

**SYNTHESIS OF SCREW CONVEYORS-MIXERS****I. Hevko, O. Lyashuk, A. Pik, N. Marchuk, O. Marunich**

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

**Key words:**structural-circuit  
synthesis,  
screw conveyor-mixer,  
auger,  
technological operation,  
morphological analysis**Article history:**

Received 05.09.2020

Accepted 16.10.2020

**Corresponding author:**

gevkoivan1@ukr.net

**ABSTRACT**

*Screw conveyors are quite common equipment in different industries and in addition to the main function of raw material moving; they can be used for mixing, calibration, extrusion, grinding, and other technological operations. Generation of constructions of screw conveyors-mixers is carried out using structural-circuit synthesis by the method of hierarchical groups by means of morphological analysis. As a result of the analysis of the influence of various factors on the processes of transportation and mixing of goods by screw conveyors, the constituent elements of the structures of these conveyors and their relationships were determined, which determine their individual design features. On the basis of this analysis the morphological table of constructive signs and elements of screw conveyors-mixers is made. According to the results of the synthesis and analysis, taking into account the complex needs for quality, total cost and productivity, the total number of generated alternatives to screw conveyors-mixers is insignificant, which allowed the expert method to find the most effective new design schemes. The obtained designs of screw conveyors-mixers basically use the principle of conicity of the chute and screw working bodies, which allows us to significantly improve the quality of the mixing process while ensuring the operation of transportation of goods. Based on the synthesis and generated promising designs of screw conveyors-mixers of conical type, we designed and manufactured an experimental installation, which will be used to study the characteristics of screw conveyors-mixers of conical type with different designs of screw working bodies. Mixing is a technological operation that is most often carried out together with the transportation of raw materials by screw conveyor.*

УДК 621.86

**СИНТЕЗ ГВИНТОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ-ЗМІШУВАЧІВ****І.Б. Гевко, О.Л. Ляшук, А.І. Пік, Н.М. Марчук, О.П. Маруніч**Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя**Ключові слова:**структурно-схемний  
синтез,  
гвинтовий  
транспортер-змішувач,  
шнек,  
технологічна операція,  
морфологічний аналіз**Історія публікації:**

Отримано 05.09.2020

Затверджено 16.10.2020

**Автор для****листування:**

gevkoivan1@ukr.net

**АНОТАЦІЯ**

Проведено генерування конструкцій гвинтових транспортерів-змішувачів при використанні структурно-схемного синтезу методом ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. У результаті виконаного аналізу впливу різних факторів на процеси транспортування та змішування вантажів гвинтовими конвеєрами були визначені складові елементи конструкції цих транспортерів, які визначають їх конструктивні ознаки. На основі цього аналізу складено морфологічну таблицю конструктивних ознак та елементів гвинтових транспортерів-змішувачів. За результатами структурно-схемного синтезу гвинтових транспортерів-змішувачів обрані базові морфологічні ознаки: привод, шнек, що містить жолоб і гвинт, а також бункер, механізми розвантаження та опорно-руховий. За результатами проведеного синтезу й аналізу із урахуванням комплексу вимог щодо якості, собівартості та продуктивності, загальна кількість генерованих альтернатив гвинтових транспортерів-змішувачів є незначною, що дозволило експертним методом віднайти найбільш ефективні їх конструктивні схеми. Отримані конструкції гвинтових транспортерів-змішувачів в своїй основі використовують принцип конусності жолоба і гвинтових робочих органів, що дозволяє значно підвищити якість процесу змішування та забезпечити транспортування вантажів. На основі проведеного синтезу і генерованих конструкцій транспортерів-змішувачів кіничного типу спроектовано і виготовлено експериментальну установку.

<https://doi.org/10.36910/acm.vi45.380>

### **Стан питання та постановка проблеми**

Отримання ефективних технічних засобів можливе при проведенні структурно-схемного синтезу з одержанням значної кількості генерованих альтернатив і подальшим вибором найбільш раціональних конструкцій та їх проектуванням. Гвинтові транспортери є досить поширеними механічними засобами у різних галузях економіки і, окрім головної функції переміщення вантажів, з їх допомогою можна проводити змішування, калібрування, витискання, подрібнення та низку інших технологічних операцій. Ураховуючи комплексні потреби в якості, собівартості та продуктивності при здійсненні ними операцій, існує необхідність генерування і проектування нових ефективних конструкцій гвинтових транспортерів-змішувачів, які б відповідали заданим параметрам.

