

## ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.86

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.129-138](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.129-138)

І. Б. Гевко, проф., д-р техн. наук, А. Б. Гупка, доц., канд. техн. наук,

С. О. Коваль, А. О. Брикса, В. М. Бучинський

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

## Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання гвинтових змішувачів

Проведено техніко-економічне обґрунтування ефективності використання гвинтових змішувачів трьох типів за умови досягнення ними однакової якості змішування. Встановлено, що гвинтовий змішувач з обертовим кожухом є найбільш економічно ефективним і може забезпечувати отримання найнижчої неоднорідності суміші за найнижчих витрат. Витрати на змішування при його застосуванні є в 1,09 рази нижчими, ніж при її змішуванні гвинтовим жорстким транспортером-змішувачем, і в 3,41 рази нижчими, ніж при її змішуванні гвинтовим змішувачем з пересипом. Встановлено, що для досягнення високої якості змішування суміші жорсткими гвинтовими конвеєрами-змішувачами існують підвищені витрати на їх виготовлення та експлуатацію, пов'язані із значною довжиною траси перелопачування суміші, а у шнекових змішувачах з пересипанням існують підвищені витрати на електроенергію, враховуючи необхідність здійснення значної кількості циклів для перелопачування суміші, а також часто неможливість переміщення суміші в потрібному напрямку.

**гвинтовий конвеєр-змішувач, обертовий кожух, продуктивність, неоднорідність суміші, техніко-економічне обґрунтування.**

**Постановка проблеми.** Гвинтовим конвеєрам притаманна відносна простота і низька вартість конструкції, висока надійність і конструкційна наслідуваність, забезпечення високих екологічних норм і мінімізація пилоутворення в процесі роботи, а також можливість агрегування з різноманітними механічними засобами у виробничих системах. Це є головною причиною їх використання в сільськогосподарському виробництві, харчовій і переробній, будівельній, хімічній, фармацевтичній та інших галузях у якості як транспортних засобів, так і технологічних при виготовленні різноманітних сумішей. У якості технологічних засобів гвинтові елементи використовуються при змішуванні, подрібнюванні, сепарації та інших технологічних операціях. Найбільшого використання у якості технологічних засобів вони набули як змішувачі матеріалів. Враховуючи необхідність підвищення економічної ефективності застосування обладнання, поєднання процесів змішування сипких матеріалів з їх переміщенням дозволяє забезпечити використання одного технічного засобу замість двох, при використанні гвинтових транспортно-технологічних конвеєрів-змішувачів.

Проте інтенсивність перемішування у таких засобах не завжди є високою і часто для отримання необхідної якості потребує значної кількості перелопачувань суміші, що вимагає або збільшення довжини технічного засобу, або забезпечення циклічності його роботи, що призводить до його використання лише у якості змішувача. Відтак, досягнути необхідної цілі в отриманні необхідної кількості перелопачувань суміші гвинтовими змішувачами невисокої довжини можна зрушенням суміші з необхідним тертям шнека з матеріалом та кожухом у гвинтових конвеєрах-змішувачах із обертовими кожухами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивченню процесів змішування

сипких матеріалів гвинтовими механізмами присвячені роботи Р.М. Рогатинського [1-9], В. Гудя [8-11], О. Ляшука [9, 12], Д. Дмитріва [7, 8, 13, 14], О. Гурика [15, 16], Лещука Р.Я. [18], Марунича О.П. [12, 19] та багатьох інших дослідників.

Важливим завданням їхніх досліджень був пошук шляхів забезпечення якості змішування сипких компонентів за рахунок розроблення і модернізації оригінальних конструкцій гвинтових конвеєрів-змішувачів. При цьому не нехтувались питання продуктивності процесів як переміщення вантажів, так і їх змішування. Для забезпечення їх високих показників доцільно продовжувати науковий пошук в напрямку модернізації конструкцій гвинтових конвеєрів-змішувачів із забезпеченням обертowego руху їх кожухів [20]. Відтак подальше дослідження та обґрунтування ефективного функціонування гвинтових конвеєрів-змішувачів із обертovими кожухами з метою підвищення їх продуктивності та якості виконання ними транспортно-технологічного процесу залишається актуальним.

**Постановка завдання.** Метою роботи є проведення техніко-економічного обґрунтування доцільності використання гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертovими кожухами.

**Виклад основного матеріалу.** З метою забезпечення значної продуктивності транспортно-технологічного процесу транспортування та змішування сипких матеріалів при отриманні високої якості змішування було розроблено, запатентовано і досліджено конструкцію гвинтового конвеєра-змішувача з обертovими кожухом [20-23] (рис. 1). На відміну від існуючих конструкцій шнекових змішувачів, де високу якість змішування можна отримати або за рахунок значної довжини змішування [1], або за рахунок циклічності режиму роботи, що не забезпечує переміщення матеріалів [1], розроблена оригінальна конструкція гвинтового конвеєра-змішувача з обертovими кожухом [23] дозволяє при відносно невисокій довжині переміщення суміші добиватися, за рахунок необхідного тертя шнека з матеріалом та кожухом, необхідної кількості перелопачувань і високої якості змішування.

