

УДК 621.82

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.109-116](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.109-116)**І. Б. Гевко**, проф., д-р техн. наук, **Р. М. Рогатинський**, проф., д-р техн. наук,**Р. В. Комар**, доц., канд. техн. наук, **І. Г. Ткаченко**, доц., канд. техн. наук,**А. Б. Гупка**, доц., канд. техн. наук*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна**e-mail: geckoivan1@ukr.net*

Технологічне проектування способів виготовлення U-подібних гвинтових поверхонь транспортних труб

В роботі обґрунтовано чотири нові способи виготовлення U-подібних гвинтових поверхонь транспортних труб з використання оправ і формувальних роликів. Розроблені способи можуть реалізовуватися різними шляхами. Зокрема вминанням U-подібних рифів на готовій трубі, або одночасним навиванням та U-подібним вминанням стрічки прямокутного січення на оправу з U-подібним спіральним виступом, з подальшим скріпленням виступів навитої стрічки зварним швом. Загалом розроблені способи виготовлення U-подібних гвинтових поверхонь транспортних труб можна умовно поділити на два типи - із можливістю зміни висоти U-подібного рифу за рахунок зміни діаметр прутка пружини, та без такої можливості, в яких використовуються оправы з незмінною висотою U-подібного рифу. Також в роботі визначено і охарактеризовано конструкційні матеріали для виготовлення гвинтових транспортних труб. У якості вихідних заготовок доцільно використовувати труби безшовні холодно- і гарачекатані, труби литі, смуговий холоднокатаний прокат. Для обох типів способів визначено і представлено раціональні конструктивно-технологічні параметри їхньої реалізації.

U-подібна, гвинтова поверхня, заготовка, спосіб, транспортна труба, формувальний ролик, операція, спіральний виступ.

Постановка проблеми. Процес технологічного проектування і виготовлення спеціальних гвинтових заготовок супроводжується низкою технічних і виробничих проблем, що потребують системного аналізу та комплексного вирішення. Однією з основних проблем є складність забезпечення високої точності геометричних параметрів гвинтових поверхонь, особливо в умовах одиничного чи дрібносерійного виробництва. Такі поверхні мають складну просторову форму, що потребує використання спеціалізованого інструменту, високоточного оснащення та сучасних методів контролю. Ще одним важливим викликом є вибір оптимального методу формування заготовки залежно від матеріалу, конструктивних вимог і умов експлуатації. При цьому необхідно враховувати не лише технічні характеристики, але й економічну доцільність виробництва, витрати на оснастку та енергоємність процесу. Проблематичним також є досягнення необхідних механічних властивостей виробу (міцність, зносостійкість, втомна витривалість), що часто вимагає впровадження додаткових технологічних операцій, зокрема термічної обробки або поверхневого зміцнення. Усі ці чинники ускладнюють технологічне планування, підвищують ризики дефектів і збільшують собівартість продукції. Таким чином, основна проблема полягає у розробці раціональних та технічно ефективних технологічних способів, які здатні забезпечити виготовлення спеціальних гвинтових заготовок з необхідними характеристиками при мінімальних виробничих витратах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технологічні аспекти проектування та дослідження процесів виготовлення аналогів спеціальних гвинтових заготовок висвітлено у працях провідних учених, зокрема Б.М. Гевка [1, 2], М.І. Пилипця [3-5], В.В. Васильківа [5-7], Р.М. Рогатинського [8-11], А.Є. Дячуна [11-16], а також в інших авторитетних джерелах як українського, так і міжнародного походження [17-19]. У цих роботах висвітлено широкий спектр підходів до отримання спеціальних гвинтових

