

**С.О. Коваль**, асп.

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна*

*e-mail: sergiikov99@gmail.com*

## Синтез гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом

Проведено структурно-схемний синтез гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом і згенеровано конструктивні рішення гвинтових робочих органів змішувачів, у яких є можливість вибору необхідної величини зазору між лопатями для інтенсифікації процесу змішування матеріалів різних фракцій, а також конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом без примусового обертання кожуха з можливістю пригальмовування і з примусовим обертанням кожуха з можливістю зміни довжини траси змішування і переміщення матеріалів. Представлено розроблену залежність з допомогою якою проводиться кінцевий відбір синтезованих конструкцій, яка враховує вагу таких факторів, як загальна вартість, продуктивність, ефективність виконання процесу змішування та кількість функціональних характеристик.

**структурно-схемний синтез, гвинтовий конвеєр-змішувач, обертовий кожух, змішування, морфологічний аналіз, гвинтовий робочий орган**

**Постановка проблеми.** Проведення структурно-схемного синтезу часто дозволяє одержати значну гамму досить ефективних конструктивних рішень різноманітних технічних засобів, що у повній мірі також стосується генерування альтернативних рішень гвинтових змішувачів. Гвинтові конвеєри-змішувачі з обертовим кожухом (ГКЗОК) є нетиповими механічними засобами для виконання операції змішування матеріалів, проте вони можуть набути досить широкого застосування у різних галузях економіки поєднуючи операцію переміщення сипкого матеріалу із операцією його перемішування. Для їх створення і подальшого дослідження необхідно здійснити розроблення окремих раціональних конструкцій, які б відповідали відповідним параметрам у царині досягнення якісних показників процесу змішування, високої продуктивності виконання процесу, а також прийнятної собівартості виготовлення, експлуатації та обслуговування таких конструкцій. Задля цього і доцільно скористатись методикою структурно-схемного синтезу методом ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу для отримання відповідних технічних рішень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробленню прогресивних конструкцій гвинтових конвеєрів, методик розрахунку їх параметрів, а також теоретичному обґрунтуванню процесів функціонування присвячені праці Б. Гевка [15], Р. Рогатинського [15, 17, 19-22], М. Пилипця [15, 16, 18], І. Гевка [3, 5, 13, 17, 20, 23-30], О. Ляшука [24-30], В. Гудя [26-30] та інші. Дослідженню процесів змішування гвинтовими механізмами прив'язані роботи І. Гевка [2, 7, 14, 20], В. Гудя [22], Д. Дмитріва [14, 21, 22], О. Гурика [2, 7]. Розробленню методик та методів синтезу і генеруванню прогресивних конструкцій гвинтових конвеєрів і гвинтових змішувачів присвячені роботи І. Гевка [4, 6, 8-12], О. Ляшука [10, 11], А. Дячуна [4, 9], В. Васильківа [1] тощо. Проте враховуючи потреби різних галузей економіки у

використанні змішувальних операцій, особливо у сільськогосподарському виробництві, харчовій та переробній промисловості, будівельній галузі, актуальність розроблення і дослідження нових ефективних конструкцій гвинтових-змішувачів з високими якісними параметрами є актуальною задачею.

**Постановка завдання.** Метою роботи є генерування ефективних конструкцій гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовими кожухами на основі застосування структурно-схемного синтезу методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу.

**Виклад основного матеріалу.** Процес змішування різних типів матеріалів з використанням гвинтових механізмів і, зокрема конвеєрів, є поширеним явищем у сільськогосподарському виробництві, харчовій і переробній промисловості, фармації, будівельній, автодорожній та інших галузях. Цей процес може відбуватися як самостійна операція, так і у поєднанні з транспортуванням, пресуванням тощо [8, 10, 17, 20].

Відтак з метою створення нових прогресивних конструкцій гвинтових змішувачів було проведено генерування їх альтернатив при використанні структурно-схемного синтезу методом ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу [6, 8-12]. У результаті проведеного аналізу впливу різних факторів на процес змішування матеріалів гвинтовими механізмами було визначено ознаки конструктивних елементів таких механізмів і їх взаємозв'язки, що дозволило побудувати відповідну морфологічну таблицю цих елементів для ГКЗОК (табл. 1), з якої було виділено модель механічної системи «Гвинтовий конвеєр-змішувач з обертовим кожухом» (рис. 1). У результаті проведеного структурно-схемного синтезу ГКЗОК обрано наступні базові морфологічні ознаки: привід; шнек, який включає кожух (жолоб) і гвинтовий робочий орган; бункер; механізм розвантаження; опорно-руховий механізм.

Для проведення структурно-схемного синтезу ГКЗОК використано метод синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу, який передбачає розбивку окремих груп на підгрупи, де кількість варіантів визначається по формулі [6, 8-12]:

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

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.

