

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ ГОМОГЕННОЇ КОРМОВОЇ СУМІШІ

Мерінець Н.А., аспірант, Бойко І.Г., професор

*(Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка)*

*В результаті виконання багатофакторного експерименту отримано рівняння регресії, яке описує технологічний процес подрібнення зернових кормів в рідині, визначені оптимальні параметри факторів, які впливають на якість подрібнення та побудовані поверхні відгуків і їх двомірні перетини, що характеризує нерівномірність коефіцієнта модуля помелу зерна в рідині.*

**Постановка проблеми.** Сучасні тенденції розвитку обладнання для приготування кормів показують, що інтенсифікація технологічних процесів при приготуванні і обробці кормів повинна бути направлена не тільки на фізико-механічне перетворення матеріалу, а також і на його структурне змінення на клітковому рівні, що розкриває природний потенціал кормів [1]. Одним із прикладів такого високоефективного обладнання є кавітаційні подрібнювачі, в яких в процесі приготування кормів відбувається процес ферментативного зброджування крохмалю з переходом його в такі форми, які легко засвоюються організмом тварини, а саме: глюкоза, фруктоза, мальтоза, галактоза і та інші. Згодовування таких кормів тваринам збільшує вміст у тілі тварин азоту до 30%, кальцію до 12 %, фосфору - 6.4 %, магнію – 4 %, покращує перетравність сирого протеїну на 12.3 %, сирій клітковини на 14.5 % і позитивно впливає на зростання живої маси тварин, а відповідно зменшує витрати корму [2]. Тому удосконалення конструкцій машин для інтенсифікації процесів гомогенізації і диспергування зернових кормів є перспективною науковою задачею.

**Аналіз останніх досліджень.** Процес гомогенізації харчових продуктів вперше був запропонований в кінці дев'ятнадцятого століття в Франції [3] і застосовувався при виробництві маргарину. Тому більш широкого розповсюдження процес гомогенізації набув в харчовій промисловості і цьому напрямку присвячені наукові роботи, виконані Кондратовим А.В. [4], Артемасовим В.В. [5], Чечко С.Г. [6] та іншими. Що стосується удосконалення технологій і засобів механізації приготування гомогенної кормової суміші для тварин, то цій тематиці присвячені роботи Кузнєцова М.Г. [7], Соляника М.Б. [8] та інших.

Авторами даної роботи також запропонована нова конструкція подрібнювального пристрою для приготування рідких кормів [9], яка відрізняється від існуючих тим, що має дві ступені подрібнення, за рахунок чого досягається значне зниження енергетичних витрат на процес подрібнення.

Ключовим моментом для обґрунтування оптимальних значень конструктивно-технологічних параметрів машини є вибір фактору оптимізації і проведення багатофакторного експерименту.

**Результати досліджень.** На підставі апріорної інформації встановлено, що на процес приготування гомогенної кормової суміші із зерна впливають наступні фактори: кінематичні – частота обертання шнека з ножем первинної ступені подрібнення, *об/хв.*; частота обертання ножа вторинної ступені подрібнення, *об/хв.*; час проведення подрібнення, *хв.* Варіювання решти факторів не здійснювали, а кодовані значення факторів фіксувались на постійному рівні з умов забезпечення ними максимальної ефективності процесу подрібнення зерна в рідині. За параметр оптимізації було прийнято якість подрібнення зерна в рідині, яка визначалась модулем помелу.

При плануванні багатофакторного експерименту з метою спрощення розрахунків проводилося кодування факторів, яке приведено в таблиці 1.

Таблиця 1- Кодовані значення факторів і рівні їх варіювання

Позначення факторів	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Найменування факторів	Частота обертання шнека з ножем первинної ступені подрібнення, $n_1, об/хв.$	Частота обертання ножа вторинної ступені подрібнення, $n_2, об/хв.$	Час проведення подрібнення, $t, хв.$
Нульовий рівень, $X_{0i} (0)$	127	1550	11
Інтервал варіювання, $\varepsilon_i$	23	170	2
Верхній рівень фактора (+)	150	1720	13
Нижній рівень фактора (-)	104	1380	7

Для отримання експериментальних математичних залежностей впливу конструктивно-кінематичних параметрів гвинтового дозатора на якість дозування і визначення його раціональних параметрів була застосована методика планування багатофакторного експерименту і реалізований трьохрівневий план другого порядку Бокса-Бенкіна [10].

Послідовність виконання експериментальних досліджень виконувалась згідно матриці планування експериментів (таблиця 2). Отримані дані також заносились в таблицю 2.