Розробленням і дослідженням гвинтових транспортерів займалися Х. Герман [1], А.М. Григор'єв [2], Б.М. Гевко [3], Р.М. Рогатинський [4, 5] та інші науковці. Вони значно просунулись у царині теорії та практики роботи не лише гвинтових транспортерів, але й гвинтових багатофункціональних механізмів. Із вітчизняних вчених розробленню методик та методів пошуку нових технічних рішень при створенні машинобудівних конструкцій присвячені праці А.І. Половінкіна [6], Ю.М. Кузнецова [7], В.М. Одріна, С.С. Картавова [8]. Проте, ураховуючи актуальність розробки й дослідження конструкцій гвинтових багатофункціональних транспортерів, до яких відносяться гвинтові транспортери-змішувачі, доцільно провадити подальший науковий пошук їх працездатних конструкцій із високими якісними параметрами.

**Мета дослідження** – створення ефективних конструкцій гвинтових транспортерів-змішувачів при застосуванні структурно-схемного синтезу методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу.

### **Матеріали і методи**

Генерування конструкцій гвинтових транспортерів-змішувачів здійснювалося із використанням структурно-схемного синтезу методом ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. Найбільш ефективні конструктивні схеми гвинтових транспортерів-змішувачів визначалися експертним методом.

### **Результати дослідження та обговорення**

Змішування є технологічною операцією, що найбільш часто здійснюється разом із транспортуванням сировини за допомогою гвинтових транспортерів. Процес змішування різних типів вантажів є

досить поширеним у сільськогосподарському виробництві, будівельній, автодорожній та інших галузях, і досить ефективно забезпечується гвинтовими елементами. Також процес змішування часто відбувається у поєднанні із транспортуванням, яке здійснюється гвинтовими конвеєрами із розширеними технологічними можливостями [9].

З метою створення прогресивних конструкцій гвинтових транспортерів-змішувачів проведено генерування їх альтернативних конструкцій при реалізації структурно-схемного синтезу методом ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу [10].

У результаті виконаного аналізу впливу різних факторів на процеси транспортування та змішування вантажів гвинтовими конвеєрами було визначено складові елементи конструкцій цих транспортерів та їх взаємозв'язків, які визначають їх окремі конструктивні ознаки.

На основі цього аналізу складено морфологічну таблицю конструктивних ознак та елементів гвинтових транспортерів-змішувачів (таблиця), із якої виокремлено модель механічної системи “гвинтовий транспортер-змішувач” (рис. 1), в якій технологічна операція змішування виконується під час транспортування вантажів. За результатами проведення структурно-схемного синтезу гвинтових транспортерів-змішувачів обрано базові морфологічні ознаки: привод транспортера, шнек, що містить жолоб і гвинт, а також бункер, механізми розвантаження та опорно-руховий.

При проведенні структурно-схемного синтезу гвинтових транспортерів-змішувачів використано метод синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу, який передбачає розбивку окремих груп на підгрупи, де кількість варіантів визначається за формулою [10]:

$$N = \sum_{z=1}^l \sum_{x=1}^q \sum_{i=1}^m K_i, \quad (1)$$

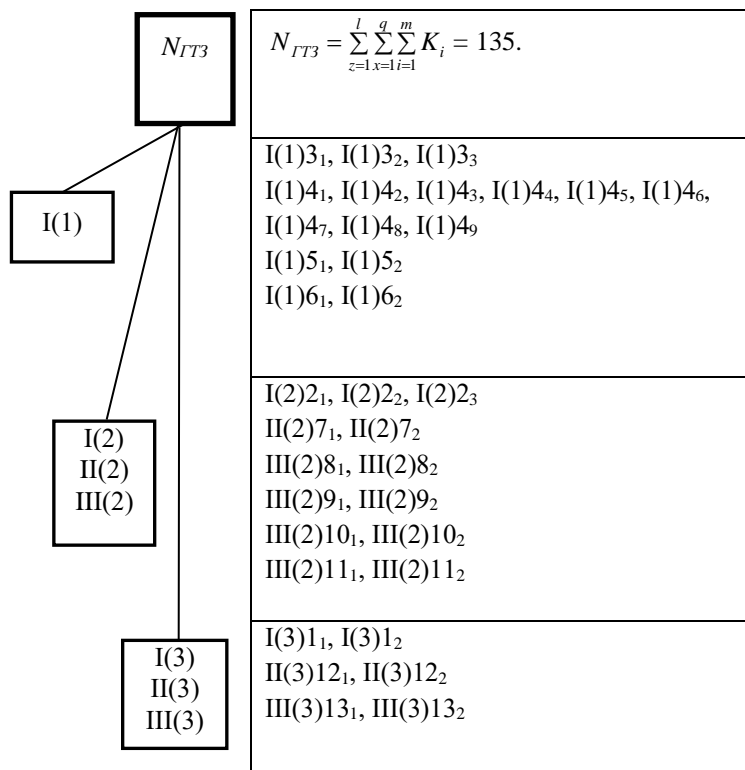
де  $z$  – ієрархічний рівень;  $l$  – кількість ієрархічних рівнів;  $x$  – певна підгрупа відповідного ієрархічного рівня;  $q$  – кількість підгруп відповідного ієрархічного рівня;  $K_i$  – альтернатива конструктивної ознаки елемента певної підгрупи відповідного ієрархічного рівня;  $m$  – кількість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

Модель механічної системи “гвинтовий транспортер-змішувач” (ГТЗ) представлено на рис. 1. До першого ієрархічного рівня необхідно віднести конструктивні ознаки шнека 3 – 6 (таблиця), зокрема жолоба та гвинтового робочого органа.

Таблиця – Загальна морфологічна таблиця конструктивних ознак та елементів гвинтових транспортерів-змішувачів

Привод	1. Тип		1.1. Електропривод 1.2. Привод від ДВЗ	
	2. Вид руху		2.1. Із постійною швидкістю 2.2. Зі змінною швидкістю 2.3. Пульсуючого типу	
Шнек	Жолоб	3. Конструкція жолоба	3.1. Циліндричний 3.2. Конусний 3.3. Із циліндричною та конусною частинами	
	Гвинтовий робочий орган	4. Профіль спіралі	4.1. Спіральна 4.2. Стрічкова з однаковим зазором між валом і шнеком 4.3. Стрічкова із різним зазором між валом і шнеком 4.4. Лопатева 4.5. Гофрована 4.6. Із розрізами, отворами чи вирізами 4.7. Із еластичною поверхнею 4.8. Конусна 4.9. Пружинна	
			5. Конструкція гвинта	5.1. Суцільна 5.2. Секційна із різними профілями спіралі
			6. Крок гвинта	6.1. Незмінний 6.2. Змінний
	7. Можливість зміни довжини траси		7.1. Без зміни 7.2. Зі зміною	
Бункер	8. Профіль		8.1. Суцільний 8.2. Секційний	
	9. Кількість		9.1. Один 9.2. Декілька	
	10. Розташування по відношенню до шнека		10.1. Над шнеком 10.2. Бічне	
	11. Механізм просипання		11.1. Регульоване 11.2. Не регульоване	
12. Механізм розвантаження			12.1. Через отвір 12.2. Через патрубок	
13. Опорно-руховий механізм			13.1. Без можливості зміни кута нахилу шнека 13.2. Із можливістю зміни кута нахилу шнека	

До першої підгрупи другого ієрархічного рівня необхідно віднести конструктивну ознаку 2, до другої підгрупи другого ієрархічного рівня – конструктивну ознаку 7, до третьої підгрупи другого ієрархічного рівня – конструктивні ознаки 8 – 11. До першої підгрупи третього ієрархічного рівня необхідно віднести конструктивну ознаку 1, до другої підгрупи третього ієрархічного рівня необхідно віднести конструктивну ознаку 12 і до третьої підгрупи третього ієрархічного рівня необхідно віднести конструктивну ознаку 13.



