

УДК 621.82

**Ів. Гевко, доктор техн. наук; В. Клендій**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

## **ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ ГВИНТОВИХ СЕКЦІЙНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ**

**Резюме.** Розроблено методуку відпрацювання конструкцій механізмів з секційними гвинтовими робочими органами на технологічність на основі ресурсозберігаючих технологій. Визначено основні показники технологічності та конструктивної складності виконання гвинтових деталей. Розроблено нову конструкцію секційного гвинтового робочого органу на основі ресурсозберігаючих технологій. До переваг робочого органу відноситься те, що в процесі складання даного вузла не застосовується складне технологічне оснащення. Все застосовуване оснащення нормалізоване й забезпечує швидкий ремонт або заміну.

**Ключові слова:** технологічність конструкції, секційні гвинтові робочі органи, коефіцієнт технологічності.

**I. Gevko, V. Klendiy**

## **PRODUCTION EFFECTIVENESS OF THE SCREW SECTIONAL OPERATING MEMBERS DESIGN**

**Summary.** Screw operating members have been widely applied in all branches of the national economy thanks to the combination of different operations while transporting. Specific feature of their operation is caused by the variety of the production processes operations, as well as the regional characteristics of the transported materials, designation and design parameters of screw mechanisms.

Original welded construction of the screw sectional operating member of small material consumption, high maneuverability and improved operation reliability and durability has been proposed.

The operation of the screw operating member is as follows. During rotation of the spiral section the rotary motion is transmitted through the running body to the spherical rod and neighboring sections of the screw operating member.

The advantages of the operating member are those, that while adjusting of this unit complicated technological equipment is not needed. All equipment is normalized and provides proper maintenance and replacement.

At the stage of technical project the construction and its adjusting units, are created, the design shape of all parts, loading devices, operating member, etc is determined. The proper choice of the spiral surface shape prevents the appearance and creation of so-called "dead area", which can occur while gripping and transporting of materials. At this stage the problems of production effectiveness of methods for producing blanks, in the case when they are used for winding of the profile-shaped spirals in particular, are solved. Besides, the choice of technological process for parts working, the adjustment of units and it self are carried out.

Production effectiveness of the unit design mastering must result in the raise of labor efficiency, reduction of expenses and shortening of time for designing, technological preparation of production, manufacturing, maintenance and repair of the product providing its high quality.

**Key words:** construction production effectiveness, section screw operating members.

**Постановка проблеми.** Створення нових і удосконалення існуючих конструкцій транспортно-технологічних механізмів сприяє подальшому розвитку виробництва й підвищення продуктивності праці. За різними даними їх питома вага у завантажувально-розвантажувальних операціях складає 40...45%. Тому на даний час основним завданням при розробленні прогресивних конструкцій гвинтових завантажувачів є відпрацювання їх конструкцій на технологічність з точки зору зменшення травмування, широка багатофункціональність, ремонтоздатність та інше.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням технологічності конструкцій шнеків присвячені праці Амірова Ю.Д. [1], Григор'єва [2], Германа Х. [3], Рогатинського Р.М., Гевка І.Б. [4], Баришева А.І., Бадишевського В.А. та багато інших.

Аналіз наукових праць показав, що існуючі конструкції секційних робочих органів конвеєрів не повною мірою задовольняють функціональні вимоги щодо транспортування сипких матеріалів при забезпеченні мінімальних енерговитрат на виконання технологічного процесу в різних компоновках з робочими машинами, мають підвищену матеріаломісткість і складність технології виготовлення.

**Мета роботи** – є розроблення методики відпрацювання конструкцій механізмів із секційними гвинтовими робочими органами на технологічність на основі ресурсозберігаючих технологій.

**Реалізація роботи.** На даному етапі економічного розвитку суспільства значення гвинтових транспортних механізмів почало зростати і вони вийшли за межі основного призначення – транспортування вантажів. Тепер при використанні таких механізмів виконується значна кількість операцій: змішування, дозування, подавання, калібрування, нагнітання, подрібнення тощо [5, 6].

Базовими для гвинтових транспортно-технологічних механізмів (ГТТМ) є гвинтові конвеєри, а саме: можливість транспортування лише в'язких, пилоподібних, порошкових та дрібнозернистих матеріалів (фракції менші 400 мм) на відносно невеликі відстані (до 40 м в горизонтальному і до 10 м у вертикальному напрямках). Поряд із певними недоліками, вони мають значні переваги над іншими транспортними засобами: високу продуктивність (до 600 м<sup>3</sup>/год.); низькі енергозатрати; простоту в обслуговуванні та ремонті; можливість утворення довільних просторових трас транспортування; невисоку матеріаломісткість і складність конструкції; низьку собівартість виготовлення та експлуатації; герметичність конструкції, що при транспортуванні агресивних і шкідливих речовин мінімізує вплив на навколишнє середовище.

