

СИНТЕЗ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ З ГНУЧКИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

І. Гевко, д. т. н., О. Ляшук, к. т. н., В. Клендій

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Постановка проблеми. Гнучкі гвинтові конвеєри використовуються в різних галузях народного господарства у транспортуванні й необхідному переміщенні сільськогосподарських продуктів, будівельних матеріалів, харчових та фармацевтичних продуктів, металевої стружки тощо. Під час виконання технологічних процесів гвинтовими транспортно-технологічними механізмами не завжди досягається необхідна продуктивність і часто виникають перевантаження, що призводять до значних деформацій і поломок елементів цих машин. Тому для забезпечення високої продуктивності та якості виконання технологічних процесів гнучкими гвинтовими конвеєрами необхідно використовувати в їх конструкціях ефективні гвинтові робочі органи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням теоретичного обґрунтування процесу роботи гнучких гвинтових перевантажувальних механізмів, методик розрахунку їх базових параметрів, розробки прогресивних конструкцій присвячені роботи А.М. Григор'єва [1], Б.М. Гевка [2], Р.М. Рогатинського [3], а питанням синтезу конструкцій у машинобудуванні методом морфологічного аналізу присвячені праці А.І. Половинкіна [4], Ю.М. Кузнецова [5], В.М. Одріна [6] та ін. Аналіз основних положень у проектуванні гвинтових конвеєрів свідчить про відсутність однозначного погляду різних авторів на суть явищ, що спостерігаються під час роботи таких засобів механізації. У відомих дослідженнях особливу увагу звернуто на питання вибору параметрів робочих органів і процесів транспортування зернових, гранульованих мінеральних добрив та інших матеріалів, проте проблема пошкодження сипких вантажів при транспортуванні по криволінійних траєкторіях на теперішній час залишається відкритою.

Постановка завдання. Метою роботи є проведення синтезу гнучких гвинтових конвеєрів методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу для отримання конструкцій з покращеними техніко-економічними характеристиками.

Виклад основного матеріалу. Робота виконується в рамках пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки “Новітні та ресурсозберігаючі технології в промисловості, енергетиці та агропромислому комплексі” на 2010-2015 роки.

Для пошуку нових ідей зі створення прогресивних конструкцій гвинтових робочих органів (ГРО) доцільно використовувати відомий метод морфологічного аналізу [5], що дає змогу отримати повну кількість рішень, та його модифікований варіант: метод синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу [7; 8], який передбачає проведення генерації альтернатив на окремих ієрархічних рівнях або й у межах окремих конструктивних елементів, починаючи з вищих

рівнів, що забезпечує отримання найбільш раціональних конструктивних рішень при економії витрат, зусиль та часу.

У результаті проведеного аналізу впливу різних факторів на процес транспортування гнучкими гвинтовими конвеєрами (ГГК) шляхом структурно-схемного синтезу із застосуванням морфологічного аналізу [7; 8] було визначено обмежену кількість їх складових елементів та зв'язків між ними, які представляють конструктивні ознаки, на основі чого складено морфологічну матрицю у вигляді таблиці. Вона поділена на стовпці, у заголовках яких представлені морфологічні ознаки елементів ГГК і зв'язки між ними, а до їх складу внесено альтернативи кожної ознаки без критичного аналізу. Обрані такі основні морфологічні ознаки: привід, гвинтовий робочий орган (ГРО), механізм завантаження, розташування гвинтового конвеєра, механізм розвантаження. Склад морфологічної таблиці може розширюватися за рахунок нових альтернатив кожної ознаки та за рахунок додаткових ознак. Проте цей варіант моделі отримано внаслідок виділення функціонально важливих елементів з метою її спрощення, що дає змогу мінімізувати кількість генерованих варіантів.

