

УДК 621.86

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.106-114](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.106-114)

І. Б. Гевко, проф., д-р техн. наук, **Р. М. Рогатинський** проф., д-р техн. наук,
А. Є. Дячун, доц., канд. техн. наук, **Т. А. Довбуш**, доц., канд. техн. наук,
А. Д. Довбуш, **А. Г. Никитюк**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна
e-mail: geckoivan1@ukr.net*

Синтез двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів

Дослідження присвячено проведенню структурно-схемного синтезу двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів. Такі транспортери знайшли широке використання у конвеєрних лініях для переміщення тари, тарних матеріалів, штучних вантажів тощо. Також вони використовуються при транспортуванні сипких і в'язких матеріалів, і відоме їх використання як змішувачів сипких та в'язких матеріалів. В результаті застосування морфологічного аналізу при генерації альтернатив двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів з використанням структурно-схемного синтезу побудовано морфологічну таблицю окремих ознак конструктивних елементів цих систем і на її базі модель механічної системи «Двовальний гвинтовий конвеєр-змішувач». У результаті експертного аналізу при реалізації структурно-схемного синтезу двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів було обрано наступні основні морфологічні ознаки конструктивних елементів: привід (тип, вид руху, напрям руху, кількість, частота обертання); конструкція жолоба; гвинтові робочі органи (профіль спіралі, конструкція спіралі, діаметр спіралі, розташування спіралі); бункер (профіль, кількість, розташування, механізм завантаження); механізм розвантаження; опорно-руховий механізм. Це дало змогу отримати значну кількість ефективних варіантів технічних рішень двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів з різними конструктивними ознаками.

морфологічний аналіз, структурно-схемний синтез, двовальний, гвинтовий, конвеєр, змішувач, змішування, шнек

Постановка проблеми. Двовальні гвинтові конвеєри часто використовуються для переміщення штучних вантажів, особливо в конвеєрних лініях у харчовій промисловості при наповненні різноманітної тари, але також використовуються і при транспортуванні сипких матеріалів. Проте, також відоме їх широке використання у якості змішувачів сипких та в'язких матеріалів як двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів (ДГКЗ). Тому при застосуванні ДГКЗ вони можуть виступати як транспортери-змішувачі з функціями перемішування і переміщення матеріалів, так і просто змішувачі. Для створення ефективних конструкцій ДГКЗ, що можуть забезпечувати високу однорідність змішування при значній продуктивності реалізації процесу та задовільній собівартості, доцільно провести генерування їх раціональних варіантів з подальшим теоретичним та експериментальним дослідженням і отриманням найпридатніших конструкцій для практичного використання. Застосування морфологічного аналізу при генерації альтернатив з використанням структурно-схемного синтезу якраз забезпечує отримання значної кількості конструктивних варіантів технічних рішень, а, відтак, у повній мірі може бути застосовано при генеруванні ДГКЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам створення та дослідження різноманітних типів гвинтових змішувачів присвячені багаточисельні доробки. Дослідники займалися як розробленням методик та їх застосуванням для отримання нових конструкцій гвинтових змішувачів [3, 5, 13, 17, 20, 23-30], так і теоретичними та експериментальним вивченням аспектів їх функціонування [3, 5, 13, 17, 20, 23-30]. Зокрема проблемам розроблення методик синтезу та їх реалізації для отримання нових конструкцій різноманітних гвинтових конструкцій присвячені роботи О. Ляшука [10, 11], В. Васильківа [1] та інших, а вивченням різноманітних аспектів їх функціонування, розрахунку та визначенню їх раціональних параметрів присвячені праці Б. Гевка [15],

М. Пилипця [15, 16, 18], О. Ляшука [24-30], В. Гудя [26-30], Д. Дмитріва [14, 21, 22], О. Гурика [2, 7] та багатьох інших. Однак, враховуючи той факт, що у різних галузях економіки (сільськогосподарському виробництві, фармації, будівництві, харчовій та переробній промисловості) існують відмінні вимоги до виконання змішувальних операцій, актуальність розроблення і дослідження нових конструкцій змішувачів, до яких і відносяться ДГКЗ, є важливою задачею.

Метою роботи є генерування конструкцій двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів шляхом проведення структурно-схемного синтезу з використанням морфологічного аналізу.

Виклад основного матеріалу. Гвинтові конвеєри з кількома паралельно розташованими привідними валами, оснащеними спіралями шнеків, використовуються не лише для переміщення штучних і кускових вантажів, та сипких і в'язких матеріалів, але і як змішувачі сипких та в'язких матеріалів у якості двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів [8, 10, 17, 20]. При цьому ДГКЗ використовуються як транспортери-змішувачі з функціями перемішування і переміщення матеріалів, так і просто гвинтові змішувачі. Для створення ДГКЗ було реалізовано генерування їх конструкцій при застосуванні вдосконаленого метод синтезу за допомогою морфологічного аналізу, який передбачає використання експертних оцінок та розбивки окремих ієрархічних груп на підгрупи за важливістю окремих ознак конструктивних елементів [6, 8-12]. У результаті експертної оцінки впливу різних факторів на виконання операції змішування ДГКЗ встановлено окремі ознаки конструктивних елементів цих механізмів, а також їх взаємозв'язки. Це забезпечило побудову морфологічної таблиці окремих ознак конструктивних елементів ДГКЗ (табл. 1), а на її базі, відповідно, модель механічної системи «Двовальний гвинтовий конвеєр-змішувач» (рис. 1). У результаті експертного аналізу при реалізації структурно-схемного синтезу ДГКЗ було обрано наступні основні морфологічні ознаки його конструктивних елементів: привід: тип, вид руху, напрям руху, кількість, частота обертання; конструкція жолоба; гвинтові робочі органи: профіль спіралі, конструкція спіралі, діаметр спіралі, розташування спіралі; бункер: профіль, кількість, розташування, механізм завантаження; механізм розвантаження; опорно-руховий механізм.

