

УДК 621.87

¹Гевко Ів.Б., *д.т.н.*, ¹Дячун А.Є *к.т.н.*, ¹Ляшук О.Л., *д.т.н.* ²Кондратюк Д.Г *к.т.н.*,
²Дмитренко В.П.¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя²Вінницький національний аграрний університет**КОМПЛЕКСНІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРМОВОЇ СУМІШІ ДЛЯ ТВАРИННИЦТВА**

Приведено повнофакторний експеримент ПФЕ 3³ для якісного змішування однорідних сипких матеріалів за допомогою гвинтового гофрованого транспортера та пружного робочого органу екструдера. Виведені рівняння регресійних залежностей неоднорідності сумішей від частоти обертання, коефіцієнта заповнення та висоти гофр по середньому діаметрі циліндра, а також продуктивності від частоти обертання, глибини гвинтового каналу робочого органу, кроку робочого органу, кута нахилу гвинтового гребня по зовнішньому діаметру. Побудовані графічні залежності величини неоднорідності змішування та продуктивності екструдера від вище приведених факторів для різних сипких матеріалів..

Ключові слова: *гвинтовий робочий орган, транспортер, транспортування, змішування, сипкі матеріали, екструдер.*

Постановка проблеми 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 продуктивності транспортування сипких вантажів гвинтовими конвеєрами (ГК) використовувались спеціальні стенди, прилади та інструменти для заміру конструктивних, кінематичних, силових і технологічних параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням конструктивних і технологічних параметрів транспортно-технологічних систем сипких матеріалів присвячені роботи : Х. Германа [1], Р.Л. Зенкова [2], Б.М. Гевка, Р.М. Рогатинського [4], І.Б. Гевка [5] та багатьох інших.

Розробкою нових конструкцій, їх робочих органів, а також малогабаритних комбікормових агрегатів, комбікормових установок, мінікомбікормових заводів та виробничих ліній для приготуванню інгредієнтів комбікормів займалися видатні вчені: Г.М. Кукта, В.І. Дешко, В.А. Макаров [3], Ю.І. Ревенко [8], П.В. Василенко, Н.П. Черняєв [6], Е.А. Раскатова, В.Є. Перельман, М.Б. Брагінець.

Однак питанням розроблення і дослідження технологічних процесів транспортування сипких матеріалів гофрованими робочими органами та виготовлення кормової суміші дозволить вдосконалити конструкції ГК і робочих органів екструдерів, встановити раціональні параметри їх роботи.

Метою роботи є розроблення спеціального стендового оснащення й проведення досліджень неоднорідності змішування сипких матеріалів гвинтовим гофрованим транспортером та визначення продуктивності гвинтових пружних робочих органів екструдерів.

Реалізація роботи. Питанням ефективності використання малогабаритних комбікормових установок та агрегатів на тваринницьких підприємствах приділяють і нині значну увагу. Так, наприклад, ряд авторів, розглядаючи різні технологічно-конструктивні рішення та умови використання в господарствах різних марок цієї техніки вважають, що для найефективнішого її використання треба обґрунтувати раціональний типорозмірний ряд малогабаритних комбікормових установок за їхньою продуктивністю в залежності від виробничих потреб тваринницьких підприємств [3, 8, 10]. Малогабаритні комбікормові установки дають змогу швидко переходити від одного рецепту комбікорму до іншого і їх можна виготовляти на основі поточних розрахунків рецептів без закупівлі великих партій складових компонентів.

Перевагами цих установок є те, що для їхнього розміщення не потрібно великих приміщень і їх можна швидко демонтувати й перемішувати в інше місце їхньої експлуатації. Проведений аналіз свідчить, що комбікормові агрегати, установки нового покоління є досконалішими як у конструктивному рішенні, так і щодо організації технологічного процесу змішування та виготовлення кормових сумішей. Нами запропонована нова конструкція гвинтового гофрованого малогабаритного кормозмішувача та екструдер з пружинним робочим органом, які забезпечує покращення однорідності змішування сипких матеріалів та виготовлення інгредієнтів комбікормів [4, 8, 19-20].

Змішуючу здатність конвеєра, як коміркової моделі, згідно [11] можна визначити за безрозмірною концентрацією індикатора, введеного на початку конвеєра та на виході із зони

змішування:

$$C_e(t_{bn_p}) = C_{n_p}^{n_k} p_k^{n_k} q^{n_p - n_k} = \frac{n_p!}{n_k!(n_p - n_k)!} p_k^{n_k} (1 - p_k)^{n_p - n_k}. \quad (1)$$

Динамічні впливи гвинтового гофрованого органу, що призводять до зміщення спіралі будуть пропорційними амплітуді гофрів та квадрату їх кількості k на повному витку. Відповідно до підвищення ймовірності переходу частинки з однієї комірки в іншу можна апроксимувати залежність

$$p_{k.z.} = p_k \cdot (1 + \xi A k^2), \quad (2)$$

де ξ – експериментальний коефіцієнт; p_k - ймовірність переходу довільної частинки із комірки в комірку для гвинтового конвеєра (наприклад гофрованого) де в якості комірки приймається проміжок між сусідніми витками, для якого [12]

$$p_k = \psi_3 = v_z \varphi_0 / (v_{z3} \varphi_3), \quad (3)$$

де φ_3 , v_{z3} та φ_0 , v_z – коефіцієнт заповнення та опосередкована осьова швидкість потоку в зоні змішування й транспортування.

Відповідно безрозмірну концентрацію індикатора на виході кормозмішувача з гофрованим робочим органом можна визначити за залежністю

$$C_e(t_{bn_p}) = C_{n_p}^{n_k} p_k^{n_k} q^{n_p - n_k} = \frac{n_p!}{n_k!(n_p - n_k)!} p_k^{n_k} (1 - \xi A k^2)^{n_k} \left[(1 - \xi A k^2)^{1 - p_k} \frac{1 - p_k (1 - \xi A k^2)}{(1 - p_k)} \right] = \quad (4)$$

$$= (1 - \xi A k^2) \left(1 + \frac{p_k}{q_k} \xi A k^2\right)$$

де p_k - ймовірність переходу довільної частинки із комірки в комірку; n_k - кількість комірок; $q_{k.z.} = 1 - p_k$ - ймовірність того, що частинка не захопиться гофрою і залишиться в попередній

комірці; n_p - безрозмірна концентрація індикатора становить $C_j(n_p) = C_{n_p}^j p^j q^{n_p - j}$.