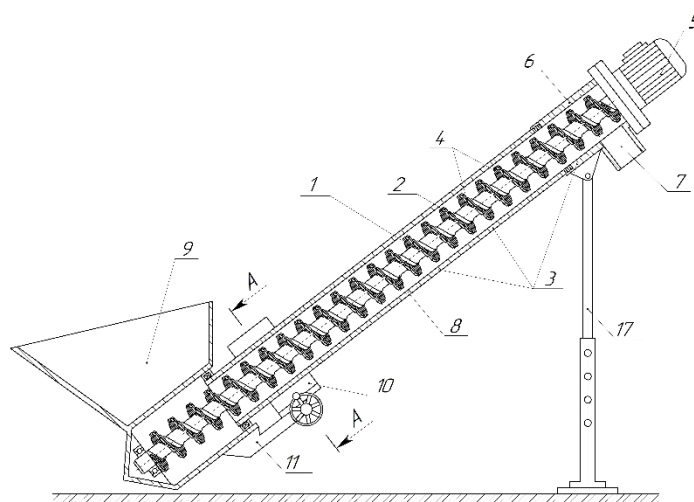


Рисунок 1 - Конструктивна схема конвеєра-змішувача з обертovим кожухом:  
 1 – вал; 2 – шнек; 3 - кожух; 4 – спіраль; 5 – двигун; 6 - нерухома частина кожуха 3;  
 7 - вивантажувальний патрубок; 8 - рухома частина кожуха 3; 9 – бункер; 10 - механізм  
 пригальмовування рухомої частини 8 кожуха 3; 11 – кронштейн

*Джерело: розроблено авторами*

Тому, якщо порівнювати з точки зору техніко-економічної ефективності розроблену і досліджену конструкцію гвинтового конвеєра-змішувача з обертovими

кожухом [20-25] з існуючими варіантами гвинтових змішувачів, то можна зробити висновок, що для досягнення високої якості змішування суміші в діючих варіантах:

- жорстких гвинтових конвеєрів-змішувачів [1] існують підвищені витрати на їх виготовлення, пов'язані із значною матеріаломісткістю за рахунок значної довжини їх робочої частини, та підвищені витрати на електроенергію, враховуючи значну довжину траси перелопачування суміші від завантажувального бункера до вивантажувального вікна;

- шнекових змішувачів з пересипанням [1] існують підвищені експлуатаційні витрати, враховуючи значну кількість циклів для перелопачування суміші, а також часто неможливість переміщення суміші в потрібному напрямку і потребу у додатковому транспортері.

Відтак, проведемо порівняльний розрахунок витрат на використання жорсткого гвинтового конвеєра-змішувача [1], шнекового змішувача з пересипанням [1] і гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом [20-23] із розрахунку забезпечення ідентичної продуктивності та якості змішаної суміші.

Якщо конструкції жорстких гвинтових конвеєрів-змішувачів [1] і шнекових змішувачів з пересипанням [1] широковідомі, то гвинтові конвеєри-змішувачі з обертовим кожухом [20-25] лише досліджуються. Тому розглянемо їх детальніше. Так, на рис. 1 зображено конструктивну схему гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом (пат. України № 154380 [23]), а на рис. 2 загальний вигляд стенду [21, 22] для дослідження ефективності змішування гвинтовими конвеєрами-змішувачами з обертовим кожухом, який виготовлено на базі патенту України № 154996 [24].



Рисунок 2 - Загальний вигляд стенду гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом (проведення експерименту)

*Джерело: розроблено авторами*

При виконанні процесів транспортування і змішування гвинтовими конвеєрами-змішувачами з обертовими кожухами матеріали для змішування з бункера потрапляють у зону транспортування і змішування до кожуха, по якому шнеком змішуючись переміщуються у зону вивантаження, де через вивантажувальний патрубок потрапляють назовню. При їх переміщенні зрушування суміші відбувається з відповідним тертям шнека з матеріалом та кожухом, що сприяє зрушуванню кожуха в

обертовий рух і збільшенню кількості перелопачувань суміші.

Виконаємо розрахунок і порівняння витрат на виготовлення та експлуатацію розробленого гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом [23] з існуючими моделями транспортно-технологічних гвинтових конвеєрів-змішувачів [1] та шнекових змішувачів з циклічним циклом роботи [1], при умові досягнення ними відповідної неоднорідності суміші за використання стандартних суцільних спіралей однакового типорозміру.

В результаті проведених експериментальних досліджень розробленого гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом з робочою довжиною зони змішування і переміщення суміші 1,7 м і діаметром шнека 96 мм було встановлено [22], що найнижче значення коефіцієнта неоднорідності при змішуванні трьохкомпонентної суміші сільськогосподарських матеріалів становило 7,32 % (при частоті обертання шнека 250 об/хв. і кожуха 100 об/хв.), а при змішуванні двохкомпонентної суміші становило 6,4 % (при частоті обертання шнека 250 об/хв. і кожуха 100 об/хв.).

