

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ДОЗАТОРА

**Семенцов В.В., ассистент, Бойко И.Г., профессор**  
(Харьковский национальный технический университет сельского  
хозяйства имени Петра Василенко)

*В статье приведены результаты экспериментальных исследований гравитационного дозатора сыпучих материалов направленные на определение его оптимальных конструктивно-режимных параметров.*

**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 технологического процесса дозирования сыпучих компонентов кормовых смесей [1, 2] показал, что существующие объемные дозаторы не в полной мере отвечают современным зоотехническим требованиям по точности дозирования, особенно высоко питательных компонентов кормовых смесей, например, премиксов, имеют высокую энергоемкость и металлоемкость.

Для дозирования премиксов в технологической линии приготовления комбикормов опытного хозяйства «Кутузовка» НИИ животноводства НААН Украины нами предложена новая конструкция гравитационного дозатора сыпучих кормов [3], который состоит (рис. 1) из наддозаторного бункера 1, дна бункера 2 выполненного в виде горизонтально расположенной части цилиндрической трубы с отверстиями 3, внутри которой установлена ворошилка 4, которая состоит из двух секторов 5, закрепленных на приводном валу 6 и соединенных между собой прутками 7, пересечение которых является ромбом. Разрушение сводов над отверстиями дна бункера, которое способствует истеканию сыпучего корма, происходит при колебании ворошилки вокруг приводного вала с амплитудой равной диаметру отверстий дна дозатора. Регулирование производительности дозатора осуществляется заслонкой 8, за счет перекрытия отверстий дна дозатора.

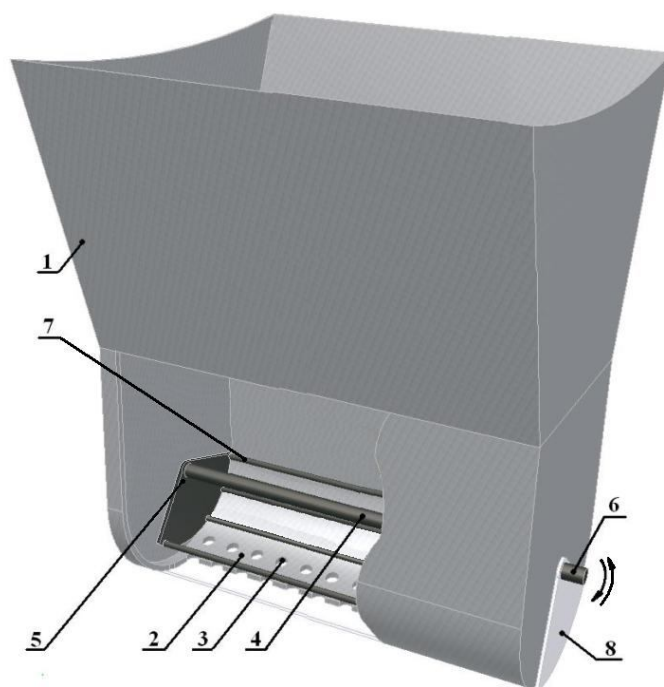


Рисунок 1 – Конструктивная схема гравитационного дозатора сыпучих кормов

Дозатор сыпучих кормов работает следующим образом. Сыпучие корма загружаются в наддозаторный бункер 1 и образуют над отверстиями 3 дна 2 стойкие своды и их высыпание не происходит. При осуществлении колебаний ворoshiлки 4 происходит разрушение сводов и сыпучие кормы под действием гравитационных сил равномерно высыпаются из дозатора. Заданная производительность дозатора осуществляется заслонкой 8, за счет перекрытия части отверстий 3 дна 2 дозатора. Кроме того ворoshiлка, взаимодействуя с сыпучим кормом, стабилизирует его плотность в зоне формирования дозы, что обеспечивает равномерность дозирования.

**Цель исследований.** Определение оптимальных конструктивных и технологических параметров дозатора, обеспечивающих максимальную точность дозирования ингредиентов комбикормов.

**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, время и средства, что делает его наиболее экономически привлекательным.