Проведено ряд експериментальних досліджень змішування кормових матеріалів гофрованими гвинтовими транспортерами змішувачами (ГТЗ), в яких визначали залежність якості змішування кормових матеріалів гофрованим ГТЗ від коефіцієнта завантаження K , та частоти обертання ГРО n , висоти гофр по середньому діаметрі шнека H , при змішуванні кормових сумішей (табл. 1). При цьому якість змішування компонентів суміші оцінювалась за вмістом головного компонента (кукурудзи), а уся суміш умовно поділялась на два компоненти: ключовий і умовний, до якого входить решта компонентів [6, 8]. Найбільш вживаним критерієм оцінювання якості суміші є коефіцієнт неоднорідності [6], %:

$$V_c = \frac{100}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}, \quad (5)$$

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 [6] 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 $15,0\% < V_c$.

Для проведення досліджень використовувався ГТЗ (рис. 1а), а в якості гвинтового робочого органу використовували гофрований змішувач (рис. 1б).

З метою достовірної оцінки неоднорідності сипучих матеріалів під час проведення експериментальних лабораторних досліджень, необхідну кількість вимірів показників, що контролюються (повторність дослідів), визначали за методикою, викладеною у [7], при цьому досліди проводили у трикратній повторності.

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 загальної кількості 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., у якості вхідних змінних факторів ПФЕ 3^3 прийнято:

- висота гофри по середньому діаметрі H , яку кодували індексом x_1 ;

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

- частота обертання гофрованого елемента n , яку кодували індексом x_2 ;
- коефіцієнт завантаження K_3 , який кодували індексом x_3 .

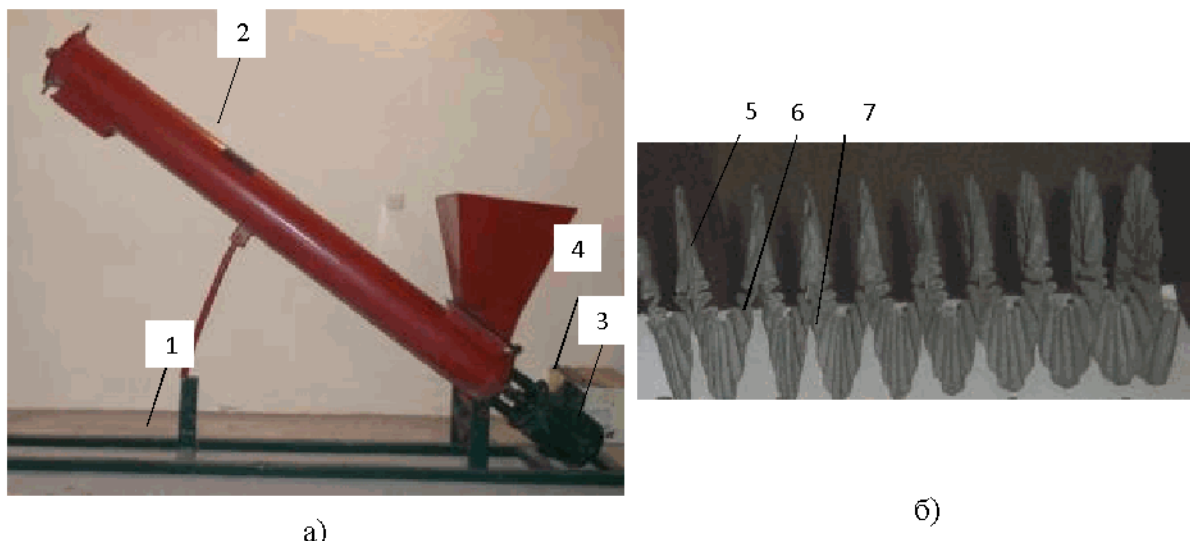


Рис. 1. Загальний вигляд конвеєра а) з гофрованим ГРО б):

1 – рама, 2 – кожух, 3 – електродвигун, 4 – вал, 5 – гофрований робочий орган, 6-7 – впадини і виступи гофр

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 [7, 9]:

$$V_{c(x_1, x_2, x_3)} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2, \quad (6)$$

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.

Таблиця 1

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання для проведення експериментальних досліджень змішування гофрованим 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 гофрованого елемента n , об/хв.	X_2	x_2	75	200/+1	125/0	50/-1
Коефіцієнт завантаження K_3 , %	X_3	x_3	0,2	0,7/+1	0,5/0	0,3/-1

Загальний вигляд рівняння регресії у кодованих величинах представлено у вигляді:

$$V_{c(x_1, x_2, x_3)} = 9,894 - 0,33x_1 - 1,25x_2 + 0,37x_3 + 0,088x_1 x_2 + 0,012x_1 x_3 - 0,187x_2 x_3 + 0,016x_1^2 + 0,816x_2^2 + 0,016x_3^2 \quad (7)$$

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:

$$V_{c(H, n, K_3)} = 14,3 - 0,402 \cdot H - 5,022 \cdot 10^{-2} n + 2,828 \cdot K_3 + 7,822 \cdot 10^{-4} Hn + 4 \cdot 10^{-2} HK_3 - 1,247 \cdot 10^{-2} nK_3 + 7,111 \cdot 10^{-3} H^2 + 1,451 \cdot 10^{-4} n^2 + 0,4 \cdot K_3^2 \quad (8)$$

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Отримане рівняння регресії (7) та регресійна залежність (8) можуть бути використані для визначення неоднорідності суміші $V_{сг}$ гвинтовим транспортером-змішувачем залежно від коефіцієнта завантаження K_3 , частоти обертання ГРО n та висота гофри по середньому діаметрі H , при змішуванні зерна кукурудзи (ключовий компонент) та зерна пшениці (30%) і ячменю(20%) (умовний компонент) у співвідношенні 50% до 50%.

На рис. 2-4 представлені залежності впливу на неоднорідність суміші частоти обертання ГРО при виконанні процесу змішування гвинтовим гофрованим транспортером-змішувачем (концентрація ключового матеріалу 50%). В залежності від конструкції ГРО неоднорідність змішування відрізнялась. При змішуванні компонентів із використанням гофрованого ГРО неоднорідність є найменшою (9,1...9,8%) порівняно із іншими гвинтовими робочими органами, що дозволяє його ефективно використовувати у якості змішувача ГК. Проте за даними [5-6] ефективність технологічного процесу змішування із використанням ГРО у ГК слід оцінити як «задовільно».