Повторність дослідів, визначено згідно з рекомендаціями [10] при прийнятій надійності дослідів  $H=0,95$  і граничній помилці  $\Delta = \pm 3\sigma$ , повинна бути рівна трьом.

Відтворюваність при однаковому числі паралельних дослідів на кожному поєднанні рівнів факторів перевірялася по критерію Кохрена. В результаті розрахунків критерій Кохрена склав  $G_{розр} = 0,2018$ . Табличне значення критерія Кохрена з числом степенів вільності  $f = m - 1 = 2$  і  $f = N = 15$  становить

$G_{табл} = 0,3346$  із чого слідує  $G_{розн} = 0,2018 \leq G_{табл} = 0,3346$ , тому процес вважається відтворюваним. При цьому дисперсія відтворюваності (помилка досліду) визначена по формулі (3.30) п. 3.4,7.2 [10] склала –  $S_y^2 = 0,001$ .

Таблиця 2. Матриця планування експериментів і результати дослідів

№ точки плану	Рандомізація досліду		x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub> <sup>2</sup>	x <sub>2</sub> <sup>2</sup>	x <sub>3</sub> <sup>2</sup>	Результати експериментів		
												y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>
1	64	14	+	+	0	+	0	0	+	+	0	1,17	1,07	1,11
2	40	9	-	-	0	+	0	0	+	+	0	1,53	1,61	1,58
3	90	15	+	-	0	-	0	0	+	+	0	1,67	1,65	1,69
4	40	10	-	+	0	-	0	0	+	+	0	1,29	1,34	1,31
5	20	3	+	0	+	0	+	0	+	0	+	1,17	1,19	1,18
6	26	5	-	0	-	0	+	0	+	0	+	1,51	1,62	1,57
7	18	2	+	0	-	0	-	0	+	0	+	1,42	1,47	1,46
8	31	6	-	0	+	0	-	0	+	0	+	1,28	1,27	1,31
9	36	7	0	+	+	0	0	+	0	+	+	1,11	1,17	1,15
10	44	11	0	-	-	0	0	+	0	+	+	1,91	1,98	1,97
11	21	4	0	+	-	0	0	-	0	+	+	1,39	1,37	1,41
12	46	12	0	-	+	0	0	-	0	+	+	1,53	1,59	1,57
13	03	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,49	1,43	1,47
14	60	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,41	1,40	1,45
15	39	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,43	1,41	1,44

В результаті розрахунків коефіцієнтів регресії отримана математична модель другого порядку в наступному вигляді:

$$y = 1,4367 - 0,0404x_1 - 0,2246x_2 - 0,1483x_3 - 0,0733x_{12} + 0,0025x_{13} + 0,0358x_{23} - 0,021x_1^2 + 0,0144x_2^2 + 0,0025x_3^2. \quad (1)$$

Після порівняння абсолютних значень коефіцієнтів регресії з абсолютною величиною їх довірчого інтервалу приходимо до висновку, що істотний вплив на показник оптимізації мають всі фактори.

Статистичний аналіз рівняння (1) показав, що модель адекватна оскільки  $F_{розн} = 2,0246 \leq F_{табл} = 2,12$  і коефіцієнти значущі з 95%-ю вірогідністю.

Для використання рівняння регресії (1) як розрахункової формули і інтерпретації результатів дослідів проводили його розкодування, в результаті чого розкодоване рівняння регресії процесу подрібнення зернових кормів в рідині має наступний вигляд

$$M_n = 1,8736 + 191n_1 - 0,0052n_2 - 0,023t - 3,665n_1n_2 + 0,083n_1t + 0,002n_2t - 5250n_1^2 + 0,00n_2^2 + 1,111t^2. \quad (2)$$

Рівняння регресії (2) в розкодованому вигляді дозволяє визначити розрахунковим шляхом величину модуля помелу зерна при приготуванні гомогенної кормової суміші в рідині, при різних значеннях розглянутих факторів, які знаходяться в області експерименту. Рівняння регресії (2) може бути використане при конструюванні машини для приготування гомогенної кормової суміші і для вибору її конструктивно-режимних параметрів.