заготовок, зокрема методи навивання, прокатування, штампування, пресування тощо, кожен з яких має свої переваги й обмеження залежно від типу матеріалу, геометрії спіралі та умов експлуатації виробу. Окрему увагу приділено підвищенню технологічності конструкцій спеціальної оснастки, зокрема шляхом удосконалення конструктивних рішень, зменшення енергоспоживання і витрат матеріалів у процесі виготовлення, а також розробленню спеціалізованого технологічного інструментарію. Останні дослідження у сфері технологічного проєктування та виготовлення спеціальних гвинтових заготовок охоплюють широкий спектр інноваційних підходів, спрямованих на підвищення ефективності виробництва, зниження енергоспоживання та покращення якості продукції. Зокрема були запропоновані такі підходи як багаторівнева класифікація конструкцій гвинтових і шнекових заготовок; морфологічний аналіз для синтезу нових способів навивання гвинтових заготовок; оптимізація технологічних процесів виготовлення гвинтових заготовок, зокрема, шляхом уніфікації конструкцій та впровадження сучасних методів проєктування.

Постановка завдання. Метою роботи є розроблення способів і технологічних процесів виготовлення U-подібних гвинтових поверхонь транспортних труб.

Виклад основного матеріалу. У сучасному машинобудуванні технологічне проєктування процесу виготовлення U-подібних гвинтових поверхонь транспортних труб передбачає аналіз умов експлуатації виробу, вибір оптимального матеріалу, визначення послідовності операцій обробки, а також забезпечення необхідного рівня якості й економічної доцільності. Саме правильне технологічне проєктування дозволяє знизити виробничі витрати, скоротити час обробки та підвищити конкурентоспроможність продукції. У цьому контексті актуальність теми обумовлена постійним ускладненням конструкцій виробів, зростанням вимог до точності й довговічності деталей, а також потребою в оптимізації технологічних процесів. Відповідно виготовлення гвинтових транспортних труб реалізується різними способами, представленими нижче.

На рис. 1 представлено конструктивну схему способу виготовлення гвинтових транспортних труб [20]. На першій операції трубу 1, на якій виконують U-подібні вминання 2, закріплюють на оправі 3 відомим способом. Зовнішня поверхня оправы 3 виконана із жорсткої гуми 4. На трубу 1 встановлюють пружину 5. Потім оправу 3 з трубою 1 і пружиною 5 закріплюють в привідній опорі 6 та в обертовому центрі 7 і здійснюють деформування з U-подібними вминаннями 2 на трубі 1 шляхом притискання формувального вала 8.

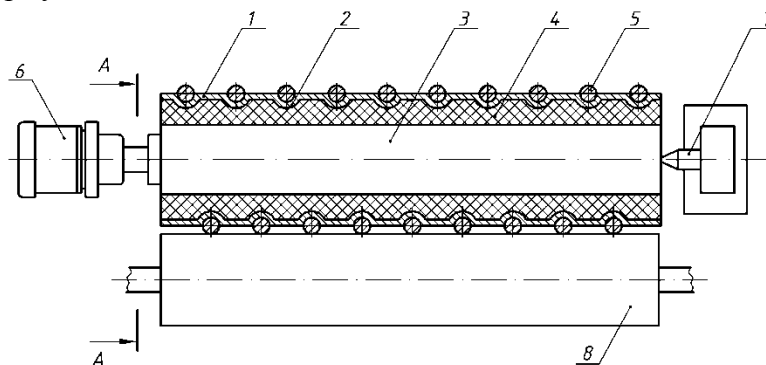


Рисунок 1 - Конструктивна схема способу виготовлення гвинтових транспортних труб

Джерело: розроблено авторами

На другій операції виконується навивання на трубі 1 U-подібних вминань 2 шляхом різностороннього обертання розміщеної в оправі 3 привідну опору 6 та

обертовий центр 7 з трубою 1 та пружиною 5, та притиснутим до них формувальним валом 8.

Один з наступних способів виготовлення гвинтових транспортних труб [21] (рис. 2) процес передбачає, що спочатку у гвинтовий паз 1 оправи 2 стандартним способом встановлюють спіральну пружину 3. Далі на оправу 2 разом із пружиною 3 насаджують трубну заготовку 4 і фіксують її також відомим методом. Після цього оправу 2 з установленими пружиною 3 та заготовкою 4 закріплюють у привідній опорі 5 та в обертовому центрі 6.

