

УДК 621.928.13

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ КОМБИКОРМОВ РЕШЕТЧАТЫМ ДОЗАТОРОМ

**Науменко А.А., профессор, Русалев А.М., к.т.н., доцент,  
Нагорний С.А., к. с.-г. н., доцент**  
(Харьковский национальный технический университет сельского  
хозяйства им. Петра Василенко)

*В статье обоснованы конструктивные параметры решетчатого дозатора с возвратно-вращательным движением рабочего органа, предназначенного для нормированной выдачи сыпучих компонентов кормовых смесей согласно рациону кормления животных.*

**Постановка проблемы.** Современная технология ведения животноводства выдвигает новые задачи по совершенствованию существующих и разработке новых способов приготовления кормовых смесей для животных, способствующих снижению потерь питательных веществ и повышению их качества. Одним из основных путей повышения продуктивности, увеличения производства продукции и снижение ее себестоимости является полноценное кормление животных.

Для решения вопроса полноценного кормления сельскохозяйственных животных должен быть создан ряд взаимосвязанных технологических операций и машин, которые обеспечат строгое соблюдение соотношения компонентов рациона и равномерное их смешивание. В этой связи процесс дозирования компонентов играет основную роль как фактор, от выполнения которого зависит качество конечного продукта и его себестоимость.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Анализ технологического процесса дозирования сыпучих компонентов кормовых смесей [1, 2] показал, что существующие объемные дозаторы сыпучих компонентов кормовых смесей не обеспечивают необходимой точности дозирования.

Для дозирования сыпучих компонентов кормовой смеси предлагается решетчатый дозатор сыпучих материалов [3].

Возникает необходимость исследования технологического процесса дозирования концентрированных кормов предлагаемым дозатором с целью определения факторов, оказывающих влияние на технологический процесс и оценки этого влияния на производительность и качество процесса.

**Целью исследований** является определение оптимальных конструктивных и технологических параметров дозатора, обеспечивающих максимальную точность выдачи компонентов кормовой смеси.

**Результаты исследований.** С целью оптимизации конструктивно-режимных параметров гравитационного дозатора сыпучих кормов рациональным является использование метода планирования эксперимента, который позволяет решить вышеназванную задачу с достаточной для практики точностью, сокращая при этом затраты труда, времени и средств, что делает его наиболее экономически привлекательным.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке (рис. 1), которая позволяет изменять значения исследуемых факторов согласно плана эксперимента.



Рисунок 1 - Общий вид установки для исследования процесса смешивания сыпучих кормов

Эксперименты проводились по определению коэффициента вариации дозирования, т. е. по показателю неравномерности дозирования устройства, с целью определения кинематических, конструктивных и технологических параметров дозирующего устройства при минимальном коэффициенте вариации, который принят за критерий оптимизации.

Для сокращения числа опытов были проведены отсеивающие эксперименты и определены три фактора, влияющие на коэффициент вариации:

- частота колебаний решет, Гц.;
- амплитуда колебаний решет, мм.;
- диаметр отверстий нижнего решета, мм.

Для удобства дальнейшей работы с факторами обозначим их соответственно через  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ . Значение каждого фактора в центре композиционного плана (на нулевом уровне) составляет:

$$X_1 = 1,645 \text{ Гц} ;$$

$$X_2 = 6,0 \text{ мм.};$$

$$X_3 = 7,0 \text{ мм.}$$

Перед проведением эксперимента были назначены уровни варьирования факторов и произведено их кодирование (табл. 1).

Таблица – 1 Кодированные значения факторов

Факторы	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Обозначения	$\omega$	A	d
Размерность	Гц.	мм.	мм.
$X_0$	1,645	6.0	7.0
$\varepsilon$	0,221	0.5	1.0
$X_{+1}$	1,866	6.5	8.0
$X_{-1}$	1,424	5.5	6.0

Для получения математической модели эксперимента был применен трехуровневый план Бокса-Бенкина второго порядка [4]. Матрица трехуровневого плана и результаты проведения экспериментов приведены в таблице 2.

Таблица – 2 . Матрица планирования эксперимента и вычисленные средние значения критерия оптимизации после трех повторностей.