Конструктивні параметри інших гвинтових змішувачів для отримання ідентичної неоднорідності сумішей можна встановити лише наближено. Так, в роботі [1] було встановлено, що неоднорідність двохкомпонентної суміші сільськогосподарських матеріалів отримана з допомогою жорсткого гвинтового транспортера-змішувача з робочою довжиною зони змішування і переміщення суміші – 1,97 м (рис. 3 а), коливається в межах 10,5 ... 15,1 % в залежності від частоти обертання шнека в межах 56,8 ... 227,2 об/хв. Тому, для досягнення якості суміші аналогічної, до якості отриманої в результаті її змішування гвинтовим конвеєром-змішувачем з обертовим кожухом, процес її перелопачування повинен бути мінімум в тричі тривалішим, що відповідно відобразиться у габаритних розмірах (робочій довжині зони змішування і переміщення суміші) жорсткого гвинтового транспортера-змішувача.

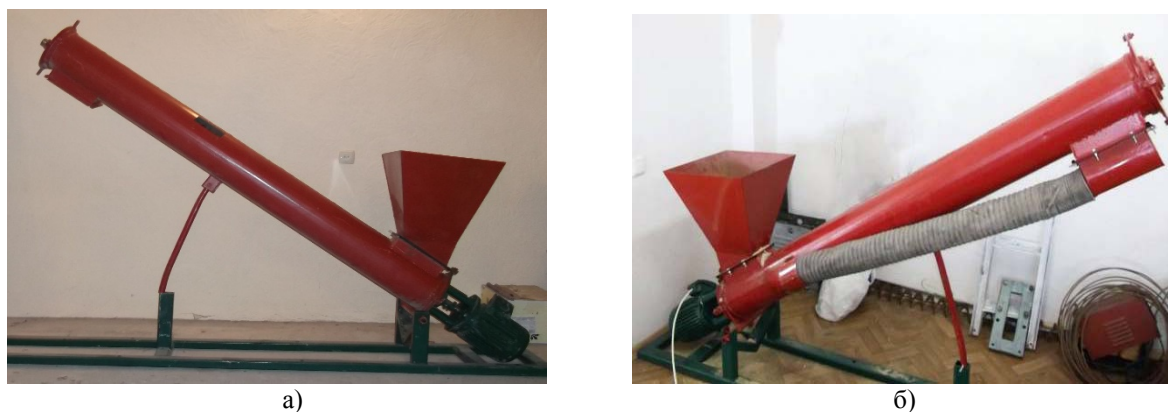


Рисунок 3 - Загальний вигляд гвинтових змішувачів: а) жорсткий транспортер-змішувач; б) змішувач з пересипом

Джерело: на підставі [1]

Також в роботі [1] було встановлено, що найнижча неоднорідність двохкомпонентної суміші сільськогосподарських матеріалів отримана з допомогою гвинтового змішувача з пересипом з робочою довжиною зони змішування і переміщення суміші – 1,97 м; кутом нахилу змішувача -  $36^\circ$  (рис. 3 б), при її змішуванні протягом 60 с становила 9,2 при 227,2 об/хв. обертання шнека, що є значно вищим за неоднорідність двохкомпонентної суміші отриманої при проведенні експериментальних досліджень гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом. Для покращення результату і наближення до якості суміші, отриманої в результаті її змішування

гвинтовим конвеєром-змішувачем з обертовим кожухом, тривалість процесу змішування у гвинтовому змішувачі з пересипом повинна складати до 300 с.

При виборі гвинтових змішувачів слід враховані окремі фактори, які впливають на ефективність їх роботи, до яких доцільно віднести:

- витрати на застосування, які включають собівартість виготовлення або ціну, витрати на експлуатацію та витрати на технічний огляд і ремонт;
- якість виконання процесу змішування;
- продуктивність виконання операції змішування;
- необхідність у додатковому засобі для переміщення змішаних матеріалів (для гвинтових змішувачів з пересипом).

Провівши порівняльний аналіз щодо отримання приблизно однакової якості змішування різними гвинтовими засобами, було встановлено їх основні конструктивно-технологічні параметри, які відображено в таблиці 1. При цьому потужність приводу для усіх представлених типів гвинтових змішувачів становить 2,2 кВт, а частота обертання приводу - 1500 об/хв., що дозволить з допомогою пасової передачі та шківів відповідних діаметрів отримати вихідну частоту обертання шнека 250 об/хв.