Экспериментальные исследования проводились на экспериментальной установке (рис. 2), которая позволяет изменять значения исследуемых факторов согласно плану эксперимента. Для получения экспериментальных математических зависимостей влияния конструктивно-кинематических факторов дозатора на неравномерность дозирования и определение его оптимальных параметров была применена методика планирования многофакторного эксперимента и реализован трехуровневый план второго порядка Бокса-Бенкина [4].

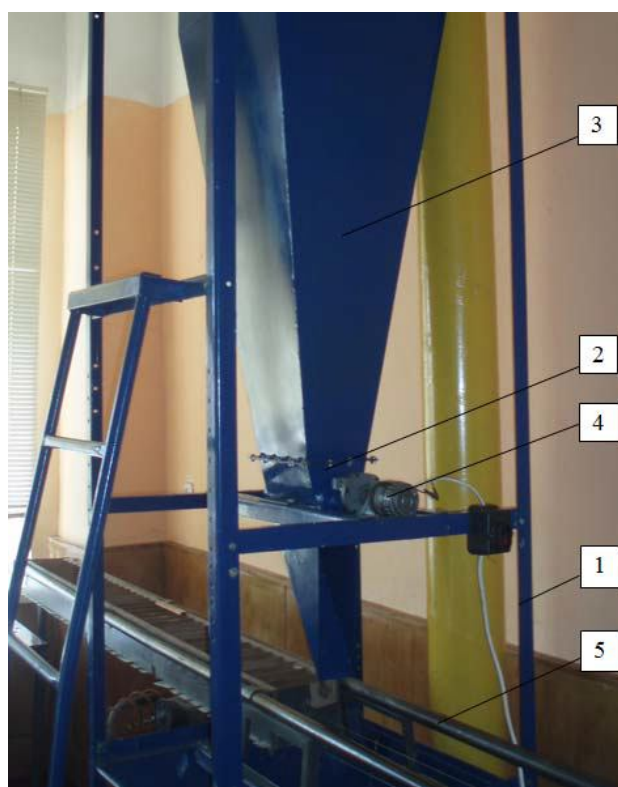


Рисунок 2. – Экспериментальная установка для исследования гравитационного дозатора сыпучих кормов: 1 – рама; 2 – гравитационный дозатор; 3 – наддозаторный бункер; 4 – привод дозатора; 5 – пробоотборник

В результате теоретических исследований и поисковых опытов установлено, что основное влияние на параметр оптимизации (неравномерность дозирования) оказывают следующие факторы: кинематические – частота и амплитуда колебаний ворошилки, конструктивный – диаметры отверстий дна дозатора. За параметр оптимизации при этом принято неравномерность дозирования, которую определяем коэффициентом вариации.

Перед началом эксперимента производилось кодирование факторов по известным формулам [4] (таблица 1).

Таблица 1 - Кодированное значение факторов и уровни их варьирования

Обозначение фактора	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Наименование фактора	Частота колебаний ворошилки, $\nu$ , $c^{-1}$	Амплитуда колебаний ворошилки, $a$ , мм	Диаметры отверстий дна дозатора, $d_0$ , мм
Нулевой уровень, $X_{0i}$	15	7,5	10
Интервал варьирования, $\varepsilon_i$	5	2,5	5
Верхний уровень фактора	20	10	15
Нижний уровень фактора	10	5	5

Опыты проводились в трехкратной повторности с учетом рандомизации. Рандомизация опытов проводилась с использованием таблицы случайных чисел. Трехуровневый план второго порядка Бокса – Бенкина, а также матрица плана и результаты проведения экспериментов приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Матрица планирования экспериментов и результаты опытов