№ точки плана	Рандомизация		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	Результаты экспериментов			
												$y_1$	$y_2$	$y_3$	$\bar{y}$
1	64	14	+	+	0	+	0	0	+	+	0	4,22	4,73	4,96	4,6367
2	40	9	-	-	0	+	0	0	+	+	0	3,9	4,11	4,19	4,0667
3	90	15	+	-	0	-	0	0	+	+	0	3,99	3,84	4,19	4,0067
4	40	10	-	+	0	-	0	0	+	+	0	4,43	4,17	4,12	4,24
5	20	3	+	0	+	0	+	0	+	0	+	4,59	4,03	4,69	4,4367
6	26	5	-	0	-	0	+	0	+	0	+	4,13	4,21	3,99	4,11
7	18	2	+	0	-	0	-	0	+	0	+	4,17	4,38	3,82	4,1233
8	31	6	-	0	+	0	-	0	+	0	+	4,12	4,14	4,21	4,1567
9	36	7	0	+	+	0	0	+	0	+	+	3,96	4,48	4,21	4,2167
10	44	11	0	-	-	0	0	+	0	+	+	3,93	4,37	4,21	4,17
11	21	4	0	+	-	0	0	-	0	+	+	4,01	4,12	3,98	4,0367
12	46	12	0	-	+	0	0	-	0	+	+	4,07	3,96	4,21	4,08
13	03	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,84	3,99	3,32	3,7167
14	60	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,99	3,51	4,23	3,91
15	39	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,02	3,95	3,56	3,8433

Воспроизводимость процесса (однородность дисперсий) проверялась по критерию Кохрена с помощью G – критерия по формуле

Табличное значение G – критерия при 5%-ном уровне значимости, числе независимых оценок дисперсии  $f_1 = 15$  и числе степеней свободы  $f_2 = 2$  составляет  $G_{(0,05,15,2)} = 0,03346$ .

Расчетное значение  $G$  – критерия будет равно  $G_{расч} = 0,1585$ . Как видно

$$G_{расч} = 0.1585 < G_{(0.05,15,2)} = 0.3346.$$

Значит процесс воспроизводим.

В результате обработки экспериментальных данных и расчета получены коэффициенты регрессии, оценка значимости которых проводилась с помощью критерия Стьюдента (t-критерия) путем нахождения доверительного интервала для каждого коэффициента. После сравнения абсолютных значений коэффициентов регрессии с абсолютной величиной их доверительного интервала установлено, что все коэффициенты значимы. На основании этого составлена математическая модель второго порядка, которая представлена в закодированном виде:

$$Y = 3.8233 + 0.079x_1 + 0.101x_2 + 0.056x_3 + 0.114x_1x_2 + 0.067x_1x_3 + 0.0675x_2x_3 + 0.26x_1^2 + 0.202x_2^2 + 0.088x_3^2 \quad (1)$$

Адекватность математической модели проверялась с помощью критерия Фишера.

Табличное значение  $F$  – критерия при 5%-ном уровне значимости и степеней свободы дисперсий адекватности и воспроизводимости соответственно 11 и 30 является

$$F_{табл} = 2.1284$$

Расчетное значение  $F$  – критерия составляет  $F_{расч} = 2.067$

Как видно, что  $F_{расч} < F_{табл}$ , поэтому гипотезу об адекватности модели можно считать верной с 95%-ной вероятностью.

Для использования уравнения (1) и качестве расчетной формулы произведено его раскодирование:

$$Y = 68.807 - 25.468\omega - 12.153A - 2.478d + 1.033\omega A + 0.302\omega d + 0.135Ad + 5.323\omega^2 + 0.809A^2 + 0.088d^2 \quad (2)$$

где  $\omega$  - частота колебаний решет, Гц.;

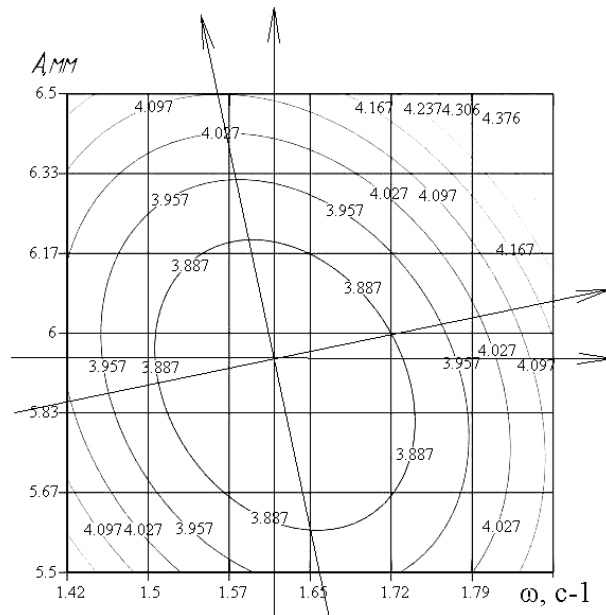
$A$  - амплитуда колебаний решет, мм.;

$d$  - диаметр отверстий нижнего решета, мм.