Загальна кількість генерованих варіантів ДГКЗ при використанні методу морфологічного аналізу з використання експертних оцінок та розбивки окремих ієрархічних груп на підгрупи за важливістю окремих ознак конструктивних елементів становитиме [6]:

$$N_{ДГКЗ} = \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \\ 6.3 \\ 6.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \\ 7.4 \\ 7.5 \\ 7.6 \\ 7.7 \\ 7.8 \\ 7.9 \\ 7.10 \\ 7.11 \\ 7.12 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \\ 8.4 \\ 8.5 \\ 8.6 \\ 8.7 \\ 8.8 \\ 8.9 \\ 8.10 \\ 8.11 \\ 8.12 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 9.1 \\ 9.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.2 \\ 10.3 \\ 10.4 \\ 10.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 11.1 \\ 11.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 12.1 \\ 12.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 13.1 \\ 13.2 \\ 13.3 \\ 13.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 14.1 \\ 14.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 15.1 \\ 15.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 16.1 \\ 16.2 \end{vmatrix} = 63.$$

На рис. 2 зображені конструктивні рішення синтезованих ДГКЗ з гвинтовими робочими органами з ознакам 7.1 (суцільні спіралі), 8.1 (однин крок), 8.3 (однозахідні), 8.5 (однакової конструкції), 8.7 (з валом), 8.9 (циліндричні), 8.11 і 8.12 (ліво- і/або правосторонні), 9.1 (одного діаметра), 10.1...10.3 (з розміщенням витків один навпроти одного; розташування із зміщенням розміщення витків спіралей одних відносно інших; розташування з частковим розміщенням спіралей одна в одній).

Таблиця 1 - Морфологічна таблиця ознак конструктивних елементів двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів

Привід					6. Конструкція жолоба
1. Тип	2. Вид руху	3. Напрямок руху	4. Кількість	5. Частота обертання приводів	
1.1. Електропривід 1.2. Гідропривід 1.3. З використанням альтернативних джерел енергії	2.1. З постійною швидкістю 2.2. Зі змінною швидкістю 2.3. З періодичними зупинками	3.1. Лівосторонній 3.2. Правосторонній	4.1. Один 4.2. Два	5.1. Однакова 5.2. Різна	6.1. U-подібна 6.2. Кругла 6.3. Конічна 6.4. Оригінальної форми
Гвинтові робочі органи					
7. Профіль спіралі		8. Конструкція спіралі	9. Діаметр спіралі	10. Розташування	
7.1. Суцільна 7.2. Стрічкова 7.3. Лопатева без регулювання величини просипання 7.4. Лопатева з регулюванням величини просипання 7.5. Гофрована 7.6. З розрізами, отворами чи вирізами 7.7. Вузькострічкова 7.8. Широкострічкова 7.9. Еластична 7.10. Із загинами на зовнішній кромці спіралі 7.11. Пружинна (кругла) 7.12. Зі змінними додатковими елементами		8.1. З одним кроком 8.2. З різним кроком 8.3. Однозахідна 8.4. Багатозахідна 8.5. Однакова 8.6. Різна 8.7. З валом 8.8. Безвальна 8.9. Циліндрична 8.10. Конічна 8.11. Лівостороння 8.12. Правостороння	9.1. Одного діаметру 9.2. Різного діаметру	10.1. Паралельне з розміщенням витків один навпроти одного 10.2. Паралельне із зміщеним розміщенням витків спіралей одні відносно інших 10.3. Паралельне з частковим розміщенням спіралей одна в одній 10.4. Під кутом один до одної 10.5. Одна в одній	
Бункер					
11. Профіль	12. Кількість	13. Розташування		14. Механізм завантаження	
11.1. Суцільний 11.2. Секційний	12.1. Один 12.2. Два	13.1. Над одним шнеком 13.2. Посередині між шнеками 13.3. Над двома шнеками з однієї сторони 13.4. Над двома шнеками з різних сторін		14.1. З регульованим завантаженням 14.2. З нерегульованим завантаженням	
15. Механізм розвантаження			16. Опорно-руховий механізм		
15.1. Розвантажувальний отвір 15.2. Розвантажувальний патрубок			16.1. Без можливості зміни кута нахилу шнека 16.2. З можливістю зміни кута нахилу шнека		

Джерело: розроблено авторами

Конструктивні рішення ДГКЗ, зображені на рис. 2.в і рис. 2.г, досліджуються для отримання ефективних результатів продуктивності переміщення матеріалів та процесу змішування. На відміну від них конструктивні схеми, зображені на рис. 2.а і рис. 2.б, можуть мати значну ефективність саме для перемішування матеріалів, а також для їх розрихлення, позаяк тут використовуються лівосторонні та правосторонні шнеки, а також у конструктивному рішенні, зображеному на рис. 2.г, можна використовувати для їх обертання різні швидкісні режими.

На рис. 3 зображені конструктивні рішення синтезованих ДГКЗ з гвинтовими робочими органами з ознакам 7.1 (суцільні спіралі), 8.1 і 8.2 (з одним і з різним кроком), 8.3 (однозахідні), 8.5 (однакової конструкції), 8.7 (з валом), 8.9 (циліндричні), 8.11 і 8.12 (ліво- і/або правосторонні), 9.1 і 9.2 (одного та різного діаметра), 10.1 і 10.2 (з розміщенням витків один навпроти одного та паралельним розташуванням із

зміщеним розміщенням витків спіралей одних відносно інших). Зокрема на рис. 3.а...рис. 3.в зображені конструктивні схеми синтезованих ДГКЗ з гвинтовими робочими органами різного діаметра, а на рис. 3.а...рис. 3.в конструктивні схеми синтезованих ДГКЗ з гвинтовими робочими органами з різним кроком. Такі синтезовані альтернативні конструкції ДГКЗ на відміну від представлених на рис. 2 спрямовані на процес змішування, а не на транспортування, і можуть забезпечувати значну інтенсивність перемішування як сипких, так і в'язких сумішей. Проте у цих конструкціях неможливо використати ознаку 10.3 - розташування з частковим розміщенням спіралей одна в одній.