Для визначення значень факторів, що забезпечують оптимальне протікання робочого процесу подрібнення зернових кормів в рідині, складаємо систему диференціальних рівнянь, що представляють частинні похідні по кожному з трьох факторів. Система диференціальних рівнянь, отримана з рівняння (1), має вигляд

$$\begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial x_1} &= -0,0404 - 0,0733x_2 + 0,0025x_3 - 0,042x_1 = 0; \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} &= -0,2246 - 0,0733x_1 + 0,0358x_3 + 0,0288x_2 = 0; \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} &= -0,1483 + 0,0025x_1 + 0,0358x_2 + 0,005x_3 = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Прирівнюючи до нуля частинні похідні і вирішуючи систему щодо невідомих, визначили оптимальні значення факторів:  $x_1=45,08$ ;  $x_2=21,75$ ;  $x_3=-103,54$ . З отриманих даних видно, що вибраний центр експерименту розташований поблизу від особливої точки області експерименту, що представляє оптимальне поєднання факторів. Оптимальне значення критерію оптимізації при цьому склало –  $M_n=1,16$  мм.

Для забезпечення інтерпретації отриманих результатів дослідження при вивченні поверхні відгуку був використаний метод двомірних перетинів. Побудова двомірних перетинів функції відгуку виконувалася наступним чином. У отримане рівняння регресії (1) підставлялися закодовані значення всіх факторів, окрім будь-якого одного, причому, в першу чергу, досліджувалися ті перетини, які мають найбільш практичне значення. Далі в отриманому виразі визначався центр поверхні відгуку і проводилося канонічне перетворення

моделі другого порядку. Після канонічного перетворення визначався тип поверхні відгуку і проводився графоаналітичний аналіз отриманого виразу.

Поверхня відгуку та її двомірний перетин, що описується рівнянням (1) по факторах, частота обертання шнека з ножем первинної ступені подрібнення і частота обертання ножа вторинної ступені подрібнення представлені на рисунку 1, а само рівняння в канонічній формі запишеться

$$Y - 1,3804 = -0,044x_1^2 + 0,0374x_2^2. \quad (4)$$

Кут повороту нових координатних осей в центрі поверхні відгуку для нашого випадку:  $\alpha = 32,111^\circ$ .

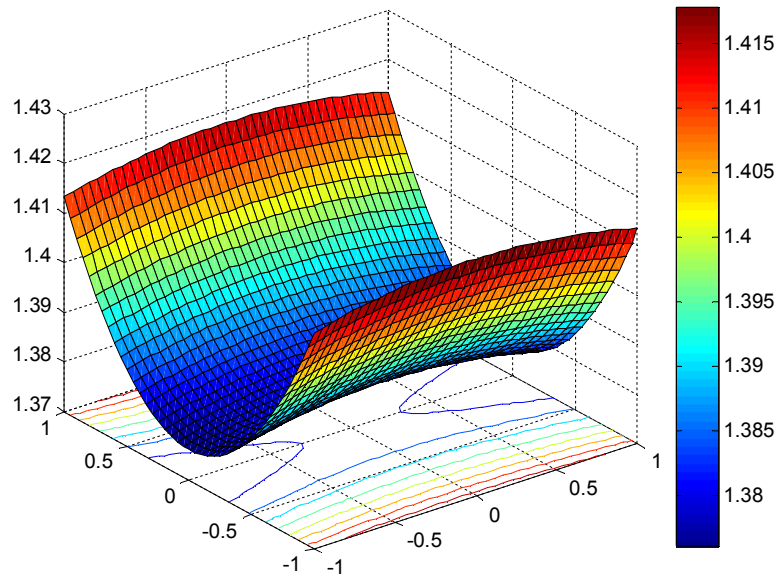


Рисунок 1 - Графік поверхні відгуку і її двомірний перетин, що характеризує залежність модуля помелу при  $x_3 = 0$

Із рисунка 1 слідує, що мінімальне значення показника залежності коефіцієнта модуля помелу при приготуванні гомогенної кормової суміші із зерна в даному перетині поверхні відгуку  $M_n = 1,380 \text{ мм}^4$  і має місце при частоті обертання шнека з ножем первинної ступені подрібнення  $n_1 = 104 \text{ об/хв}$ , частота обертання ножа вторинної ступені подрібнення  $n_2 = 1380 \text{ об/хв}$ .

Також заслуговує уваги і має практичне значення при роботі машини для приготування гомогенної кормової суміші із зерна двомірний перетин поверхні відгуку, що характеризує залежність коефіцієнта модуля помелу залежно від частоти обертання шнека з ножем первинної ступені подрібнення і час проведення подрібнення.

Поверхня відгуку і її двомірний перетин, що описується рівнянням (1) по факторам, частота обертання шнека з ножем первинної ступені подрібнення і час проведення подрібнення представлені на рисунку 2, а само рівняння в канонічній формі запишеться

$$Y + 0,7494 = -0,0211x_1^2 + 0,0026x_2^2. \quad (5)$$

Кут повороту осей координат в центрі поверхні відгуку для даного випадку рівний:  $\alpha = -3,0362^\circ$ .