Таблиця 1 – Морфологічна таблиця ознак конструктивних елементів гвинтових конвєсерів-змішувачів з обертовим кожухом

<b>ПРИВІД</b>							
<b>1. Тип</b>				<b>2. Вид руху</b>			
1.1 Електропривід 1.2. Вібропривід 1.3 Двигун внутрішнього згорання				2.1. З постійною швидкістю 2.2. Зі змінною швидкістю 2.3. З періодичними зупинками (пульсуючий)			
<b>ШНЕК</b>							
<b>Кожух (жолоб)</b>				<b>Гвинтовий робочий орган</b>			<b>10. Можливість зміни довжини</b>
<b>3. Конструкція жолоба</b>	<b>4. Кількість</b>	<b>5. Додаткові елементи</b>	<b>6. Спосіб приведення в обертовий рух</b>	<b>7. Профіль спіралі</b>	<b>8. Конструкція гвинта</b>	<b>9. Кількість</b>	
3.1. Одного діаметра 3.2. Різного діаметра	4.1. Один 4.2. Два	5.1. Без додаткових елементів 5.2. Зі вставками (розпушувачами), закріплені по внутрішньому профілі жолоба	6.1. Призмусовий (від приводу) 6.2. Вільний (за рахунок зачеплення матеріалу) 6.3. З можливістю регулювання (пригальмовування)	7.1. Суцільна (стандартна) 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. Вузкополосна 7.8. Широкополосна 7.9. Еластична 7.10. Із загинами по зовнішній кромці спіралі 7.11. Конічна	8.1. З одним кроком 8.2. З різним кроком 8.3. Однозахідний 8.4. Багатозахідний	9.1. Один 9.2. Два	10.1. Без можливості зміни (суцільна) 10.2. З можливістю зміни (секційна)
<b>БУНКЕР</b>						<b>15. Механізм розвантаження</b>	<b>16. Опорно-руховий механізм</b>
<b>11. Профіль</b>	<b>12. Кількість</b>	<b>13. Розташування по відношенню до шнека</b>		<b>14. Механізм просипання</b>			
11.1. Суцільний 11.2. Секційний	12.1. Один 12.2. Деякі	13.1. Співвісне і перпендикулярне 13.2. Бічне і перпендикулярне 13.3. Співвісне і нахилене 13.4. Бічне і нахилене		14.1. З регульованим завантаженням 14.2. З нерегульованим завантаженням	15.1. Розвантажувальний отвір 15.2. Розвантажувальний патрубок		16.1. Без можливості зміни кута нахилу шнека 16.2. З можливістю зміни кута нахилу шнека