Анализ полученной математической модели и определение оптимальных значений изучаемых факторов проводились методом двумерных сечений. Для облегчения расчетов анализ проводился с закодированными значениями факторов.

Двумерное сечение поверхности отклика, описываемой уравнением (1) по факторам: частота колебаний  $\omega$  и амплитуда колебаний решет  $A$  представлено на рисунке 2, а само уравнение в канонической форме запишется

$$Y - 3.8081 = 0.295124X_1^2 + 0.167176X_2^2 \quad (3)$$

Рисунок 2 – Двумерное сечение поверхности отклика ( $x_3 = 0$ )

Из рис. 2 видно, что минимальное значение коэффициента вариации в рассматриваемом сечении поверхности отклика при  $x_3 = 0$  равно 3.8081 и имеет место при  $\omega = 1.645\text{с}^{-1}$ ,  $A = 6.01\text{мм}$ .

Для получения двумерного сечения поверхности отклика, характеризующей показатель коэффициента вариации в зависимости от частоты колебаний и диаметров отверстий решета, принимаем значение  $X_2 = 0$ , находим уравнение в канонической форме, которое имеет вид:

$$Y - 3.810935 = 0.26623X_1^2 - 0.08147X_2^2 \quad (4)$$

Поверхность отклика представлена на рисунке 3.

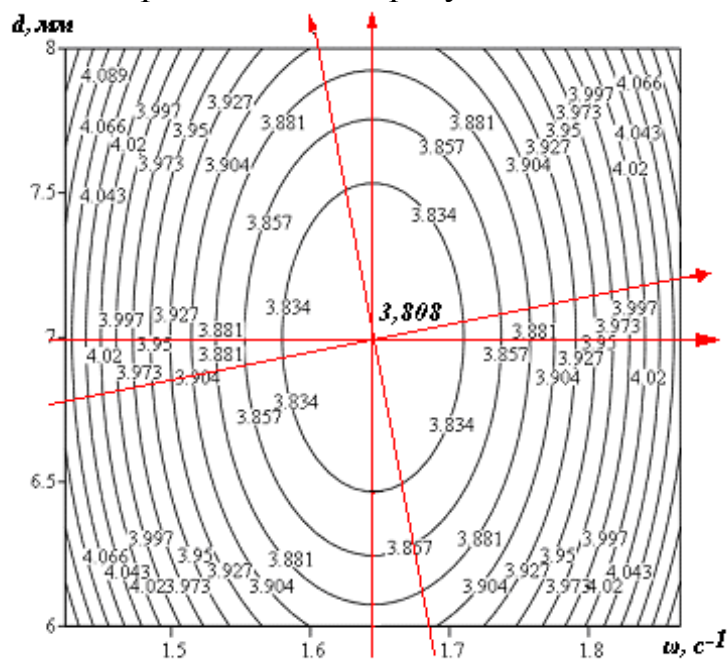


Рисунок 3 – Двумерное сечение поверхности отклика ( $x_2 = 0$ )

Из рис. 3 видно, что минимальное значение коэффициента вариации в рассматриваемом сечении поверхности отклика при  $x_3 = 0$  равно 3.811 и имеет место при  $\omega = 1.645c^{-1}$ ,  $d = 6.99$  мм.

Для получения двумерного сечения поверхности отклика, характеризующей показатель коэффициента вариации в зависимости от амплитуды колебаний и диаметров отверстий решета, подставляем в уравнение значение  $X_1 = 0$ , находим уравнение в канонической форме, которое имеет вид:

$$Y - 3.806 = 0.22115X_2^2 + 0.0785X_3^2 \quad (5)$$

Поверхность отклика представлена на рисунке 4.