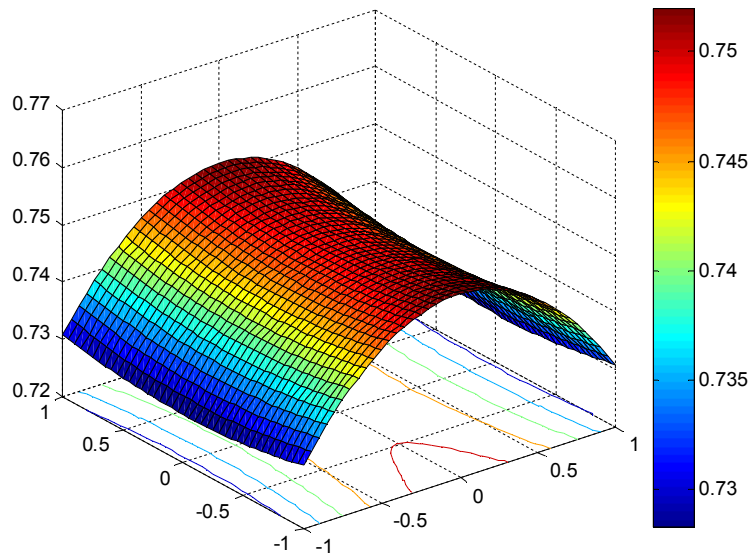


Рисунок 2 - Графік поверхні відгуку і її двомірний перетин, що характеризує залежність модуля помелу зерна в рідині при  $x_2 = 0$

З рисунку 2 видно, що максимальне значення коефіцієнта модуля помелу зерна в рідині в даному перетині поверхні відгуку рівне –  $M_n = 0,7494$  мм і має місце при частоті обертання шнека з ножом первинної ступені подрібнення  $n_1 = 150$  об/хв і часу проведення подрібнення  $t = 78$  с.

Поверхня відгуку і її двомірний перетин, що описується рівнянням (1) по факторам, частота обертання ножа вторинної ступені подрібнення і часу проведення подрібнення представлені на рисунку 3, а само рівняння в канонічній формі запишеться

$$Y - 0,7778 = -0,0211x_1^2 + 0,0026x_2^2 \quad (6)$$

Кут повороту осей координат в центрі поверхні відгуку для даного випадку рівний:  $\alpha = 35,8065^\circ$ .

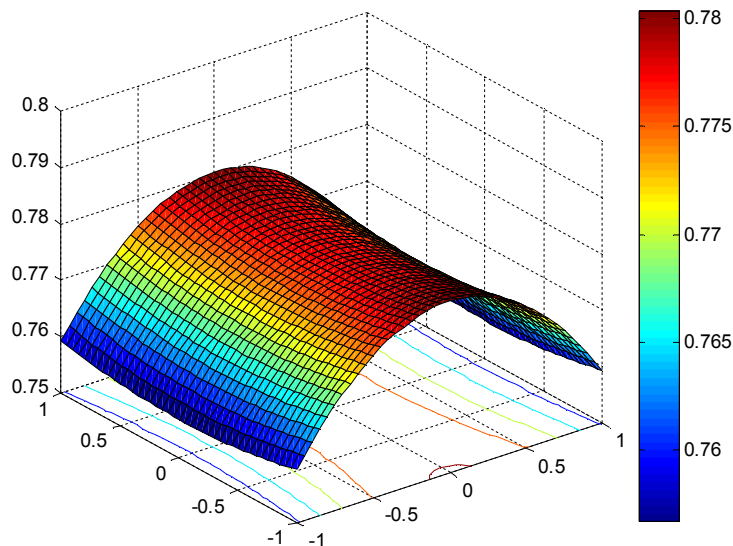


Рисунок 3 - Графік поверхні відгуку і її двомірний перетин, що характеризує модуля помелу зерна в рідині при  $x_1=0$

З рисунка 3 видно, що мінімальне значення коефіцієнта модуля помелу зерна в рідині в даному перетину поверхні відгуку рівне  $M_n=0,7778$  мм і має місце при частоті обертання ножа вторинної ступені подрібнення  $n_2=1720$  об/хв. і часі проведення подрібнення  $t = 78$  с.