Домінуючими факторами, що впливають на проектування гвинтових транспортно-технологічних механізмів, є:

- специфіка функціонального призначення й універсальність використання;
- вимоги до операцій з перетворення й транспортування продуктів;
- властивості перетворюваних продуктів;
- технологічні особливості процесів і матеріалів, які використовуються для виготовлення гвинтових механізмів;
- забезпечення простоти при збільшенні частки уніфікованих елементів та мінімізації їх загальної кількості в конструкції;
- вимоги до експлуатаційної готовності, габаритів і ваги;
- вимоги до обслуговування, його простоти;
- забезпечення низької собівартості виготовлення та високої економічності експлуатації;
- вимоги до якості, в тому числі терміну служби, надійності в експлуатації;
- вимоги до безпеки експлуатації;
- забезпечення високих ергономічних характеристик, урахування естетичних вимог і конструктивна повторюваність.

Основні вимоги до гвинтових робочих органів (ГРО) є такими:

- відповідність функціональному призначенню;
- пружність і міцність на кручення та згинання;
- довговічність, опір корозії та спрацюванню.

Шнеки виготовляють з легованих конструкційних сталей, пластмас, гуми тощо у вигляді суцільних та секційних ГРО. У відповідності з технологічним призначенням

робочі поверхні можуть підлягати хромуванню, нікелюванню та нанесенню інших гальванічних покриттів.

Конструктивні параметри ГТТМ залежать від технології їх виготовлення. Особливо це стосується ГРО. В результаті аналізу конструкцій ГРО ГТТМ і технологій їх виготовлення встановлений великий розрив у бік зниження можливостей матеріалів як по граничних деформаціях, так і по коефіцієнту використання матеріалу, якості обробки тощо.

Граничні деформації також не повністю використовуються і при навиванні мінімальних діаметрів. У цьому випадку значення внутрішнього діаметра можна знизити до 8 мм і менше, що забезпечить зменшення маси деталі на 15 – 30 %, а в окремих випадках навіть більше.

Із необхідністю збільшення продуктивності ГТТМ постає питання про збільшення габаритів самих шнеків. При навиванні широкосмугових гвинтових стрічок з співвідношенням ширини смуги до її товщини більше 5, процес відбувається стійкіше і з енергозатратами в 3 – 7 разів меншими, ніж при прокатуванні. Цього можна досягнути шляхом фіксації внутрішнього краю з одночасним зменшенням плеча прикладання згинаючої сили. Реалізуючи вказані зусилля, здійснюють навивання витків з співвідношенням ширини до товщини до 15 – 50. Проте отримати шнеки більших розмірів можна лише способами штампування та зварювання спіралей і виготовлення спіралей з плоских заготовок [7], які є досить витратними й нетехнологічними (можуть використовуватися лише в одиничному і дрібносерійному виробництві). Тому на часі є розроблення продуктивних технологій виготовлення спіралей із пластмасових заготовок, гумових матеріалів та комбінованих гвинтів із кількох елементів.

Основні вимоги до технологічності конструкцій гнучких гвинтових секційних робочих органів (рис. 1 і 2) є такі:

1. Враховуючи необхідність завантаження й розвантаження окремих магістралей при перевезенні та монтажі двома працівниками, а також переміщення завантажувальної чи розвантажувальної магістралей одним оператором в процесі роботи конвеєра, маса 6-ти метрової магістралі (згідно з нормативно-правовими актами з охорони праці – п. 12.1.8 НПАОП 52.0-1.01-96 та п. 10.6.4 НПАОП 63.12-1.03-96) не повинна перевищувати:

- для шнеків діаметром 75 мм – 70 кг;
- для шнеків діаметром 100 мм – 90 кг;
- для шнеків діаметром 125 мм – 100 кг.