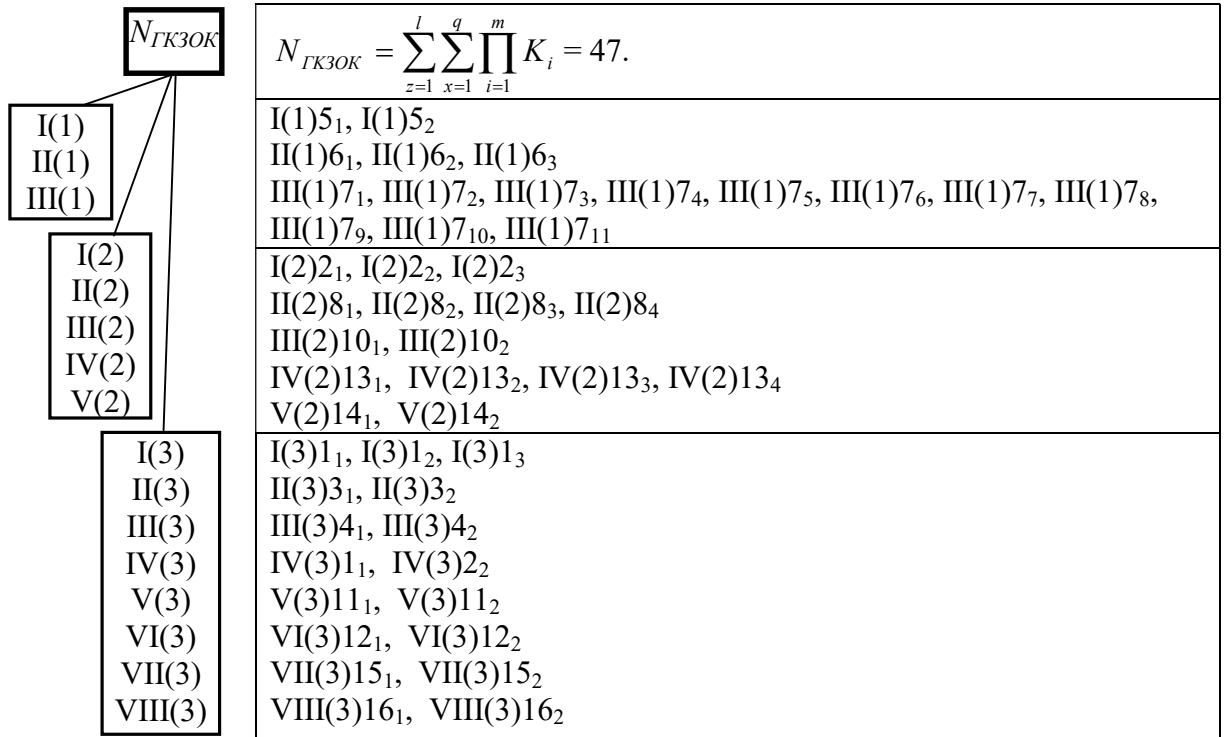


Рисунок 1 – Модель механічної системи «Гвинтовий конвеєр-змішувач з обертовим кожухом»: I - VIII – підгрупи ієрархічного рівня; (1) - (3) – відповідні ієрархічні рівні

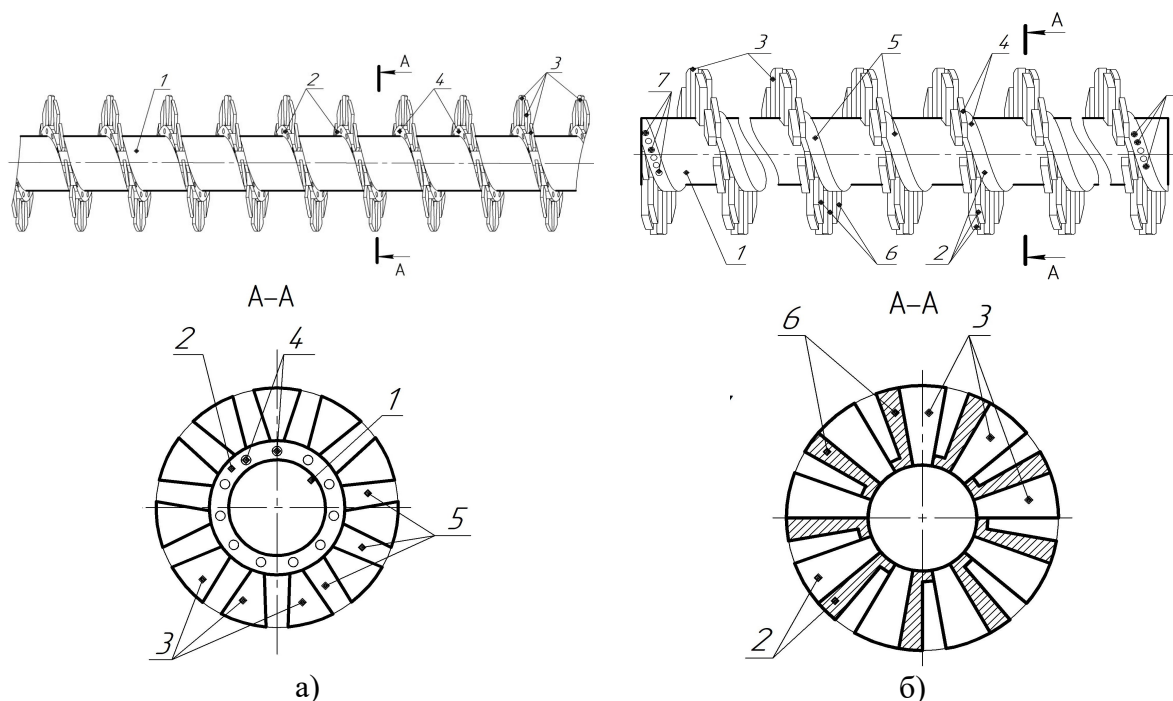
Джерело: розроблено автором

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

$$\begin{aligned}
 N_{ГКЗ} = & \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 2.1 \\ 2.2 \\ 2.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \\ 6.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \\ 7.4 \\ 7.5 \\ 7.6 \\ 7.7 \\ 7.8 \\ 7.9 \\ 7.10 \\ 7.11 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \\ 8.4 \end{vmatrix} + \\
 & + \begin{vmatrix} 9.1 \\ 9.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 10.1 \\ 10.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 11.1 \\ 11.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 12.1 \\ 12.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 13.1 \\ 13.2 \\ 13.3 \\ 13.4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 14.1 \\ 14.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 15.1 \\ 15.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 16.1 \\ 16.2 \end{vmatrix} = 47.
 \end{aligned}$$

Найважливішим елементом в конструкції ГКЗОК є шнек, до складу якого входить кожух (конструктивні ознаки 3 – 6 і 10 з табл. 1) і гвинтовий робочий орган