Таблиця 1 - Основні конструктивно-технологічні параметри гвинтових змішувачів з умови отримання певної якості змішування

№	Тип гвинтового змішувача	Час виконання процесу, с	Робоча (загальна) довжина шнека, м	Частота обертання шнека, об/хв.	Частота обертання кожуха, об/хв.	Кут нахилу шнека, град.	Зовнішній діаметр шнека, мм
1	Змішувач з обертовим кожухом	92	1,7 (2,2)	250	100	30	96
2	Жорсткий транспортер-змішувач	250	6 (6)	250	-	30	96
3	Змішувач з пересипом	300	2 (2)	250	-	30	96

Джерело: розроблено авторами

Проведено укрупнений економічний підрахунок собівартості виготовлення, експлуатаційних витрат та витрат на технічний огляд і ремонт окремих гвинтових змішувачів за умови досягнення ними однакової якості змішування з використанням даних таблиці 1, результати якого відображено в таблиці 2. При проведенні розрахунків було використано методика, викладену в [26], а також прийнято вартість матеріалів з прайс-листа ПМП «Рост» на 24.01.2025 р.; годинну тарифну ставку для робітника 1-го розряду (01.01.2025 р.) - 48 грн.; тарифні коефіцієнти для робітників: для другого розряду - 1,09, для третього розряду - 1,24, для четвертого розряду - 1,35, для п'ятого розряду - 1,54; вартість електроенергії (01.01.2025 р.) - 2256,66 грн. за 1 МВт-год. без ПДВ (тариф на розподіл електроенергії «Укренерго» для непобутових споживачів в Тернопільській обл.) і 686,23 грн. за 1 МВт-год. без ПДВ (тариф на передачу електроенергії «Укренерго» для непобутових споживачів); термін роботи - 5 років; тривалість роботи на добу – 1 год. (враховуючи те, що гвинтові змішувачі даного типу в основному призначені для малих і середніх сільськогосподарських господарств); кількість робочих днів в році – 251, з них експлуатації – 240 днів.

При проведенні економічного підрахунку собівартості виготовлення враховувались додаткові витрати на виготовлення механізму пригальмовування рухомої частини кожуха та його кріплення (поз. 8 і 11 з рис. 1), а також на

виготовлення механізму пересипу у гвинтовому змішувачі з пересипом.

При розрахунку експлуатаційних витрат приймалось, що при роботі гвинтового змішувача буде залучений один працівник 1-го розряду. Також враховувались додаткові непродуктивні витрати на обертання кожуха у розмірі 10 % [25] від використовуваної потужності електродвигуна (0,16 % використовувана потужність електродвигуна шнека стенда гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом (рис. 2) при швидкості його обертання 250 об/хв. від зазначеної потужності приводу 2,2 кВт [27]), а для жорсткого транспортера-змішувача вони становили 0,52 % від зазначеної потужності приводу 2,2 кВт, за рахунок значної довжини кожуха.

Таблиця 2 – Укрупнені витрати на застосування гвинтових змішувачів з умови досягнення ними однакової якості змішування

№	Тип гвинтового змішувача	Собівартість виготовлення, тис. грн	Річні витрати на експлуатацію (з/п + ел. ен.), тис. грн	Річні витрати на технічний огляд і ремонт, тис. грн
1	Змішувач з обертовим кожухом	25,0	11,79	1,61
2	Жорсткий транспортер-змішувач	29,0	12,27	1,86
3	Змішувач з пересипом	24,0	11,77	1,54

Джерело: розроблено авторами

В табл. 3 наведено укрупнені витрати на змішування 1 тонни суміші при застосуванні наведених типів гвинтових змішувачів. Для визначення продуктивності процесу враховувались результати попередніх досліджень, викладених у працях [1-4, 6, 10, 22]. Так, середня продуктивність гвинтового змішувача з обертовим кожухом і жорсткого транспортера-змішувача становить 3,5 т/год. при зазначених конструктивно-технологічних параметрах (табл. 1), а гвинтового змішувача з пересипом – 0,97 т/год. (з врахуванням часу на розвантаження після кожного циклу).

Таблиця 3 – Укрупнені витрати на змішування 1 тонни суміші при застосуванні гвинтових змішувачів

№	Тип гвинтового змішувача	Витрати на виготовлення, грн	Витрати на експлуатацію, грн	Витрати на технічний огляд і ремонт, грн	Разом витрат, грн
1	Змішувач з обертовим кожухом	5,95	14,04	1,92	21,91
2	Жорсткий транспортер-змішувач	6,91	14,68	2,21	23,8
3	Змішувач з пересипом	19,4	49,04	6,22	74,66

Джерело: розроблено авторами

Можна зробити висновок, що найнижчі витрати на змішування при застосуванні гвинтових змішувачів належать гвинтовому змішувачу з обертовим кожухом.

При виборі гвинтових змішувачів слід враховувати фактори, зазначені вище. У нашому випадку можна скористатись формулою вибору [20], яка включатиме сукупні витрати на змішування 1 тонни суміші при досягненні однакової якості змішування аналізованого і базового представника гвинтового змішувача (у якості базового

представника приймемо гвинтовий жорсткий транспортер-змішувач) та кількості функціональних характеристик аналізованого і базового представника гвинтового змішувача (до них віднесемо дві функціональні характеристики: змішування і переміщення):

$$A_{ГЗ} = \frac{\frac{3B_m}{3B_n} \cdot k_{ваз1} + \frac{N_{нк}}{N_{бн}} \cdot k_{ваз2}}{k_{ваз1} + k_{ваз2}}, \quad (1)$$

де  $3B_m$  і  $3B_n$  – відповідно загальна вартість базового і аналізованого представника гвинтового змішувача (включає витрати на виготовлення чи купівлю, експлуатаційні витрати та витрати на обслуговування і ремонт), грн.;  $k_{ваз1}$ ,  $k_{ваз2}$  – відповідно ваги показників загальної вартості та кількості функціональних характеристик, які враховують їх важливість і пріоритетність ( $k_{ваз} = 0,01 \dots 1$ ).