На другому етапі здійснюється притискання формувального ролика 7, що має U-подібну впадину 8, до поверхні трубної заготовки 4, це забезпечує щільне прилягання заготовки до оправи 2 та спіральної пружини 3 у зоні контакту. Потім у дію приводять привідну опору 5, що обертає оправу 2 разом зі спіральною пружиною 3, трубною заготовкою 4 і обертовим центром 6. Одночасно формувальний ролик 7 з виїмкою 8 здійснює обертально-поступальний рух уздовж осі оправи 2 під кутом, що відповідає кроку спіральної пружини 3. Така траєкторія з можливістю обертання і осевого переміщення ролика дозволяє формувати на трубній заготовці 4 спіральний виступ 9 U-подібної форми.

На третьому етапі оправу 2 разом зі спіральною пружиною 3 та трубною заготовкою 4 знімають із привідної опори 5 та обертового центра 6. Після цього здійснюють зняття трубної заготовки 4, на поверхні якої сформовані U-подібні спіральні виступи 9, з оправи 2 та спіральної пружини 3.

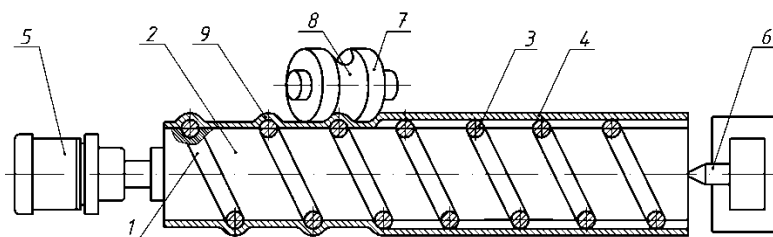


Рисунок 3 - Конструктивна схема способу виготовлення гвинтової поверхні транспортної труби
Джерело: розроблено авторами

Рациональні конструктивно-технологічні параметри способів виготовлення U-подібних гвинтових поверхонь транспортних труб, які представлено на рис. 1 і рис. 2, відображено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Рациональні конструктивно-технологічні параметри способу виготовлення U-подібних гвинтових поверхонь транспортних труб

№	Діаметр прутка пружини, мм	Крок пружини, мм	Зовнішній діаметр трубної заготовки, мм	Товщина трубної заготовки, мм	Висота U-подібних вминань, мм
1	≥ 50	10...150	80...300	0,8...2,5	1...50
2	≥ 70	10...180	150...500	0,8...3,0	1...70
3	≥ 100	10...220	200...1000	0,8...3,0	1...100

Джерело: розроблено авторами

Описані методи формування U-подібних гвинтових поверхонь на транспортних трубах дозволяють регулювати висоту U-подібного виступу шляхом зміни діаметра дроту спіральної пружини (див. табл. 1). Нижче наведено варіанти виготовлення трубних гвинтових заготовок із використанням оправ, що забезпечують постійну висоту U-подібного виступу. Один із таких методів виготовлення U-подібних

гвинтових поверхонь труб [23] (рис. 3) полягає в наступному: на першому етапі на оправу 1, яка вже має сформований U-подібний спіральний виступ 2, закріплюють трубну заготовку 3 за допомогою гвинтів 4. Після цього оправу 1 разом із виступом 2 та заготовкою 3 фіксують у привідній опорі 5 та в центрі 6.

На другому етапі виконується притискання формувального ролика 7 з U-подібною виїмкою 8 до поверхні трубної заготовки 3, в результаті чого по всій її довжині формується U-подібний спіральний виступ 9. Цей виступ створюється шляхом вминання матеріалу заготовки під дією ролика 7, виїмка якого за формою точно відповідає профілю U-подібного спірального виступу 2 на оправі 1. Для забезпечення точності процесу ролик 7 розташовується під кутом, що узгоджений із кроком спірального виступу 2 оправы 1. Довжина трубної заготовки 3 при цьому повинна відповідати довжині оправы 1 з нанесеним на ній виступом 2.

На третьому етапі оправу 1 разом із трубною заготовкою 3 знімають із привідної опори 5 та центра 6. Після цього викручують гвинти 4, якими була закріплена заготовка, і виконують зняття трубної заготовки 3 із сформованими на ній U-подібними спіральними виступами 9 шляхом її обережного скручування з U-подібного спірального виступу 2 оправы 1.

