

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НЕОДНОРІДНОСТІ ЗМІШУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ГВИНТОВИМ ГОФРОВАНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

Ляшук О. Л., к.т.н., доц.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

Приведено повний факторного експеримент ПФЕ 3^3 для якісного змішування однорідних сипких матеріалів за допомогою гвинтових транспортерів. Виведені рівняння регресійних залежностей неоднорідності сумішей від частота обертання гофрованого елемента, висоти гофри по середньому діаметрі і коефіцієнта заповнення.

Сучасний рівень розвитку усіх галузей народного господарства України вимагає значного підвищення техніко-економічних показників засобів механізації і автоматизації технологічних процесів, особливо підвищення їх вантажопідйомності і розширення технологічних можливостей. При дослідженні неоднорідності транспортування змішування сипких матеріалів гвинтовими конвеєрами (ГК) використовувались спеціальні стенди, прилади та інструменти для заміру конструктивних, кінематичних, силових і технологічних параметрів

Дослідженням конструктивних і технологічних параметрів транспортно-технологічних механізмів сипких матеріалів присвячені роботи : Зенкова Р.Л. [1], Макаров Ю. И. [2], Гевка І.Б. [3] та інших.

Для проведення експериментальних досліджень неоднорідності змішування сипких матеріалів використовували ГК з гофрованим робочим органом, загальний вигляд якого зображено на рис. 1. Він (рис.2) виконаний у вигляді рами 1, на якій жорстко встановлено кожух 2, електродвигун 3 із муфтою 4, вал 5, на якому закріплено гофрований робочий орган 6 (рис. 3).

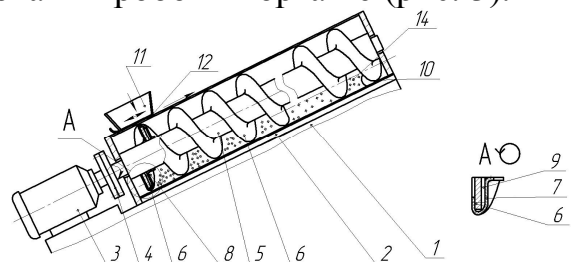
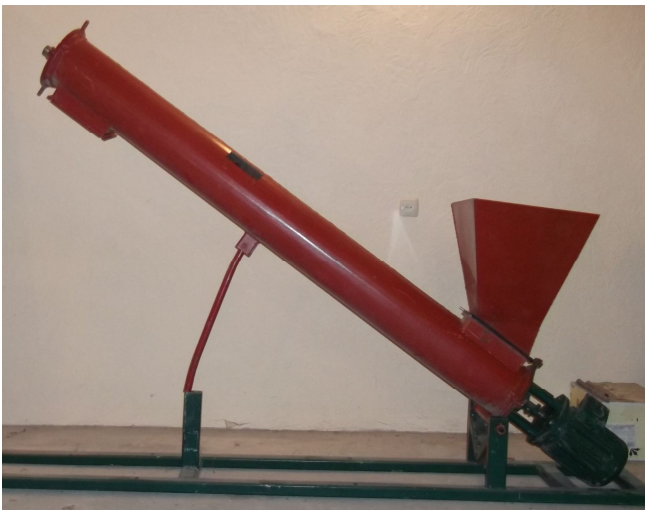


Рисунок 2 - Схема ГК



Гофрований ГРО має впадини гофр 7 та виступи 9. Зверху кожуха 2 у його нижній частині закріплено бункер 11 із шибром 12, через який подається транспортований матеріал 8, що переміщається у зону вивантаження 14, де і проходить його вихід через вивантажувальне вікно 10. Електродвигун 3 під'єднано через перетворювач частоти (ПЧ) до персонального комп'ютера (ПК), з якого можна забезпечувати його пуск при заданій частоті обертання.

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 [4]. Найбільш вживаним критерієм оцінювання якості суміші є коефіцієнт неоднорідності [4], %:

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

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 [8] ефективність технологічних процесів 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 $15,0\% < V_c$.