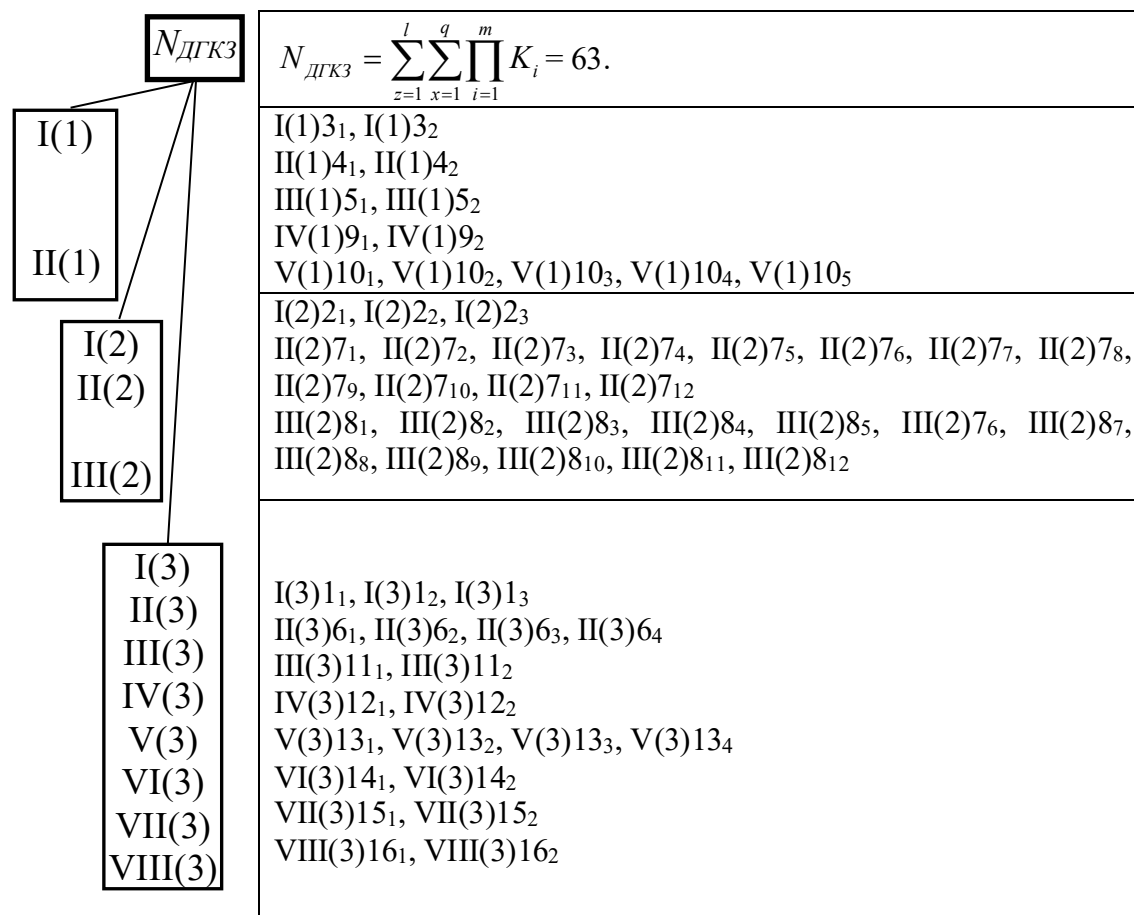


Рисунок 1 - Модель механічної системи «Двовальний гвинтовий конвеєр-змішувач»:

I - VIII – підгрупи ієрархічного рівня; (1) - (3) – відповідні ієрархічні рівні

Джерело: розроблено авторами

Також було синтезовано цілий ряд ефективних гвинтових змішувачів з різними профілями спіралі (суцільна, стрічкова, лопатеві з і без регулювання величини просипання, гофрована, з розрізами, отворами чи вирізами, еластична, із змінними додатковими елементами тощо). Так на рис. 4 представлено конструктивні схеми синтезованих ДГКЗ з гвинтовими робочими органами з ознакам 7.2 (стрічкова спіраль) та 7.3 (лопатеві без регулювання величини просипання). Шнеки з такими профілями спіралей найбільш широко використовуються у гвинтових змішувачах.