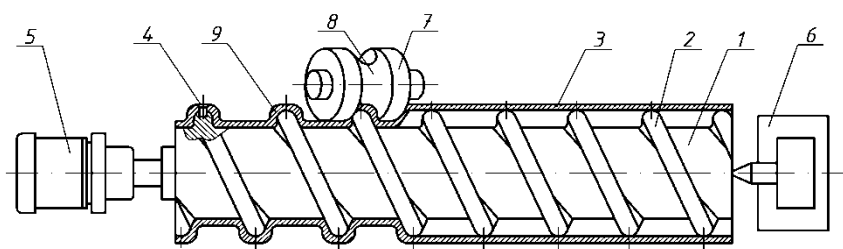


Рисунок 3 - Конструктивна схема способу виготовлення U-подібної гвинтової поверхні транспортної труби

Джерело: розроблено авторами

Інший спосіб (рис. 4) [24] передбачає, що на першому етапі на оправі 1, яка має U-подібний спіральний виступ 2, закріплюють стрічку прямокутного перерізу 3 за допомогою гвинтів 4. Після цього оправу 1 разом зі спіральним виступом 2 і стрічкою 3 фіксують у привідній опорі 5 та центрі 6.

На другому етапі формувальний ролик 7 з U-подібною виїмкою 8 притискається до стрічки прямокутного перерізу 3, у результаті чого по всій її довжині формується U-подібний спіральний виступ 9. Цей виступ утворюється шляхом вминання матеріалу стрічки за допомогою ролика 7, виїмка якого точно відповідає геометрії U-подібного спірального виступу 2, нанесеного на оправі 1. Для забезпечення точного формування ролик 7 встановлюється під кутом, який відповідає кроку спірального виступу 2 оправы 1. Довжина стрічки прямокутного перерізу 3 має відповідати довжині оправы 1 з нанесеним на ній виступом 2.

На третьому етапі кінці намотаної стрічки прямокутного перерізу 3 з сформованими на ній U-подібними спіральними виступами 9 з'єднують за допомогою зварного шва. Після цього конструкцію разом з оправою 1 знімають із привідної опори 5 та центра 6. Далі викручують гвинти 4, після чого виконують обережне скручування готової транспортної труби з U-подібними спіральними виступами 9 з оправы 1, що має відповідний спіральний виступ 2.

Приклад виконання способу виготовлення гвинтової заготовки, де повздовжня подача ролика повинна відповідати кроку U-подібного спірального виступу оправы, відображено в таблиці 2.

Вибір матеріалів для виготовлення спеціальних гвинтових профільних заготовок обумовлений поєднанням їхніх механічних, технологічних та економічних характеристик. Найдоцільнішим матеріалом, у цьому плані, є вуглецеві сталі марок 08 кп, Ст.3 та їхні зарубіжні аналоги, які мають достатню пластичність, зварюваність і здатність до холодної деформації, що критично важливо при формуванні гвинтових елементів із складним профілем. Відповідно застосування низьковуглецевих холоднокатаних сталей забезпечує стабільну якість поверхні, точність геометричних параметрів та високу однорідність структури матеріалу, що є надзвичайно важливою характеристикою під час виробництва спеціальних гвинтових профільних заготовок, де деформація має бути контрольованою та повторюваною. Для експлуатації у агресивних середовищах або за умов підвищених навантажень, доцільним є використання легованих або нержавіючих сталей (наприклад, 08X17T, 12X17, AISI 304, AISI 316), які мають підвищену корозійну стійкість, теплостійкість і міцність. У якості вихідних заготовок доцільно використовувати труби безшовні холодно- і гарячекатані, труби литі, смуговий холоднокатаний прокат, фізико-хімічні і механічно-конструктивні характеристики якого, визначені стандартом ДСТУ EN 10139:2019. Згідно нього для наших потреб оптимальними є товщини 1,5-4 мм. Оптимальна ширина смуги вибирається із стандартних розмірів у межах 40-250 мм. Даний матеріал є доступним і постачається металобазами рулонами, стрічками або порізаним у розмір згідно виробничих потреб.