## Висновки

1. Проведені експериментальні дослідження дозволи встановити вплив конструктивних, кінематичних, технологічних параметрів і механіко-технологічних властивостей зерна на якість перебігу процесу приготування гомогенної кормової суміші із зерна.

2. Застосування методики планування багатофакторного експерименту дало можливість встановити:

- взаємозв'язок основних параметрів машини для приготування гомогенної кормової суміші із зерна і режимів її роботи в вигляді рівняння регресії (1), а його статистичний аналіз підтвердив гіпотезу про адекватність моделі другого порядку, оскільки розрахункове значення критерію Фішера менше табличного  $F_{розр} = 2,0246 \leq F_{табл} = 2,12$ ;

- оптимальне співвідношення між конструктивно-режимними параметрами розробленої машини для приготування гомогенної кормової суміші із зерна при найменшому коефіцієнті модуля помелу зерна в рідині: частоті обертання шнека з ножом первинної ступені подрібнення  $n_1= 150$  об/хв.; частоті обертання ножа вторинної ступені подрібнення  $n_2=1720$  об/хв. і часу проведення подрібнення  $t=78$  с.

## Список використаних літературних джерел

1. Шаршунов, В.А. Биохимические и биофизические предпосылки для внедрения технологий углубленной переработки сырья при производстве комбикормов [Текст] / В.А. Шаршунов, А.В. Червяков, С.В. Курзенков // Известия Академии аграрных наук Республика Беларусь. – 1999. - №12. С. 6-10.

2. Хохрин, С.Н. Корма и кормление животных. [Текст] / С.Н. Хохрин - М.: Лань, 2002. - 512 с.

3. Фролов, С.В. Механизм гомогенизации применительно к молочно-растительным смесям [Текст] / С.В. Фролов, Т.П. Арсеньева, В.Е. Куцакова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. - №8 – С.11-14.

4. Кондратов, А.В. Совершенствование процесса и аппарата с использованием кавитационного эффекта для измельчения комбинированных рыбопродуктов [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.12 / Кондратов Аркадий Владимирович; Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий. - Санкт-Петербург, 2008. - 24 с.

5. Артемасов, В.В. Интенсификация процессов гомогенизации диспергирования при получении жидких комбинированных продуктов [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.12 / Артамасов Валерий Валерьевич;

Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. - Кемерово, 2004. - 22 с.

6. Чечко, С.Г. Разработка и исследование центробежного смесителя-диспергатора периодического действия для получения дисперсных комбинированных продуктов [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.12 / Чечко Сергей Геннадьевич; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. - Кемерово, 2009. - 21 с.

7. Кузнецов, М.Г. Моделирование процесса мокрого измельчения сельскохозяйственного сырья [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Кузнецов Максим Геннадьевич; Казанская государственная сельскохозяйственная академия. - Казань, 2004. - 23 с.

8. Соляник, М.Б. Удосконалення технології виробництва гомогенних кормових суспензій та ефективність їх використання при відгодівлі свиней [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 06.02.04 / Соляник Микола Борисович; Херсонський державний аграрний університет. - Херсон, - 2007. - 24 с.

9. Пат. 73370 UA, МПК В02С 7[ Текст]/ /02, А01F 29/00. Подрібнювальний пристрій для приготування рідких кормів / Дзюба Н.А., Дзюба А.І., Троянов М.М., Нанка О.В., Бойко І.Г.; заявники і патентовласники Дзюба Н.А., Дзюба А.І., Троянов М.М., Нанка О.В., Бойко І.Г. - №2003032165; заявл.12.03.03; опубл. 15.07.05, Бюл. № 7.

10. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / Мельников С.В., Алешкин В.Р., Роцин П.М. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

## **Аннотация**

### **Результаты экспериментальных исследований процесса приготовления гомогенной кормовой смеси**

Меринец Н.А., Бойко И.Г.

*В результате выполнения многофакторного эксперимента получено уравнение регрессии, которое описывает технологический процесс измельчения зерновых кормов в жидкости, определены оптимальные параметры факторов, которые влияют на качество измельчения и построены поверхности откликов и их двухмерные сечения, которое характеризует неравномерность коэффициента модуля помола зерна в жидкости.*

## **Abstract**

### **Results of experimental researches of process of preparation of homogeneous forage mixture**

N. Merinec, I. Boyko

*As a result of implementation of multivariable experiment equalization of regression, which describes the technological process of grinding down of corn forages in a liquid, is got, the optimum parameters of factors which influence on quality of grinding down and the surfaces of responses and their двухмерные*



*sections are built are certain, which characterizes the unevenness of coefficient of the module of grade of grain in a liquid.*