Повнофакторний експеримент проводили на трьох рівнях варіювання факторів. Після кодування вхідних факторів склали план-матрицю повного факторного експерименту типу ПФЕ 3^3 , що визначало для загального числа дослідів $N = m^k$, де m – кількість рівнів варіювання, k – кількість діючих вхідних факторів у експерименті.

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 1. При побудові даної таблиці у якості вхідних змінних факторів ПФЕ 3^3 прийнято:

- висота гофри по середньому діаметрі H , яку кодували індексом x_1 ;
- частота обертання гофрованого елемента n , яку кодували індексом x_2 ;
- коефіцієнт завантаження, який кодували індексом x_3 .

Таблиця 1 - Результати кодування факторів та рівні їх варіювання для проведення експериментальних досліджень змішування гофрованих ГРО

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	натур	код.				
висота гофри по середньому діаметрі H , мм	X_1	x_1	1,5	6/+1	4,5/0	3/-1
Частота обертання гофровано го елемента n , об/хв.	X_2	x_2	75	200/+1	125/0	50/-1

Коефіцієнт завантаження %	X_3	x_3	0,2	0,7/+1	0,5/0	0,3/-1
---------------------------	-------	-------	-----	--------	-------	--------

Функцію відгуку (параметр оптимізації), тобто неоднорідність змішування $V_c=f(H, n, K_3)$ визначені експериментальним шляхом, представлено у вигляді математичної моделі повного квадратичного полінома [4]:

$$V_{c(x_1, x_2, x_3)} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (2)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ - коефіцієнти відповідних значень x_1, x_2, x_3 - відповідні кодовані фактори.

Для нормалізування послідовності дій при проведенні експериментів і досягнення необхідної точності при одночасному варіюванні всіх факторів було використано математичний метод планування експериментальних досліджень.

Загальний вигляд рівняння регресії у кодованих величинах представлено у вигляді:

$$V_{c(x_1, x_2, x_3)} = 9,894 - 0,33x_1 - 1,25x_2 + 0,37x_3 + 0,088x_1x_2 + 0,012x_1x_3 - 0,187x_2x_3 + 0,016x_1^2 + 0,816x_2^2 + 0,016x_3^2 \quad (3)$$

Таблиця 2 - Значення коефіцієнтів рівнянь регресії

Коеф.	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
	9,894	-0,33	-1,25	0,37	0,088	0,012	-0,187	0,016	0,816	0,016

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

$$V_{c(H, n, K_3)} = 14,3 - 0,402 \cdot H - 5,022 \cdot 10^{-2}n + 2,828 \cdot K_3 + 7,822 \cdot 10^{-4}Hn + 4 \cdot 10^{-2}HK_3 - 1,247 \cdot 10^{-2}nK_3 + 7,111 \cdot 10^{-3}H^2 + 1,451 \cdot 10^{-4}n^2 + 0,4 \cdot K_3^2 \quad (4)$$

Отримане рівняння регресії (3) та регресійна залежність (4) можуть бути використані для визначення неоднорідності суміші V_c гвинтовим транспортером-змішувачем залежно від коефіцієнта завантаження K_3 , частоти обертання ГРО n та висота гофри по середньому діаметрі H , при змішуванні зерна вівса (ключовий компонент) та в зерна пшениці (умовний компонент) у співвідношенні 20% до 80%.

На рис. 4-6 представлені залежності впливу на неоднорідність суміші частоти обертання ГРО при виконанні процесу змішування гвинтовим гофрованим транспортером – змішувачем (концентрація ключового матеріалу 20%). В залежності від конструкції ГРО неоднорідність змішування відрізнялась. При змішуванні компонентів при використанні гофрованого ГРО є найменшою (9,2...9,5%) ніж з іншими гвинтовими робочими органами, що дозволяє його ефективно використовувати у якості змішувача в гнучких ГК.

Проте за даними [4] ефективність технологічного процесу змішування за використання ГРО у ГК слід оцінити як «задовільно».

