

УДК 621.86

© І.Б. Гевко, д.т.н., А.Є. Дячун, к.т.н., В.М. Клендій
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГВИНТОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ-ЗМІШУВАЧІВ

Проведено експериментальні дослідження гвинтових транспорткрів – змішувачів з видачею практичних рекомендацій виробництву.

ЗМІШУВАЧ, ТРАНСПОРТЕР, ГВИНТОВИЙ ТРАНСПОРТЕР, ДОСЛІДЖЕННЯ.

Постановка проблеми. Гвинтові транспортери–змішувачі – складова частина комплексної механізації і автоматизації виробництва від правильного вибору раціональних, конструктивних і силових параметрів залежить їх продуктивність, надійність, довговічність та якість виконання технологічного процесу транспортування і змішування. Гвинтові елементи отримали широке застосування у всіх галузях народного господарства в якості засобів механізації і автоматизації виробничих процесів. Сучасний розвиток усіх галузей народного господарства вимагає значного підвищення техніко- економічних параметрів засобів механізації і автоматизації багатофункціонального призначення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основи конструювання, проектування та дослідження гвинтових транспортерів-змішувачів заклали такі вчені: А. Віденбаум, Р. Мор, М. Данквертс, Д. Лейсі, Ю.І. Марков, А.М. Ластовцев, Г. Шенкель, В. Штербачек, Г.Г. Кошелев, Р.В. Торнер, М.В. Тебін, Д. Мак-Кельві, Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинський, та інші [1, 2, 3]. Незважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені розробленню і дослідженню гвинтових транспортерів, рівень технологічного устаткування для проведення експериментальних залишається недостатнім, а наукова база для їх

створення і дослідження не завжди відповідає сучасним вимогам.

Метою даної роботи є проведення експериментальних досліджень гвинтових транспорткрів – змішувачів з видачею практичних рекомендацій виробництву.

Результати дослідження. Для визначення впливу конструктивних параметрів (незалежних факторів x_i) на неоднорідність змішуваних сумішей ГЗ проведено ряд повнофакторних експериментів.

Програма експериментальних досліджень передбачала наступні етапи:

- розробку та виготовлення експериментального устаткування для дослідження процесів змішування з можливістю зміни параметрів виконуваного процесу;

- проведення досліджень якості процесів змішування сумішей гвинтовим транспортером-змішувачем оцінку впливу величини завантаження ГЗ, частоти обертання ГРО, величина зазору між валом та витком у стрічковому ГРО, часу виконання операції та профілю ГРО на неоднорідність отриманих сумішей.

Функцію відгуку (параметр оптимізації) приймали у вигляді апроксимуючої математичної моделі повного квадратного полінома [149], який описує реальний експериментальний процес:

$$\begin{aligned} \hat{O} = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + \\ & + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \end{aligned} \quad (1)$$

де Y – експериментальне значення; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ – коефіцієнти регресії відповідних значень вхідних факторів x_i ; x_1, x_2, x_3 – вхідні кодовані фактори.

Для забезпечення якісного процесу змішування декількох компонентів у шнекових змішувачах слід використовувати спеціальні стрічкові шнеки (рис. 1) з величиною зазору між валом та витком: $S = (3 \dots 5) \cdot d$ (де d – максимальний діаметр змішувальних зерен компоненту) і довжиною робочої частини L у межах: $(7 \dots 12) \cdot p$ (де p – крок ГРО).

Якість змішування компонентів суміші оцінюється за вмістом ключового компонента, а усю суміш умовно поділяють на два компоненти: ключовий і умовний, до якого входить решта компонентів. Найбільш вживаним критерієм оцінювання якості суміші є коефіцієнт неоднорідності, %:

$$V_C = \frac{100}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}, \quad (2)$$

де \bar{c} - середнє арифметичне значення концентрації головного компонента в усіх n пробах суміші, %; c_i - концентрація головного компонента в i -й пробі суміші, %.