Морфологічна таблиця ознак конструктивних елементів гнучкого гвинтового конвєсера

Привід			Гвинтовий робочий орган					Завантажувальний механізм		
1. Вид	2. Вид руху	3. Кількість	Конструкція гвинта				8. Конструкція з'єднання	9. Конструкція жолоба	10. Процес	11. Тип
			4. Профіль спіралі	5. Частинна	6. Суцільна	7. Комбінація спіралі				
1.1. Електропривід 1.2. Пневмопривід 1.3. Двигун внутрішнього згоряння 1.4. Гідропривід 1.5. ДВЗ	2.1. Безперервний 2.2. Циклічний 2.3. З прискореннями і сповільненнями 2.4. Кроковий	3.1. Один 3.2. Два 3.3. Кілька	4.1. Вузько-смугова 4.2. Широко-смугова 4.3. Гофрована 4.4. Г-подібна чи нахилена 4.5. Лопатєва 4.6. З вирізами чи отворами 4.7. Пружинна	5.1. Карданна 5.2. Шарнірна 5.3. Секційна	6.1. Безвальна 6.2. З гнучким простим валом 6.3. З гнучким валом	7.1. Однотипова 7.2. Комбінована	8.1. Зубчате 8.2. Заклепове 8.3. Зварне 8.4. Болтове 8.5. Пальцеве 8.6. З внутрішнім з'єднанням секцій 8.7. Із зовнішнім з'єднанням секцій 8.8. З внутрішнім та зовнішнім з'єднанням секцій 8.9. Еліпсне 8.10. Кулькове	9.1. Суцільна 9.2. Секційна	10.1. Гравітаційний 10.2. Примусовий 10.3. Роздільний 10.4. З калібруванням 10.5. З подрібненням 10.5. З додатковими технологічними операціями 10.6. Багатоланковий	11.1. Бункер 11.2. Насадка 11.3. Завантажувальний пристрій

Морфологічну модель ГТК (див. табл.) можна зобразити у вигляді морфологічної матриці, що утворена за допомогою числового позначення відповідних альтернатив, розміщених у стовпцях морфологічної таблиці:

$$N = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_j = \prod_{j=1}^n K_j, \quad (1)$$

$$N_{ГТК} = \left| \begin{array}{ccc} 1.1 & & \\ 1.2 & 2.1 & \\ 1.3 & 2.2 & 3.1 \\ 1.4 & 2.3 & 3.2 \\ 1.5 & 2.4 & 3.3 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{ccc} 4.1 & & \\ 4.2 & & \\ 4.3 & 5.1 & 6.1 \\ 4.4 & 5.2 & 6.2 \\ 4.5 & 5.3 & 6.3 \\ 4.6 & & \\ 4.7 & & \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{c} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \\ 8.4 \\ 8.5 \\ 8.6 \\ 8.7 \\ 8.8 \\ 8.9 \\ 8.10 \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{cc} 9.1 & \\ 9.2 & \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{cc} 10.1 & \\ 10.2 & 11.1 \\ 10.3 & 11.2 \\ 10.4 & 11.3 \\ 10.5 & \\ 10.6 & \end{array} \right|. \quad (2)$$

Загальна кількість варіантів конструктивних виконань ГТК, які входять в морфологічну матрицю (2), є дуже великою $N = 1632960$ і важко піддається повному перебору та вимагає багато часу для вибору найкращих рішень. У даному випадку можна скористатися комбінацією методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. Сам метод ґрунтується на морфологічному аналізі та передбачає поділ механічної системи на певну кількість ієрархічних рівнів з віднесенням до кожного з окремих конструктивних елементів системи [7; 8].

