

УДК 621.82

© Б.М. Гевко, д.т.н., А.С. Дячун, к.т.н., І.М. Кучвара, В.М. Клендій  
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

### **ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ МЕХАНІЗМІВ З ГВИНТОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ**

*Визначено основні показники технологічності та конструктивної складності виконання гвинтових деталей. Наведена технологічна характеристика конструктивних параметрів гвинтових деталей машин виготовлених різними способами.*

*Сформульовано основні технічні ідеї і гіпотези щодо підвищення ефективності гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями.*

#### **ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ, ГВИНТОВІ РОБОЧІ ОРГАНИ.**

**Постановка проблеми.** Поряд з позитивними моментами характеристики гвинтових транспортних механізмів (ГТМ) мають ряд недоліків, до яких належать наступні: висока собівартість виготовлення і металоємність, недостатня експлуатаційна надійність і довговічність, обмежені технологічні можливості та інші недоліки. Відтак їх конструкції потребують подальшого відпрацювання на технологічність, тому на даний час основним завданням при їх створенні є розроблення таких конструкцій, які забезпечили б поліпшення умов і безпеки праці виробничого персоналу, широку багатофункціональність, механізацію і автоматизацію виробничих процесів, високу продуктивність, безвідмовність, ремонтпридатність, можливість їх комплектування на базі модульного принципу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основи конструювання, проектування та дослідження гвинтових конвеєрів заклали такі вчені: А. Віденбаум, Р. Мор, М. Данквертс, Д. Лейсі, Ю.І. Марков, А.М. Ластовцев, Г. Шенкель, В. Штербачек, Г.Г. Кошелєв, Р.В. Торнер, М.В. Тебін, Д. Мак-Кельві, Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко та інші [1, 2, 3]. Не зважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені розробленню і дослідженню ГТМ, рівень технологічного забезпечення залишається недостатнім, а наукова база для їх створення і дослідження не завжди відповідає сучасним вимогам.

**Метою даної роботи** є розроблення методики відпрацювання на технологічність конструкцій механізмів з гвинтовими робочими органами з розширеними технологічними можливостями.

**Результати дослідження.** Технологічність конструкції виробу (ТКВ) – це сукупність властивостей, які визначають його

приспосованість до досягнення оптимальних витрат у процесі виробництва, експлуатації та ремонту для заданих показників якості й умов виконання своїх функцій. Технологічність процесу – це зручність і легкість його реалізації, що дозволяє виконати процес, який забезпечує отримання заданих результатів з найменшими витратами живої та уречевленої праці. ТКВ в основному залежить від п'яти груп факторів: властивостей виробу, заданої якості, умов виконання робіт у виробництві, експлуатації та ремонті. Загалом система показників ТКВ охоплюється 9 групами факторів і описується 51 загальним і понад 100 частковими коефіцієнтами. У цілому система оцінок представляє собою граф-дерево показників і коефіцієнтів, яке постійно збільшується і доповнюється, бо кількість ознак предмета й умов користування ним є нескінченним.

Різноманітність вимог до технологічного формування конструктивних параметрів гвинтових деталей призводить до необхідності впорядкування великої кількості варіантів технологічних процесів (ТП), серед яких існують оптимальні за відповідними критеріями якості. Вони відрізняються один від одного не лише за різновекторністю спрямування, кількістю та конструкцією елементів (схем формотворень, конструкцій устаткування й спорядження), а також характером зв'язків між ними та іншими показниками. Однак, незважаючи на те, що ТП в основному визначаються параметрами, які виготовляються з гвинтових заготовок (ГЗ), необхідно зазначити існування спільних ознак. Це дало можливість розрізнити конструкції інструментів за типом кінематичного зв'язку системи “ГЗ-інструмент”, та виділити 8 основних ТП, які диференційовані за характерними ознаками виконання основної операції формоутворення гвинтових деталей (ГД) і визначені на основі особливостей топології формозмінних та обмежуючих конструктивних параметрів робочих елементів технічних систем.