За даними ефективність технологічного процесу змішування оцінюється наступним чином: «відмінно» - при $V_c < 3,0\%$; «добре» - при $3,0\% < V_c < 7,0\%$; «задовільно» - при $7,0\% < V_c < 15,0\%$; «незадовільно» - при $15,0\% < V_c$.

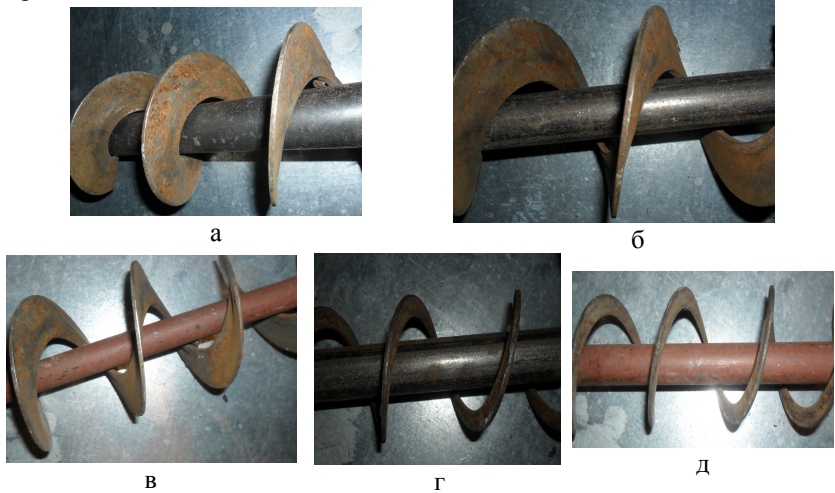


Рис. 1 – Стрічкові ГРО ГЗ з різною величиною щілини S : а - $S = 6$ мм; б - $S = 11$ мм; в - $S = 16$ мм; г - $S = 26$ мм; д - $S = 36$ мм

Використовуючи методику проведення досліджень на базі повнофакторного експерименту проведено ряд експериментальних досліджень, в яких визначали залежність якості змішування сипких матеріалів жорстким гвинтовим транспортером-змішувачем від коефіцієнта завантаження K_3 , частоти обертання ГРО n і величини зазору між валом і витком S при змішуванні зерна вика (ключовий компонент) та зерна вівса (умовний компонент) у співвідношенні 20% до 80%. Для проведення досліджень використовувався ГЗ, а в якості ГРО використовувались стрічкові змішувачі (рис. 1). Для кожного з незмінних факторів експеримент проводився не менше 3 разів, після чого визначалося середнє значення результату, яке використовувалось для подальшого статистичного оброблення його результатів.

Визначено невідомі коефіцієнти регресії квадратичного полінома за формулами і отримані значення коефіцієнтів регресії зведено в таблицю.

Таблиця – Значення коефіцієнтів регресії

Коефіц.	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
значення	12,799	0,84	1,28	-0,15	0,238	-0,037	0,037	-0,143	-0,143	0,006

Загальний вигляд рівняння регресії неоднорідності суміші залежно від коефіцієнта завантаження K_3 , частоти обертання ГРО n та величини зазору між валом і витком S при змішуванні зерна вики (ключовий компонент) та в зерна вівса (умовний компонент) у співвідношенні 20% до 80% у кодovаних величинах дорівнює:

$$V_{\tilde{n}(x_1, x_2, x_3)} = 12,799 + 0,84\tilde{q} + 1,28\tilde{q} - 0,15\tilde{x} + 0,238\tilde{q}\tilde{q} - 0,037x_1x_3 + 0,037x_2x_3 - 0,143\delta_1^2 - 0,143\delta_2^2 + 0,006x_3^2, \quad (3)$$

де x_1 - кодоване значення коефіцієнта завантаження; x_2 - частоти обертання ГРО; x_3 - величини зазору між валом і витком ГРО.