У нашому випадку особливості комбінації цього методу полягатимуть у розчленуванні першого ієрархічного рівня моделі механічної системи «Гнучкий гвинтовий конвеєр» (рис. 1) на дві підгрупи, де до першої підгрупи входять конструктивні елементи, що відобразять особливі морфологічні ознаки конструкції гвинта (5) (рис. 2) та (7), й особливі морфологічні ознаки конструкції з'єднання гвинтового робочого органа (8) (рис. 3), а до другої – конструктивні елементи ГРО (6) (рис. 4); до другого ієрархічного рівня першої підгрупи – кількість приводів (3), що визначає кількість робочих органів у ГТК, до другої підгрупи – профіль спіралі (4) і до третьої підгрупи – конструктивні елементи завантажувального механізму (10) і (11); до третього ієрархічного рівня першої підгрупи – вид приводу (1) і вид його руху (2), до другої підгрупи – конструкція жолоба (9). За використання запропонованого методу синтезу ієрархічних груп з розбивкою їх на підгрупи за допомогою морфологічного аналізу кількість варіантів визначатиметься за формулою:

$$N_{ГТ} = \sum_{z=1}^l \sum_{x=1}^q \prod_{i=1}^m K_i, \quad (3)$$

де z – ієрархічний рівень; l – кількість ієрархічних рівнів; x – певна підгрупа відповідного ієрархічного рівня; q – кількість підгруп відповідного ієрархічного рівня; K_i – альтернатива конструктивної ознаки елемента певної підгрупи

відповідного ієрархічного рівня; m – кількість альтернатив конструктивної ознаки елементів певної підгрупи відповідного ієрархічного рівня.

Якщо при синтезі альтернативних конструктивних варіантів ГТК використовувати традиційний метод морфологічного аналізу, то кількість альтернатив становитиме 1632960 варіантів. Проведемо підрахунок генерованих альтернатив для обох підгруп першого ієрархічного рівня. Так, кількість альтернатив для першої підгрупи першого ієрархічного рівня становитиме:

$N_{I(1)} = 3 \cdot 2 \cdot 10 = 60$, а кількість альтернатив для другої підгрупи –

$N_{II(1)} = \sum_{r=1}^t t_r \cdot K_i = 3$ (де t_r – кількість елементів r -ї альтернативи певного ієрархічного рівня; K_i – альтернатива конструктивного елементу певного ієрархічного рівня).

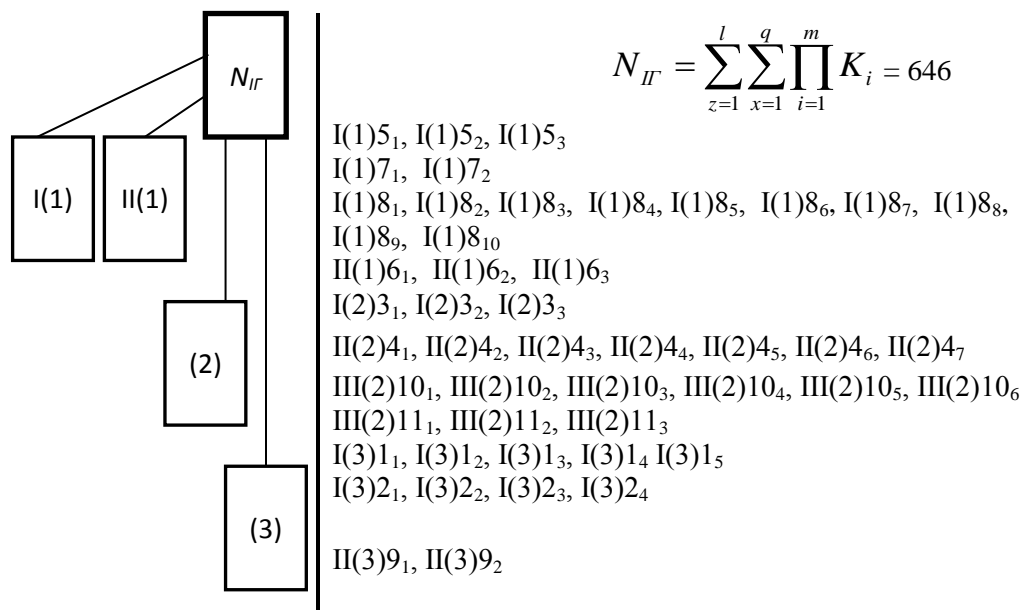


Рис. 1. Модель механічної системи «Гнучкий гвинтовий конвеєр»: I – перша підгрупа ієрархічного рівня; II – друга підгрупа ієрархічного рівня; III – третя підгрупа ієрархічного рівня; (2) – другий ієрархічний рівень; (3) – третій ієрархічний рівень.