Результати розрахунку ефективності наведених типів гвинтових змішувачів (при  $k_{ваз1} = 0,75$  і  $k_{ваз2} = 0,25$ ) наступні: гвинтовий змішувач з обертовим кожухом – 1,06; гвинтовий жорсткий транспортер-змішувач (базовий представник) – 1,0; гвинтовий змішувач з пересипом - 0,36.

Аналізуючи вище виконані розрахунки можна зробити наступний висновок, що гвинтовий змішувач з обертовим кожухом є найбільш ефективний і може забезпечувати отримання найнижчої неоднорідності суміші за найнижчих витрат. Витрати на змішування суміші при його застосуванні є в 1,09 рази нижчими, ніж при її змішуванні гвинтовим жорстким транспортером-змішувачем і в 3,41 рази нижчими, ніж при її змішуванні гвинтовим змішувачем з пересипом.

### Висновки.

1. Гвинтові змішувачі з обертовим кожухом є найбільш ефективними засобами з гвинтовими елементами для змішування і можуть забезпечувати отримання найнижчої неоднорідності суміші за найнижчих витрат порівняно з іншими типовими представниками. Витрати на змішування суміші при його застосуванні є в 1,09 рази нижчими, ніж при її змішуванні гвинтовим жорстким транспортером-змішувачем і в 3,41 рази нижчими, ніж при її змішуванні гвинтовим змішувачем з пересипом. Встановлено, що укрупнені витрати на змішування 1 тонни суміші при застосуванні гвинтовим змішувачем з обертовим кожухом становлять 21,91 грн., гвинтовим жорстким транспортером-змішувачем – 23,8 грн., а гвинтовим змішувачем з пересипом - 74,66 грн.

2. Для досягнення якості суміші гвинтовим жорстким транспортером-змішувачем аналогічної, до якості отриманої в результаті її змішування гвинтовим конвеєром-змішувачем з обертовим кожухом, процес її перелопачування повинен бути мінімум в тричі тривалішим, що відповідно відображається у його габаритних розмірах (робочій довжині зони змішування і переміщення суміші). При використанні шнекових змішувачів з пересипом існують підвищені витрати на експлуатацію, враховуючи значну кількість циклів для перелопачування суміші, а також часто є неможливим переміщення суміші в потрібному напрямку і потреба у додатковому транспортері.

### Список літератури

1. 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.
2. Рогатинський Р., Гевко І., Дячун А., Рогатинська О., Мельничук А. The cargo movement model by the screw conveyor surfaces with the rotating casing. *Вісник ТНТУ*, Тернопіль, 2018. № 4 (92), С. 34-41.
3. Р. Рогатинський, І. Гевко, Л. Рогатинська. Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем. *Вісник ТНТУ*. 2013. № 1 (69). С. 116–125.

4. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дячун А.С., Любачівський Р.О., Грудовий Р.С. Визначення динамічних навантажень у гвинтових змішувачах. *Міжвузівський збірник "Наукові нотатки"*. Вип. 40. Луцьк. Ред.-вид. відділ ЛТНУ. 2013. С. 214-220.
5. R.M. Rogatynskyy, Iv.B. Nevko, A.Ye. Dyachun. Research of torsional vibrations of screw in the case of action of impulsive forces. *Scientific Bulletin of the National Mining University.*] - Dnipropetrovsk: NSU, 2015. № 5 (149). P. 64-68.
6. Roman Rogatinskiy, Ivan Nevko, Andriy Dyachun, Olena Skyba, Andrii Melnychuk. Feasibility study of improving the transport performance by means of screw conveyors with rotary casings. *Acta Technologica Agriculturae*. Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2019. № 4, P. 140-145.
7. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дмитрів Д.В. Моделювання роботи малогабаритного лопатево-гвинтового змішувача. *Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей*. Випуск 6. Луцьк, 2000. С. 129-135.
8. Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Дмитрів Д.В., Гудь В.З., Дмитрів О.Р. Моделювання змішування компонентів гвинтовими конвеєрами-змішувачами. *Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей*. Випуск 45. Луцьк, 2020. С. 84-93.
9. 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. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 212 с.
10. Гудь В. З. Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами. *Журнал «Інженерія природокористування»*. Харків, 2020. Випуск № 1(15). С. 66-71.
11. Гудь В.З. Механіко-технологічні основи розробки багатофункціональних секційних шнеків для зернового матеріалу: дис. докт. техн. наук : 05.05.11. Тернопіль, 2021. 410 с.
12. Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Пік А.І., Марчук Н.М., Маруніч О.П. Синтез гвинтових транспортерів-змішувачів. *Сільськогосподарські машини*. Випуск 45. Луцьк, 2020. С. 35-44.
13. Дмитрів Д.В., Гевко І.Б., Левенець В.Б. Надійність роботи шнеково-гвинтових змішувачів. *Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей*, Випуск 16. Луцьк, 2007, с. 62-74.
14. Дмитрів Д. В. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів малогабаритних кормозмішувачів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Тернопіль, 2001. 179 с.
15. Гурик О. Я. Обґрунтування параметрів транспортерів-змішувачів сипких матеріалів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Тернопіль, 2003. 20 с.
16. Гевко І.Б., Вітровий А.О., Гурик О.Я. Динамічна модель процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром. *Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей*. Випуск 8.- Луцьк, 2001. Ст. 72-82.
17. Гевко І.Б., Гурик О.Я., Левенець В.Б. Дослідження процесу змішування сипких матеріалів // *Науковий вісник Національного аграрного університету*. Вип.60. К.: НАУ, 2003. С. 155 -161.
18. Лещук Р., Гевко І., Комар Р. Результати експериментальних досліджень гвинтових перевантажувальних механізмів. *Вісник ТДТУ*, Тернопіль, 2003, Том 8, № 4 , с.56-61.
19. Маруніч О.П. Обґрунтування параметрів багатофункціонального гвинтового конвеєра для транспортування та змішування сипких матеріалів: дис. ... канд. техн. наук : 133 «Галузеве машинобудування». Тернопіль, 2023. 222 с.
20. Коваль С.О. Синтез гвинтових конвеєрів-змішувачів з обертовим кожухом. *Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий вісник»*. Кропивницький, 2023. Випуск №8(39) І. С. 85-94.
21. Дячун А.Є., Дмитрів О.Р., Гевко Б.Р., Коваль С.О., Цапик Р.П. Експериментальна установка гвинтового конвеєра з обертовим кожухом для змішування сипких матеріалів // *Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади»*. Луцьк: ЛТНУ. 2024. Випуск 24. С. 38-44.
22. Дячун А.Є., Гевко І.Б., Золотий Р.З., Коваль С.О., Дериш О.Б., Брикса А.О. Результати експериментальних досліджень якості змішування сипких матеріалів автоматизованою установкою гвинтового конвеєра з обертовим кожухом. *Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий вісник»*. Кропивницький, 2024. Випуск №10(41) І. С. 133-143.
23. Гвинтовий конвеєр-змішувач з обертовим кожухом : пат. № 154380 Україна. № u202302288 ; заявл. 15.05.2023р.; опубл. 09.11.2023р., Бюл.№45.
24. Стенд для дослідження характеристик гвинтового конвеєра-змішувача з обертовим кожухом : пат. № 154996. Україна. № u202302289 ; заявл. 15.05.2023р.; опубл. 10.01.2024р., Бюл.№2.
25. Ivan Nevko, Andriy Diachun, Olena Dmytriv, Sergii Koval, Pavlo Leskiv, Roman Okhniivskiy. Research of horizontal screw conveyors-mixers with rotating casing. *Scientific Journal of TNTU*. Tern.: TNTU, 2024. Vol115. No 3. P. 130–141.
26. Гевко І. Б. Економічне обґрунтування вибору транспортерів для перевантаження сипких вантажів по криволінійних траєкторіях. *Галицький економічний вісник* Тернопіль : ТНТУ, 2014. Том 45. № 2. С. 10-16.



27. І. Гевко, А. Дячун, О. Скиба, А. Мельничук, Р. Золотий, І. Шуст Техніко-економічне обґрунтування підвищення продуктивності транспортно-технологічних процесів за допомогою гвинтових конвеєрів з обертовими кожухами. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. «Технічні науки». «Механізація сільськогосподарського виробництва». 2018. Вип. 190, С. 318–326.