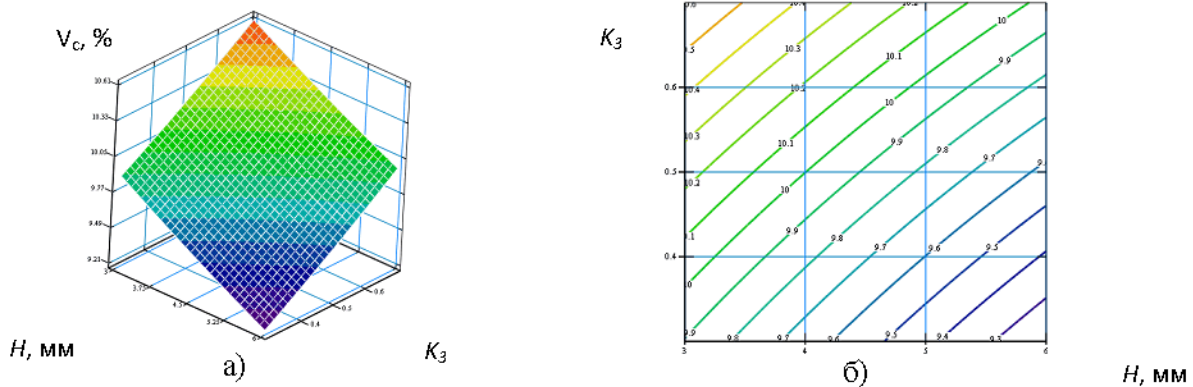


Рис. 2. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини неоднорідності змішування від коефіцієнта завантаження та висоти гофр ($n=125$ об/хв)

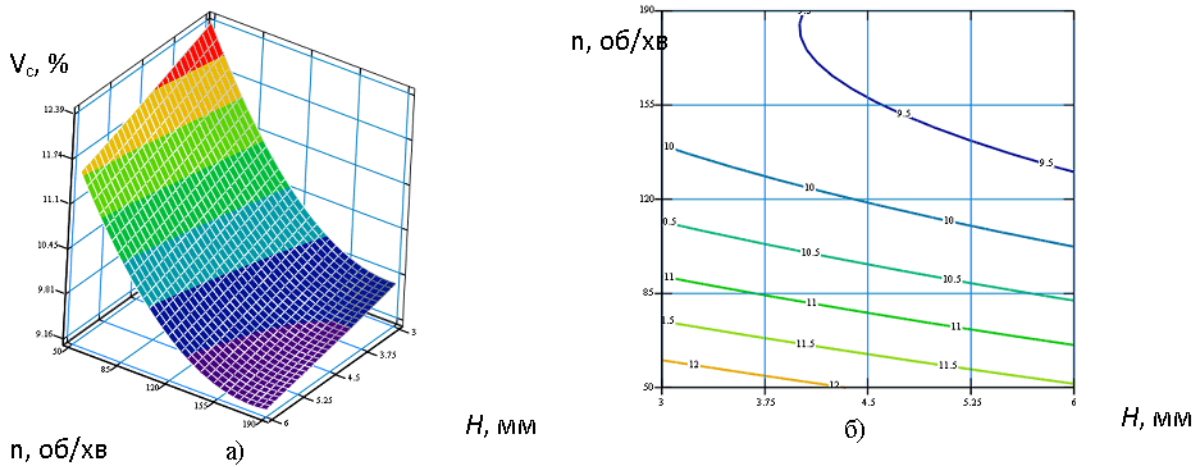


Рис. 3. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини неоднорідності змішування від частоти обертання шнека та висоти гофр ($K_3=0,5$)

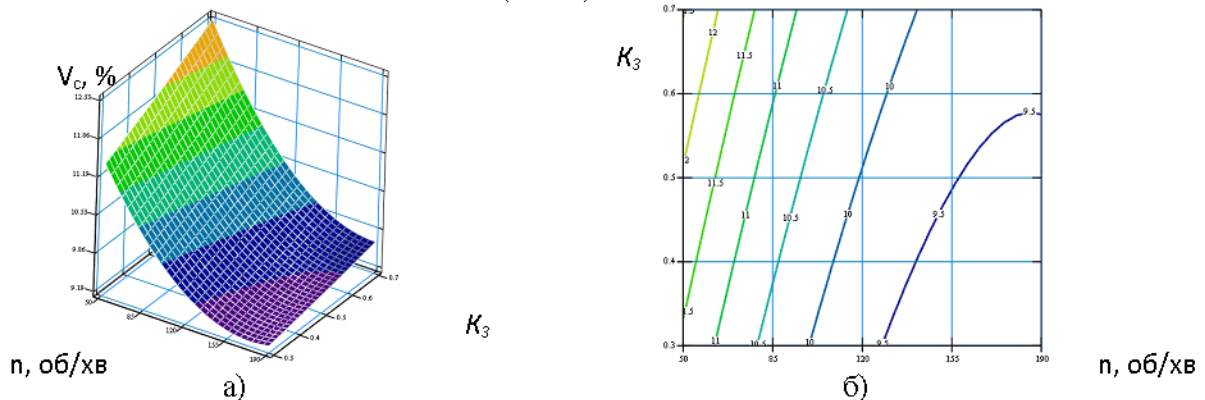


Рис. 4. Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини неоднорідності змішування від частоти обертання шнека та коефіцієнта завантаження ($H=4,5$ мм)

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Неоднорідність кормових сумішей визначалась за формулою (5), а для визначення якості процесу змішування за допомогою ГТЗ проводились заміри концентрації контрольного компонента суміші в залежності від зміни конструктивних параметрів. При цьому використовувався набір штампованих сит і ваги лабораторні (ГОСТ24104-80 з точністю вимірювання ± 10 мг). Вибірки суміші (величину вибірки вибирали згідно ГОСТ 13496.0-80 п.2.1) матеріалу в ГТЗ відбирались із тари, що знаходилась під розвантажувальним отвором. Кожна вибірка засипалась в сито з відповідним прохідним перерізом і після просіювання один із компонентів залишався на ситі, а інші просипались вниз, після чого на лабораторних вагах зважувався контрольний компонент (таблиця.3).

Таблиця 3

Склад кормових сумішей для годівлі тварин і птиці

Кормові суміші:	Вміст компонента, %					
	кукурудза	пшениця	ячмінь	біб	соя	соняшник
- для свиней і птиці	50	30	20	-	-	-
- для корів до отелення	50	30	-	20	-	-
- для корів після отелення	50	25	-	15	10	-
- для великої рогатої худоби	50	25	5	10	5	5

Для кожного з незмінних факторів експеримент проводився не менше 3 разів, після чого визначалося середнє значення результату, яке використовувалося для подальшого статистичного оброблення його результатів, що відображено на рис. 5.

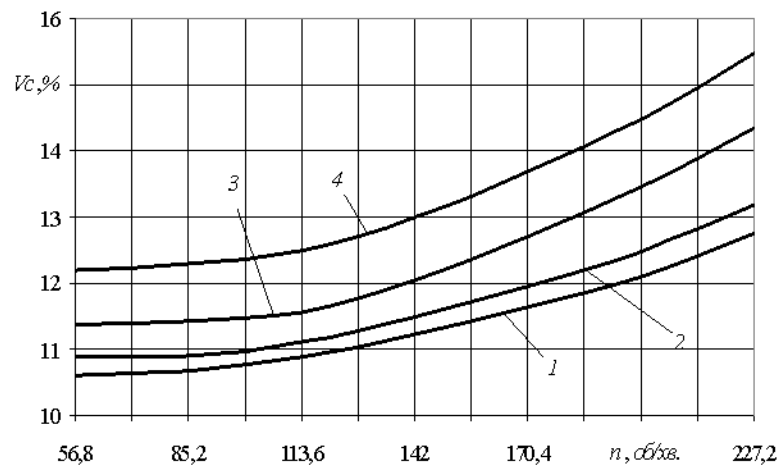


Рис. 5. Вплив на неоднорідність кормових сумішей частоти обертання шнека при: $K_s = 0,3$: 1 – для свиней і птиці та для корів до і після отелення; 2 – для великої рогатої худоби; $K_s = 0,5$: 3 – для свиней і птиці та для корів до і після отелення; 4 – для великої рогатої худоби

Для отримання виробів високої якості необхідно, щоб робота екструдера і процес, який проходить в ньому був стабільний і протікав в рівноважному режимі. Проте, на практиці це складно реалізувати, оскільки існує ряд факторів, від яких залежать продуктивність екструдера та кількість екструдату.