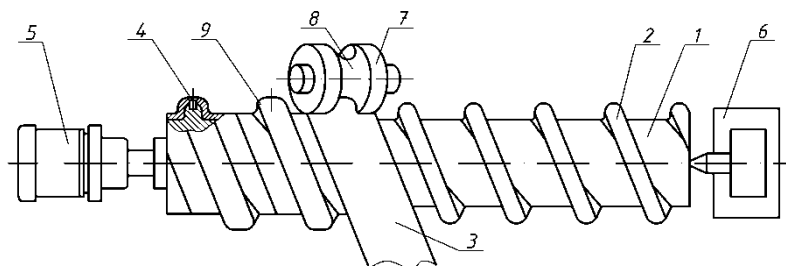


Рисунок 3 - Спосіб виготовлення гвинтових заготовок

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 2 - Конструктивні та технологічні характеристики реалізації способу формування U-подібних гвинтових поверхонь транспортних труб

№	Частота обертання, оправи, об/хв.	Повздожня подача формувального ролика, мм/об.	Крок U-подібного спірального виступу, мм	Діаметр оправи, мм	Товщина заготовки, мм	Висота U-подібних вминань, мм
1	0,083...0,15	70...120	70...120	100	0,8...1,5	5...50
2	0,125...0,225	120...180	120...180	150	1,0...2,0	5...70
3	0,166...0,3	170...240	170...240	200	1,5...2,5	5...90

Джерело: розроблено авторами

У випадку підвищених вимог щодо якості і точності кінцевих заготовок у якості вихідних доцільно використовувати труби і штаби холоднокатані експлуатаційні характеристики яких встановлені стандартом EN 10140-2006 або ж труби, стрічки і листи з конструкційних сталей з покриттям, отриманим безперервним способом зануренням в розплав, згідно EN 10326-2004.

Таким чином, правильний вибір марки матеріалу не лише забезпечує технологічність виготовлення, а й гарантує надійність та довговічність спеціальних гвинтових профільних заготовок в умовах реальної експлуатації.

Висновки. Запропоновано чотири нові способи виготовлення U-подібних гвинтових поверхонь транспортних труб з використання оправок і формувальних роликів. Вони можуть реалізовуватися як виготовленням, шляхом вминання, U-подібних рифів

на готовій трубі, так і одночасним навиванням з U-подібним вмиванням стрічки прямокутного січення на оправу з U-подібним спіральним виступом, з подальшим скріпленням виступів навитої стрічки зварним швом. Розроблені способи виготовлення U-подібних гвинтових поверхонь транспортних труб можна умовно поділити на два типи - із можливістю зміни висоти U-подібного рифу за рахунок зміни діаметр прутка пружини, та без такої можливості, в яких використовуються оправи з незмінною висоти U-подібного рифу. Для обох типів способів визначено і представлено раціональні конструктивно-технологічні параметри їхньої реалізації. Також в роботі визначено і охарактеризовано конструкційні матеріали для виготовлення гвинтових транспортних труб.