## References

1. Rohatynskiy, R. M., Hevko, I. B., & Diachun, A. I. (2014). Naukovo-prikladni osnovi stvorennya gvyntovykh transportno-tekhnologichnykh mekhanizmiv [Scientific and applied foundations of the creation of screw transport and technological mechanisms]. Ternopil: TNTU imeni Ivana Pulyuya. [in Ukrainian.]
2. Rogatynskiy, R., Hevko, I., Diachun, A., Rogatynska, O., & Melnychuk, A. (2018). The cargo movement model by the screw conveyor surfaces with the rotating casing. *Visnyk Ternopil'skoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, (4), 34-41. [in Ukrainian]
3. Rohatynskiy, R., Hevko, I., & Rohatynska, L. (2013). Optymizatsiia parametriv hvyntovykh transportnotekhnologichnykh system [Optimization of the parameters of screw transport and technological systems]. *Visnyk TNTU*, 1(69), 123-230. [in Ukrainian]
4. Rohatynskiy, R. M., Hevko, I. B., Diachun, A. Ye., Liubachivskiy, R. O., & Hrudoviy, R. S. (2013). Vyznachennia dynamichnykh navantazhen u hvyntovykh zmishuvachakh. *Naukovi notatky*, (40), 214-220. [in Ukrainian].
5. Rohatynskiy, R. M., Hevko, I. B., & Diachun, A. Ye. (2015). The research of the torsional vibrations of the screw in terms of impulsive forces. *Naukovyi visnyk NHU*, (5 (149)), 64-68.
6. Rohatynskiy, R., Gevko, I., Diachun, A., Lyashuk, O., Skyba, O., & Melnychuk, A. (2019). Feasibility study of improving the transport performance by means of screw conveyors with rotary casings. *Acta Technologica Agriculturae*, 22(4), 140-145.
7. Rohatynskiy, R. M., Hevko, I. B., & Dmytriv, D. V. (2000). Modeliuvannia roboty malohabarytnoho lopatevohvyntovoho zmishuvacha. *Silskohospodarski mashyny: zb. nauk. statei*. Lutsk, 129-135. [in Ukrainian].
8. Rohatynskiy, R. M., Hevko, I. B., Dmytriv, D. V., Hud, V. Z., & Dmytriv, O. R. (2020). Modeliuvannia zmishuvannia komponentiv hvyntovymy konveieramy-zmishuvachamy. *Silskohospodarski mashyny: zb. nauk. statei*, (45), 84-93. [in Ukrainian].
9. Rohatynskiy R. M. Prospective screw conveyors: designs, calculation, research / R. Rohatynskiy, M., Gevko I. B., Lyashuk O. L., Gud V. Z., Dyachun A. E., Melnychuk A. L., & Slobodian L. M. Ternopil: FOP Palyanytsia V. A., 2019. 212 p. [in Ukrainian]
10. Hud, V. Z. (2020). Syntez zmishuvachiv z hvyntovymy robochymy orhanamy. *Naukovyi zhurnal «Inzheneriia pryrodokorystuvannia»*, (1 (15)), 66-71. [in Ukrainian]
11. Hud, V. Z. (2021). Mekhaniko-tekhnologichni osnovy rozrobky bahatofunktsionalnykh sektsiinykh shnekiv dlia zernovoho materialu. [in Ukrainian].
12. Hevko, I. B., Liashuk, O. L., Pik, A. I., Marchuk, N. M., & Marunych, O. P. (2020). Syntez hvyntovykh transporteriv-zmishuvachiv. *Silskohospodarski mashyny*, (45), 34-44. [in Ukrainian]
13. Dmytriv, D. V., Hevko, I. B., & Levenets, V. B. (2007). Nadiinist roboty shnekovo-hvyntovykh zmishuvachi. [in Ukrainian].
14. Dmytriv, D. V. (2001). Rozrobka konstruksii ta obgruntuvannia parametriv malohabarytnykh kormozmishuvachiv (Doctoral dissertation, stupenia kand. tekhn. nauk./DV Dmytriv.–Ternopil, 2001.–20 s). [in Ukrainian].
15. Huryk, O. Ya. (2003). Obgruntuvannia parametriv transporteriv-zmishuvachiv sypkykh materialiv. Dysertatsiia kandydata tekhnichnykh nauk. Ternopil. [in Ukrainian].
16. Hevko, I. B., Vitrovyi, A. O., & Huryk, O. Ya. (2001). Dynamichna model protsesu transportuvannia sypkykh materialiv hvyntovym konveierom. *Silskohospodarski mashyny. Zbirnyk naukovykh statei*. 2001. Vyp. 8, 72-82. [in Ukrainian].
17. Hevko, I. B., Huryk, O. Ya., & Levenets, V. B. (2003). Doslidzhennia protsesu zmishuvannia sypkykh materialiv. [in Ukrainian].
18. Leshchuk, R., Hevko, I., & Komar, R. (2003). Rezultaty eksperymentalnykh doslidzen hvyntovykh perevantazhuvalnykh mekhanizmiv. *Visnyk TDTU*, 8(4), 56-61. [in Ukrainian].
19. Marunych, O.P. (2023). Justification of the parameters of the multifunctional screw conveyor for transporting and mixing loose materials: diss. ... candidate technical Sciences: 133 "Industrial mechanical engineering". Ternopil, 222 p. [in Ukrainian].
20. Koval, S.O. (2023). Synthesis of screw conveyors-mixers with a rotating casing. *Collection of scientific papers "Central Ukrainian scientific bulletin"*. Kropyvnytskyi. Issue #8(39) I. WITH. 85-94. [in Ukrainian]
21. Diachun, A. Ye., Dmytriv, O. R., Hevko, B. R., Koval, S. O., & Tsapyk, R. P. (2024). Eksperymentalna avtomatyzovana ustanovka hvyntovoho konveiera z obertovym kozhukhom dlia zmishuvannia sypkykh materialiv. *Perspektyvni tekhnologii ta pryklady*, 1(24), 38-44. [in Ukrainian].