Якість готового виробу знаходиться у тісному взаємозв'язку з продуктивністю і залежить від конструктивних особливостей робочих органів екструдера [8, 13-16, 18]. Тому нами розроблено гвинтовий робочий орган пружинного типу у вигляді пружини, конструкція якого може використовуватися у різних механізмах машин.

Використання пружинних органів дозволяє значно спростити схеми і змінити габаритні розміри механізмів. Згідно класифікації розрізняють: а) гвинтові пружини; б) спіральні пружини; у) прямі і зігнуті пружини; г) кільцеві пружини; д) тарілчасті пружини [17] та інші. Для виготовлення конструкції пружинного робочого органу запропоновано леговані сталі. Точність пружинних гвинтових робочих органів по зовнішньому діаметру складає 8 ... 9 квалітет, а $R_z = 20 \dots 60$ мкм [17]. На рис.6 зображено конструкції пружин для робочих органів екструдерів.

Під час досліджень проводилось підключення до електромережі перетворювача частоти (ПЧ), ПК (рис.7.6) та запускалася програма PowerSuite для налаштування перетворювачів

частоти серії Altivar 7.1. Частота обертання електродвигуна регулювалась в автоматизованому режимі від 0 до 1460 об/хв. Також при потребі використовувались плавні і різкі пуски та реверсування.

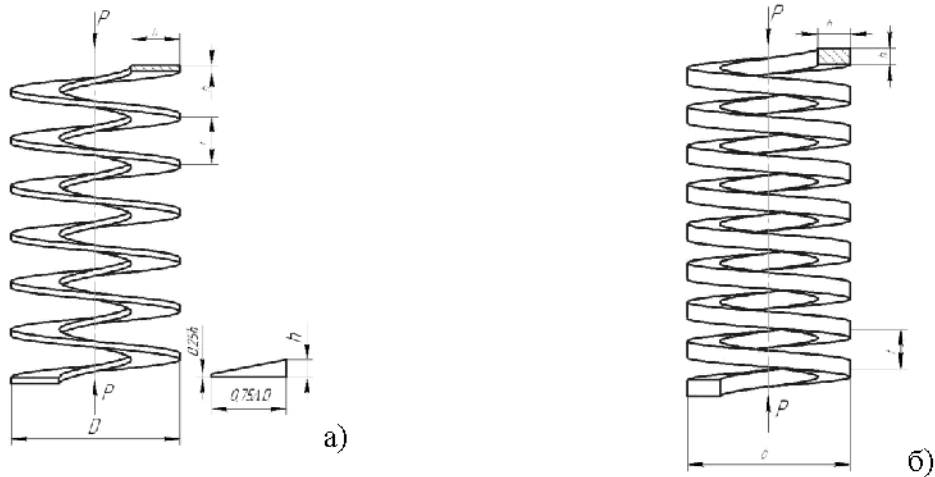


Рис. 6. Конструкції пружин: а – прямокутного і б – квадратного поперечного січення

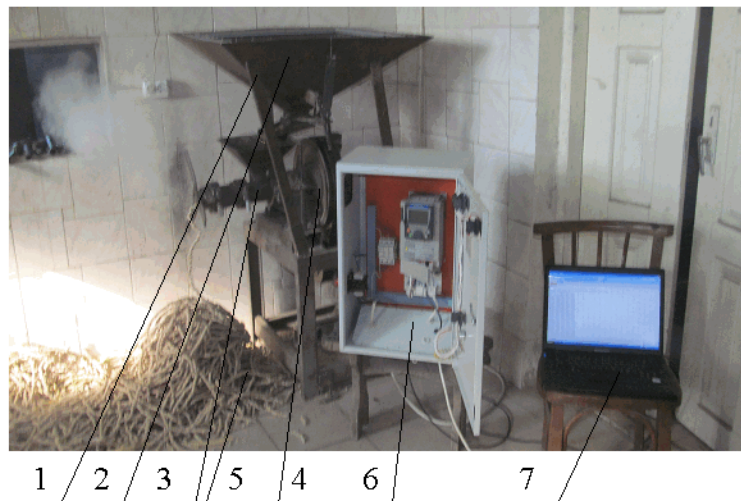


Рис. 7. Загальний вигляд експериментальної установки для виготовлення кормової суміші: 1 – рама; 2 – бункер; 3 – механізм пресування кормової суміші; 4 – маховик з приводом; 5 – кормова суміш; 6 – Altivar 7.1; 7 – персональний комп'ютер

Для проведення експериментальних досліджень визначення продуктивності екструдера виготовлення кормової суміші розроблено експериментальну установку рис. 7. Дослідження із визначенням продуктивності екструдера проводились при екструзії таких матеріалів що входить до складу кормових сумішей для годівлі тварин і птиці (Таблиця 3) з вологістю, яка становить $W = 10...18\%$, що дозволило побудувати аналітичні регресійні рівняння.

Для визначення впливу геометричних та конструктивних параметрів робочого органу екструдера для незалежних факторів x_i на продуктивність (параметр оптимізації Q) проведено повнофакторні експерименти, тобто визначення залежності продуктивності від зміни трьох основних факторів [7, 9]: глибина гвинтового каналу робочого органу, кроку робочого органу, частоти обертання робочого органу, кута нахилу гвинтового гребня по зовнішньому діаметрі та ширині гребня пружинного елемента тобто $Q = f(h, t, n)$ і $Q = f(h_b, \gamma_0, n)$

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 4. При побудові даної таблиці 4 у якості вхідних змінних факторів ПФЕ 3^3 прийнято:

- глибина гвинтового каналу робочого органу h , яку кодували індексом x_1 ;
- крок робочого органу t , який кодували індексом x_2 ;
- частота обертання робочого органу n , яку кодували індексом x_3 .