Загалом кількість альтернатив для першого ієрархічного рівня становитиме $N_{(1)} = 63$. Для другого ієрархічного рівня кількість альтернатив становитиме $N_{(2)} = 3 + 7 + 6 \cdot 3 = 28$, а для третього – $N_{(3)} = 4 \cdot 3 + 2 = 14$. Загальна кількість генерованих варіантів ГТК за використання запропонованого методу синтезу

ієрархічних груп з розбивкою на підгрупи за допомогою морфологічного аналізу становитиме 102 варіанти, що в 16 тис. разів менше, ніж за використання класичного методу синтезу.

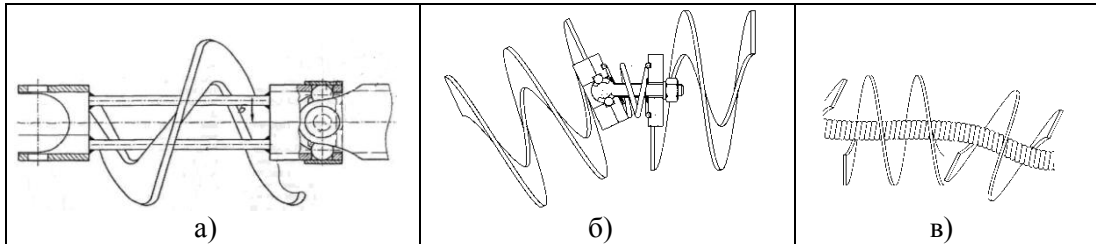


Рис. 2. Варіанти конструкцій частинних гвинтів: а) карданний; б) шарнірний; в) секційний.

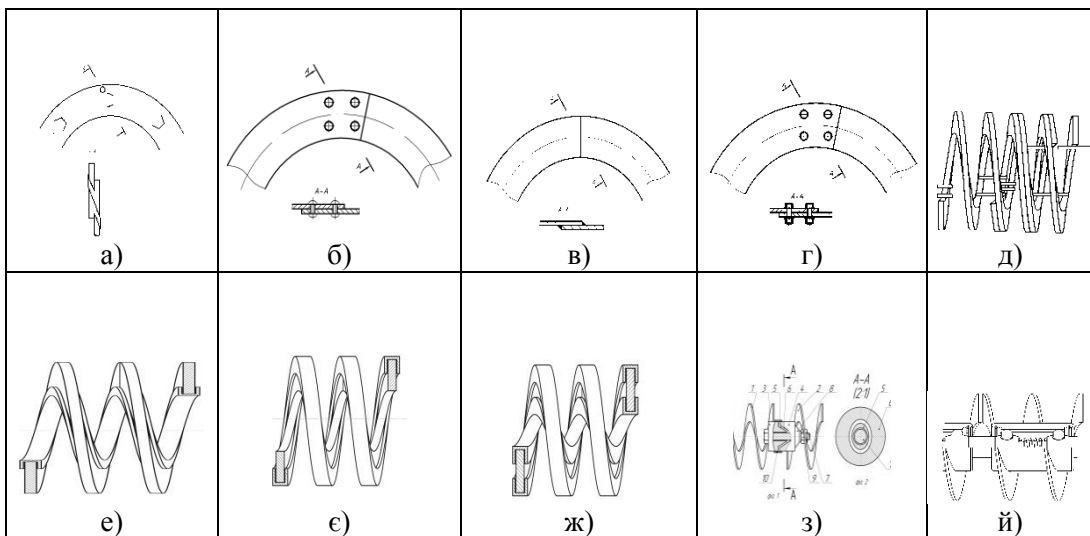


Рис. 3. Варіанти конструкцій з'єднань гвинтів: а) зубчасте; б) заклепове; в) зварне; г) болтове; д) пальцеве; е) з внутрішнім з'єднанням секцій; е) із зовнішнім з'єднанням секцій; ж) з внутрішнім та зовнішнім з'єднанням секцій; з) еліпсне; й) кулькове.