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.
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. 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.
5. 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. Tern.: TNTU. 2021. Vol. 104. No. 4. P. 33–43. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.04.033
6. Васильків В. В. Розвиток науково-прикладних основ розроблення технологій виробництва гвинтових і шнекових заготовок з використанням уніфікації: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.02.08. Львів, 2015. 48 с.
7. Васильків В. В. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових заготовок з листового прокату / В. В. Васильків, Л. Д. Радик, І. Б. Гевко // Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»): «Наукові нотатки» ЛДТУ. 2004. Вип. 14. С. 12–18.
8. Rogatinskiy R., Hevko I., Gypka A., Garmatyk O., Martsenko S. Feasibility study of the method choice of manufacturing screw cleaning elements with the development and use of software. Acta Technologica Agriculturae. Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae. 2017. No. 2. P. 36–41. <https://doi.org/10.1515/ata-2017-0007>
9. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дячун А.Є. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів: монографія. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 280 с.
10. Рогатинський Р. М. Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження / Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Гудь В. З., Дячун А. Є., Мельничук А. Л., Слободян Л. М. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 212 с.
11. Study of power parameters of the screw spirals forming // [Oleg Lyashuk, Roman Rogatynsky, Ivan Hevko, Tetiana Navrotska, Andrii Diachun] – Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. Proceedings of the 7th International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2024, June 4–7, 2024, Pilsen, Czech Republic – Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering, P. 287-298.
12. Diachun A., Vasylyk V., Korol O., Myhailiuk V., Golovaty I., Kuras A. Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. Scientific Journal of TNTU (Tern.). 2021. Vol. 101. No. 1. P. 68–78. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.01.068
13. Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Гупка А.Б., Третьяков О.Л. Технологічне проєктування та виготовлення гвинтових транспортно-технологічних робочих органів. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2025. 457 с.
14. 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.
15. Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning // [Ivan Hevko, Andrii Diachun, Oleg Lyashuk, Yuriy Vovk, Andriy Hupka] – Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. Proceedings of the 4th International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2021, June 8–11, 2021, Lviv, Ukraine Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering, P. 385-394.
16. Ivan Hevko, Andriy Pik, Roman Komar, Oleh Stibaylo, Serhiy Koval' Peculiarities of technological design of U-shaped screw transport and technological working bodies : Scientific Journal of TNTU. Ternopil.: TNTU, 2024. Vol 113. No 1. P. 5–15.

17. Гевко І.Б., Лещук Р.Я., Брикса А.О., Стібайло О.Ю., Коваль С.О. Особливості конструкцій і технологічного проектування робочих органів лопатевих гвинтових змішувачів // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – 2023. - Вип. 8(39). Част.2. С. 24-34.
18. Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Гудь В. З., Дмитрів О. Р., Дубиняк Т. С., Навроцька Т. Д., Круглик О. А. Гнучкі гвинтові конвеєри: проектування, технологія виготовлення, експериментальні дослідження. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 207 с.
19. 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). Част.1. С. 75-83.
20. Патент на корисну модель № 158211. Україна, МПК В21D 9/00, В21D 9/10 (2006.01). Спосіб виготовлення гвинтових транспортних труб / Гевко І.Б., Пік А.І., Гевко Б.Р., Мосій О.Б., Гарматюк О.О., Стібайло О.Ю., Пік М.А. (Україна). – № u2024 02778. Заявл. 24.05.2024р.; Опубл. 09.01.2025р., Бюл.№2.
21. Патент на корисну модель № 158470. Україна, МПК В21Н3/12, В21D11/06. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок / Гевко І.Б., Пік А.І., Гевко Б.Р., Мосій О.Б., Гарматюк О.О., Стібайло О.Ю., Пік М.А. (Україна). – № 202402777. Заявл. 24.05.2024р.; Опубл. 13.02.2025р., Бюл.№7.
22. Патент на корисну модель № 157048. Україна, МПК В21Н 3/12, В21D 11/06. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок / Гевко І.Б., Пік А.І., Комар Р.В., Гевко Б.Р., Брикса А.О., Коваль С.О., Стібайло О.Ю. (Україна). – № u2024 00164. Заявл. 11.01.2024р.; Опубл. 05.09.2024р., Бюл.№36.
23. Патент на корисну модель № 157208. Україна, МПК В21Н 3/12, В21D 11/06. Спосіб виготовлення гвинтових заготовок / Гевко І.Б., Пік А.І., Комар Р.В., Гевко Б.Р., Брикса А.О., Коваль С.О., Стібайло О.Ю. (Україна). – № u2024 00167. Заявл. 11.01.2024р.; Опубл. 19.09.2024р., Бюл.№38.