Для нормалізування послідовності дій при проведенні експериментів і досягнення необхідної точності при одночасному варіюванні всіх факторів було використано

Таблиця 4

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання для проведення експериментальних досліджень визначення продуктивності екструдера

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	натур.	код.				
Глибина гвинтового каналу робочого органу h , м	X_1	x_1	0,002	0,006/+1	0,004/0	0,002/-1
Крок робочого органу t , м	X_2	x_2	0,005	0,015/+1	0,02/0	0,025/-1
Частота обертання робочого органу n , об/с	X_3	x_3	5	20/+1	15/0	10/-1

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання наведено у табл. 5. При побудові даної таблиці 5 у якості вхідних змінних факторів ПФЕ 3^3 прийнято:

- ширина гребня пружинного елемента h_b , яку кодували індексом x_1 ;
- кут нахилу гвинтового гребня по зовнішньому діаметру γ_0 , який кодували індексом x_2 ;
- частота обертання робочого органу n , яку кодували індексом x_3 .

Таблиця 5

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання для проведення експериментальних досліджень визначення продуктивності екструдера

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	натур.	код.				
ширина гребня пружинного елемента h_b , м	X_1	x_1	0,004	0,012/+1	0,008/0	0,004/-1
кут нахилу гвинтового гребня по зовнішньому діаметру γ_0 , градус	X_2	x_2	5	45/+1	40/0	35/-1
частота обертання робочого органу n , об/с	X_3	x_3	5	20/+1	15/0	10/-1

Відповідно у натуральних величинах (координатах) рівняння регресії після перетворення та спрощення виразів прийнято в кінцевому вигляді для таблиці 4:

$$Q_{(h,t,n)} = 4,94t + 3,48 \cdot 10^{-4} n^2 - 500ht - 256 \cdot t^2 + 0,1323 - 350 \cdot h^2 + 18,3h + 1,5hn - 0,3tn + 7,6 \cdot 10^{-4} n \quad (8)$$

Відповідно у натуральних величинах (координатах) рівняння регресії після перетворення та спрощення виразів прийнято в кінцевому вигляді для таблиці 5:

$$Q_{(h_b, \gamma_0, n)} = -87,5h_b^2 + 3,48 \cdot 10^{-4} n^2 - 2,56 \cdot 10^{-4} \gamma_0^2 + 3 \cdot 10^{-4} \gamma_0 n + 0,75h_b n + 0,25h_b x_2 - 0,4929 - 5,85h_b - 1,724 \cdot 10^{-2} n + 2,578 \cdot 10^{-2} \gamma_0 \quad (9)$$

Отримані регресійні залежності (8, 9) можуть бути використані для визначення продуктивності виготовлення кормової суміші Q гвинтовим пружинним робочим органом екструдера залежно від глибини гвинтового каналу робочого органу h , м, кроку робочого органу t , м, частоти обертання робочого органу n , об/с, ширини гребня пружинного елемента h_b , м, кута нахилу гвинтового гребня по зовнішньому діаметру γ_0 , при змішуванні зерна кукурудзи (ключовий компонент) та зерна пшениці (30%) і ячменю (20%) (умовний компонент) у співвідношенні 50% до 50%.

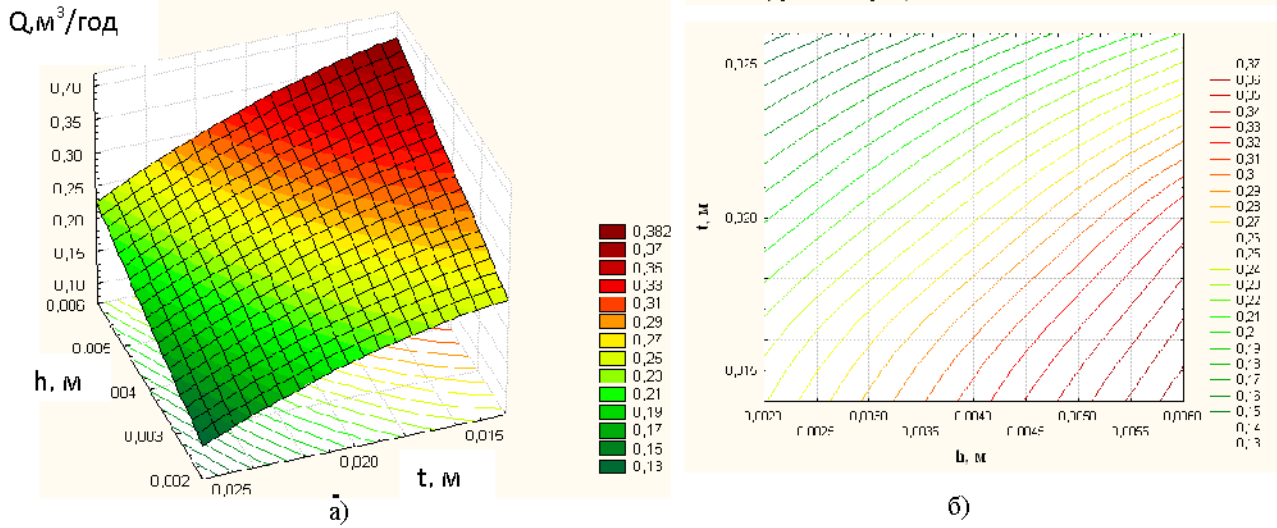


Рис. 8. Поверхня відгуку а) та двовірний переріз поверхні відгуку б) залежності продуктивності $Q_{(h,t)}$ від глибина гвинтового каналу робочого органу та кроку робочого органу при частоті обертання робочого органу $n = 15\hat{i} \text{ а} / \hat{n}$

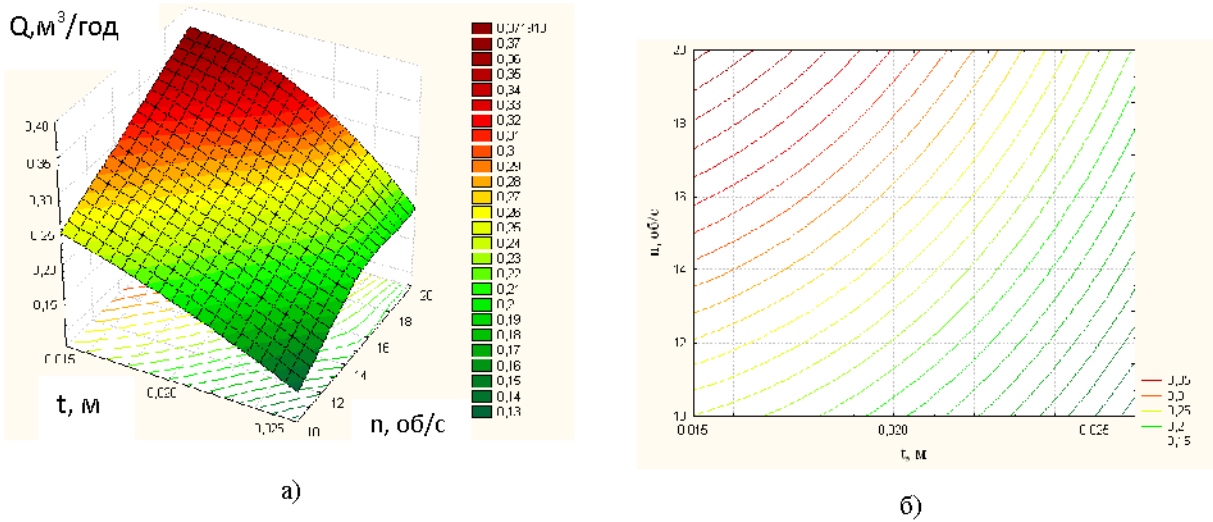


Рис. 9. Поверхня відгуку а) та двовірний переріз поверхні відгуку б) залежності продуктивності $Q_{(t,n)}$ від кроку робочого органу та частоти обертання робочого органу при глибині гвинтового каналу робочого органу $h = 0,004\hat{i}$