№ точки плана	Рандомизация опыта		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>	Результаты экспериментов		
												у <sub>1</sub>	у <sub>2</sub>	у <sub>3</sub>
1	64	14	+	+	0	+	0	0	+	+	0	4,22	4,33	4,46
2	40	9	-	-	0	+	0	0	+	+	0	3,9	4,08	4,03
3	90	15	+	-	0	-	0	0	+	+	0	3,99	3,84	4,11
4	40	10	-	+	0	-	0	0	+	+	0	4,23	4,17	4,12
5	20	3	+	0	+	0	+	0	+	0	+	4,09	4,03	4,19
6	26	5	-	0	-	0	+	0	+	0	+	4,13	4,21	3,99
7	18	2	+	0	-	0	-	0	+	0	+	4,17	4,38	3,92
8	31	6	-	0	+	0	-	0	+	0	+	4,12	4,14	4,21
9	36	7	0	+	+	0	0	+	0	+	+	3,96	4,08	4,11
10	44	11	0	-	-	0	0	+	0	+	+	3,93	4,07	4,11
11	21	4	0	+	-	0	0	-	0	+	+	4,01	4,12	3,98
12	46	12	0	-	+	0	0	-	0	+	+	4,07	3,96	4,11
13	03	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,84	3,99	3,32
14	60	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,99	3,51	4,23
15	39	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,72	3,95	3,56

В результате расчетов коэффициентов регрессии получена математическая модель второго порядка в следующем виде:

$$y=3,79+0,0167x_1+0,0662x_2+0,0021x_3+0,0467x_{12}-0,025x_{13}+0,0008x_{23}+0,1687x_1^2+0,1465x_2^2+0,1485x_3^2 \quad (1)$$

Статистический анализ уравнения (1) показал, что модель адекватна так как  $F_{расч} = 1,413 < F_{табл} = 2,12$ , и коэффициенты значимы с 95%-й вероятностью.

Для использования уравнения регрессии (1) в качестве расчетной формулы и интерпретации результатов опытов производили его раскодирование

$$\eta=43,0630-13,0322v-7,6060a-1,8363d_0+0,4226va-0,1131vd_0+0,0016ad_0+3,45406v^2+0,586a^2+0,1485d^2 \quad (2)$$

Для обеспечения интерпретации полученных результатов исследования при изучении поверхности отклика был использован метод двумерных сечений. Построение поверхностей отклика и их двумерных сечений выполнялись прикладной программой MATLAB. В полученную ранее математическую модель (1) подставлялись закодированные значения всех факторов, кроме любого одного, причем в первую очередь исследовались те сечения, которые имеют наиболее практическое значение. Далее в полученном выражении определялся

центр поверхности отклика, и производилось каноническое преобразование модели второго порядка.

Поверхность отклика и ее двухмерное сечение, описываемое уравнением (1) по факторам, частота и амплитуда колебания ворошилки представлено на рис. 3, а само уравнение в канонической форме запишется в виде:

$$Y - 3,7825 = 0,1864x_1^2 + 0,1484x_2^2 + 0,1289x_3^2 \quad (3)$$

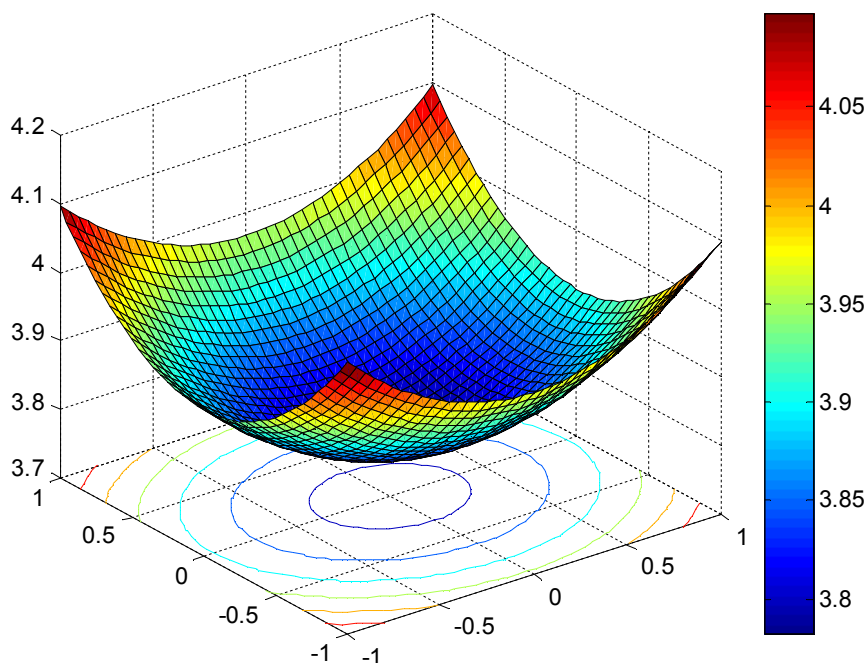


Рисунок 3 – Зависимости эффективности процесса дозирования от частоты и амплитуды колебаний ворошилки дозатора

Из рисунка 3 следует, что минимальное значение неравномерности дозирования в рассматриваемом сечении поверхности отклика  $\eta=3,75\%$  имеет место при частоте колебаний ворошилки равной  $\nu=14,7\text{ с}^{-1}$  и амплитуде колебаний равной  $a=7,2\text{ мм}$ . На основании этого рисунка можно также заключить, что допустимые значения рассматриваемых факторов (при допустимом значении неравномерности дозирования) находится в пределах  $\nu=12,7 - 17,3\text{ с}^{-1}$  и  $a=5,2 - 9,2\text{ мм}$ .

Поверхность отклика и ее двухмерное сечение, описываемое уравнением (1) по факторам, частота колебания ворошилки и диаметры отверстий дна дозатора представлено на рис. 4, а само уравнение в канонической форме запишется в виде:

$$Y - 3,7896 = + 0,1425x_1^2 + 0,1747x_2^2. \quad (4)$$

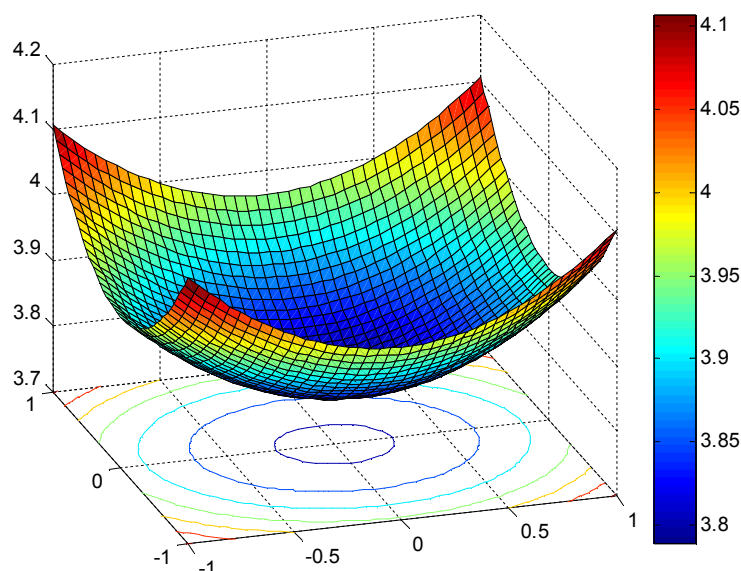


Рисунок 4 – Зависимости эффективности процесса дозирования от частоты колебаний ворошилки и диаметров отверстий дна дозатора

Из рисунка 4 следует, что минимальное значение неравномерности дозирования в рассматриваемом сечении поверхности отклика  $\eta=3,95\%$  имеет место при частоте колебаний ворошилки равной  $\nu=15,7\text{ с}^{-1}$  и диаметрах отверстий дна дозатора  $d=10,6\text{ мм}$ . На основании этого рисунка можно также заключить, что допустимые значения рассматриваемых факторов (при допустимом значении неравномерности дозирования) находится в пределах  $\nu=12,9 - 18,3\text{ с}^{-1}$  и  $d_0=8,3 - 12,6\text{ мм}$ .