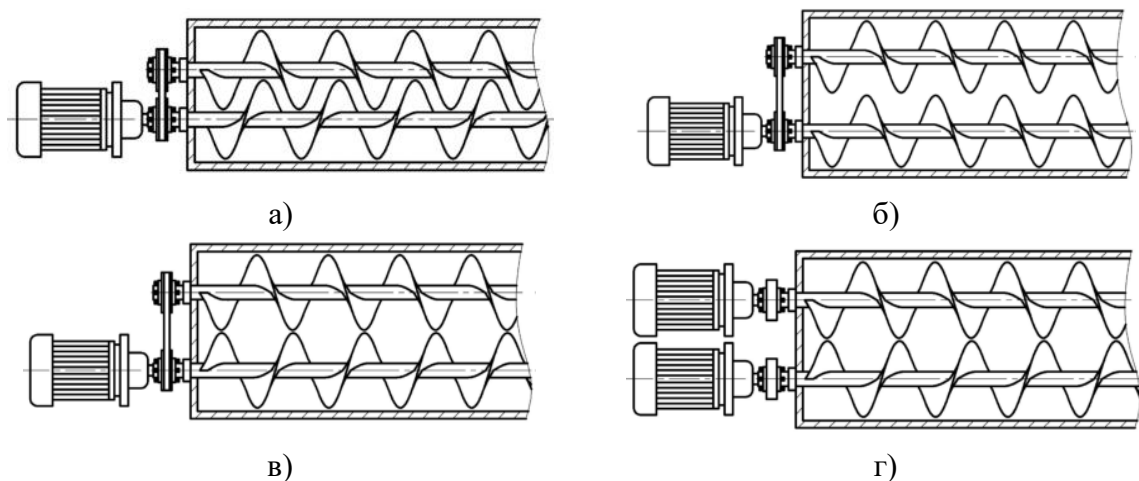


Рисунок 2 - Конструктивні схеми синтезованих ДПКЗ з ознаками конструктивних елементів з табл. 1:
 а) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.1, 5.1, 6.1, 7.1, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 або 8.12, 9.1, 10.3; б) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.1, 5.1, 6.1, 7.1, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 або 8.12, 9.1, 10.2; в) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.2, 5.1, 6.1, 7.1, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 і 8.12, 9.1, 10.1; г) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.1, 5.1 або 5.2, 6.1, 7.1, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 і 8.12, 9.1, 10.1

Джерело: розроблено авторами

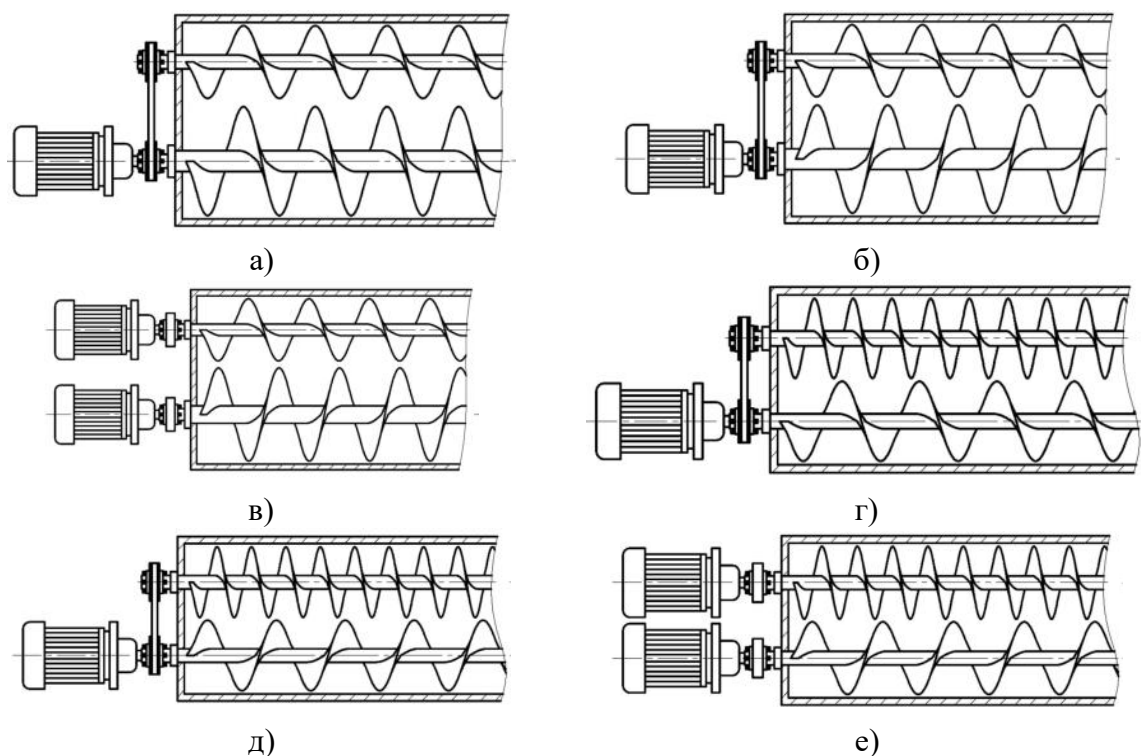


Рисунок 3 - Конструктивні схеми синтезованих ДПКЗ з ознаками конструктивних елементів з табл. 1:
 а) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.1, 5.1, 6.1, 7.1, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 або 8.12, 9.2, 10.2; б) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.1, 5.1, 6.1, 7.1, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 і 8.12, 9.2, 10.1; в) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.2, 5.1 або 5.2, 6.1, 7.1, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 і 8.12, 9.2, 10.1; г) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.1, 5.1, 6.1, 7.1, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 або 8.12, 9.1, 10.1; д) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.1, 5.1, 6.1, 7.1, 8.2, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 і 8.12, 9.1, 10.1; е) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.2, 5.1 або 5.2, 6.1, 7.1, 8.2, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 і 8.12, 9.1, 10.1

Джерело: розроблено авторами

Окрім профілю спіралі важливим чинником впливу на процес змішування є її конструкція та розташування спіралей одна відносно одної. На рис. 5 представлено синтезовані варіанти з безвальними шнеками (рис. 5.а), конічними спіралями (рис. 5.б) (ознака 8 - конструкція спіралі), а також з розташуванням спіралей під кутом один до одної (рис. 5.в) та одна в одній (рис. 5.г) (ознака 10). Такі конструктивні схеми ДГКЗ також мають право на існування і в подальшому потребують значних теоретичних та експериментальних досліджень з метою встановлення їх ефективних конструктивно-технологічних характеристик.

Загалом синтезовані конструкції ДГКЗ дають можливість широкого дослідження гвинтових змішувальних систем із встановленням їх конструктивно-технологічних параметрів та вибором кращих конструкцій.