ГОСТ 14201-83 встановлює показники, відповідно до яких здійснюється комплекс заходів із забезпечення необхідного рівня технологічності конструкції. Найважливішими з цих показників є трудомісткість і собівартість виготовлення, коефіцієнт використання матеріалу та матеріаломісткість.

Згідно з ГОСТ 14202-73 розрізняють виробничу та експлуатаційну технологічність. Виробнича технологічність проявляється у скороченні різних видів витрат на конструкторську і технологічну підготовку виробництва, процеси виготовлення, контроль і випробування. Метою експлуатаційної технологічності є скорочення витрат часу і коштів на технологічне забезпечення виробничих процесів та ремонтні роботи.

Здійснювати відпрацювання конструкції на технологічність

рекомендують у наступному порядку. Спочатку потрібно підібрати і проаналізувати вихідні матеріали, необхідні для аналізу технологічності конструкції. Далі слід уточнити об'єм випуску, тип і характер виробництва, проаналізувати показники технологічності проектованої деталі, вузла або машини, а потім розробити заходи з їх покращення.

На стадії відпрацювання конструкції ГТТМ на виробничу технологічність проводиться відпрацювання на технологічність робочого органа, а саме – гвинтової стрічки, яка належить до оригінальних деталей з підвищеною технологічною складністю і трудомісткістю виготовлення.

Основні показники технологічності та конструктивної складності виконання гвинтових деталей (ГД) представлені в таблиці 1

Таблиця 1 - Основні показники технологічності та конструктивної складності виконання гвинтових деталей

№ з/п	Показники технологічності	Аналітичний зміст показника	Зміст складових параметрів
1	2	3	4
1.	Коефіцієнт використання матеріалу	$K = \frac{M_d}{M_3}$	$M_d$ – маса деталі; $M_3$ – маса заготовки
2.	Коефіцієнт нерівномірності витягування стрічки за зовнішнім і внутрішнім краями спіралі	$\psi = \frac{(r_o + B)}{r_o}$	$r_o$ - радіус спіралі за внутрішнім краєм; $B$ – ширина стрічки
3.	Коефіцієнт кроку спіралі ГЗ	$K_T = T / (r_o + B)$	$T$ - крок спіралі
4.	Питома висота витка	$b' = B / H$	$H$ - товщина витка
5.	Відносний радіус згину спіралі	$r' = r_o / B$	
6.	Радіус нейтрального шару деформації витка	$\rho_o = \sqrt{r_o^2 + Br_o}$	
7.	Відносна товщина спіралі	$\delta_h = 1 / b'$	
8.	Відносне видовження спіралі	$\delta_{sp} = 0,5(\sqrt{\psi} - 1)$	

Продовження табл. 1

1	2	3	4
---	---	---	---

9.	Стійкість смуги у процесі формоутворення ГЗ: - коефіцієнт стійкості стрічки у процесі згину; - величина критичного зусилля згину стрічки; - коефіцієнт стійкості вальцювання; - коефіцієнт стійкості для операції розгину спіралі на крок	$K_{y.u} = \delta_h^3 (\psi - 1)$ $P_{\psi}$ $K_c = \frac{T \delta_h}{D \psi}$ $K_{y.p} = \frac{\delta B^2}{[T^2 (\psi - 1)]}$	D – зовнішній діаметр спіралі
10.	Коефіцієнт технологічної складності виготовлення НЗ	$K_{mc} = (\psi - 1)^x K_e$	X – показник степеня функції; K <sub>e</sub> – коефіцієнт
11.	Зведена висота НЗ	$b_{зв} = (\Psi - 1)^x K_e b'$	HT