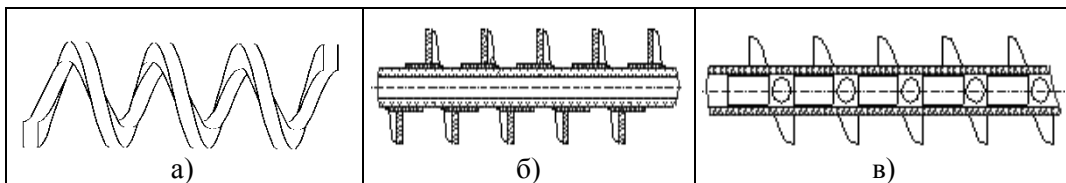


Рис. 4. Варіанти конструкцій суцільних гвинтів: а) безвальний; б) з гнучким простим валом; в) з гнучким комбінованим валом.

Під час конструювання ГРО необхідно враховувати низку факторів, до яких належить зарахувати продуктивність виконання процесу ГГК, надійність і якість забезпечення процесу, вартість виготовлення та експлуатації ГРО. Виходячи з цього, доцільна схема конструювання ГРО може передбачати проведення синтезу елементів ГРО з їх подальшим копонуванням у доцільні конструктивні схеми, відбір експертним методом найбільш раціональних конструкцій та вибір найкращої з допомогою певної моделі. Наприклад, кінцевий вибір ГРО може проводитись за допомогою пошуку конструкції з певної групи внаслідок максимізації очікуваних позитивів із загальної сукупності альтернативних варіантів за формулою

$$A_n = \frac{k_{cob} \cdot k_{ваг1} + k_{пр} \cdot k_{ваг2} + k_{як} \cdot k_{ваг3} + k_{ми} \cdot k_{ваг4}}{k_{ваг1} + k_{ваг2} + k_{ваг3} + k_{ваг4}}, \quad (4)$$

де k_{cob} , $k_{пр}$, $k_{як}$, $k_{ми}$ – відповідно коефіцієнти зведеної собівартості, продуктивності, якості виконання процесу та запасу міцності з урахуванням динамічного навантаження слабшої ланки ГРО; $k_{ваг1}$, $k_{ваг2}$, $k_{ваг3}$, $k_{ваг4}$ – відповідно ваги показників сумарної собівартості, продуктивності, якості виконання процесу та запасу міцності з урахуванням динамічного навантаження слабшої ланки ГРО, що враховують їх важливість і пріоритетність, $k_{ваг} = 1 \dots 10$.

Загальна кількість варіантів конструктивних виконань ГРО, що входять до морфологічної матриці, є дуже великою і важко піддається повному перебору та вимагає багато часу для вибору найкращих рішень. Крім того, одних і тих же секцій гвинта може бути декілька, що ще більше ускладнить прийняття рішення. Тому вибір варіанта конструкції ГРО залежатиме, передусім, від характеру виконання транспортно-технологічного процесу і навантаження на гвинт. Якщо конструювання ГРО здійснювати виходячи з певних умов роботи (заданої продуктивності, розмірів та нехтування якістю виконання процесу), то в даній моделі кількість коефіцієнтів скоротиться до двох і принцип вибору зведеться до пошуку альтернативи з вимоги забезпечення оптимальної міцності та зведеної собівартості ГРО. Це у свою чергу призводить до пошуку оптимальних рішень зі створення рівномічних конструкцій жорстких і гнучких ГРО (рис. 5) з урахуванням їх зведеної собівартості (слід також враховувати обсяги виробництва і тип виробництва). У результаті синтезу, виходячи з необхідності забезпечення проектування рівномічних спіралей залежно від характеру навантаження, можна згенерувати значну кількість працездатних конструкцій альтернативних варіантів ГРО (рис. 5), використовуючи як певне обмеження принцип компоновки конструктивних елементів ГРО в порядку зростання чи зменшення їх жорсткостей. У цьому разі кількість синтезованих конструкцій ГРО різко зменшиться.