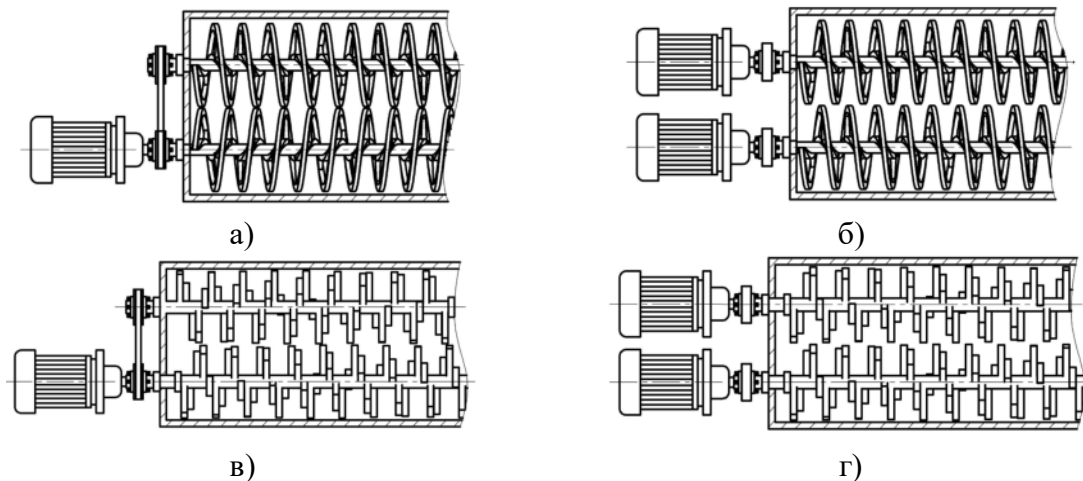


Рисунок 4 - Конструктивні схеми синтезованих ДГКЗ з ознаками конструктивних елементів з табл. 1:

а) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.1, 5.1 або 5.2, 6.1, 7.2, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 і 8.12, 9.1, 10.1; б) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.2, 5.1 або 5.2, 6.1, 7.2, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 або 8.12, 9.1, 10.2; в) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.1, 5.1, 6.1, 7.3, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 і 8.12, 9.1, 10.1; г) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.2, 5.1 або 5.2, 6.1, 7.3, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 8.11 або 8.12, 9.1, 10.2

Джерело: розроблено авторами

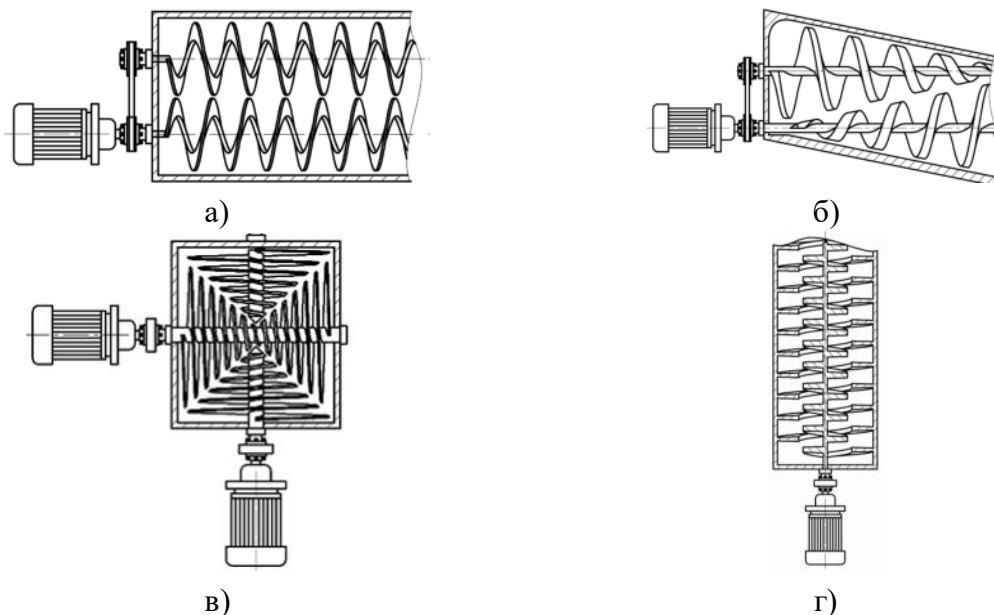


Рисунок 5 - Конструктивні схеми синтезованих ДГКЗ з ознаками конструктивних елементів з табл. 1:

а) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.1, 5.1 або 5.2, 6.1, 7.1, 8.1, 8.3, 8.5, 8.8, 8.9, 8.11 і 8.12, 9.1, 10.1; б) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.1, 5.1 або 5.2, 6.4, 7.1, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.10, 8.11 і 8.12, 9.2, 10.2; в) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.2, 5.1 або 5.2, 6.4, 7.1, 8.1, 8.3, 8.5, 8.7, 8.10, 8.11 і/або 8.12, 9.2, 10.4; г) 1.1, 2.1...2.3, 3.1 або 3.2, 4.1 або 4.2, 5.1 або 5.2, 6.2, 7.1, 8.1, 8.3, 8.6, 8.9, 8.11 і 8.12, 9.2, 10.5

Джерело: розроблено авторами

Висновок. Проведено структурно-схемний синтез двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів. В результаті застосування морфологічного аналізу при генерації альтернатив побудовано морфологічну таблицю окремих ознак конструктивних елементів цих систем і модель механічної системи «Двовальний гвинтовий конвеєр-змішувач». Проведений експертний аналіз двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів дозволив обрати такі морфологічні ознаки конструктивних елементів: привід; конструкція жолоба; гвинтові робочі органи; бункер; механізм розвантаження; опорно-руховий механізм. Це дало змогу отримати значну кількість ефективних варіантів технічних рішень двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів з різними конструктивними ознаками. Зокрема конструктивні схеми змішувачів з різними профілями, конструкціями спіралей та розташування спіралей одна відносно одної. Синтезовані конструкції двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів дають можливість широкого дослідження гвинтових змішувальних систем із встановленням їх конструктивно-технологічних параметрів та вибором раціональних конструкцій.