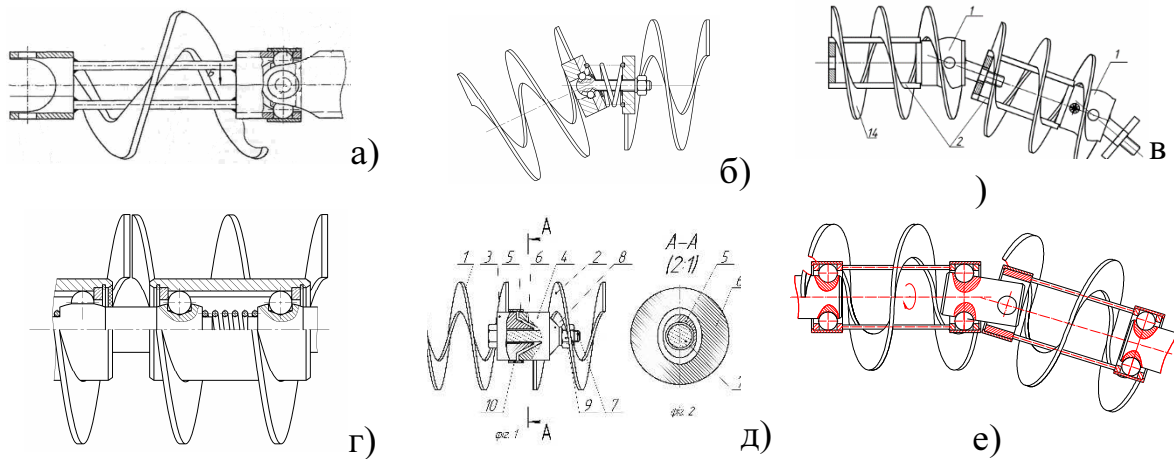
2. Враховуючи необхідність забезпечення процесу транспортування по криволінійних траєкторіях радіус згину магістралі для шарнірних гвинтових секційних робочих органів не повинен бути більшим:

- для шнеків діаметром 75 мм – 1,5 м;
- для шнеків діаметром 100 мм – 2 м;
- для шнеків діаметром 125 мм – 2,5 м.

Виходячи з цього, при проектуванні секційних ГРО слід враховувати таке:

1. Довжина гвинтової секції залежить від кута можливого згину, що утворюється в секційному з'єднанні, та еластичності кожуха.

2. Маса окремої секції шнека залежить від довжини магістралі й не повинна перевищувати граничної величини.



**Рисунок 1.** Варіанти конструкцій гнучких гвинтових секційних робочих органів: а, в, е – шарнірні; б, г, д – запобіжні

**Figure 1.** Versions of the designs of flexible screw sectional operating members: a, c, e – hinged, b, d, f – protecting.



**Рисунок 2.** Секційні ГРО з: а) шарнірним з’єднанням; б) запобіжним з’єднанням

**Figure 2.** Section flexible operating members with a) hinged joint; b) protecting joint

При проектуванні ГТТМ і їх робочих органів керуються ДСТУ 2672-94 [8], ДСТУ 2763-94 [9], ДСТУ 3278-95 [10], ДСТУ 3973-2000 [11], ДСТУ 3974-2000 [12], ДСТУ ГОСТ 2.601:2006 [13], ДСТУ ГОСТ 2.001:2006 [14], які встановлюють загальні технічні вимоги до гвинтових механізмів, визначають правила виконання науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, систему розроблення та поставлення продукції на виробництво, єдину систему конструкторської документації.

Існує значне різноманіття вимог до технологічного формування конструктивних параметрів гвинтових деталей (ГД). Основні показники технологічності та конструктивної складності виготовлення ГД представлено в таблиці 1 [15].

**Таблиця 1**

**Основні показники технологічності та конструктивної складності виконання гвинтових деталей**

№ з/п	Показники технологічності	Аналітичний зміст показника	Зміст складових параметрів
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	$\psi = \frac{(r_0 + B)}{r_0}$	$r_0$ – радіус спіралі за внутрішнім краєм; $B$ – ширина стрічки
3	Коефіцієнт кроку спіралі ГЗ	$K_T = T/(r_0 + B)$	$T$ – крок спіралі
4	Питома висота витка	$b' = B/H$	$H$ – товщина витка

5	Відносний радіус згину спіралі	$r' = r_0 / B$	
6	Радіус нейтрального шару деформації витка	$\rho_0 = \sqrt{r_0^2 + Br_0}$	
7	Відносна товщина спіралі	$\delta_h = 1/b'$	
8	Відносне видовження спіралі	$\delta_{sp} = 0,5(\sqrt{\psi} - 1)$	
9	Стійкість смуги у процесі формоутворення ГЗ: - коефіцієнт стійкості стрічки у процесі згину; - величина критичного зусилля згину стрічки; - коеф. стійкості вальцювання; - коефіцієнт стійкості для операції розгину спіралі на крок	$K_{y,u} = \delta_h^3(\psi - 1)$ $P_{кр}$ $K_c = \frac{T\delta_h}{D\psi}$ $K_{y,p} = \left[ \frac{\delta B^2}{T^2(\psi - 1)} \right]$	D – зовнішній діаметр спіралі
10	Коефіцієнт технологічної складності виготовлення НЗ	$K_{mc} = (\psi - 1)^x K_e$	x – показник степеня функції; $K_e$ – коефіцієнт
11	Зведена висота НЗ	$b_{зв} = (\psi - 1)^x K_e b'$	

