здатність до колового провертання та осьового зміщення після включення пневмоциліндра після завершення процесу навивання. Крім того, пристрій містить

обертову втулку 4, яка закріплена у супорті токарного верстату 11. У ній частково правою стороною розташована ліва коса втулка 3 і повністю розташована права коса втулка 6. У нижній частині обертової втулки 4 розташовано з можливістю колового обертання напрямний ролик 12.

Спосіб навивання ширококутових гвинтових спіралей обертовою втулкою реалізується наступним чином. Перед початком процесу навивання ліву косу втулку 3 закріплюють патроні 1 токарного верстату, оправку 2 з лівої сторони закріплюють у пневмоциліндрі, а обертову втулку 4 в супорті токарного верстату 11. Далі смугу 13 вводять між лівою 3 та правою 6 косими втулками і її Г-подібний кінець закріплюють у пазу 5, що виконаний на лівій торцевій поверхні косої втулки 6, а також смугу 13 по зовнішній торцевій поверхні розміщують у напрямному ролику 12, який розташовано з можливістю колового обертання у нижній частині обертової втулки 4 і закріплено в супорті токарного верстата 11.

Після завершення кріпильних та установчих операцій вмикають привід токарного верстату, що призводить до колового обертання оправки 2 з лівою 3 та правою 6 косими втулками. Це, у свою чергу, забезпечує реалізацію процесу навивання ширококутової гвинтової спіралі зі смуги 13 обертовою втулкою 4. Під час цього процесу права коса втулка 6 постійно відтискається знову навитими витками в осьовому напрямку вправо, що призводить до стиснення пружини 8.

По завершенню навивання усього відрізка смуги 13 у ширококутову гвинтову спіраль процес навивання закінчується і проводять вимикання приводу токарного верстату. Далі вмикають пневмоциліндр (на рисунку не показаний) і проходить зміщення оправки 2 в осьовому напрямку вправо. При цьому ліва коса втулка 3 залишається закріплена в патроні 1 токарного верстата. Це, у свою чергу, призводить до послаблення пружини 8 і можливості відгвинчування гайок 10 та зняття з оправки 2 упорної шайби 9, пружини 8, шайби 7, правої косої втулки 6 та навитої зі смуги 13 ширококутової гвинтової спіралі.

Після завершення операції навивання відомим способом виконують операцію калібрування ширококутової гвинтової спіралі на потрібний крок.

Базові конструктивно-технологічні параметри розробленого способу виготовлення ширококутових гвинтових спіралей обертовою втулкою без калібрування на етапі навивання [22-24] представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Базові конструктивно-технологічні параметри процесу виготовлення ширококутових гвинтових спіралей обертовою втулкою без калібрування на етапі навивання

№	Частота обертання, оправки, об/хв.	Висота спіралі, мм	Зовнішній діаметр спіралі, мм	Товщина заготовки, мм	Площа вилучень зі спіралі, %
1	10...30	30...80	100...500	0,8...2,5	0
2	10...25	40...100	120...500	0,8...2,5	$0 \geq 10$
3	7,5...20	50...120	150...500	0,8...3,0	$10 \geq 20$
4	6...20	60...150	180...500	1...3,0	$20 \geq 30$
5	5...20	70...200	200...500	1...3,0	$30 \geq 40$

Джерело: розроблено авторами

Типові схеми реалізації способу навивання із використанням обертової втулки з одночасним калібруванням на етапі навивання представлено на рис. 2.

Спосіб навівання ширококутових гвинтових спіралей обертовою втулкою з одночасним калібруванням на етапі навівання передбачає використання пристрою для навівання ширококутових гвинтових спіралей обертовою втулкою з одночасним калібруванням на етапі навівання (рис. 2). Пристрій включає оправку 1, на зовнішній поверхні якої жорстко закріплено калібрувальну гвинтову спіраль 2, і яку жорстко закріплено з можливістю обертання в привідному центрі та обертовій опорі (на схемі не показано). В правій частині оправки 1 у крайньому правому положенні на торцевій поверхні калібрувальної гвинтової спіралі 2 виконано механізм кріплення 3 смуги 7 (заготовки). У направляючих 5, які розміщено паралельно до оправки 1, з можливістю примусового зворотно-поступального руху встановлено пересувну втулку 4. Пересувна втулка 4 у лівій частині оснащена установчим пазом 6 для розміщення та направлення смуги 7, над яким закріплено направляючий ролик 8. Також, у внутрішньому просторі пересувної втулки 4 в підшипниковій опорі 9 жорстко встановлено обертову втулку 10.