Список літератури

1. Васильків В. В., Гевко І. Б., Бабарика С. Ф. Синтез нових конструкцій гвинтових робочих органів машин внесення твердих органічних добрив. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2009. № 2. С. 170–173.
2. Гевко І. Б., Гурик О. Я. Визначення динамічних навантажень у гвинтовому змішувачі. *Вісник НУ «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні*. 2002. № 442. С. 90–93.
3. Гевко І. Б. Моделювання характеру навантаження на гвинтові робочі органи. *Вісник ТНТУ*. 2011. Т. 16, № 1. С. 69–77.
4. Гевко І., Любачівський Р., Дячун А. Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. 2012. № 16. С. 237–246.
5. Гевко І. Б. Розробка і дослідження низькочастотних пристроїв для виконання технологічних процесів гнучкими гвинтовими конвеєрами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01. Луцьк, 1997. 18 с.
6. Гевко І. Б. Структурний синтез імпульсних запобіжних муфт і шнеків методом морфологічного аналізу. *Вісник ТНТУ*. 2012. № 3 (67). С. 121–134.
7. Гевко І. Б., Вітровий А. О., Гурик О. Я. Динамічна модель процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей*. Вип. 8. Луцьк, 2001. С. 72–82.
8. Гевко І. Б., Гудь В. З. Синтез гвинтових конвеєрів з можливостями технологічного перетворення і мобільної зміни траєкторії перевантаження матеріалів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 2 (33). С. 25–33.
9. Гевко І. Б., Дячун А. Є., Любачівський Р. О. Структурний синтез гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями методом морфологічного аналізу. *Вісник СевНТУ: зб. наук. пр.* Вип. 128/2012. Сер. Машиноприладобудування та транспорт. Севастополь, 2012. С. 37–41.
10. Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Клендій В. М. Синтез гвинтових конвеєрів з гнучкими робочими органами. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. 2014. № 18. С. 112–121.
11. Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Пік А. І., Марчук Н. М., Маруніч О. П. Синтез гвинтових транспортерів-змішувачів. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей*. Вип. 45. Луцьк, 2020. С. 35–44.
12. Гевко І., Довбуш Т., Цьонь О., Довбуш А., Станько А. Синтез гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями та результати їх досліджень. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей*. Вип. 47. Луцьк, 2021. С. 63–72.
13. Гнучкі гвинтові конвеєри: проектування, технологія виготовлення, експериментальні дослідження : монографія / Гевко І. Б., Лещук Р. Я., Гудь В. З., Дмитрів О. Р., Дубиняк Т. С., Навроцька Т. Д., Круглик О. А. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2019. 207 с.
14. Дмитрів Д. В., Гевко І. Б., Левенець В. Б. Надійність роботи шнеково-гвинтових змішувачів. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей*. Вип. 16. Луцьк, 2007. С. 62–74.
15. Механізми з гвинтовими пристроями : монографія / Б. М. Гевко, М. Г. Данильченко, Р. М. Рогатинський та ін. Львів : Світ, 1993. 208 с.
16. Пилипець М. І., Гевко І. Б., Вітровий А. О. Оптимізація робочого органу з пружним валом для гнучких гвинтових конвеєрів. *Вісник НУ «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні*. 2000. № 412. С. 84–91.
17. Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Гудь В. З., Дячун А. Є., Мельничук А. Л., Слободян Л. М. Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження : монографія. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2019. 212 с.
18. Пилипець М. І., Гевко І. Б., Вітровий А. О. Оптимізація робочого органу з секційними елементами для гнучких гвинтових конвеєрів. *Сільськогосподарські машини*. Вип. 5. Луцьк, 1999. С. 207–217.
19. Рогатинський Р. О., Гевко І. Б., Рогатинська Л. Р. Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем. *Вісник ТНТУ*. 2013. № 1 (69). С. 116–125.
20. Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Дячун А. Є. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : монографія. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2014. 280 с.

21. Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Дмитрів Д. В. Моделювання роботи малогабаритного лопатково-гвинтового змішувача. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей*. Вип. 6. Луцьк, 2000. С. 129–135.
22. Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Дмитрів Д. В., Гудь В. З., Дмитрів О. Р. Моделювання змішування компонентів гвинтовими конвеєрами-змішувачами. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей*. Вип. 45. Луцьк, 2020. С. 84–93.
23. Hevko I. B., Dyachun A. Ye., Hud V. Z., Rohatynska L. R., Klendiy V. M. Investigation of the stability of the torsional vibrations of a screw conveyor under the influence of pulse forces. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2015. Vol. 45, № 1. P. 77–86.
24. Hevko I. B., Lyashuk O. L., Leshchuk R. Y., Rogatynska L. R., Melnychuk A. L. Investigation of the radius of bending for flexible screw sectional conveyers. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 48, № 1. P. 35–42.
25. Lyashuk O., Rohatynskyi R., Hevko I., Dmytriv O., Tson O., Tkachenko I., Sokol M., Leshchuk R., Kobelnyk V. Investigation of bulk material transportation by screw conveyor with hinge-pan operating device. *Key Engineering Materials. Engineering Materials, Devices and Equipments – 2023*. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland. Vol. 948. P. 169–182.
26. Hud V., Rogatynskyi R., Hevko I., Lyashuk O., Pic A., Huryk O. Research in resonant oscillations of the telescopic screw-granular media system caused by external periodic forces. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 60, № 1. P. 29–36.
27. Lyashuk O. L., Hevko I. B., Hud V. Z., Tkachenko I. G., Hevko O. V., Sokol M. O., Tson O. P., Kobelnyk V. R., Shmatko D. Z., Stanko A. I. Research of non-resonant oscillations of the "telescopic screw-fluid medium" system. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2022. Vol. 68, № 3. P. 499–510.
28. Hud V., Hevko I., Lyashuk O., Hevko O., Sokil M., Shust I. Research of resonance vibrations of the system "Telescopic screw is a bulk medium" caused by torsional vibrations. *Karaganda*. 2020. № 2 (98). С. 119–126.
29. Hevko I., Lyashuk O., Sokil M., Slobodian L., Hud V., Vovk Yu. Resonant oscillation of vertical working part of conveyor-loader. *Karaganda State University Publishing House*. 2019. № 2 (94). С. 73–81.
30. Hud V., Lyashuk O., Hevko I., Ungureanu N., Vlăduț N.-V., Stashkiv M., Hevko O., Pik A. Enhancement of agricultural materials separation efficiency using a multi-purpose screw conveyor-separator. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, № 4. P. 870. DOI: 10.3390/agriculture13040870.