**Рис. 1** – Модель механічної системи  
“гвинтовий транспортер-змішувач” (ГТЗ):

I – III – підгрупи ієрархічного рівня; (1) – (3) – ієрархічні рівні

Загальна кількість генерованих варіантів гвинтових транспортерів-змішувачів при використанні методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу становитиме:

$$N_{ГТЗ} = \begin{array}{|c|} \hline 4.1 \\ \hline 4.2 \\ \hline 4.3 \\ \hline 3.1 \\ \hline 3.2 \\ \hline 3.3 \\ \hline 4.4 \\ \hline 4.5 \\ \hline 4.6 \\ \hline 4.7 \\ \hline 4.8 \\ \hline 4.9 \\ \hline \end{array} \cap \begin{array}{|c|} \hline 5.1 \\ \hline 5.2 \\ \hline \end{array} \cap \begin{array}{|c|} \hline 6.1 \\ \hline 6.2 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 2.1 \\ \hline 2.2 \\ \hline 2.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 7.1 \\ \hline 7.2 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 8.1 \\ \hline 8.2 \\ \hline \end{array} \cap \begin{array}{|c|} \hline 9.1 \\ \hline 9.2 \\ \hline \end{array} \cap \begin{array}{|c|} \hline 10.1 \\ \hline 10.2 \\ \hline \end{array} \cap \begin{array}{|c|} \hline 11.1 \\ \hline 11.2 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 1.1 \\ \hline 1.2 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 12.1 \\ \hline 12.2 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 13.1 \\ \hline 13.2 \\ \hline \end{array} = 135.$$

Найважливішим елементом конструкції гвинтових транспортерів-змішувачів є шнек, до складу якого входить жолоб і гвинтовий робочий орган (конструктивні ознаки 3 – 6 (таблиця)). Саме конструктивні ознаки шнека входять до першого ієрархічного рівня і від них значно залежить ефективність генерованої конструкції. Якщо із вибором конструкції жолоба не виникає сумнівів (конструктивна ознака 3), то конструкція гвинтового робочого органа має вирішальний вплив на ефективність параметрів генерованих варіантів гвинтових транспортерів-змішувачів. Тому проведемо більш детальний аналіз конструкцій гвинтових робочих органів, загальні конструктивні схеми профілю спіралей яких (конструктивна ознака 4) відображені на рис. 2.

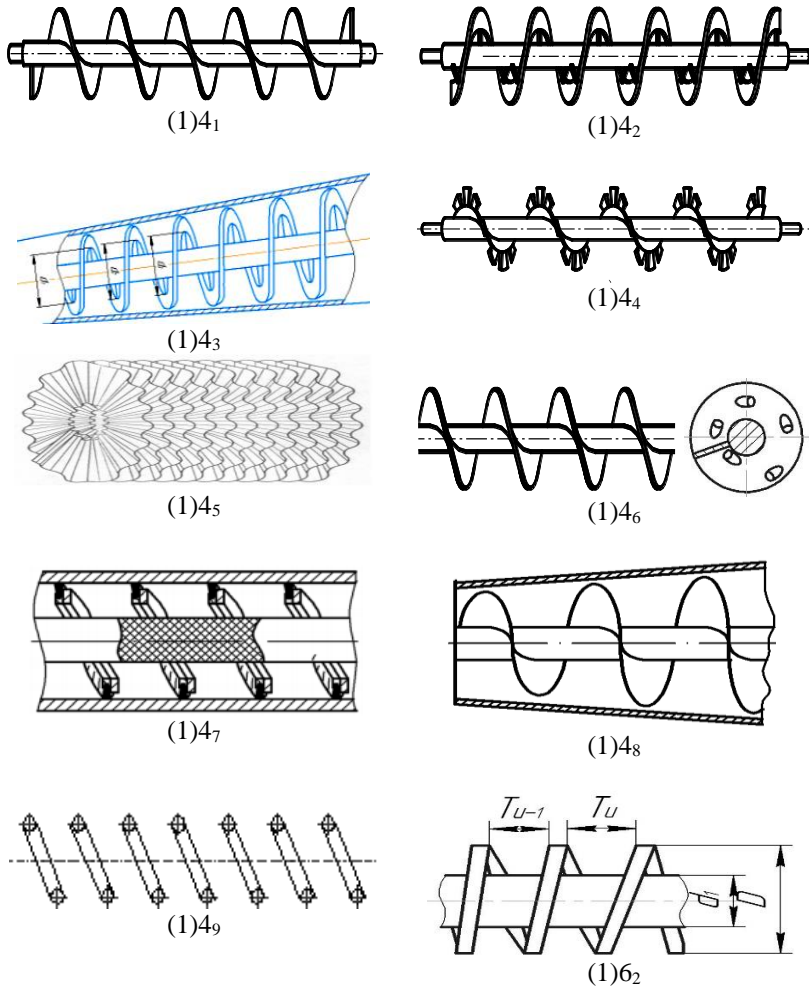
При конструюванні гвинтових транспортерів-змішувачів доцільно урахувати низку факторів, до яких необхідно віднести якість виконання процесу змішування вантажів, його продуктивність і вартість виготовлення та експлуатації конструкції. Відповідно, кінцевий вибір конструктивних рішень гвинтових транспортерів-змішувачів може проводитися шляхом пошуку конструкції із певної кількості альтернатив за рахунок максимізації очікуваних позитив за формулою [5]:

$$A_n = \frac{k_{соб} k_{ваз1} + k_{пр} k_{ваз2} + k_{як} k_{ваз3}}{k_{ваз1} + k_{ваз2} + k_{ваз3}}, \quad (2)$$

де  $k_{соб}$ ,  $k_{пр}$ ,  $k_{як}$  – відповідно, коефіцієнти сумарної собівартості (витрат на виготовлення та експлуатацію), продуктивності та якості виконання процесу змішування вантажів;  $k_{ваз1}$ ,  $k_{ваз2}$ ,  $k_{ваз3}$  – відповідно, вагові коефіцієнти показників сумарної собівартості, продуктивності та якості змішування,  $k_{ваз} = 1-10$ .

За результатами проведеного синтезу й аналізу із урахуванням комплексу потреб в якості, сумарної собівартості та продуктивності, загальна кількість генерованих альтернатив гвинтових транспортерів-

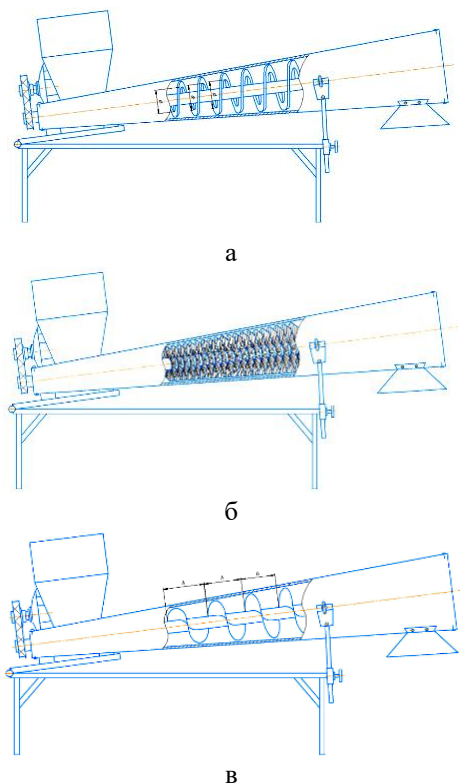
змішувачів є незначною, що дозволило експертним методом віднайти найбільш ефективні нові їх конструктивні схеми, які представлені на рис. 3.



**Рис. 2** – Конструктивні схеми гвинтових робочих органів:  
 (1)4<sub>1</sub> – спіральний; (1)4<sub>2</sub> – стрічковий з однаковим зазором між валом і шнеком; (1)4<sub>3</sub> – стрічковий із різним зазором між валом і шнеком;  
 (1)4<sub>4</sub> – лопатевий; (1)4<sub>5</sub> – гофрований; (1)4<sub>6</sub> – з розрізами, отворами чи вирізами; (1)4<sub>7</sub> – еластичний; (1)4<sub>8</sub> – конічний; (1)4<sub>8</sub> – пружинний;  
 (1)6<sub>2</sub> – циліндричний зі змінним кроком



На відміну від існуючих конструкцій гвинтових транспортерів-змішувачів, представлені на рис. 3 конструктивні схеми в своїй основі використовують принцип конусності жолоба і гвинтових робочих органів, що дозволяє значно підвищити якість процесу змішування при забезпеченні операції транспортування вантажів. У випадку використання представлених конструкцій неоднорідність змішування наблизатиметься до неоднорідності змішування у гвинтових змішувачах циклічної дії, в яких операція перевантаження вантажів відсутня [9], а відтак різко зростатиме ефективність комплексного процесу “транспортування-змішування” при використанні гвинтових транспортерів-змішувачів.