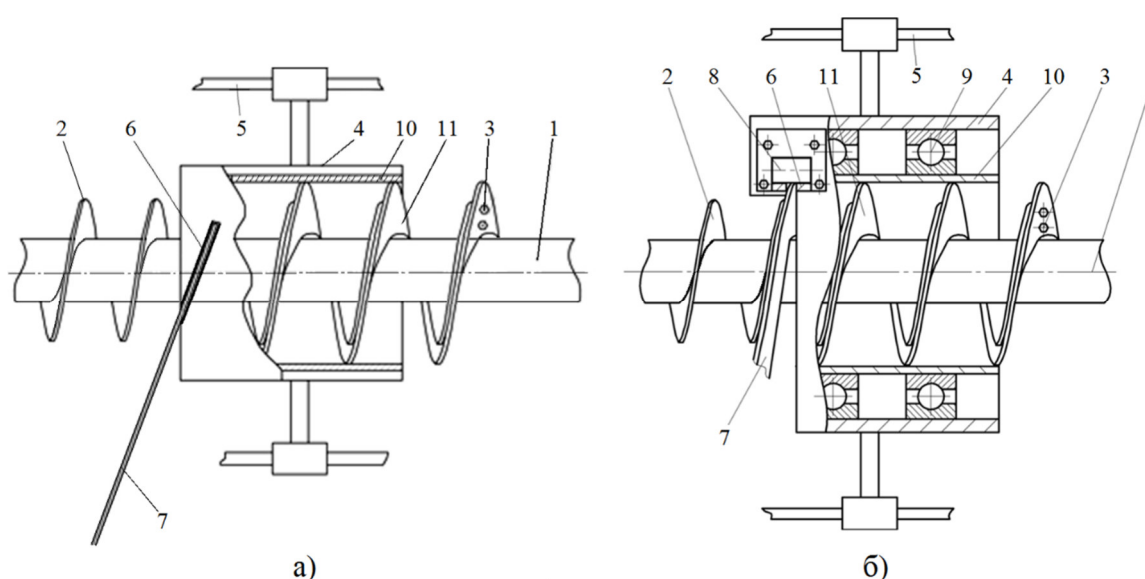


Рисунок 2 – Схеми виготовлення ширококутових гвинтових спіралей обертовою втулкою з одночасним калібруванням на етапі навівання:

а – пат. України № 104783; б – пат. України № 127375; 1 – оправка;

2 – калібрувальна гвинтова спіраль; 3 – механізм кріплення смуги; 4 – пересувна втулка;

5 – направляючі; 6 – установчий паз; 7 – смуга; 8 – направляючий ролик; 9 – підшипникова опора;

10 – обертова втулка; 11 – ширококутова гвинтова спіраль

Джерело: розроблено авторами

Спосіб навівання ширококутових гвинтових спіралей обертовою втулкою з одночасним калібруванням на етапі навівання реалізується наступним чином. Перед проведенням процесу навівання пересувна втулка 4 по направляючих 5 відводиться у крайнє праве положення, а смугу 7 закріплюють в механізмі кріплення 3 на торцевій поверхні калібрувальної гвинтової спіралі 2 оправки 1. На наступному етапі пересувну втулку 4 переміщують у лівий бік до введення смуги 7 в установчий паз 6 з направляючим роликом 8.

Після завершення кріпильних та установчих операцій вмикають привідний центр (наприклад, патрон токарного верстату), що забезпечує обертання оправки 1 з калібрувальною гвинтовою спіраллю 2, та процес формоутворення ширококутової гвинтової спіралі із закріпленої на ній смуги 7, шляхом її загинання обертовою втулкою 10 із притисканням до калібрувальної гвинтової спіралі 2. При цьому крок

формоутвореної широкосмугової гвинтової спіралі 11 відповідає кроку калібрувальної гвинтової спіралі 2, а пересувна втулка 4 здійснює примусовий зворотно-поступальний рух під дією прикладених до неї сил (наприклад, рухом супорту токарного верстату) вліво із швидкістю, яка відповідає кроку калібрувальної гвинтової спіралі 2.