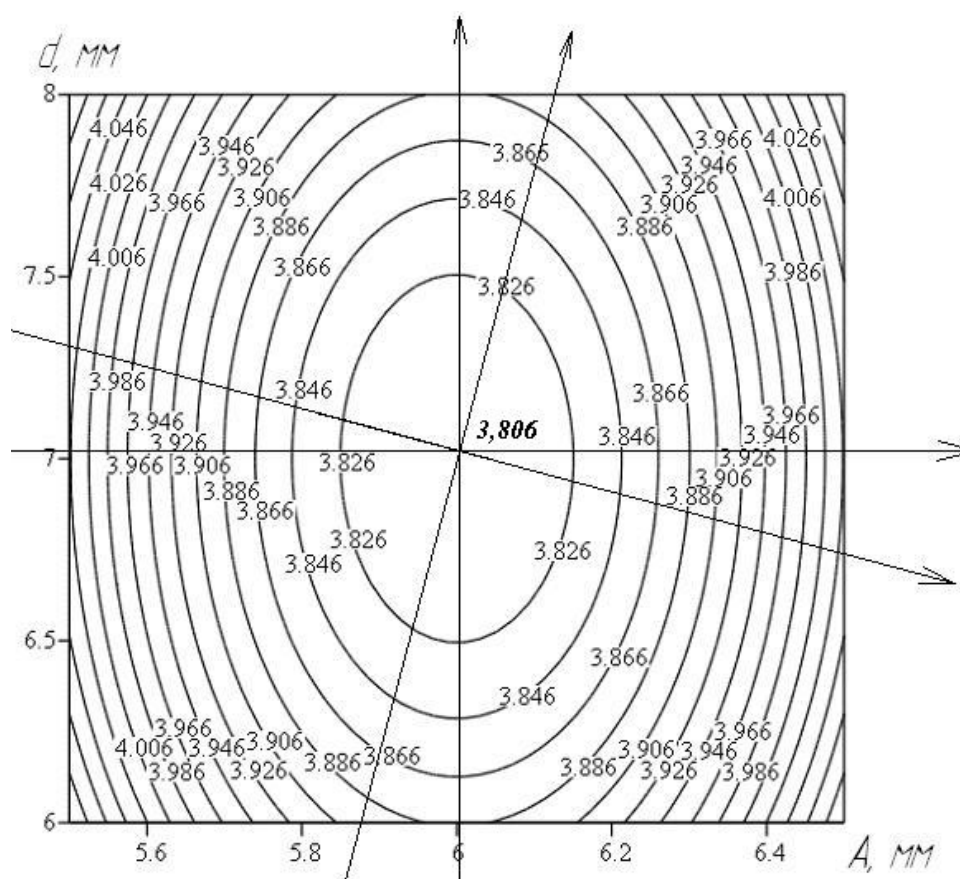


Рисунок 4 – Двумерное сечение поверхности отклика ( $x_1 = 0$ )

Из рис. 4 видно, что минимальное значение коэффициента вариации в рассматриваемом сечении поверхности отклика при  $x_3 = 0$  равно 3,806 и имеет место при  $A = 5.99$ ,  $d = 6.99$  мм.

## Выводы

С помощью методики планирования факторного эксперимента определены оптимальные технологические и конструктивные параметры дозатора сыпучих кормов при минимальном значении коэффициента вариации, который составил в пределах 3,806 – 3,810. Эти параметры следующие: частота колебаний решет  $\omega = 1.645c^{-1}$ , амплитуда колебаний решет  $A = 5.99 - 6.01$  мм, диаметр отверстий нижнего решета  $d = 6.99$  мм.

## Список литературы

1. Степук Л.Я. Механизация дозирования в кормоприготовлении. – Минск.: Ураджай, 1986. – 152 с.
2. Лобанов В.И. Анализ дозаторов сыпучих кормов // Механизация производственных процессов в животноводстве. – Новосибирск, 1985. – с. 39
3. Пат. 89003, Україна. МПК G01F 11/00 Решітчастий дозатор сипучих кормів: / І.Г.Бойко, О.М.Русальов, О.П.Скорик – а2008 13554; Заявл. 24.11.2008; Опубл. 10.12.2009, Бюл. №23. – 2 с.
4. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Роцин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

## Анотація

### **Планування експерименту в дослідженні процесу дозування сипучих компонентів кормів**

Науменко О.А., Русальов О.М., Нагорный С.А.

*В статті обґрунтовані параметри решітчастого дозатора з зворотно-поворотним рухом робочого органу, призначеного для нормованої видачі сипучих компонентів кормових сумішей згідно раціону годування тварин.*

## Abstract

### **Planning of experiment in research of process of dosage of friable components of forages**

O. Naumenko, A. Rusaljov, S. Nagorny

*In the article the structural parameters of the latticed metering device are grounded with recurrently-rotatory motion of working organ, intended for the rationed delivery of friable components of mixtures of forages in obedience to the ration of feeding of animals.*