22. Dyachun A.E., Gevko I.B., Zoloty R.Z., Koval C.O., Derysh O.B., & Briksa A.O. (2024). Results of experimental studies of the quality of mixing of loose materials by an automated installation of a screw conveyor with a rotating casing. *Collection of scientific papers "Central Ukrainian scientific bulletin"*. Kropyvnytskyi, Issue #10(41) I. WITH. 133-143. [in Ukrainian].
23. Utility model patent No. 154380. Ukraine, IPC 65G 33/08 (2006.01). Screw conveyor-mixer with a rotating casing / Iv.B. Gevko, S.O. Koval, A.E. Dyachun, B.R. Gevko, T.A. Dovbush, A.D. Dovbush, I.G. Tkachenko, Radik D.L., Stibailo O.Yu., Briksa A.O. (Ukraine). No. u202302288. Application 05/15/2023; Publ. 09.11.2023, Bull. No. 45. [in Ukrainian].
24. Utility model patent No. 154996. Ukraine, IPC 65G 33/08 (2006.01). Stand for studying the characteristics of a screw conveyor-mixer with a rotating casing / Iv.B. Gevko, S.O. Koval, A.E. Dyachun, B.R. Gevko, T.A. Dovbush, A.D. Dovbush, Dmytriv O. R., Sokil M.B., Briksa A.O. (Ukraine). No. u202302289. Application 05/15/2023; Publ. 10.01.2024, Bull. No. 2 [in Ukrainian].
25. Gevko, I., Diachun, A., Dmytriv, O., Koval, S., Leskiv, P., & Okhnyvskyi, R. (2024). Research of horizontal screw conveyors-mixers with rotating casing. *Visnyk Ternopilskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 115(3), 130-141.
26. Gevko, I. (2014). Ekonomichne obgruntuvannya vyboru transporteriv dlia perevantazhennia sypkykh vantazhiv po kryvoliniinykh traiektoriiah [in Ukrainian].
27. Hevko, I. B., Diachun, A. Ye., Melnychuk, A. L., Zoloty, R. Z., & Shust, I. M. (2018). Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannya pidvyshchennia produktyvnosti transportno-tekhnolohichnykh protsesiv za dopomohoiu hvyntovykh konveieriv z obertovymy kozhukhamy [in Ukrainian].

**Ivan Hevko**, Prof., DSc., **Andrii Gupka**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Serhiy Koval**, **Andriy Briksa**, **Volodymyr Buchynsky**

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

### **Technical and Economic Substantiation of the Effectiveness of the Use Of Screw Mixers**

Screw transport and technological mechanisms have gained the greatest use as conveyors and mixers of materials. This combination of processes allows for the use of one mechanism instead of two. However, the intensity of mixing in such tools is not always high. Therefore, often, in order to obtain the required quality, a significant number of shoveling of the mixture is required, which requires either an increase in the length of the technical means, or ensuring the cyclical operation of it. Therefore, the purpose of the work is to carry out a technical and economic substantiation of the feasibility of using screw conveyors-mixers with rotating casings.

An important task of their research was to find ways to ensure the quality of mixing of loose components due to the development and modernization of original designs of screw conveyors-mixers. In order to ensure significant productivity of the transport and technological process of transportation and the quality of mixing of loose materials, the design of a screw conveyor-mixer with a rotating casing was developed, patented and researched. In the existing designs of screw mixers, high quality mixing can be obtained either due to a significant length of mixing, or due to the cyclic mode of operation, which does not ensure the movement of materials. The developed design of the screw conveyor-mixer with a rotating casing allows for a short length of movement of the mixture, due to the necessary friction of the auger with the material and casing, to perform the required number of shoveling and ensure high quality of mixing.

In the article, calculations were made and the following conclusions were drawn:

1. Screw mixers with a rotating casing are the most cost-effective means with screw elements for mixing and can provide the lowest mixture heterogeneity at the lowest costs compared to other typical representatives. The cost of mixing 1 ton of mixture when it is used is 1.09 times lower than when it is mixed with a screw conveyor-mixer and 3.41 times lower than when it is mixed with a screw mixer with overflow. It was established that the aggregated costs of mixing 1 ton of the mixture when using a screw mixer with a rotating casing are UAH 21.91, a screw rigid conveyor-mixer is UAH 23.8, and a screw mixer with overflow is UAH 74.66.

2. Achieving the quality of the mixture with a screw rigid conveyor-mixer similar to the quality obtained as a result of its mixing with a screw conveyor-mixer with a rotating casing, the process of shoveling it should be at least three times longer, which is accordingly reflected in its overall dimensions (the working length of the mixing zone and movement of the mixture). When using screw mixers with overflow, there are increased costs of electricity, given the significant number of cycles for shoveling the mixture, and it is often impossible to move the mixture in the desired direction and the need for an additional conveyor.

**screw conveyor-mixer, rotary casing, performance, mixture heterogeneity, feasibility study**

*Одержано (Received) 20.02.2025*

*Прорецензовано (Reviewed) 27.02.2025*

*Прийнято до друку (Approved) 14.03.2025*