Для дослідження технологічності конструкції робочих органів, яка виражається у трудомісткості та собівартості виготовлення, надійності і довговічності в роботі, необхідно проаналізувати найпрогресивніші технологічні процеси їх виготовлення, зробити порівняння і вибрати найбільш економічний і ефективний. Для цього необхідно розглянути основні способи їх виготовлення із заданими конструктивними параметрами, вартість використання технологічного обладнання, трудомісткість і енергоємність, які представлені в таблиці 2. Технологія виготовлення робочих органів, і зокрема гвинтових стрічок, суттєво впливає на зміну їх конструктивних параметрів і техніко-економічні показники. Виготовлення спіралей штампуванням кілець з наступним формуванням витка і зварюванням у спіраль, прокатуванням на спеціальних прокатних станах чи навиванням із смугових заготовок на ребро забезпечують одержання конструктивних параметрів ГД, що можуть бути отримані лише за використання конкретного методу.

На стадії технічного проекту формується конструкція і його складальних вузлів, визначається конструктивна форма всіх деталей, завантажувальних пристроїв, робочого органа, приводу тощо. Правильний вибір форми поверхні спіралі усуває появу й утворення так званої "мертвої зони", яка може виникати в процесі захоплення й транспортування матеріалів. На цьому етапі роботи вирішуються питання технологічності способів одержання заготовок, особливо у випадку їх отримання для навивання спіралей профільної форми, а також проводиться вибір ТП обробки деталей та складання вузлів.

Таблиця 2 - Технологічна характеристика конструктивних параметрів гвинтових деталей машин, виготовлених різними способами

№ з/п	Спосіб формоутворення	Коефіцієнт використання матеріалу, $K$	Питома висота витка, $b'$
1.	Штапування	0,4 - 0,5	Необмежена
2.	Прокатування	0,55 - 0,95	$\leq 3$
3.	Навивання ГД із прямокутних заготовок	0,85 - 0,95	10 - 12
4.	Навивання ГД із трапецеподібних заготовок	0,85 - 0,95	12 - 25
5.	Навивання ГД із заготовок з вирізом по внутрішньому діаметру	0,85 - 0,95	15 - 30

Також на цій стадії вибирається оптимальна конструкція завантажувального пристрою – завантажувальної насадки або бункера, яка визначається доцільними розмірами, необхідними для забезпечення потрібної продуктивності та умовою забезпечення процесу самовільного витікання (просипання) сипких вантажів у зону захоплення їх витками гвинтової стрічки. Ця вимога при виборі бункера задовольняється шляхом вибору кута нахилу направляючих стінок більшим, аніж кут природного укосу транспортованого матеріалу, який визначається виходячи з його реологічних властивостей (здатності до злежування чи злипання, можливості утворення склепінь, гранулометричного складу).

У процесі розробки робочої документації визначаються питання технологічності конструкції та собівартості виготовлення кожної деталі й складальної одиниці з врахуванням технічних вимог до їх виготовлення. Важливим етапом забезпечення технологічності є зменшення кількості складових частин в конструкції. Це дозволяє зменшити імовірність відмови та підвищити його термін служби. Також при проектуванні гвинтових механізмів доцільно використовувати максимальну кількість стандартних (уніфікованих та стандартизованих) деталей і складальних одиниць, що дає змогу забезпечувати виготовлення високої якості, експлуатаційної надійності та довговічності. Такі механізми характеризуються низькою трудомісткістю виготовлення та технологічною собівартістю.

Основні технічні ідеї і гіпотези щодо підвищення ефективності гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями.

**Перша гіпотеза** – в конструкціях ГТМ для забезпечення надійності і безвідмовності їх в роботі при транспортуванні в'язких і

липких сипких матеріалів необхідно встановлювати вібраційні механізми для уникнення сводоутворень, мертвих зон і налипання сипких матеріалів на кожухи і робочі органи, що забезпечить нормальні умови їх роботи, підвищення продуктивності і зменшення енерговитрат.