References

1. Hevko, B. M., & Pylypets, M. I. (2009). *Technological principles of forming multi-profile screw blanks of machine parts*. BM Hevko, MI Pylypets et al. [in Ukrainian]
2. Hevko, B. M., Lyashuk, O. L., Hevko, I. B., Dragan, A. P., & Novosad, I. Ya. (2008). *Technological principles of forming special profile screw parts*. Ternopil: SMP "Type". [in Ukrainian]
3. Radyk, D. L., Pylypets, M. I., Vasylykiv, V. V., & Pylypets, O. M. (2021). Preconditions for the development of combined operations for manufacturing screw and auger blanks by metal forming. *Prospective Technologies and Devices*, (18). [in Ukrainian]
4. Pylypets, M. I. (2002). *Scientific and technological foundations of manufacturing coiled blanks of machine parts*. Lviv: National University "Lviv Polytechnic". [in Ukrainian]
5. Vasylykiv, V., Pylypets, M., Danylchenko, L., & Radyk, D. (2022). Investigation of deflections of winded screw flights and auger billets in the processes of their manufacture. *Bulletin of Ternopil National Technical University*, 104(4), 33–43. [in English]
6. Vasylykiv, V. V. (2015). *Development of scientific and applied principles for designing technologies of manufacturing screw and auger blanks using unification*. [in Ukrainian]
7. Vasylykiv, V. V., Radyk, L. D., & Hevko, I. B. (2004). Technological and design features of manufacturing screw blanks from sheet metal. *Scientific Notes of Lviv State Technical University*, 12–18. [in Ukrainian]
8. Rogatynskiy, 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*, 20(2), 36–41. [in English]
9. Rohatynskiy, R. M., Hevko, I. B., & Diachun, A. Ye. (2014). *Scientific and applied foundations for the creation of screw transport-technological mechanisms*. [in Ukrainian]
10. Rohatynskiy, R. M., Hevko, I. B., Lyashuk, O. L., Hud, V. Z., Diachun, A. Ye., Melnychuk, A. L., & Slobodian, L. M. (2019). *Prospective screw conveyors: design, calculation, research: monograph*. Ternopil: Palianytsia V. A. [in Ukrainian]
11. Lyashuk, O., Rogatynskiy, R., Hevko, I., Navrotska, T., & Diachun, A. (2024). Study of power parameters of the screw spirals forming. In *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange* (pp. 287–298). Cham: Springer Nature Switzerland. [in English]
12. Diachun, A., Vasylykiv, V., Korol, O., Myhailiuk, V., Holovatyi, I., & Kuras, A. (2021). Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. *Bulletin of Ternopil National Technical University*, 101(1), 68–78. [in English]
13. Hevko, I. B., Lyashuk, O. L., Diachun, A. Ye., Hupka, A. B., & Trnetyakov, O. L. (2025). *Technological design and manufacturing of screw transport-technological working elements*. [in Ukrainian]
14. Hevko, I. B., Dychun, A. Y., Lyashuk, O. L., Martsenko, M., & Gypka, A. B. (2016). Research the force parameters of forming the screw cleaning elements. [in English]
15. Hevko, I., Diachun, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., & Hupka, A. (2021). Study of dynamic and power parameters of the screw workpieces with a curved profile turning. In *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange* (pp. 385–394). Cham: Springer International Publishing. [in English]

16. Hevko, I., Pik, A., Komar, R., Stibaylo, O., & Koval, S. (2024). Peculiarities of technological design of U-shaped screw transport and technological working bodies. *Bulletin of Ternopil National Technical University*, 113(1), 5–15. [in English]
17. Hevko, I. B., Leshchuk, R. Ya., Bryksa, A. O., Stibailo, O. Yu., & Koval, S. O. (2023). Features of designs and technological design of paddle screw mixer working bodies. [in Ukrainian]
18. Hevko, I. B., Leshchuk, R. Ya., Hud, V. Z., Dmytriv, O. R., Dubyniak, T. S., Navrotska, T. D., & Kruhlik, O. A. (2019). *Flexible screw conveyors: design, manufacturing technology, experimental research*. [in Ukrainian]
19. Hevko, I. B., Diachun, A. Ye., Dubyniak, T. S., Stibaylo, O. Yu., & Hupka, A. B. (2025). Technological features of manufacturing chopper knives on screw spirals. [in Ukrainian]
20. Hevko, I. B. (2025). *Method of manufacturing screw transport pipes* (Ukrainian Patent No. 158211). Ternopil Ivan Puluj National Technical University. [in Ukrainian]
21. Hevko, I. B. (2025). *Method of manufacturing screw billets* (Ukrainian Patent No. 158470). Ternopil Ivan Puluj National Technical University. [in Ukrainian]
22. Hevko, I. B. (2024). *Method of manufacturing screw blanks* (Ukrainian Patent No. 157048). Ivan Puluj Ternopil National Technical University. [in Ukrainian]
23. Hevko, I. B. (2024). *Method of manufacturing screw blanks* (Ukrainian Patent No. 157208). Ivan Puluj Ternopil National Technical University. [in Ukrainian]