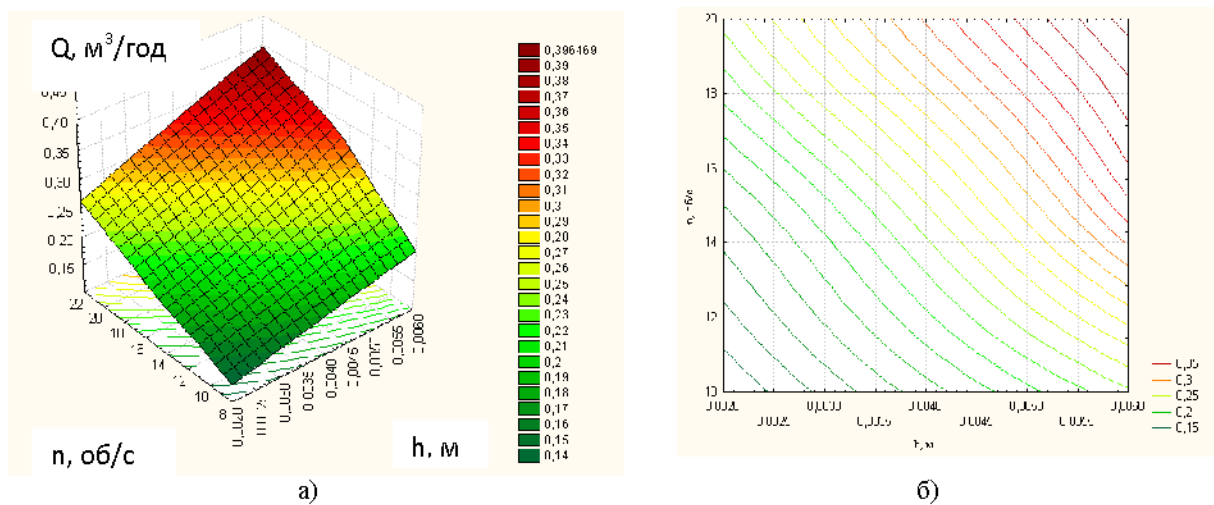


Рис. 10. Поверхня відгуку а) та двовірний переріз поверхні відгуку б) залежності продуктивності $Q_{(h,n)}$ від глибини гвинтового каналу робочого органу та частоти обертання робочого органу при кроку робочого органу $t = 0,02\hat{i}$

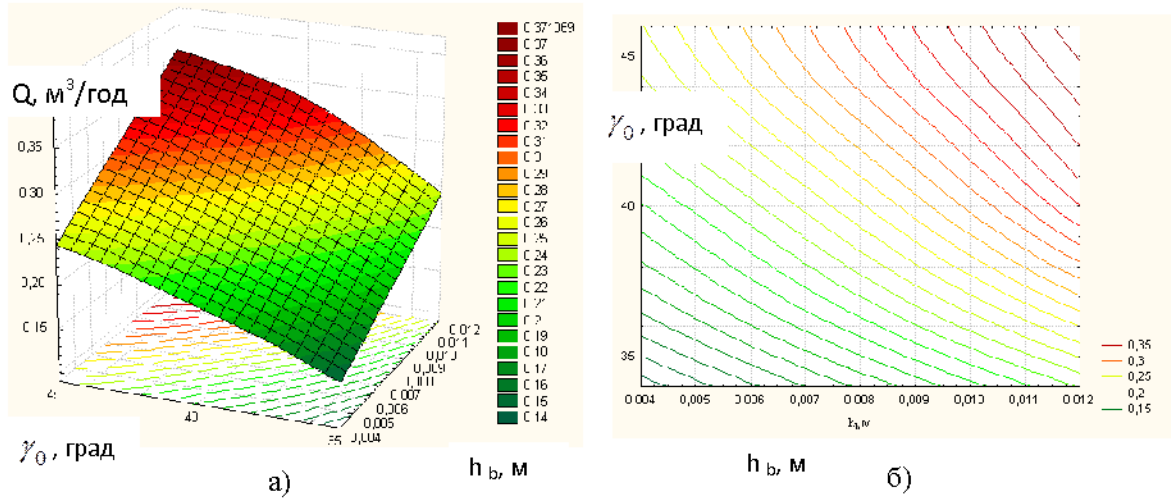


Рис. 11. Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності продуктивності $Q(h_b, \gamma_0)$ від ширини гребня пружинного елемента та кута нахилу гвинтового гребня по зовнішньому діаметру при частоті обертання робочого органу $n = 15 \hat{a} / \hat{n}$