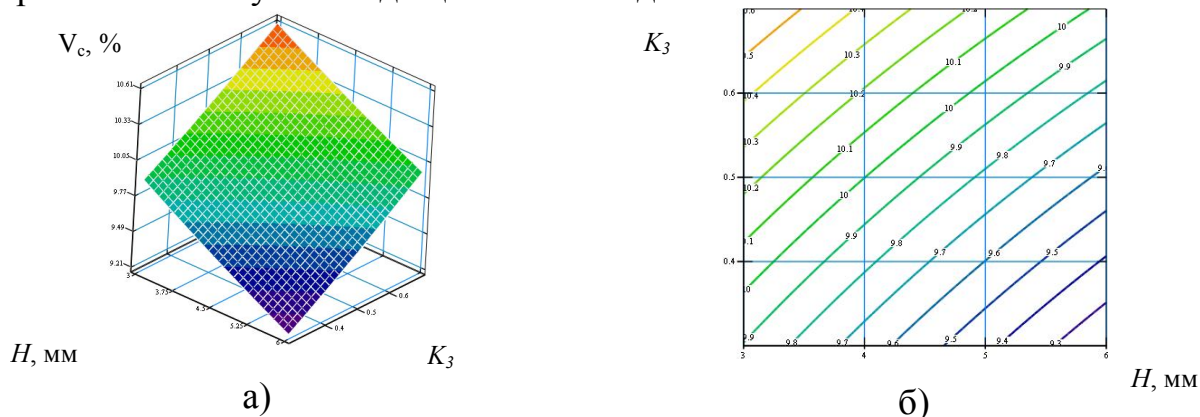


Рисунок 4 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини неоднорідності змішування від коефіцієнта завантаження та висоти гофр ($n=125$ об/хв)

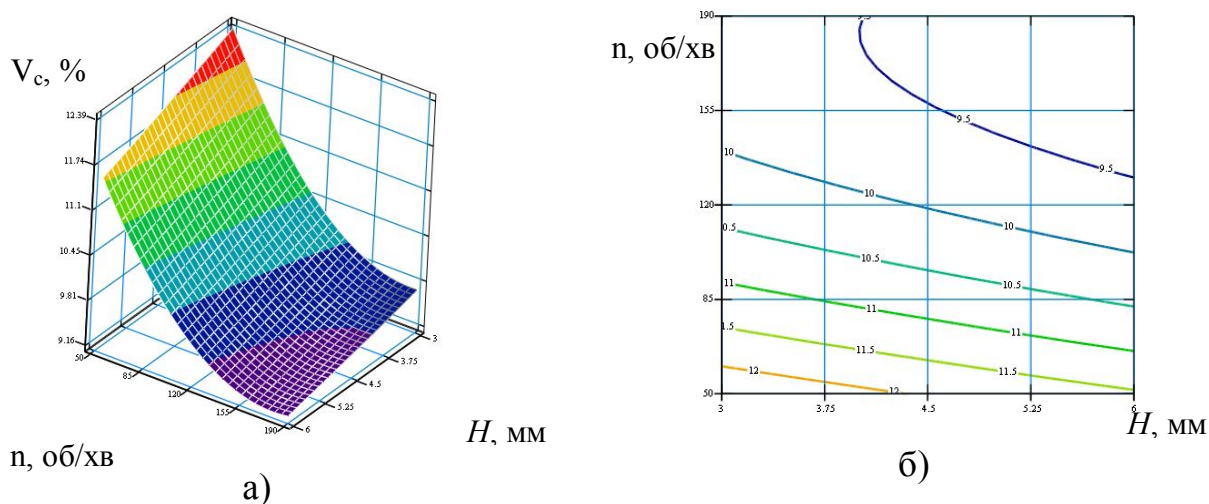


Рисунок 5 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини неоднорідності змішування від частоти обертання шнека та висоти гофр ($K_3=0,5$)