Ivan Hevko, Prof., DSc., **Roman Rohatynskyi**, Prof., DSc., **Roman Komar**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Igor Tkachenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andrii Gypka**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu, Ternopil, Ukraine

Technological Design of Methods for Manufacturing U-Shaped Helical Surfaces of Transport Pipes

The process of technological design and manufacturing of special screw blanks is accompanied by a number of technical and production problems that require systematic analysis and comprehensive solutions. One of the main problems is the difficulty of ensuring high accuracy of the geometric parameters of screw surfaces, especially in conditions of single or small-scale production. Such surfaces have a complex spatial shape, which requires the use of specialized tools, high-precision equipment and modern control methods. Another important challenge is the choice of the optimal method of forming the workpiece depending on the material, design requirements and operating conditions. In this case, it is necessary to take into account not only technical characteristics, but also the economic feasibility of production, equipment costs, and energy intensity of the process. Another problem is achieving the required mechanical properties of the product (strength, wear resistance, fatigue endurance), which often requires the implementation of additional technological operations, in particular heat treatment or surface hardening. All these factors complicate technological planning, increase the risks of defects and increase the cost of production. Thus, the main problem is to develop rational and technically efficient technological methods that are capable of ensuring the manufacture of special screw blanks with the required characteristics at minimal production costs.

Modern scientific works in this area of research highlight a wide range of approaches to obtaining special screw blanks, including methods of winding, rolling, stamping, pressing, etc., each of which has its own advantages and limitations depending on the type of material, spiral geometry, and operating conditions of the product. Particular attention is paid to increasing the manufacturability of special equipment designs, in particular by improving design solutions, reducing energy consumption and material consumption in the manufacturing process, as well as developing specialized technological tools. Recent research in the field of technological design and manufacturing of special screw blanks covers a wide range of innovative approaches aimed at increasing production efficiency, reducing energy consumption, and improving product quality. In particular, such approaches as multi-level classification of screw and auger billet designs were proposed; morphological analysis for the synthesis of new methods of winding screw billets; optimization of technological processes for manufacturing screw billets, in particular, by unifying designs and implementing modern design methods.

The work substantiates four new methods for manufacturing U-shaped helical surfaces of transport pipes using frames and forming rollers. The developed methods can be implemented in different ways. In particular, by indenting U-shaped ridges on the finished pipe, or by simultaneously winding and U-shaped indenting a rectangular-section strip onto a frame with a U-shaped spiral protrusion, followed by fastening the protrusions of the wound strip with a weld. In general, the developed methods for manufacturing U-shaped helical surfaces of transport pipes can be conditionally divided into two types - with the possibility of changing the height of the U-shaped ridge by changing the diameter of the spring bar, and without such a possibility, in which frames with a constant height of the U-shaped ridge are used. The work also defines and characterizes the structural materials for the manufacture of helical transport pipes. As starting materials, it is advisable to use seamless cold- and hot-rolled pipes, cast pipes, and cold-rolled strip products. For both types of methods, rational structural and technological parameters for their implementation are defined and presented.

U-shaped, helical surface, workpiece, method, transport pipe, forming roller, operation, spiral protrusion

Одержано (Received) 14.05.2025

Прорецензовано (Reviewed) 16.05.2025

Прийнято до друку (Approved) 20.05.2025