(конструктивні ознаки 7 – 9 і 10 з табл. 1). Саме конструктивні ознаки шнека (5 - 7) входять до першого ієрархічного рівня і від них у максимальній мірі залежить ефективність виконання операції змішування генерованими конструкціями. Якщо з певними конструктивними ознаками конструкції жолоба не виникає питань (наприклад, ознака 3), то наявність у ньому додаткових елементів (ознака 5) і способу приведення в обертовий рух (ознака 6) сприятимуть значному підвищенню якості і продуктивності змішування. Крім того, конструкція гвинтового робочого органу (ознака 7) має вирішальний вплив на ефективність якісних параметрів генерованих варіантів ГКЗОК. Тому з метою отримання ефективних варіантів ГКЗОК було синтезовано нові конструктивні рішення гвинтових робочих органів, конструктивні схеми яких (ознака 7) відображено на рис. 2, на які отримано патенти України на корисну модель (пат. України № 153687 – «Шнек для змішування з механічним кріпленням елементів» і пат. України № 153774 – «Гвинтовий робочий орган змішувача»). До їх переваг слід віднести можливість підбору необхідної величини зазору між лопатями гвинтового робочого органу для інтенсифікації процесу змішування матеріалів різних фракцій.



- а) з механічним кріпленням елементів (пат. України № 153687): 1 - вал; 2 - спіраль незначної висоти; 3 - лопаті; 4 - кріпильні отвори; 5 - отвори для просипання та змішування матеріалів;  
 б) з можливістю вибору зазору між лопатями (пат. України № 153774): 1 - вал; 2 - гвинт;  
 3 - базова лопатева спіраль; 4 - спіраль Г-подібної форми; 5 - внутрішня частина спіралі 4;  
 6 - зовнішня частина спіралі 4; 7 - фіксація кінців спіралі 4

Рисунок 2 – Конструктивні схеми синтезованих гвинтових робочих органів змішувачів  
 Джерело: розроблено автором

При конструюванні ГКЗОК були враховані найважливіші фактори, до яких увійшли: загальна вартість, продуктивність, ефективність технологічного процесу змішування та кількість функціональних характеристик. Кінцевий вибір синтезованих конструктивних рішень ГКЗОК доцільно проводити шляхом відбору альтернатив з максимізацією очікуваного позитивного результату:

$$A_{ГКЗОК} = \frac{\frac{3B_{mn}}{\sum_{i=1}^n EB_i} \cdot k_{ваг1} + \frac{Q_{нк}}{Q_{бн}} \cdot k_{ваг2} + \frac{V_{нк}}{V_{бн}} \cdot k_{ваг3} + \frac{N_{нк}}{N_{бн}} \cdot k_{ваг4}}{k_{ваг1} + k_{ваг2} + k_{ваг3} + k_{ваг4}}, \quad (2)$$

де  $3B_{mn}$  – загальна вартість базового представника гвинтового змішувача (включає витрати на купівлю, доставку, монтаж, обслуговування, ремонт та експлуатаційні витрати), грн.;

$EB_i$  – елементи витрат пов'язані із набуттям і використанням ГКЗОК (вартість купівлі, доставки, монтажу, обслуговування, ремонту та експлуатації), грн.;

$n$  – кількість елементів витрат пов'язаних із набуттям і використанням ГКЗОК;

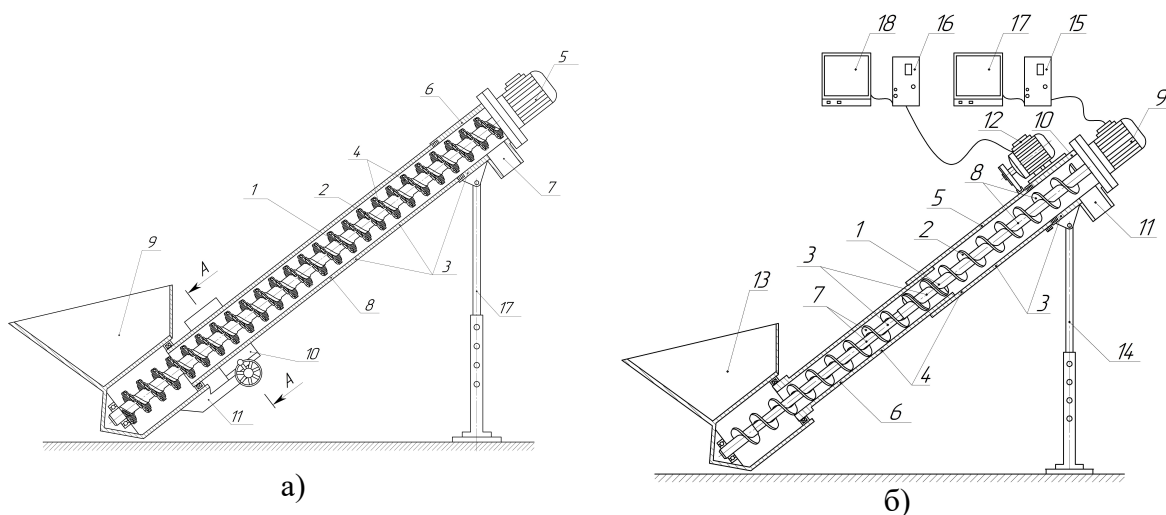
$Q_{нк}$ ,  $Q_{бн}$  – відповідно продуктивність змішування новою конструкцією ГКЗОК і базовим представником гвинтового змішувача, кг/год.;