**Друга гіпотеза** – полягає в тому, що кожухи гвинтових конвеєрів доцільно виконувати еліптичної форми з вертикальним розміщенням більшої осі еліпса і можливістю регулювання величини зазору між гвинтовим робочим органом і кожухом або встановлення кута нахилу між ними в бік транспортування матеріалу [4]. В результаті дослідження встановлено, що еліпсна форма кожуха сприяє покращенню умов транспортування насінєвих матеріалів і відповідно зменшує зусилля змішування та величину травмування насіння при збільшенні зазору між шнеком і кожухом в зоні найбільшого скупчення насінєвого матеріалу, або встановлення шнека під кутом до кожуха при його переміщенні до зони виходу при заповненні конвеєра не більше 0,5...0,7 міжжиткового простору.

**Третя гіпотеза** – для розширення технологічних можливостей ГТМ, підвищення їх ефективності і якісного виконання технологічних процесів доцільно розробити конструкцію двошнекового ГК з коливним еліпсним кожухом з покращеними техніко-економічними показниками [4].

**Четверта гіпотеза** – для ефективного проектування ГТМ з розширеними технологічними можливостями доцільно розробити багатоваріантну структуру конструктивних та функціональних можливостей реалізації процесів транспортування сипких матеріалів і виконання додаткових операцій, а також принципу синтезу необхідних конструкцій ГТМ, що вдосконалюються із використанням трьох ієрархічних рівнів конструктивно-технологічної системи “гвинтовий конвеєр”, яка в процесі синтезу генерує множину можливих альтернатив для кожного з трьох ієрархічних рівнів [5].

**П'ята гіпотеза** – особливо турбує стан справ з розроблення гнучких гвинтових конвеєрів, які є найбільш мобільними транспортними засобами, що здатні підвищити рівень механізації багатьох завантажувально-розвантажувальних і транспортних робіт, які характеризуються великою питомою вагою ручної праці [6].

**Шоста гіпотеза** – використовувати деталі гвинтових конвеєрів, наприклад, шнеки, кожухи та інші деталі з пластмасових матеріалів, коефіцієнт тертя при цьому є значно меншим, ніж при взаємодії сипких матеріалів з металевими поверхнями при їх транспортуванні.

Раціональні конструктивні та технологічні параметри роботи ГТМ доцільно визначати залежно від частоти обертання робочих органів, радіуса кривизни, висоти піднімання траси та інше.

**Висновки.** Визначено основні показники технологічності та

конструктивної складності виконання гвинтових деталей. Приведена технологічна характеристика конструктивних параметрів гвинтових деталей машин, виготовлених різними способами.

Сформульовано основні технічні ідеї і гіпотези щодо підвищення ефективності гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями.

#### Література

1. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1993. – 216 с.

2. Гевко І.Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання / І.Б. Гевко. – Тернопіль: ТДТУ, 2008. – 307 с.

3. Рогатинський Р.М. Змішувач комбікормів / Р.М. Рогатинський, Ю.Б. Капаціла, Д.В. Дмитрів // Змішувач комбікормів: зб. наук. праць НАУ. – К.: НАУ, 2000. – Т.7. – С.156–159.

4. Патент № 83798, Україна. Гвинтовий двохшнековий змішувач. Заявники і власники патенту: Пилипець М.І., Дячун А.Є., Любачівський Р.О., Кучвара І.М., Гевко І.Б. Заявл. 26.04.2013р., опубл. 25.09.2013, бюл. № 18.

5. Ляшук О.Л. Структурний синтез гвинтових робочих органів механізмів машин / О.Л. Ляшук, Р.О. Любачівський, І.М. Кучвара // Структурний синтез гвинтових робочих органів механізмів машин: вісник НТУУ КПІ Машинобудування. – К.: НТУУ КПІ, 2013. – №68. – С. 25 – 31.

6. Патент № 85011, Україна. Секційна гвинтова спіраль. Заявники і власники патенту: Ляшук О.Л., Любачівський Р.О., Дзюра В.О., Клендій В.М., Гевко І.Б. Заявл. 18.04.2013р., опубл. 11.11.2013, бюл. № 21.