Здійснювати відпрацювання конструкції ГТТМ на технологічність рекомендують у наступному порядку. Спочатку потрібно підібрати й проаналізувати вихідні матеріали, необхідні для аналізу технологічності конструкції. Далі слід уточнити обсяг 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 гвинтової стрічки, яка відноситься до оригінальних деталей з підвищеною технологічною складністю і трудомісткістю виготовлення. Для дослідження технологічності конструкції секційного ГРО необхідно проаналізувати найпрогресивніші технологічні процеси їх виготовлення, зробити порівняння і вибрати найбільш економічний і ефективний. При відпрацьовуванні конструкції гвинтових секційних робочих органів на технологічність слід урахувати три групи вимог:

- до складу складальної одиниці – вона повинна поділитися на раціональне число складових з урахуванням принципу агрегування;
- до конструкції з'єднань складових – конструкція повинна забезпечувати можливість компонування зі стандартних виробів і уніфікованих частин;
- до точності й методу складання – складання секції не повинно зумовлювати застосування складного технологічного оснащення.

При виготовленні головного елемента секційного ГРО – гвинтової стрічки, необхідно розглянути, проаналізувати й вибрати один із основних способів її виготовлення із заданими конструктивними параметрами, які наведені в таблиці 2.

**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	Штампування	0,4 - 0,5	Необмежена

2	Прокатування з прямокутних заготовок	0,55 - 0,98	$\leq 3$
3	Прокатування з трапецієподібних заготовок	0,55 - 0,98	$\leq 3,5$
4	Прокатування з круглого прокату	0,55 - 0,98	$\leq 1,5$
5	Навивання ГД по внутрішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок	0,9 – 1,0	2 - 16
6	Навивання ГД по внутрішньому торцевому профілю з трапецієподібних заготовок	0,9 – 1,0	2 - 21
7	Навивання по внутрішньому торцевому профілю з круглого прокату	0,9 – 1,0	0,8 – 3
8	Навивання ГД із заготовок з вирізом по внутрішньому діаметру	0,85 - 0,95	15 - 30
9.	Навивання ГД по зовнішньому торцевому профілю з прямокутних заготовок	0,9 – 1,0	2 - 19
10	Навивання по зовнішньому торцевому профілю з круглого прокату	0,9 – 1,0	0,8 – 3,4
11	Навивання ГД із заготовок з вирізом по зовнішньому діаметру	0,5 – 0,9	15 - 30

Технологія виготовлення секційних ГРО ГТТМ, і, зокрема, гвинтових стрічок суттєво впливає на зміну їх конструктивних параметрів і техніко-економічні показники. Виготовлення спіралей штампуванням кілець з наступним формуванням витка і зварювання у спіраль, прокатуванням на спеціальних прокатних станах чи навиванням із смугових заготовок на ребро забезпечують отримання конструктивних параметрів ГД, що можуть бути отримані лише за використання конкретного методу.

Конструктивні особливості ГТТМ напряму залежать від їх призначення, а враховуючи, що основним їх елементом є ГРО, то способи отримання й забезпечення необхідних конструктивних параметрів шнеків є надважливою проблемою при проектуванні ГТТМ.

На стадії технічного проекту формується конструкція ГТТМ і його складальних вузлів, визначається конструктивна форма всіх деталей, завантажувальних пристроїв, робочого органу, привода тощо. Правильний вибір форми поверхні спіралі усуває появу й утворення так званої «мертвої зони», яка може виникати в процесі захоплення й транспортування матеріалів у ГТТМ. На цьому етапі роботи вирішуються питання технологічності способів отримання заготовок, особливо у випадку їх отримання для навивання спіралей профільної форми, а також проводиться вибір ТП обробки деталей та складання вузлів і самого ГТТМ. Також на цій стадії вибирається оптимальна конструкція завантажувального пристрою, яка визначається продуктивністю ГТТМ та умовою забезпечення процесу самовільного витікання (просипання) сипких вантажів у зону транспортування. Ця вимога задовольняється шляхом вибору кута нахилу направляючих стінок бункера більшим за кут природного укусу транспортованого матеріалу, що визначається, виходячи з його реологічних властивостей.