Відповідно, у натуральних величинах (координатах) рівняння регресії (3) після перетворення та спрощення виразів прийнято в кінцевому вигляді:

$$V_{c(K_3, n, S)} = 6,376 + 16,69 \cdot K_3 + 8,49 \cdot 10^{-3} n - 1,8 \cdot 10^{-2} S + 2,79 \cdot 10^{-2} K_3 n - 7,4 \cdot 10^{-2} K_3 S + 8,68 \cdot 10^{-5} nS - 14,3K_3^2 - 1,97 \cdot 10^{-5} n^2 + 2,4 \cdot 10^{-4} S^2. \quad (4)$$

Отримане рівняння регресії (3) та регресійна залежність (4) можуть бути використані для визначення неоднорідності суміші V_c жорстким гвинтовим транспортером-змішувачем залежно від коефіцієнта завантаження K_3 , частоти обертання ГРО n та величини зазору між валом і витком S при змішуванні зерна вики (ключовий компонент) та в зерна вівса (умовний компонент) у співвідношенні 20% до 80% у наступних межах зміни вхідних факторів:

$$0,3 \leq K_{зк} \leq 0,5; 56,8 \leq n \leq 227,2 \text{ (об/хв.)}; 6 \leq S \leq 16 \text{ (мм)}.$$

Для визначення впливу основних конструктивних параметрів жорсткого гвинтового транспортера-змішувача з стрічковим шнеком на якість змішування використовувалось програмне забезпечення “Statistica-6.0” для ПК, за допомогою якого було побудоване графічне відтворення проміжних загальних регресійних моделей у вигляді квадратичних поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів неоднорідності суміші V_c , як функції від двох змінних факторів за постійного незмінного рівня відповідного третього фактора (рис. 5). Аналіз наведених регресійних рівнянь показує, що основними факторами, які впливають на збільшення неоднорідності суміші, є фактори x_1 , x_2 , (K_3 , n) та комбінації цих факторів. Збільшення величини фактора x_3 (S) призводить до зниження неоднорідності суміші.

Вплив на неоднорідність суміші при її змішуванні гвинтовим транспортером-змішувачем з стрічковим шнеком (діаметр ГРО – 150 мм; довжина ГРО – 1,97 м; діаметр вала – 58 мм) основних його конструктивних параметрів відображено на рис. 2.

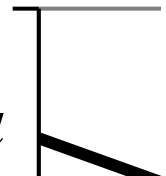
Рис. 2 – Вплив на неоднорідність суміші частоти обертання ГРО при: $K_3 = 0,3$: 1 – $S = 6$ мм; 2 – $S = 11$ мм; 3 – $S = 16$ мм; $K_3 = 0,4$: 4 – $S = 6$ мм; 5 – $S = 11$ мм; 6 – $S = 16$ мм; $K_3 = 0,5$: 7 – $S = 6$ мм; 8 – $S = 11$ мм; 9 – $S = 16$ мм

З проведених досліджень, а також представлених графічних залежностей (рис. 2) та рисунків, зображених на рис. 5, 6, 7, можна зробити висновок, що на збільшення неоднорідності суміші V_c при її змішуванні в жорсткому гвинтовому транспортері-змішувачі з стрічковим шнеком впливає збільшення частоти обертання ГРО n , зростання коефіцієнта завантаження K_3 , та зменшення величини зазору між валом і витком S . Неоднорідність суміші V_c для досліджуваних меж змінювалась від 10,5% (при $K_3 = 0,3$; $n = 56,8$ об/хв.; $S = 16$ мм) до 15,1% (при $K_3 = 0,5$; $n = 227,2$ об/хв.; $S = 6$ мм).

При виконанні експериментальних досліджень процесу транспортування-змішування з невисокими частотами обертання ГРО ($n = 56,8...227,2$ об/хв.) проводилось короткочасне різке збільшення частоти обертання (до $n = 340...500$ об/хв. на 1...3 секунди). При цьому неоднорідність суміші V_c зменшувалась в межах 0,3% до 1,2% (рис. 6.8), що підтверджує теоретичні дослідження, проведені у розділі 3.1, і свідчить про «розшарування» змішувальної суміші при зміні частоти обертання і короткочасній експлуатації ГРО в резонансній зоні.