По завершенню навивання усього відрізка смуги 7 у широкосмугову гвинтову спіраль 11 процес навивання закінчується і проводять зупинку обертового руху привідного центру та зворотно-поступального руху пересувної втулки 4. Далі оправку 1 знімають з привідного центра та обертової опори, навиту широкосмугову гвинтову спіраль відкріплюють з механізму кріплення 3 і проводять її згвинчування з оправки 1.

Базові конструктивно-технологічні параметри розробленого способу виготовлення широкосмугових гвинтових спіралей обертовою втулкою з одночасним калібруванням на етапі навивання [25, 26] представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Базові конструктивно-технологічні параметри процесу виготовлення широкосмугових гвинтових спіралей обертовою втулкою з одночасним калібруванням на етапі навивання

№	Частота обертання, оправки, об/хв.	Висота спіралі, мм	Зовнішній діаметр спіралі, мм	Товщина заготовки, мм	Крок спіралі, мм	Повздовжня подача пересувної втулки, мм/об.
1	10...30	30...80	100...500	0,8...2,5	80...550	80...550
2	10...25	40...100	120...500	0,8...2,5	100...550	100...550
3	7,5...20	50...120	150...500	0,8...3,0	120...550	120...550
4	6...20	60...150	180...500	1...3,0	150...550	150...550
5	5...20	70...200	200...500	1...3,0	180...550	180...550

Джерело: розроблено авторами

Навивання широкосмугових шнеків – це складний технологічний процес, який включає формування спіралі з плоскої металевої смуги з метою отримання гвинтової заготовки з заданими геометричними параметрами. Початковим етапом є підбір та нарізання металевої смуги (зазвичай із холоднокатаного прокату) відповідної товщини (наприклад, 1,5–4 мм) і ширини. Смуги можуть подаватися з рулону або бути мірного відрізу. Оптимальним варіантом є використання холоднокатаного металопрокату у формі смуг відповідно до вимог ДСТУ EN 10139:2019. У нашій практиці доцільно використовувати значення товщин 1,5; 2,5; 3,5 та 4 мм. Щодо ширини, стандарт згідно з ДСТУ EN 10139:2019 передбачає типорозміри 250, 400, 500 та 600 мм. Якщо виникає потреба у використанні смуг нетипових розмірів, варто звернути увагу на листовий прокат, який можна розкрити до необхідної ширини за допомогою штампів, гільйотинних ножиць або прокатного обладнання. Рекомендовані значення товщин листів із стандартного асортименту включають: від 1,2 до 1,5 мм із послідовним збільшенням кроку 0,1 мм; від 1,6 до 3,3 мм з кроком 0,2 мм; від 3,8 до 4,0 з кроком 0,1 мм.

Для зменшення деформаційних зусиль, під час формування широкосмугових спіралей, застосовують відповідні мастильні матеріали – індустріальні або силіконові. Використання мастил також дозволяє запобігти явищам схоплювання, утворенню задирок, заїданню та налипанню металу під час процесів пластичного деформування. Їх застосування регламентується положеннями стандартів ДСТУ 4310:2004 (ISO 6743-7:86). Індустріальні мастила марок И-20... И-50 є економічно вигідним варіантом,

однак синтетичні силіконові мастила з низькою в'язкістю демонструють вищу проникаючу здатність. Вони мають гарну плинність і рівномірно покривають поверхню металу. Такі матеріали добре витримують значні механічні навантаження та залишаються стабільними при дії як високих, так і низьких температур. Крім того, вони відзначаються високою водостійкістю і практично не змиваються більшістю звичайних розчинників. Серед рекомендованих марок – ПМС-20, ПМС-50.