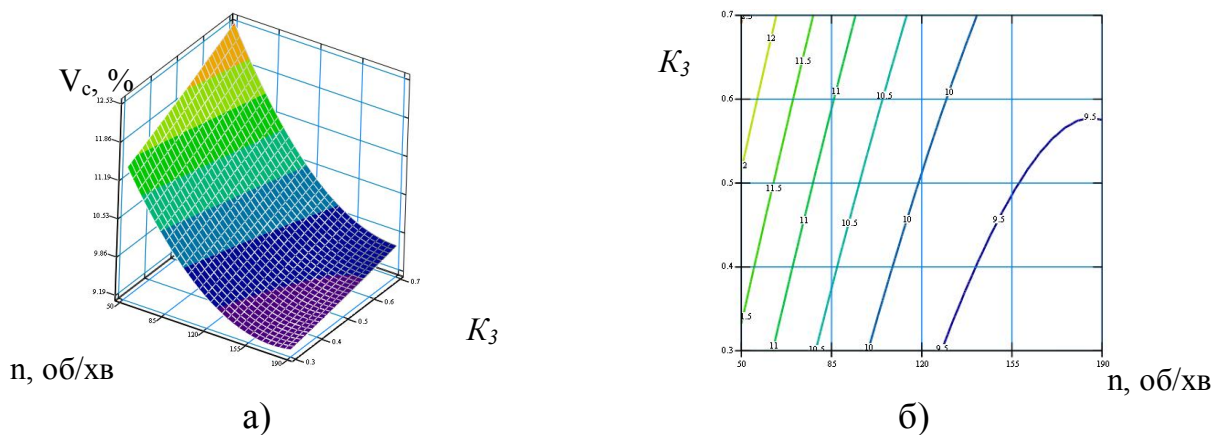


Рисунок 6 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини неоднорідності змішування від частоти обертання

шнека та коефіцієнта завантаження ($H=4,5\text{мм}$)

Висновки. На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Розроблено оригінальне стендове оснащення для дослідження технологічних процесів змішування сипких матеріалів ГК і проведено комплекс експериментальних досліджень.

2. Встановлено, що обертальний момент збільшується при зменшенні радіусу магістралі для ГК з гофрованими робочими органами (у меншій мірі) ця залежність має гіперболічний характер. Тому, при проектуванні ГК частота обертання ГРО доцільно призначати більшою 200 об/хв., що дозволить зменшити тертя ГРО по кожуху за рахунок його центрування по осі обертання та втягування вантажу в рівномірний гвинтовий рух;

3. При технологічному процесі змішування із застосуванням ГГК при використанні гофрованих ГРО є найменшою (9,2...9,5%), що дозволяє їх ефективно використовувати у якості змішувачів в ГГК. Якість змішування суміші покращується при зростанні довжини траси ГГК до 5 м, після чого неоднорідність суміші стабілізується.

Список літератури

1. Зенков Р. Л. Машины непрерывного транспорта : Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности Подъемно-транспортные машины и оборудование / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов // – 2-е изд., перер. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.

2. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М. : Машиностроение, 1973. – 216 с.

3. Гевко І.Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.02.02 «Машинознавство» / І.Б. Гевко. – Львів, 2013. – 40 с.

4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановський Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановський // М.: Наука, - 215с.

Аннотация

Результаты экспериментальных исследований неоднородности смешивания сыпучих материалов винтовой гофрированной рабочим органом

Ляшук О.Л.

Приведены полно факторного эксперимент ПФЭ 3^3 для качественного смешивания однородных сыпучих материалов с помощью винтовых транспортеров. Выведены уравнения регрессионных зависимостей

неоднородности смесей от частота вращения гофрированного элемента, высоты гофры по среднему диаметру и коэффициента заполнения.

Abstract

Results of experimental investigation of heterogeneity of bulk materials mixing by screw corrugated operative member

O. Ljashuk

Multifactorial experiment 3^3 for mixing quality homogeneous of bulk materials using screw conveyors was done. Regression equations of mixture heterogeneity dependence from corrugated element rotational speed, height corrugations in average diameter and fill factor were selected.