Продуктивність жорсткого гвинтового транспортера-змішувача для величини зазору між валом і витком $S = 6$ мм практично не відрізнялась від продуктивності простого транспортера, але при подальшому зростанні величини зазору до $S = 16$ мм вона знижувалась приблизно на 10% [117]. Тому для уникнення зниження продуктивності величину щілини не слід вибирати більшою 3...5 зовнішніх діаметрів зерен компоненту максимального розміру [117].

На рис. 3 показано залежності обертального моменту від частоти обертання ГРО в жорсткому гвинтовому транспортері-змішувачі, з яких видно, що із збільшенням частоти обертання ГРО обертальний момент зменшується. Проте, при конструюванні жорстких гвинтових транспортерів-змішувачів слід пам'ятати, що при зростанні швидкості обертання робочих органів зростає неоднорідність суміші, тому проектування таких ГТТМ слід проводити з врахуванням необхідної якості змішування.

	<p>14</p> <p>$T, \text{Нм}$</p> 
<p>Рис. 3 – Вплив на неоднорідність суміші частоти обертання ГРО при її короткочасному збільшенні для $K_3 = 0,5$: 1 – $S = 6$ мм; 2 – $S = 11$ мм; 3 – $S = 16$ мм</p>	<p>Рис. 4 – Вплив на величину обертального моменту частоти обертання ГРО для: 1 – $K_3 = 0,3$; 2 – $K_3 = 0,4$; 3 – $K_3 = 0,5$</p>

Графоаналітичне оброблення результатів експериментальних досліджень якості змішування сипких матеріалів гвинтового транспортера-змішувача з стрічковим шнеком з використанням «Mathcad 2000 Professional»

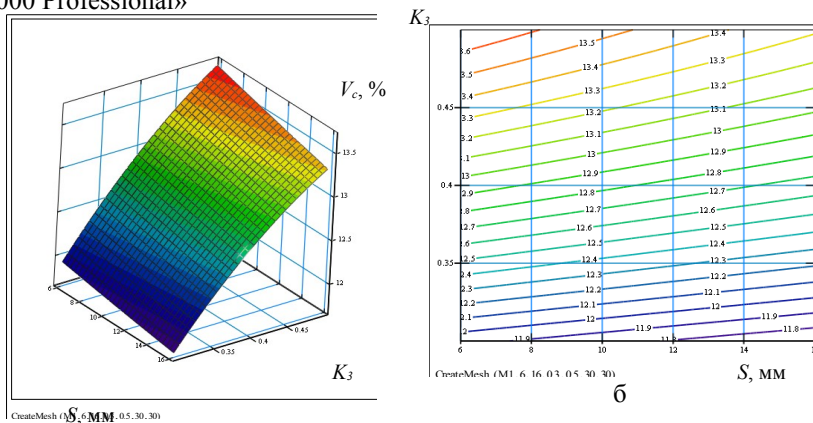


Рис. 5 – Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини неоднорідності змішування V_c від коефіцієнта завантаження K_3 та величини зазору S між валом та витком ($n = 142$ об/хв.)