$V_{нк}$ ,  $V_{бн}$  – відповідно ефективність технологічного процесу змішування новою конструкцією ГКЗОК і базовим представником гвинтового змішувача, %;

$N_{нк}$ ,  $N_{бн}$  – відповідно кількість функціональних характеристик нової конструкції ГКЗОК і базового представника гвинтового змішувача (можливість мобільної зміни місця завантаження чи напрямку вивантаження, довжини траси змішування і переміщення, виконання додаткових функцій, таких як пресування, сепарація тощо);

$k_{ваг1}$ ,  $k_{ваг2}$ ,  $k_{ваг3}$ ,  $k_{ваг4}$  – відповідно ваги показників загальної вартості, продуктивності, ефективності технологічного процесу змішування та кількості функціональних характеристик, що враховують їх важливість і пріоритетність,  $k_{ваг} = 0,01 \dots 1$ .

Також за результатами проведеного синтезу і використання вище представленої розробленої методики відбору варіантів було спроектовано нові типи ГКЗОК, на які подано заявки на отримання патентів України (рис. 3). Дані конструктивні рішення ГКЗОК володіють рядом переваг у порівнянні із традиційними гвинтовими змішувачами, позаяк можуть забезпечувати значно вищі показники продуктивності та ефективності виконання технологічного процесу змішування, а також володіти розширеними функціональними характеристиками.



а) без примусового обертання кожуха із можливістю пригальмовування (заявка на пат. України u202302288); б) з примусовим обертанням кожуха (заявка на пат. України u202302289)

Рисунок 3 – Конструктивні схеми синтезованих конвеєрів-змішувачів з обертаним кожухом  
Джерело: розроблено автором

До переваг розробленого ГКЗОК (рис. 3.а) відноситься можливість регулювання частоти обертання рухомої частини кожуха для покращення процесу змішування матеріалів, а також використання у його конструкції гвинтових робочих органів з можливістю вибору зазору між лопатями. А до переваг розробленого ГКЗОК (рис. 3.б) доцільно віднести можливість регулювання частоти обертання двигунів для приведення у відповідний обертовий рух гвинта та рухомої частини кожуха для змішування матеріалів з візуалізацією та фіксацією експериментальних даних у персональних комп'ютерах, а також можливість зміни довжини траси змішування і переміщення матеріалів.

### Висновки:

1. Проведено структурно-схемний синтез гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу й отримано ефективні конструктивні рішення гвинтових робочих органів змішувачів з можливістю підбору необхідної величини зазору між лопатями гвинтового робочого органу для інтенсифікації процесу змішування матеріалів різних фракцій, на які отримано патенти України, а також конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом без примусового обертання кожуха з можливістю пригальмовування і з примусовим обертанням кожуха з можливістю зміни довжини траси змішування і переміщення матеріалів, на які подано заявки на отримання патентів України. Розроблені конструкції можуть забезпечувати значно вищі показники продуктивності та ефективності виконання технологічного процесу змішування гвинтовими конвеєрами-змішувачами, а також володіти розширеними функціональними характеристиками.

2. Розроблено залежність, за якою проводиться кінцевий відбір синтезованих конструктивних рішень ГКЗОК шляхом максимізації очікуваного позитивного результату, що враховує вагу таких факторів, як загальна вартість, продуктивність, ефективність технологічного процесу змішування та кількість функціональних характеристик.