**Рис. 3** – Конструктивні схеми синтезованих гвинтових транспортерів-змішувачів кінцевого типу із різними гвинтовими робочими органами:

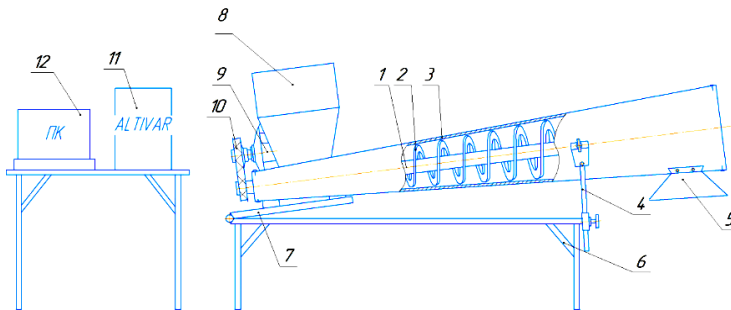
а – із стрічковим з різним зазором між валом і шнеком;

б – із гофрованим; в – із спіральним з різним кроком

На основі проведеного синтезу і генерованих перспективних конструкцій гвинтових транспортерів-змішувачів конічного типу спроектовано і виготовлено експериментальну установку, за допомогою якої будуть проведені дослідження характеристик гвинтових транспортерів-змішувачів конічного типу із різними типами гвинтових робочих органів (рис. 4).



а



б

**Рис. 4** – Експериментальна установка для дослідження характеристик гвинтових транспортерів-змішувачів конічного типу:

а – установка; б – конструктивна схема;

- 1 – вал шнека; 2 – стрічкова спіраль із наростаючим зазором між валом і шнеком; 3 – конічний кожух; 4 – механізм регулювання висоти первантаження; 5 – вивантажувальний патрубок; 6 – рама;  
7 – рухомий стіл; 8 – бункер; 9 – електропривод; 10 – пасова передача;  
11 – перетворювач частоти обертання приводу;  
12 – персональний комп'ютер

### Висновки

Проведено структурний синтез гвинтових транспортерів-змішувачів за конструктивними ознаками методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу й отримані їх ефективні конструктивні схеми, які дозволяють значно підвищити ефективність комплексного процесу “транспортування-змішування” при використанні гвинтових транспортерів-змішувачів конічного типу.

На основі проведеного синтезу і генерованих перспективних конструкцій гвинтових транспортерів-змішувачів конічного типу спроектовано і виготовлено експериментальну установку. Із використанням установки будуть проведені дослідження характеристик гвинтових транспортерів-змішувачів конічного типу із різними типами гвинтових робочих органів.

### Список посилань

1. Герман, Х. (1975). Шнековые механизмы в технологии ФРГ. Химия, Ленинград, 230.
2. Григорьев, А.М., Преображенский, П.А., Григорьев, А.М. (1967). Гибкие шнеки. Знание, Киев, 98.
3. Гевко, Б.М., Данильченко, М.Г., Рогатинський, Р.М. та ін. (1993). Механізми з гвинтовими пристроями. Світ, Львів, 208.
4. Рогатинський, Р., Гевко, І., Рогатинська, Л. (2013). Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем. Вісник ТНТУ, 1(69), 116–125.
5. Рогатинський, Р.М., Гевко, І.Б., Дячун, А.Є. (2014). Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів: монографія. ТНТУ імені Івана Пулюя, Тернопіль, 280.
6. Половинкин, А.И. (1988). Основы инженерного творчества. Машиностроение, Москва, 368.
7. Кузнецов, Ю.М., Скляров, Р.А. (2004). Прогнозування розвитку технічних систем. ТОВ “ЗМОК” – ПП “ГНОЗІС”, Київ, 323.
8. Одрин, В.М., Картавов, С.С. (1977). Морфологический анализ систем: построение морфологических матриц. Наукова думка, Київ, 183.
9. Гудь, В.З. (2020). Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Інженерія природокористування, 1(15), 66–72.
10. Рогатинський, Р.М., Гевко, І.Б., Ляшук, О.Л., Гудь, В.З., Дячун, А.Є., Мельничук, А.Л., Слободян, Л.М. (2019). Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження. ФОП Паляниця В.А., Тернопіль, 212.