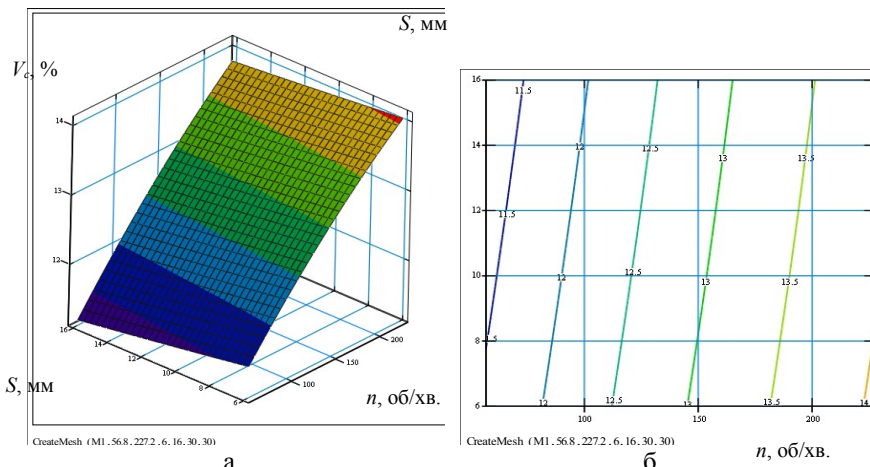


Рис. 6 – Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини неоднорідності змішування V_c від частоти обертання шнека n та величини зазору S між валом та витком ($K_3 = 0,4$)

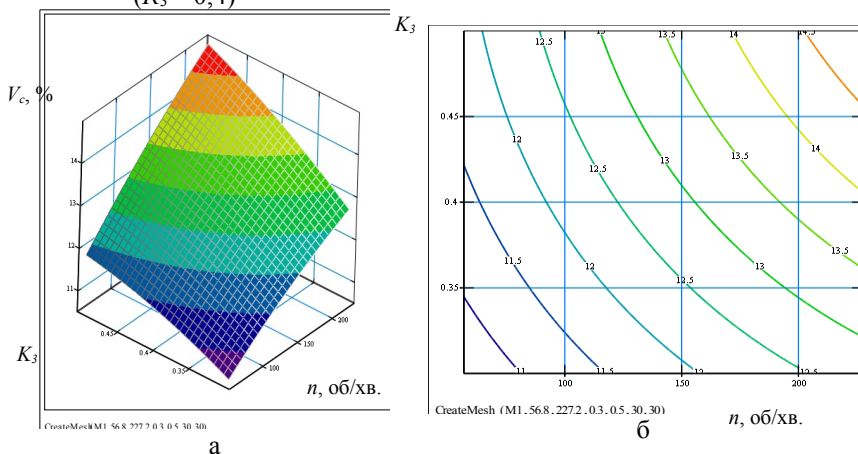


Рис. 7 – Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини неоднорідності змішування V_c від частоти обертання шнека n та коефіцієнта завантаження K_3 ($S = 11$ мм)

Висновки. За результатами експериментального дослідження жорсткого гвинтового транспортера-змішувача зі стрічковими ГРО встановлено, що найнижча неоднорідність суміші $V_c = 10,5\%$ досягається при коефіцієнті завантаження $K_{жк} = 0,3$, частоті обертання $n = 56,8$ об/хв та величині зазору між валом і витком $S = 16$ мм (діаметр ГРО

– 150 мм) і зростає при збільшенні частоти обертання, коефіцієнта завантаження та зменшенні величини зазору між валом і витком. При короткочасному (1–3 с) збільшенні частоти обертання до $n = 340 \dots 400$ об/хв неоднорідність суміші зменшується на 0,3 %–1,2 %, що підтверджує теоретичний висновок про розшарування змішувальної суміші й рекомендується використання такого режиму у виробничих умовах. Продуктивність процесу транспортування-змішування стрічковим ГРО при рекомендованому зазорі $S = 16$ мм (діаметр ГРО – 150 мм) становить 0,9 від продуктивності аналогічного гвинтового конвеєра.

Література

1. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры [Текст] / А.М. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
2. Гевко Б.М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин [Текст] / Б.М. Гевко, Р.М. Рогатинський. – Львов: Выща шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1989. – 256 с.
3. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів із сировиною сільськогосподарського виробництва: дис. ... док. техн. наук: 05.20.01, 05.05.05 / Рогатинський Роман Михайлович. – К., 1997. – 502 с.