### 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. Том 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. на здобуття наук. ступеня 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*. 2001. Вип. 8. 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. Серія: 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*. 2020. Вип. 45. С. 35-44.
  12. Гевко Ів., Довбуш Т., Цьонь О., Довбуш А., Станько А. Синтез гвинтових робочих органів із еластичними поверхнями та результати їх досліджень. *Сільськогосподарські машини: Зб. наук. статей*. 2021. Вип. 47. С. 63-72.
  13. Гнучкі гвинтові конвеєри: проектування, технологія виготовлення, експериментальні дослідження. / Гевко І. Б. та ін. 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*. 2007. Вип. 16. С. 62-74.
  15. Механізми з гвинтовими пристроями. 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. Перспективні гвинтові конвеєри: конструкції, розрахунок, дослідження / Рогатинський Р.М. та ін. 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: зб. наук. статей*. 1999. Вип. 5. 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 імені Івана Пулюя, 2014. 280 с.
  21. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дмитрів Д.В. Моделювання роботи малогабаритного лопатево-гвинтового змішувача. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей*. 2000. Вип. 6. 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*. 2020. Вип. 45. 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. Polytechnic University of Bucharest*. 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. Polytechnic University of Bucharest*. 2016. Vol. 48, № 1. P. 35-42.
  25. Investigation of Bulk Material Transportation by Screw Conveyor with Hinge-Pan Operating Device. Oleg Lyashuk, Roman Rohatynskyi, Ivan Hevko, Olena Dmytriv, Oleg Tson, Ihor Tkachenko, Mariana Sokol, Roman Leshchuk, Volodymyr Kobelnyk. *Key Engineering Materials. Engineering Materials, Devices and Equipments-2023*. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, Vol. 948, pp 169-182.
  26. Research in resonant oscillations of the telescopic screw – granular media system caused by external periodic forces. *INMATEH - Agricultural Engineering*. V. Hud, R. Rogatynskyy, Iv. Hevko, O. Lyashuk, A. Pic, O. Huryk. Polytechnic University of Bucharest, 2020, Vol. 60, № 1, P. 29-36.
  27. Research of non-resonant oscillations of the "telescopic screw - fluid medium" system. O. L., Lyashuk; I. B., Hevko; V. Z., Hud; I. G., Tkachenko; O. V., Hevko; M. O., Sokol; O. P., Tson; V. R., Kobelnyk; D. Z., Shmatko; A. I., Stanko. *INMATEH - Agricultural Engineering*. Polytechnic University of Bucharest, 2022, Vol. 68, № 3, P. 499-510.
  28. Research of resonance vibrations of the system “Telescopic screw is a bulk medium” caused by torsional vibrations. V. Hud, I. Hevko, O. Lyashuk, O. Hevko, M. Sokil, I. Shust. *Karaganda*, 2020, № 2 (98), Ст. 119-126.
  29. Resonant oscillation of vertical working part of conveyer-loader. *Karaganda State University Publishing house*. I. Hevko, O. Lyashuk, M. Sokil, L. Slobodian, V. Hud, Yu. Vovk. *Karaganda*, 2019, № 2 (94), Ст. 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. (<https://doi.org/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 applying solid organic fertilizers. *Bulletin of the Dnipropetrovsk State Agrarian University*. No. 2, p. 170-173 [in Ukrainian].
2. Hevko, I.B. & Guryk, O.Ya. (2002). Determination of dynamic loads in a screw mixer. *Bulletin of Lviv Polytechnic University: Optimization of production processes and technical control in mechanical engineering and instrument engineering*. No. 442, 90–93 [in Ukrainian].
3. Hevko I.B. (2011). Modeling of the nature of the load on the screw working bodies. *Bulletin of TNTU, Ternopil, Volume 16, No. 1*, 69-77 [in Ukrainian].
4. Hevko, I., Lyubachivskiy, R. & Dyachun, A. (2012). Synthesis of mixers with screw working bodies. *Bulletin of the Lviv National Agrarian University: Agricultural engineering research*. No. 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 [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 couplings and screws by the method of morphological analysis. *Bulletin of TNTU, Ternopil, No. 3(67)*, 121-134 [in Ukrainian].
7. Hevko, I.B., Vitrovyi, A.O. & Guryk, O.Ya. (2001). A dynamic model of the process of transporting loose materials by a screw conveyor. *Agricultural machines: Collection of scientific articles, Issue 8*, 72-82 [in Ukrainian].
8. Hevko, I.B. & Gud, V.Z. (2019). Synthesis of screw conveyors with the possibilities of technological transformation and mobile change of the trajectory of material overload. *Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences. Issue 2(33)*, 25-33 [in Ukrainian].
9. Hevko, I.B., Dyachun, A.E. & Lyubachivskiy, R.O. (2012). Structural synthesis of screw conveyors with advanced technological capabilities by the method of morphological analysis. *Bulletin of SevNTU: coll. of science Ave. Issue 128/2012. Series: Mechanical engineering and transport*. Sevastopol, p. 37-41 [in Ukrainian].
10. Hevko, I.B., Lyashuk, O.L., Klendiy, V.M. (2014). Synthesis of screw conveyors with flexible working bodies. *Bulletin of the Lviv National Agrarian University: Agricultural engineering research*. No. 18, 112 – 121 [in Ukrainian].
11. Hevko, I.B., Lyashuk, O.L., Peak, A.I., Marchuk, N.M. & Marunych, O.P. (2020) Synthesis of screw conveyors-mixers. *Agricultural machines: Collection of scientific articles, Issue 45*, 35-44 [in Ukrainian].
12. Hevko, Iv., Dovbush, T., Tsyon, O., Dovbush, A. & Stanko, A. (2021). Synthesis of helical working bodies with elastic surfaces and the results of their research. *Agricultural machines: Collection of scientific articles, Issue 47*, 63-72 [in Ukrainian].
13. Hevko, I. B., Leshchuk, R. Ya., Gud, V. Z., Dmytriv, O. R., Dubynyak, T. S., Navrotska, T. D. & Kruglik, O. A. (2019). Flexible screw conveyors: design, manufacturing technology, experimental research. Ternopil: FOP Palyanitsa V. A. [in Ukrainian].
14. Dmytriv, D.V., Hevko, I.B. & Levenets, V.B. (2007). Reliability of screw-screw mixers. *Agricultural machines: Collection of scientific articles, Issue 16*, 62-74 [in Ukrainian].
15. B.M. Hevko, M.G. Danylchenko, R.M. Rohatynskiy et al. (1993). Mechanisms with screw devices. Lviv: Svit [in Ukrainian].
16. Pylypets, M.I., Hevko, I.B. & Vitrovyi, A.O. (2000). Optimization of the working body with an elastic shaft for flexible screw conveyors. *Bulletin of Lviv Polytechnic University: "Optimization of production processes and technical control in mechanical engineering and instrument engineering"*, No. 412, 84–91 [in Ukrainian].
17. Rohatynskiy, R.M., Hevko, I.B., Lyashuk, O.L., Gud, V.Z., Dyachun, A.E., Melnychuk, A.L. & Slobodian, L.M. (2019). Prospective screw conveyors: designs, calculation , research. Ternopil: FOP Palyanytsia 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, Issue 5*, 207–217 [in Ukrainian].
19. Rohatynskiy, R.O., Hevko, I.B. & Rohatynska, L.R. (2013). Optimization of parameters of screw transport and technological systems. *Bulletin of TNTU, No. 1 (69)*, 116–125 [in Ukrainian].