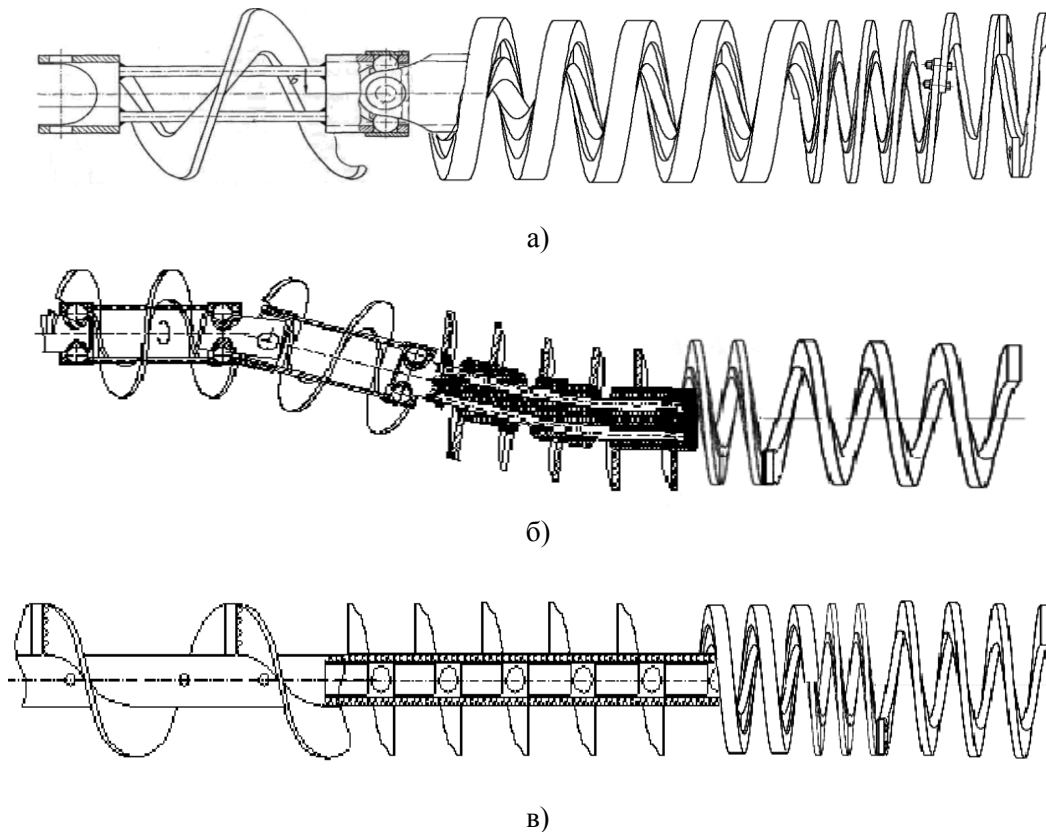


Рис. 5. Приклади синтезованих шнеків:

а) підвищеної жорсткості; б) середньої жорсткості; в) високої жорсткості.

У результаті синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу було згенеровано працездатні конструкції альтернативних варіантів транспортно-технологічних механізмів ГГК.

Висновки. 1. Проведено структурний синтез гнучких гвинтових конвеєрів методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу й отримано низку конструкцій з покращеними техніко-економічними характеристиками.

2. Розроблено методику проектування й відбору гнучких гвинтових робочих органів з урахуванням низки факторів, таких як продуктивність виконання процесу конвеєром, надійність і якість забезпечення процесу, вартість виготовлення та експлуатації робочого органа.