References

1. Vasylykiv, V. V., Hevko, I. B., & Babaryka, S. F. (2009). *Synthesis of new designs of screw working bodies of machines for the application of solid organic fertilizers*. *Visnyk of Dnipropetrovsk State Agrarian University*, (2), 170–173 [in Ukrainian].
2. Hevko, I. B., & Huryk, O. Ya. (2002). *Determination of dynamic loads in a screw mixer*. *Visnyk of Lviv Polytechnic National University. Optimization of production processes and technical control in mechanical engineering and instrumentation*, (442), 90–93 [in Ukrainian].
3. Hevko, I. B. (2011). *Modeling the nature of the load on screw working bodies*. *Herald of TNTU*, 16(1), 69–77 [in Ukrainian].
4. Hevko, I., Liubachivskyi, R., & Dyachun, A. (2012). *Synthesis of mixers with screw working bodies*. *Visnyk of Lviv National Agrarian University. Agroengineering research*, (16), 237–246 [in Ukrainian].
5. Hevko, I. B. (1997). *Development and research of low-frequency devices for performing technological processes with flexible screw conveyors*. Extended abstract of candidate's thesis. Lutsk [in Ukrainian].
6. Hevko, I. B. (2012). *Structural synthesis of impulse safety clutches and screws by morphological analysis method*. *Herald of TNTU*, (3/67), 121–134 [in Ukrainian].
7. Hevko, I. B., Vitroviy, A. O., & Huryk, O. Ya. (2001). *Dynamic model of the process of bulk material transportation by screw conveyor*. *Agricultural Machines: Collection of Scientific Articles*, (8), 72–82. Lutsk [in Ukrainian].
8. Hevko, I. B., & Hud, V. Z. (2019). *Synthesis of screw conveyors with technological transformation capabilities and mobile change of material transfer trajectory*. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 2(33), 25–33 [in Ukrainian].
9. Hevko, I. B., Dyachun, A. Ye., & Liubachivskyi, R. O. (2012). *Structural synthesis of screw conveyors with expanded technological capabilities by the method of morphological analysis*. *Visnyk of SevNTU: Collection of Scientific Papers. Series: Mechanical Engineering and Transport*, (128), 37–41. Sevastopol [in Ukrainian].
10. Hevko, I. B., Liashuk, O. L., & Klendii, V. M. (2014). *Synthesis of screw conveyors with flexible working bodies*. *Visnyk of Lviv National Agrarian University. Agroengineering research*, (18), 112–121 [in Ukrainian].
11. Hevko, I. B., Liashuk, O. L., Pik, A. I., Marchuk, N. M., & Marunych, O. P. (2020). *Synthesis of screw conveyor-mixers*. *Agricultural Machines: Collection of Scientific Articles*, (45), 35–44. Lutsk [in Ukrainian].
12. Hevko, I., Dovbush, T., Tson, O., Dovbush, A., & Stanko, A. (2021). *Synthesis of screw working bodies with elastic surfaces and results of their research*. *Agricultural Machines: Collection of Scientific Articles*, (47), 63–72. Lutsk [in Ukrainian].
13. 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*. Ternopil: FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
14. Dmytriv, D. V., Hevko, I. B., & Levenets, V. B. (2007). *Reliability of screw-mixing devices*. *Agricultural Machines: Collection of Scientific Articles*, (16), 62–74. Lutsk [in Ukrainian].
15. Hevko, B. M., Danylenko, M. H., Rohatynskyi, R. M., et al. (1993). *Mechanisms with screw devices*. Lviv: Svit [in Ukrainian].
16. Pylypets, M. I., Hevko, I. B., & Vitroviy, A. O. (2000). *Optimization of the working body with an elastic shaft for flexible screw conveyors*. *Visnyk of Lviv Polytechnic National University. Optimization of production processes and technical control in mechanical engineering and instrumentation*, (412), 84–91 [in Ukrainian].
17. Rohatynskyi, R. M., Hevko, I. B., Liashuk, O. L., Hud, V. Z., Dyachun, A. Ye., Melnychuk, A. L., & Slobodian, L. M. (2019). *Promising screw conveyors: design, calculation, research*. Ternopil: FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].