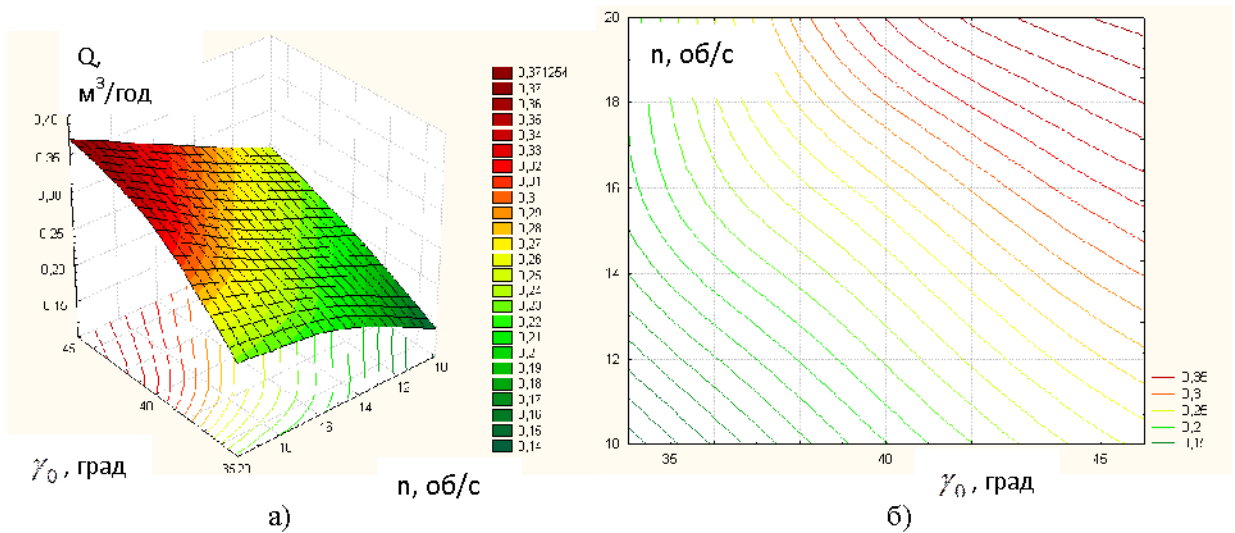


Рис. 12. Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності продуктивності $Q(\gamma_0, n)$ від кута нахилу гвинтового гребня по зовнішньому діаметру та частоті обертання робочого органу при ширині гребня пружинного елемента $h_b = 0,008 \hat{i}$

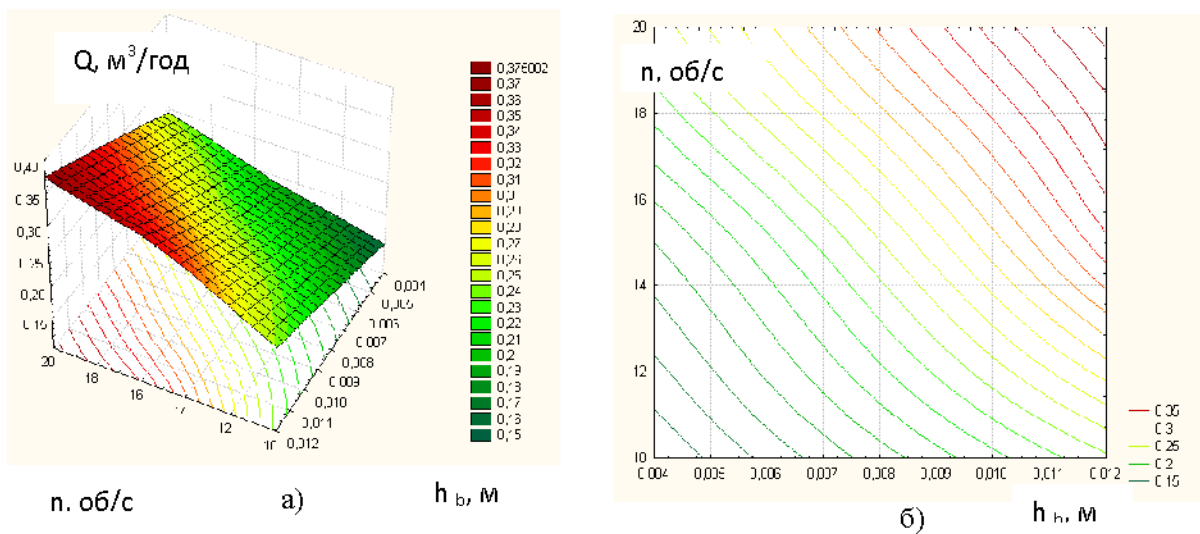


Рис. 13. Поверхня відгуку а) та двомірний переріз поверхні відгуку б) залежності продуктивності $Q(h_b, n)$ від ширини гребня пружинного елемента та частоти обертання робочого органу при куті нахилу гвинтового гребня по зовнішньому діаметру $\gamma_0 = 40^\circ$

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

В якості вихідної сировини були традиційно обрані зернові суміші в пропорціях зерна кукурудзи (50) % та зерна пшениці (30%) і ячменю (20%). Для здійснення можливості пресування матеріалів кормової суміші при різних режимах в прес-екструдері використовували 5 шнеків з різними кроками робочого органу t і ширини гребня пружинного елемента h_b , глибини гвинтового каналу робочого органу h , кута нахилу гвинтового гребня по зовнішньому діаметру γ_0 , змінювали частоту обертання робочого органу (10, 12, 15, 20 об/с). Екструдування кормової суміші проводять при наступних режимах: тиск в робочій зоні екструдера 2...3 МПа, споживана потужність електродвигуна 4,0...4,5 кВт, при довжині робочого органу 0,4 м, діаметром 0,05 м.

На рис. 8-10 представлені залежності продуктивності екструдера від геометричних та конструктивних параметрів при виконанні процесу виготовлення кормової суміші з використання пружинного робочого органу при частоті обертання робочого органу (10, 12, 15, 20 об/с), глибині гвинтового каналу робочого органу в межах $h = 0,002 \div 0,006$ м та з різними кроками робочого органу $t = 0,025 \div 0,015$ м.

З рис. 8-10 видно, що продуктивність екструдера залежить від глибини гвинтового каналу робочого органу h і кроку робочого органу t і в меншій мірі частоти обертання робочого органу n . Отже, при збільшенні глибини гвинтового каналу робочого органу h і кроку робочого органу t продуктивність зростає і досягає 0,40 м³/год.

На рис. 11-13 зображено графічні залежності продуктивності екструдера від ширини гребня пружинного елемента $h_b = 0,004 \div 0,012$ м, кута нахилу гвинтового гребня по зовнішньому діаметру $\gamma_0 = 35^\circ \div 45^\circ$ та частоти обертання робочого органу $n = 10 \div 20$ об / с

На підставі рис. 8-13 проведеного експерименту встановили геометричні, конструктивні і кінематичні параметри робочого органа екструдера. Для виготовлення кормової суміші в цілому доцільно застосовувати робочий орган із параметрами: крок робочого органу знаходиться в межах $t = 0,025 \div 0,015$, глибина гвинтового каналу робочого органу $h = 0,005$ м, кут нахилу гвинтового гребня по зовнішньому діаметру $\gamma_0 = 38^\circ \div 41^\circ$, ширина гребня пружинного елемента $h_b = 0,008$ м при швидкості обертання робочого органу від 12 до 18 об / с.