Враховуючи різноманіття розмірів, то доцільним обладнанням для формування вихідних заготовок при формуванні широкосмугових спіралей, а саме смуг з необхідними конструктивними параметрами, є гільйотинні ножиці, зокрема:

- механічні гільйотини (для тонколистового металу, до 3–4 мм), мод. Н3121, НГ5222, НД3318, НД3320;

- гідравлічні гільйотини (для більш товстих листів, 4...10 мм і більше). Вони забезпечують дуже чистий та рівний різ, можливість обробки великоформатних листів, плавне регулювання кута та сили різу стабільні та точні. Типові моделі – QC12Y, Baykal HGL, Durma VS Series;

- NC/CNC гільйотини (з напівавтоматичним керуванням і, відповідно, ЧПК з можливістю імпорту креслень заготовок з CAD/CAM систем) – це сучасні високоточні гідравлічні ножиці для серійної нарізки із заданими параметрами. Переваги: автоматизація різу, можливість програмувати довжину, кількість смуг, позиціонування, економія часу та матеріалу. Застосування: масове виробництво гвинтових смуг із металу стандартної та змінної ширини. Типові моделі – Ermaksan CNC HVR, ADIRA GH CNC, Durma CNC HGS.

Для промислового виробництва краще застосовувати дискові ножиці або ж дискові розмотувально-різальні лінії (сліттери). Вони мають наступні переваги: висока швидкість (до 120 м/хв.); точне різання одразу кількох смуг; автоматична синхронізація; мінімальні втрати матеріалу. Типові моделі – ZJX Series (Китай), Arku Slitting Line (Німеччина), FIMI Slitter Metallkraft, Dimeco, Wuxi (Італія).

Застосування вищевказаного обладнання в контексті виробництва широкосмугових гвинтових заготовок спіралей полягає у тому, що після розкрою листового металу на смуги потрібної ширини (125-600 мм) ці смуги подаються на навивальні установки або пресове обладнання для формування гвинтових спіралей; відповідно якісно розрізані смуги забезпечують рівномірну деформацію, відсутність перекосів, надійне формування витків під час навивання.

Висновки. Проведено технологічне проєктування способів навивання широкосмугових гвинтових спіралей обертовою втулкою. Обґрунтовано схеми виготовлення широкосмугових гвинтових спіралей обертовою втулкою без калібрування на етапі навивання, та з операцією калібрування з використанням обертової втулки. Реалізація цих способів навивання широкосмугових гвинтових спіралей із використанням обертової втулки може проводитись без попередньої підготовки смуги та з її попередньою підготовкою. Ця підготовка передбачає виконання додаткових операцій перед навиванням, таких як вирубування або вирізання трикутних чи трапецеїдальних сегментів на смуговій заготовці. Відповідно при забезпеченні таких варіантів способу отримання широкосмугових гвинтових спіралей їхня висота значно зростатиме у порівнянні із класичними аналогами. Для обох типів представлених способів навивання широкосмугових гвинтових спіралей обертовою втулкою визначено і представлено базові конструктивно-технологічні параметри процесу їх виготовлення. Також в роботі проведено аналіз конструкційних матеріалів та інструментарію, що використовуються при виготовленні широкосмугових гвинтових спіралей.

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. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.04.033
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 Д. Л., Гевко І. Б. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових заготовок з листового прокату. *Наукові нотатки ЛДТУ*. 2004. Вип. 14. С. 12–18.
7. Hevko I. B., Dyachun A. Ye., Lyashuk O. L., Martsenko S. V., Gypka A. B. Research the force parameters of forming the screw cleaning elements. *INMATEH – Agricultural Engineering*. Polytechnic University of Bucharest, 2016. Vol. 49, № 2. P. 77–82.
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 Rogatynskyi, 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., Третяков 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 транспортно-технологічних 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 U-shaped 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. <https://doi.org/10.1515/ata-2017-0007>.
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.
22. Патент №127385 Україна. Пристрій для навивання гвинтових спіралей / Гевко І. Б. та ін. №u201802507; заявл. 12.03.2018; опубл. 25.07.2018, Бюл. №14.
23. Патент №127577 Україна. Пристрій для навивання широкосмугових спіралей / Гевко І. Б. та ін. №u201802465; заявл. 12.03.2018; опубл. 10.08.2018, Бюл. №15.

24. Патент №127985 Україна. Пристрій для навивання спіралей з профільною поверхнею / Гевко І. Б. та ін. №u201803420; заявл. 02.04.2018; опубл. 27.08.2018, Бюл. №16.
25. Патент №104783 Україна. Пристрій для навивання спіралей / Гевко Б. М. та ін. №u201503707; заявл. 20.04.2015; опубл. 25.02.2016, Бюл. №4.
26. Патент №127375 Україна. Пристрій для навивання гвинтових спіралей / Гевко І. Б. та ін. №u201802467; заявл. 12.03.2018; опубл. 25.07.2018, Бюл. №14.