20. Rohatynskiy, R.M., Hevko, I.B. & Dyachun, A.E. (2014). Scientific and applied foundations of the creation of screw transport and technological mechanisms. Ternopil: Ivan Pulyuy TNTU [in Ukrainian].
21. Rohatynskiy, R.M., Hevko, I.B. & Dmytriv, D.V. (2000). Modeling the operation of a small-sized blade-screw mixer. *Agricultural machinery. Collection of scientific articles. Issue 6*, 129-135 [in Ukrainian].
22. Rohatynskiy, R.M., Hevko, I.B., Dmytriv, D.V., Gud, V.Z. & Dmytriv, O.R. (2020). Modeling of mixing of components by screw conveyors-mixers. *Agricultural machinery. Collection of scientific articles. Issue 45*, 84-93 [in Ukrainian].
23. Hevko, I.B., Dyachun, A.Ye., Hud, V.Z., Rohatynska, L.R. & Klendiy, V.M. (2015). Investigation of the stability of the torsional vibrations of a screw conveyer under the influence of pulse forces. *INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest, Vol. 45, № 1*, 77-86 [in English].
24. Hevko, I.B., Lyashuk, O.L., Leshchuk, R.Y., Rogatynska, L.R. & Melnychuk, A.L. (2016). Investigation of the radius of bending for flexible screw sectional conveyers. *INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest, Vol. 48, № 1*, Pp. 35-42 [in English].
25. Oleg Lyashuk, Roman Rohatynskiy, Ivan Hevko, Olena Dmytriv, Oleg Tson, Ihor Tkachenko, Mariana Sokol, Roman Leshchuk & Volodymyr Kobelnyk (2023). Investigation of Bulk Material Transportation by Screw Conveyer with Hinge-Pan Operating Device. Key Engineering Materials. Engineering Materials, Devices and Equipments-2023. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, Vol. 948, pp 169-182 [in English].
26. Hud, V., Rogatynskyy, R., Hevko, Iv., 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. Polytechnic University of Bucharest, Vol. 60, № 1*, P. 29-36 [in English].
27. Lyashuk, O. L., Hevko, I. B., Hud, V. Z., Tkachenko I. G., Hevko, O. V., Sokol, M. O., Tson, O. P., Kobelnyk, V. RShmatko., D. Z., & Stanko, A. I. (2022). Research of non-resonant oscillations of the "telescopic screw - fluid medium" system. *INMATEH - Agricultural Engineering. Polytechnic University of Bucharest, Vol. 68, № 3*, P. 499-510 [in English].
28. Hud, V., Hevko, I., Lyashuk, O., Hevko, O., Sokil, M. & Shust I. (2020). Research of resonance vibrations of the system "Telescopic screw is a bulk medium" caused by torsional vibrations., *Karaganda, № 2 (98)*. Pp. 119-126 [in English].
29. Hevko, I., Lyashuk, O., Sokil, M., Slobodian, L., Hud, V. & Vovk, Yu.. (2019). Resonant oscillation of vertical working part of conveyer-loader. *Karaganda, Karaganda State University Publishing house. № 2 (94)*, Pp. 73-81 [in English].
30. Hud, V., Lyashuk, O., Hevko, I., 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, Vol. 13, № 4*. P. 870. (<https://doi.org/10.3390/agriculture13040870>) [in English].