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Розроблено оригінальне стендове оснащення для дослідження технологічних процесів змішування сипких матеріалів ГК та виготовлення кормової суміші для тваринництва і проведено комплекс експериментальних досліджень.
2. Неоднорідність кормових сумішей для свиней і птиці та для корів до і після отелення при змішуванні ГТЗ при ідентичних технологічних режимах практично не відрізняються між собою. На збільшення неоднорідності суміші V_c при її змішуванні в ГТЗ з стрічковим шнеком впливає збільшення частоти обертання ГРО n та зростання коефіцієнту завантаження K_s .
2. Неоднорідність суміші V_c для досліджуваних меж змінюється від 10,6% (при $K_s = 0,3$; $n = 56,8$ об/хв.) до 15,5% (при $K_s = 0,5$; $n = 227,2$ об/хв.). Для економії часу та ресурсів, і для задовільного змішування кормових сумішей доцільно коефіцієнт заповнення ГТЗ доводити до $K_s = 0,5$, а частоту обертання шнека до 200 об/хв.
3. Приведені раціональні конструкторсько-технологічні показники гвинтових пружинних елементів для покращення роботи конструкції запропонованого екструдера. Встановлено регресійні залежності, які дозволяють (залежно від вибраного варіанта) визначити об'ємну продуктивність гвинтового пружинного екструдера.
4. Для виготовлення кормової суміші в цілому і доцільно застосовувати робочий орган із наступними параметрами: крок робочого органу знаходиться в межах $t = 0,025 \div 0,015$, глибина гвинтового каналу робочого органу $h = 0,005$ м, кут нахилу гвинтового гребня по зовнішньому діаметру $\gamma_0 = 38^\circ \div 41^\circ$, ширина гребня пружинного елемента $h_b = 0,008$ м при швидкості обертання від 12 до 18 об / с.

Інформаційні джерела

1. Герман Х. Шнековые механизмы в технологии ФРГ / Х. Герман. – Л.: Машиностроение, 1975. – 230 с.
2. 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.

3. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. – М. : Машиностроение, 1973. – 216 с.
4. Механізми з гвинтовими пристроями / [Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський та ін.]. – Львів : Світ, 1993. – 208 с.
5. 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.
6. Черняев Н. П. Производство комбикормов / Н. П. Черняев. – М. : Агропромиздат, 1989. – 224 с.
7. 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.
8. Ревенко І.І. Машини та обладнання для тваринництва: Підручник / І.І. Ревенко, М.В. Брагінець, В.І. Ребенко // – К.: Кондор, 2011. – 731с
9. Душинський В.В. Основи наукових досліджень. / В.В. Душинський // К.:Вища школа, 2002. – 386 с.
10. Техніка сільськогосподарська. Машини та обладнання для приготування кормів. Методи функціональних випробувань: ГСТУ 46.007-2000 – [Чинний від 2001 – 01 – 01]. – К.: Мінагрополітики України, 2000. – 74 с. – (Галузевий стандарт України).
11. Дмитрів Д.В. Опис періодичних (гофрованих) поверхонь робочих органів гвинтових змішувачів / Д.В. Дмитрів // Зб. наук. пр. Національного аграрного університету "Механізація сільськогосподарського виробництва". - К., 1997. – Т. 3. – С. 64 – 66.
12. Дмитрів Д.В. Технологічні основи виготовлення спіралей шнеків із змінними параметрами для гвинтових змішувачів / Д.В. Дмитрів // Зб. наук. пр. Національного аграрного університету "Сучасні проблеми сільськогосподарського машинобудування". – К., 1997. – Т.1. - С. 71 - 73.
13. Williams J.C. The mixing and segregation of particulates solids of different particle size / Williams J.C., Khan M.J. – Chem. Eng., January, 1973.
14. Ziegler F, Technische Mechanik der festen und slussigen Korper / F, Ziegler, Springer Verlag, Wien, 1985. 18
15. Классен Н.П. Гранулирование [Текст] / Н.П. Классен, И.Г. Гришаев, И.П. Шомин -М.: Химия, 1991. – 240 с.
16. Штефан Є.В. Інформаційна технологія проектування техно-логічного обладнання для механічної обробки дисперсних матеріалів [Текст] / Є.В. Штефан // Обробка дисперсних матеріалів і серед. Теорія, дослідження, технології, обладнання. – 2002. –Вип. 12. – С.72-78.
17. Курендаш Р.С. Конструирование пружин[Текст] / Р.С. Курендаш – Научно-техническое изд. -М.: Машиностроение. 1958. – 107с.
18. Штефан, Є.В. Використання методів математичного моделювання для проектування вузлів преса-гранулятора [Текст] / Є.В. Штефан, Д.В. Риндюк // Механіка та інформатика: III-я Міжнар. конф. молодих вчених.: збірник стат. – Хмельницький, 2005. – С. 172 - 175.
19. Патент на корисну модель № 106084. Україна, МПК(2016.01) F16F 1/00, B21F 35/00. Пристрій для навивання пружин екструдерів / Ляшук О.Л., Сокол М.Б., Дзюра В.О., Третьяков О.Л., Дмитренко В.П., Навроцька Т.Д. (Україна). – u201511346. Заявл. 17.11.2015.; Опубл. 11.04.2016р., Бюл.№7.- 6с.
20. Патент на корисну модель № 109801. Україна, B30B 11/00, A23K 40/20 (2016.01). Установка для формування кормових брикетів / Ляшук О.Л.; Гевко Б.М.; Дячун А.Є.; Бадишук В.І.; Дмитренко В.П.. (Україна). – u201601809. Заявл. 25.02.2016.; Опубл. 12.09.2016р., Бюл.№17.- 5с.

¹Гевко Ів.Б., *д.т.н.*, ¹Дячун А.Є *к.т.н.*, ¹Ляшук О.Л., *д.т.н.* ²Кондратюк Д.Г *к.т.н.*,
²Дмитренко В.П.

¹Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя

²Винницкий национальный аграрный университет

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРМОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ЖИВОТНОВОДСТВА

Приведен полнофакторный эксперимент ПФЭ 3³ для качественного смешивания однородных сыпучих материалов с помощью винтового гофрированного транспортера и упругого рабочего органа экструдера. Выведены уравнения регрессионных зависимостей неоднородности смесей от частоты вращения, коэффициента заполнения и высоты гофра по среднему диаметру шнека, а также производительности от частоты вращения, глубины

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

винтового канала рабочего органа, шага рабочего органа, угла наклона винтового гребня по наружному диаметру. Построенные графические зависимости величины неоднородности смешивания и производительности экструдера от выше приведенных факторов для различных сыпучих материалов.

Ключевые слова: *винтовой рабочий орган, транспортер, транспортировки, смешивания, сыпучие материалы, экструдер.*

¹Iv. Gevko, ¹A Dyachun, ¹O. Lyashuk ²D Kondratyuk, ²V Dmitrenko

¹Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

²Vinnitsa National Agrarian University

EXPERIMENTAL STUDIES INTEGRATED MANUFACTURING FODDER MIXTURES FOR LIVESTOCK

The full factorial experiment FFE³ to mix homogeneous discrete materials by means of screw corrugated conveyor and extruder flexible working body is proposed. The equations of regressive dependences of mixtures on rotation frequency, coefficient of fullness, and corrugation height to auger mean diameter are derived. The dependences of performance on rotation frequency, depth of working body screw channel, working body pitch, angle of slope of screw edge to inner diameter are developed. Graphic dependences of the value of mixing heterogeneity and the performance of an extruder on the above factors of different discrete materials are deduced.

Keywords: *screw working body, conveyor, transportation, mixing, discrete materials, extruder.*