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., Danylenko, 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. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.04.033
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 LDTU*, 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. doi.org/10.1515/ata-2017-0007.
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 tekhnologii ta prylady*, 26, 29–37 [in Ukrainian].
22. Hevko, I. B., et al. (2018). Device for winding screw spirals (UA Patent No. 127385). Biul. No. 14 [in Ukrainian].

23. Hevko, I. B., et al. (2018). Device for winding wide-band spirals (UA Patent No. 127577). Biul. No. 15 [in Ukrainian].
24. Hevko, I. B., et al. (2018). Device for winding spirals with a profile surface (UA Patent No. 127985). Biul. No. 16 [in Ukrainian].
25. Hevko, B. M., et al. (2016). Device for winding spirals (UA Patent No. 104783). Biul. No. 4 [in Ukrainian].
26. Hevko, I. B., et al. (2018). Device for winding screw spirals (UA Patent No. 127375). Biul. No. 14 [in Ukrainian].

Ivan Hevko, Prof., DSc., **Roman Rohatynskyi**, Prof., DSc., **Oleg Lyashuk**, Prof., DSc., **Mykhailo Pylypets**, Prof., DSc., **Igor Tkachenko**, Assoc. Prof., PhD, **Roman Komar**, Assoc. Prof., PhD
Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu, Ternopil, Ukraine

Technological Design of Methods for Winding Broadband Helical Coils With a Rotating Sleeve

The technological design of individual methods of winding broadband helical spirals is characterized by a number of design, technological and production problems that require systematic understanding and effective solutions in each individual case. Solutions related to solving problems in the process of manufacturing broadband helical coils include finding possible solutions to reduce energy consumption, reducing the number of operations and reducing their duration, finding original methods of their manufacture, and calculating and selecting the most rational ones, minimizing tooling costs, effective selection of materials depending on the design requirements and operating conditions. Also, an important factor in the manufacture of broadband helical spirals, especially in single and small-scale production, is ensuring the necessary accuracy of the parameters of their geometric surfaces, since these surfaces have a rather complex spatial shape, and this requires the use of specialized high-precision equipment and tools.

Another important problem in the manufacture of broadband helical spirals is ensuring their appropriate mechanical properties, such as wear resistance, strength, fatigue endurance. This sometimes requires the use of additional technological operations in the technological process, such as surface hardening of the outer contour of the spiral, heat treatment of the spiral, etc. Therefore, obtaining broadband helical spirals requires technological design of effective methods of their manufacture, which can ensure the production of these spirals with the required characteristics at minimal time, energy and other costs.

The research is devoted to the technological design of methods for winding broadband helical spirals with a rotating sleeve. Broadband helical spirals are used in many technical systems to perform various technological operations. Classical methods of winding helical spirals involve forming them by winding the strip onto various types of frames by pressing it with forming rollers. However, for the production of wide-band helical spirals, methods of obtaining them using a rotating sleeve are more effective. These methods involve the forming process with the pressing of the workpiece along the outer contour with the clamping of the side surfaces. In this case, the inner surface of the screw workpiece, as a rule, is not involved in the forming process and does not touch the mandrel, forming rollers or rotating sleeve. This allows for a significant height of the winding tape and the production of wide-band helical spirals. Such methods are implemented using a rotating sleeve and are of two types: without calibration at the winding stage and with calibration at the winding stage.

These methods of winding wide-band helical coils using a rotating sleeve can be implemented without or with strip pre-preparation. This preparation involves performing additional operations before winding, such as cutting out or cutting triangular or trapezoidal segments on the strip blank. Accordingly, when providing such variants of the method of obtaining broadband helical spirals, their height will increase significantly compared to classical analogues.

For both types of substantiated methods of winding broadband helical spirals with a rotating sleeve, the basic design and technological parameters of their manufacturing process are determined and presented. Also, considerable attention is paid in the work to the analysis of structural materials and tools used in the manufacture of broadband helical spirals.

technological design, method, helical spiral, broadband, rotating sleeve, winding, operation

Одержано (Received) 05.08.2025

Прорецензовано (Reviewed) 04.09.2025

Прийнято до друку (Approved) 23.09.2025