У процесі розроблення робочої документації визначаються питання технологічності конструкції та собівартості виготовлення кожної деталі й складальної одиниці з урахуванням технічних вимог до їх виготовлення. Важливим етапом забезпечення технологічності ГТТМ є зменшення кількості складових у його конструкції. Це дозволяє зменшити ймовірність відмови ГТТМ та підвищити термін його служби. Також при проектуванні гвинтових механізмів доцільно використовувати максимальну кількість стандартних деталей та складальних одиниць, що дозволяє забезпечувати виготовлення ГТТМ високої якості, експлуатаційної надійності та довговічності. Такі ГТТМ характеризуються низькою трудомісткістю виготовлення та технологічною собівартістю.

**Висновки** Наведено й розшифровано основні технологічні та конструктивні показники технологічності конструкції складових елементів секційних ГРО й аналітичні залежності для їх розрахунку. Розроблено оригінальну зварну конструкцію секційного гвинтового робочого органу, зниженої матеріалоемності, підвищеної маневреності, експлуатаційної надійності й довговічності.

**Conclusions.** Original welded construction of the sectional screw operating member of small material consumption, high maneuverability and improved operation reliability and durability has been developed. Main technological and design factors of the construction components production effectiveness of the sectional flexible operating members as well as analytical dependencies for their calculation have been presented and interpreted.

#### Список використаної літератури

1. Технологичность конструкций изделий: справочник [Текст] / [Амиров Ю.Д. и др.]; под. ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1985. – 217 с.

2. Григорьев, А.М. Винтовые конвейеры [Текст] / А.М. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
3. Герман, Х. Шнековые механизмы в технологии ФРГ [Текст] / Х. Герман. – Л.: Машиностроение, 1975. – 230 с.
4. Рогатинський, Р.М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів [Текст] / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.Є. Дячун – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 278 с.
5. Рогатинський, Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів із сировиною сільськогосподарського виробництва: автореф. дис. доктора техн. наук: спец. 05.20.01 «Піднімально-транспортні машини», 05.05.05 «Механізація сільськогосподарського виробництва» [Текст] / Р.М. Рогатинський. – Київ, 1997. – 52 с.
6. Рогатинський, Р. Модель конструювання і вибору гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями [Текст] / Р. Рогатинський, І. Гевко // Вісник ТНТУ. – 2012. – № 3 (67). – С. 197 – 210.
7. Васильків, В.В. Технологічні та конструктивні особливості виготовлення гвинтових заготовок з листового прокату [Текст] / 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. Конвеєри гвинтові. Загальні технічні вимоги: ДСТУ 2672:94. – Чинний від 1995-01-01. – К.: Держспоживстандарт України, 1995. – 10 с.
9. Конвеєри гвинтові. Терміни та визначення: ДСТУ 2763:94. – Чинний від 1995-01-01. – К.: Держспоживстандарт України, 1995. – 11 с.
10. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни та визначення: ДСТУ 3278:95. – Чинний від 1996-01-01. – К.: Держспоживстандарт України, 1996. – 142 с.
11. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних робіт. Загальні положення: ДСТУ 3973:2000. – Чинний від 2001-01-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2001. – 46 с.
12. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення: ДСТУ 3974:2000. – Чинний від 2001-01-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2001. – 54 с.
13. Єдина система конструкторської документації. Експлуатаційні документи: ДСТУ ГОСТ 2.601:2006. – Чинний від 2007-01-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 144 с.
14. ЕСКД. Загальні положення: ДСТУ ГОСТ 2.001:2006. – Чинний від 2007-01-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 144 с.
15. Гевко, І.Б. Технологічність конструкцій гвинтових транспортно-технологічних механізмів машин [Текст] / І.Б. Гевко // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2004. – № 73. – С. 348 – 352.
16. Chris Rorres. The turn of the screw: optimal design of an Archimedes screw/ Jornal of hydrauling/ January 2000. P 72 – 80.
17. Screw conveyor manufacturing. Design. Engineering: industrial Screw Conveyors. Inc. Burlson. 2006. – 23 p.
18. Screw Conveyor. Dimensional standarts. (Approved April 1, 2009) ISBN 978-1-891171-39-0 Printed in the U.S.A. Web Site: – Mode of access: <http://www.cemanet.org> – 6 p.

*Отримано 02.07.2015*