18. Pylypets, M. I., Hevko, I. B., & Vitrovyi, A. O. (1999). *Optimization of the working body with sectional elements for flexible screw conveyors. Agricultural Machines: Collection of Scientific Articles*, (5), 207–217. Lutsk [in Ukrainian].
19. Rohatynskiy, R. O., Hevko, I. B., & Rohatynska, L. R. (2013). *Optimization of parameters of screw transport-technological systems. Herald of TNTU*, (1/69), 116–125 [in Ukrainian].
20. Rohatynskiy, R. M., Hevko, I. B., & Dyachun, A. Ye. (2014). *Scientific and applied foundations of creating screw transport-technological mechanisms*. Ternopil: TNTU named after I. Puliui [in Ukrainian].
21. Rohatynskiy, R. M., Hevko, I. B., & Dmytriv, D. V. (2000). *Modeling the operation of a small-sized blade-screw mixer. Agricultural Machines: Collection of Scientific Articles*, (6), 129–135. Lutsk [in Ukrainian].
22. Rohatynskiy, R. M., Hevko, I. B., Dmytriv, D. V., Hud, V. Z., & Dmytriv, O. R. (2020). *Modeling the mixing of components by screw conveyor-mixers. Agricultural Machines: Collection of Scientific Articles*, (45), 84–93. Lutsk [in Ukrainian].
23. Hevko, I. B., Dyachun, A. Ye., Hud, V. Z., Rohatynska, L. R., & Klendii, V. M. (2015). *Investigation of the stability of the torsional vibrations of a screw conveyor under the influence of pulse forces. INMATEH – Agricultural Engineering*, 45(1), 77–86.
24. Hevko, I. B., Liashuk, O. L., Leshchuk, R. Y., Rohatynska, L. R., & Melnychuk, A. L. (2016). *Investigation of the radius of bending for flexible screw sectional conveyors. INMATEH – Agricultural Engineering*, 48(1), 35–42.
25. Lyashuk, O., Rohatynskiy, R., Hevko, I., Dmytriv, O., Tson, O., Tkachenko, I., Sokol, M., Leshchuk, R., & Kobelnyk, V. (2023). *Investigation of bulk material transportation by screw conveyor with hinge-pan operating device. Key Engineering Materials. Engineering Materials, Devices and Equipment*, 948, 169–182. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.
26. Hud, V., Rohatynskyy, R., Hevko, I., Lyashuk, O., Pic, A., & Huryk, O. (2020). *Research in resonant oscillations of the telescopic screw-granular media system caused by external periodic forces. INMATEH – Agricultural Engineering*, 60(1), 29–36.
27. Lyashuk, O. L., Hevko, I. B., Hud, V. Z., Tkachenko, I. G., Hevko, O. V., Sokol, M. O., Tson, O. P., Kobelnyk, V. R., Shmatko, D. Z., & Stanko, A. I. (2022). *Research of non-resonant oscillations of the “telescopic screw–fluid medium” system. INMATEH – Agricultural Engineering*, 68(3), 499–510.
28. Hud, V., Hevko, I., Lyashuk, O., Hevko, O., Sokil, M., & Shust, I. (2020). *Research of resonance vibrations of the system “Telescopic screw–bulk medium” caused by torsional vibrations. Karaganda*, 2(98), 119–126.
29. Hevko, I., Lyashuk, O., Sokil, M., Slobodian, L., Hud, V., & Vovk, Yu. (2019). *Resonant oscillation of vertical working part of conveyor-loader. Karaganda State University Publishing House*, 2(94), 73–81.
30. Hud, V., Hevko, I., Lyashuk, O., Ungureanu, N., Vlăduț, N.-V., Stashkiv, M., Hevko, O., & Pik, A. (2023). *Enhancement of agricultural materials separation efficiency using a multi-purpose screw conveyor-separator. Agriculture*, 13(4), 870. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040870>.

Ivan Hevko, Prof., DSc. **Roman Rohatynskiy**, Prof., DSc., **Andrii Diachun**, Assoc. Prof., Ph.D.,

Taras Dovbush, Assoc. Prof., Ph.D., **Anatoly Dovbush**, **Andriy Nikityuk**

Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu, Ternopil, Ukraine

Synthesis of Twin-Shaft Screw Conveyor Mixers

Twin-shaft screw conveyors are often used to move piece goods, especially in conveyor lines in the food industry when filling various containers, but are also used to transport bulk materials. However, they are also widely used as mixers of loose and viscous materials as twin-shaft screw conveyors-mixers. Therefore, when using twin-shaft screw conveyors-mixers, they can act as conveyors-mixers with the functions of mixing and moving materials, or simply as mixers. To create effective designs of twin-shaft screw conveyor mixers that can provide high mixing uniformity with significant process performance and satisfactory cost, it is advisable to generate their rational variants with subsequent theoretical and experimental research and obtaining the most suitable designs for practical use. The use of morphological analysis in generating alternatives using structural-schematic synthesis ensures the receipt of a significant number of design options for technical solutions, and therefore can be fully applied in generating twin-shaft screw conveyors-mixers.

To create twin-shaft screw conveyor mixers, their designs were generated using an improved synthesis method using morphological analysis, which involves the use of expert assessments and the division of individual hierarchical groups into subgroups based on the importance of individual features of structural elements. As a result of an expert assessment of the influence of various factors on the mixing operation of twin-shaft screw conveyor mixers, certain features of the structural elements of these mechanisms, as well as their interconnections, have been established. This ensured the construction of a morphological table of individual features of the structural elements of twin-shaft screw conveyors-mixers, and on its basis, accordingly, a model of the mechanical system "Twin-shaft screw conveyor-mixer". As a result of expert analysis during the implementation of the structural and schematic synthesis of twin-shaft screw conveyors-mixers, the following main morphological features of its structural elements were selected: drive: type, type of movement, direction of movement, quantity, speed; chute design; screw working elements: spiral profile, spiral design, spiral diameter, spiral location; hopper: profile, quantity, location, loading mechanism; unloading mechanism; locomotor mechanism.

This made it possible to obtain a significant number of effective variants of technical solutions for twin-shaft screw conveyor mixers with various design features. In particular, design schemes of mixers with different profiles, spiral designs and arrangement of spirals relative to each other. The synthesized designs of twin-shaft screw conveyors-mixers enable extensive research of screw mixing systems with the establishment of their design and technological parameters and the selection of rational designs.

morphological analysis, structural-schematic synthesis, twin-shaft, screw, conveyor, mixer, mixing, screw

Одержано (Received) 25.07.2025

Прорецензовано (Reviewed) 31.07.2025

Прийнято до друку (Approved) 27.08.2025