Бібліографічний список

1. Григорьев А. М. Гибкие шнеки / А. М. Григорьев, П. А. Преображенский. – К. : Знание, 1967. – 98 с.
2. Гевко Б. М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатынский. – Львов : Вища шк., 1989. – 176 с.

3. Рогатинський Р. М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів із сировиною сільськогосподарського виробництва : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.20.01 «Піднімально-транспортні машини», 05.05.05 «Механізація сільськогосподарського виробництва» / Р. М. Рогатинський. – К., 1997. – 52 с.
4. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества : [учеб. пособие для студентов вузов] / А. И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
5. Кузнецов Ю. М. Прогнозування розвитку технічних систем / [Ю. М. Кузнецов, Р. А. Склярів] ; під заг. ред. Ю. М. Кузнецова. – К. : ТОВ «ЗМОК» ; ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.
6. Одрин В. М. Морфологический анализ систем: Построение морфологических матриц / В. М. Одрин, С. С. Картавов. – К. : Наук. думка, 1977. – 183 с.
7. Гевко І. Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05. 02.02 «Машинознавство» / І. Б. Гевко. – Львів, 2013. – 42 с.
8. Рогатинський Р. М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : монографія / Р. М. Рогатинський, І. Б. Гевко, А. Є. Дячун. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2014. – 280 с.

Гевко І., Ляшук О., Клендій В. Синтез гвинтових конвеєрів з гнучкими робочими органами

Проведено синтез гвинтових робочих органів методом ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. Обґрунтовано, що вибір варіанта конструкції гвинтових робочих органів насамперед залежить від характеру виконання процесу та навантаження на робочий орган. Тому, виходячи з необхідності забезпечення проектування рівномірних спіралей, можна обмежити кількість варіантів конструктивних рішень і згенерувати значну кількість працездатних конструкцій гнучких гвинтових конвеєрів для транспортування сипких матеріалів по криволінійних трасах.

Ключові слова: синтез, гвинтовий робочий орган, морфологічна таблиця.

Hevko I., Lyashuk O., Klendiy V. The synthesis screw conveyor with a of flexible working bodies

Conduction of the synthesis of crew working organs by morphological analysis method in order to gain the construction with improved technical-economy characteristics, also discovering the main characteristics of flexible screw working organs.

As a result of conducted analysis of influence of different factors on transportation process and mixing materials by screw working organs by the way of structural scheme synthesis with applying of morphological analysis was determined limited number of their components and relations between them, which represent constructional characteristics. It was investigated, that the choice of the variant of construction of screw working organs will depend on, at first, the character of completion of process and loading. Thus, based on the necessity of ensuring of designing of equally hard spirals, it is possible to limit a number of variants of the constructive solutions and

to generate a considerable amount of able to work constructions sections of flexible screw conveyers during transport of friable materials on curved lines drafts.

As a result the coding system was designed and synthesis of constructional units of screw working organs with widened technological possibilities, which allows to design and choose competitive constructions of augers, during setting appropriate limitations and using software, which provide qualitative and productive completion technological processes.

Key words: synthesis, screw working organ, morphological table.

Гевко И., Ляшук О., Клендий В. Синтез винтовых конвейеров с гибкими рабочими органами

Проведен синтез винтовых рабочих органов методом морфологического анализа и установлены их основные морфологические признаки. Исследовано, что выбор варианта конструкции винтовых рабочих органов будет зависеть в первую очередь от характера выполнения процесса и нагрузки на винт. Поэтому, исходя из необходимости обеспечения проектирования равномерных спиралей, можно ограничить количество вариантов конструктивных решений и сгенерировать значительное количество работоспособных конструкций секций гибких винтовых конвейеров при транспортировке сыпучих материалов по криволинейным трассам.

Ключевые слова: синтез, винтовой рабочий орган, морфологическая таблица.