**Sergii Koval**, post graduate

*Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyuy, Ternopil, Ukraine*

### **Synthesis of Screw Conveyers-mixers With a Rotating Casing**

Carrying out a structural-schematic synthesis often allows you to obtain a significant range of quite effective constructive solutions of various technical means, which fully also applies to the generation of alternative solutions for screw mixers. Screw conveyors-mixers with a rotating casing (GKZOK) are atypical mechanical means for performing the operation of mixing materials, however, they can become quite widely used in various sectors of the economy by combining the operation of moving loose material with the operation of mixing it. For their creation and further research, it is necessary to develop separate rational structures that would meet the relevant parameters in terms of achieving quality indicators of the mixing process, high performance of the process, as well as acceptable cost of manufacturing, operation and maintenance of such structures. For this reason, it is advisable to use the method of structural-schematic synthesis by the method of hierarchical groups with the help of morphological analysis to obtain appropriate technical solutions.

As a result of the analysis of the influence of various factors on the process of mixing materials by screw mechanisms, the characteristics of the structural elements of such mechanisms and their interrelationships were determined, which made it possible to build an appropriate morphological table of these elements for GKZOK, from which a model of the mechanical system was selected. Screw conveyor-mixer with a rotating casing". As a result of the structural and diagrammatic synthesis of GKZOK, the following basic morphological features were selected: drive; screw, which includes a casing (gutter) and a screw working body; bunker; unloading mechanism; locomotor mechanism.

The structural and schematic synthesis of screw conveyors-mixers with a rotating casing made it possible to obtain effective design solutions for the screw working bodies of the mixers with the possibility of

selecting the necessary gap between the blades of the screw working body for intensifying the process of mixing materials of different fractions, for which Ukrainian patents were obtained, as well as mixer conveyors with a rotating casing without forced rotation of the casing with the possibility of braking and with forced rotation of the casing with the possibility of changing the length of the mixing track and moving materials, for which applications for obtaining patents of Ukraine have been submitted. The developed structures can provide significantly higher productivity and efficiency of the technological process of mixing with screw conveyors-mixers, as well as have extended functional characteristics. A dependency was also developed, according to which the final selection of synthesized constructive solutions of GKZOK is carried out by maximizing the expected positive result, which takes into account the weight of such factors as the total cost, productivity, efficiency of the technological process of mixing and the number of functional characteristics.

**structural-schematic synthesis, screw conveyor-mixer, rotary casing, mixing, morphological analysis, screw working body**

*Одержано (Received) 12.10.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 24.10.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 30.10.2023*

**УДК 640.412 UDC 669.1:537.5** DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).1.95-104](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.95-104)

**Myroslav Stechyshyn**, Prof., DSc., **Mykola Lukyanyuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andriy Martynyuk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Olekasandrenko**, Prof., DSc., **Nadiya Stechyshyna**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.  
*Khmelnytskyi National University, 11 Instytutska St., Khmelnytskyi, Ukraine*  
*e-mail: miro011951@gmail.com*

## Increasing the wear resistance of the working bodies of soil processing machines by nitridation in the ignition discharge

The article considers the problem of increasing the wear resistance of the cutting elements of the working bodies of tillage machines by nitriding in a glow discharge.

Solving the problem of increasing the wear resistance of the cutting elements of the working bodies of soil tillage machines reduces the resistance to cutting when tilling the soil, which helps to reduce the traction force of the unit and, in the final version, save fuel.

Nitriding of the studied samples was carried out on the UATR-1 installation, designed for surface modification of parts, tools and equipment by the BATR method or similar diffusion vacuum processes.

It was established that the following main mutually competing processes occur during anhydrous nitriding in a glow discharge: formation of nitrides, diffusional saturation of the surface with nitrogen, and sputtering of the surface layer. The formation of nitrides occurs at low values of the specific energy flow, the surface sputtering process is activated at high voltage values, and the current density is responsible for nitrogen diffusion into the depth of the metal.

The structure and phase composition of nitrided layers is determined by a combination of regime and energy parameters. The ability to control the energy parameters of the armored personnel carrier allows you to significantly expand the area of obtaining nitrided layers with predetermined operational characteristics of parts of machines and equipment while simultaneously reducing the energy consumption of the nitriding process.

The research results showed that the amount of wear of a nitrided tool, compared to a non-nitrided one, decreased by 25-40%.

**anhydrous nitriding in glow discharge (ANGD), cutting bodies of soil tillage machines (CBTM), operational and energy parameters of ANGD**