Поверхность отклика и ее двухмерное сечение, описываемое уравнением (1) по факторам, амплитуда колебания ворошилки и диаметры отверстий дна дозатора представлено на рис. 5, а само уравнение в канонической форме запишется в виде:

$$Y - 3,7825 = + 0,1425x_1^2 + 0,1747x_2^2. \quad (5)$$

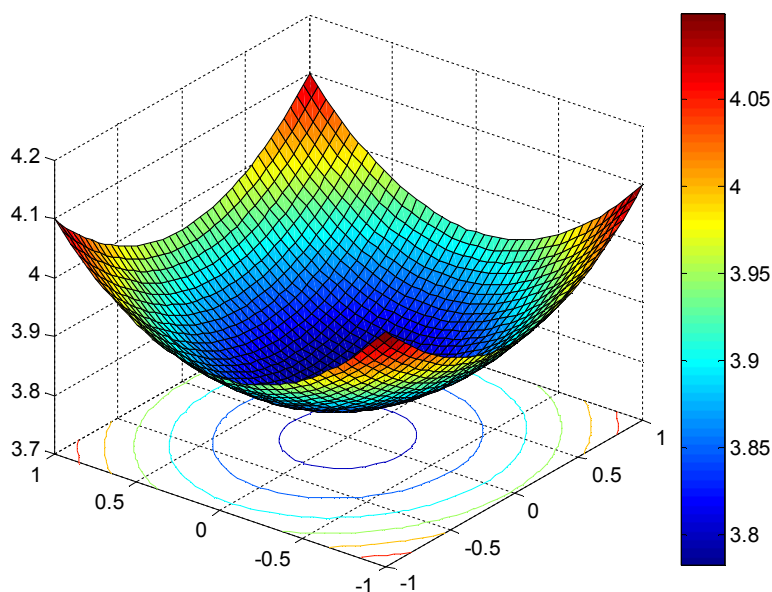


Рисунок 5 – Зависимости эффективности процесса дозирования от амплитуды колебаний ворошилки и диаметров отверстий дна дозатора

Из рисунка 5 следует, что минимальное значение неравномерности дозирования в рассматриваемом сечении поверхности отклика  $\eta=3,73$  % имеет место при амплитуде колебаний ворошилки равной  $a=7,8$  мм. и диаметрах отверстий дна дозатора  $d=9,6$  мм. На основании этого рисунка можно также заключить, что допустимые значения рассматриваемых факторов (при допустимом значении неравномерности дозирования) находится в пределах  $a=5,1 - 8,6$  мм,  $d_0=8,1 - 12,4$  мм.

**Выводы.** В результате применения методики планирования многофакторного эксперимента установлены оптимальные значения изучаемых факторов: частота колебаний ворошилки  $\nu=15,7$  с<sup>-1</sup>; амплитуда колебаний ворошилки  $a=7,2$  мм; диаметры отверстий дна дозатора  $d=9,8$  мм.

### Список использованных литературных источников

1. Степук Л.Я. Механизация дозирования в кормоприготовлении / Л.Я. Степук. – Минск: Ураджай, 1986. – 152 с.
2. Лобанов В.И. Анализ дозаторов сыпучих кормов / В.И. Лобанов // Механизация производственных процессов в животноводстве. – Новосибирск, 1985. – с. 39
3. Дозатор сипучих кормів: пат. 83451 Україна: МПК G01F 11/00, B65B 1/30 Семенцов В.В., Бойко І.Г., Науменко О.А. – №u2013 03877; заявл. 29.03.2013; опубл. 10.09.2013, Бюл. №17.
4. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. –Л.: Колос, 1980.–168 с.

### Анотація

#### Результати експериментальних досліджень по визначенню оптимальних параметрів гравітаційного дозатора

Семенцов В.В., Бойко І.Г.

*У статті приведені результати експериментальних досліджень гравітаційного дозатора сипких матеріалів направлені на визначення його оптимальних конструктивно-режимних параметрів.*

### Abstract

#### Experimental researches results of gravity metering device optimum parameters determination

V. Semencov, I. Boyko

*In the article are given the results of experimental researches of gravity metering device of friable materials which are directed on determination of gravity metering device optimum structural regime parameters.*