УДК 631.563.8

И.М. Курочкин, Ю.Е. Глазков, А.И. Попов

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ КОНСЕРВАНТОВ В РАСТИТЕЛЬНЫЕ КОРМА

Повышение продуктивности животноводства во многом определяется полноценностью кормления животных, качеством заготовленных кормов. Одним из перспективных направлений повышения содержания протеина в растительных кормах является внесение консервирующих препаратов, что позволяет снизить потери питательных веществ в 3 – 5 раз и довести сохраняемость до 92...94 % исходной кормовой массы. Применяемые для этих целей промышленные установки не обеспечивают точного дозирования консерванта в зависимости от обрабатываемой массы корма. В результате работы по улучшению качественных характеристик машин и снижения их металлоемкости, был разработан агрегат для внесения консерванта. Во время эксперимента планировалось исследовать влияние основных управляющих факторов (давления в трубопроводе, эквивалентного диаметра отверстий, массы зеленого корма) на неравномерность дозирования.

Экспериментальные исследования технологического процесса дозирования проводились на кукурузной массе. По результатам опытов были определены коэффициенты уравнения регрессии и значения их доверительных интервалов. После подстановки полученных коэффициентов уравнение для расчета коэффициента неравномерности дозирования консерванта (уравнение регрессии) примет вид:

$$y_н = 3{,}97 - 0{,}274x_1 + 0{,}12x_2 + 0{,}2x_3 - 0{,}125x_1x_2 - 0{,}125x_1x_3 + 0{,}23x_2x_3 - \\ - 0{,}0958x_1^2 + 0{,}15x_2^2 + 0{,}4\,x_3^2. \quad (1)$$

Уравнение (1) неудобно для интерпретации полученных результатов и расчетов. Поэтому проводим его преобразование (раскодирование) с учетом формул перехода к именным величинам:

$$x_i = (X_i - X_{0i})/\xi\,, \quad (2)$$

где x_i – кодированное значение фактора (безразмерная величина): верхний уровень обозначается +1, а нижний –1 (в центре эксперимента будет нулевой уровень); X_i – натуральное значение фактора (именованная величина в размерности фактора); X_{0i} – натуральное значение фактора на нулевом уровне: ξ – натуральное значение интервала варьирования фактора;

$$\xi = (X_i^{в} - X_i^{н})/2\,, \quad (3)$$

где $X_i^{в}$ – значение фактора на верхнем уровне; $X_i^{н}$ – значение фактора на нижнем уровне.

После преобразования получим следующее уравнение регрессии:

$$y = 5{,}16 + 4{,}5\cdot10^{-6}P - 1{,}275\cdot10^{2}D - 1{,}27\cdot10^{-3}M - 2{,}5\cdot10^{-4}PD - \\ - 1{,}25\cdot10^{-9}PM + 4{,}6\cdot10^{-2}DM - 9{,}58\cdot10^{-12}P^2 + 6\cdot10^{3}D^2 + 4\cdot10^{-7}M^2. \quad (4)$$

Для определения оптимальных значений изучаемых факторов составляем систему дифференциальных уравнений, представляющих частные производные по каждому из факторов и приравниваем их к нулю. Система таких дифференциальных уравнений запишется в виде:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y}{\partial x_1} = -0{,}274 - 0{,}125x_2 - 0{,}125x_3 - 0{,}1916x_1 = 0; \\ \dfrac{\partial y}{\partial x_2} = 0{,}12 - 0{,}125x_1 + 0{,}23x_3 + 0{,}3x_2 = 0; \\ \dfrac{\partial y}{\partial x_3} = 0{,}2 - 0{,}125x_1 + 0{,}23x_2 + 0{,}8x_3 = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Решая полученную систему уравнений относительно неизвестных, определим оптимальные значения факторов. Раскодирование оптимальных значений факторов производим по соотношению (2). Кодированные и раскодированные значения факторов приведены в табл. 1.

1 Оптимальные величины факторов и критерия оптимизации

Показатели	Обозначения	Значения
Кодированные оптимальные значения факторов	x_1	–0,089
	x_2	–0,61
	x_3	–0,21
Раскодированные оптимальные значения факторов	P, Па	$1{,}6\cdot10^5$
	D, м	0,007
	M, кг	1300
Оптимальные значения критерия оптимизации	%	4,035

Изучение поверхности отклика в области оптимума удобно проводить с помощью двумерных сечений. Для получения двумерных сечений последовательно подставляем оптимальные значения $x_1 = -0{,}89$, $x_2 = -0{,}61$, $x_3 = -0{,}21$ в уравнение (1). В результате имеем:

$$y = 4{,}138 + 0{,}2313x_2 + 0{,}3113x_3 + 0{,}23x_2x_3 + 0{,}15x_2^2 + 0{,}4x_3^2\,; \qquad (6)$$

$$y = 3{,}953 - 0{,}198x_1 + 0{,}06x_3 - 0{,}125x_1x_3 - 0{,}0958x_1^2 + 0{,}4x_3^2\,, \qquad (7)$$

$$y = 3{,}946 - 0{,}248x_1 + 0{,}072x_2 - 0{,}125x_1x_2 - 0{,}0958x_1^2 + 0{,}15x_2^2\,. \qquad (8)$$

Определяем координаты центра поверхности отклика дифференцированием уравнения (6) и решаем систему уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y}{\partial x_2} = 0{,}2313 + 0{,}23x_3 + 0{,}3x_2 = 0; \\ \dfrac{\partial y}{\partial x_3} = 0{,}3113 + 0{,}23x_2 + 0{,}8x_3 = 0, \end{cases} \qquad (9)$$

Получаем $x_{2s} = -0{,}6188$, $x_{3s} = -0{,}214$.

Подставляя значения x_{2s} и x_{3s} в уравнение (6), получим значение показателя неравномерности в центре поверхности отклика $Y = 4{,}0345$.

Таким образом, уравнение (6), приведенное к канонической форме, получит вид:

$$Y - 4{,}0345 = 0{,}163x_{22}^2 + 0{,}2868x_{33}^2\,, \qquad (11)$$

Определяем угол поворота осей координат в точке S:

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = (0{,}15 - 0{,}4)/0{,}23 = -1{,}086. \qquad (12)$$

Подставляя различные значения показателя неравномерности в уравнение (11), получим уравнения соответствующих контурных кривых – эллипсов, по которым строим двумерные сечения поверхности отклика (рис. 1). Аналогичным образом строим двумерные сечения поверхностей откликов, представленные на рис. 2 и 3, решая уравнения (7) и (8).

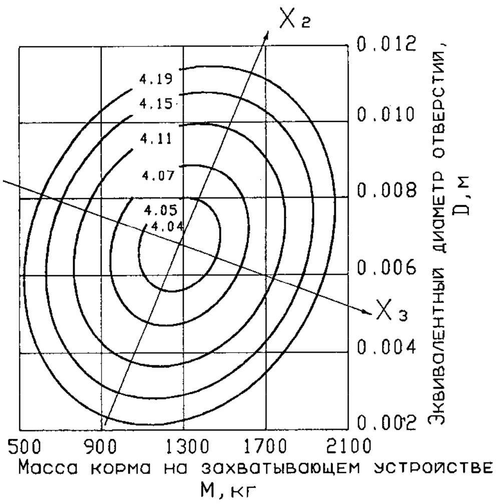

Рис. 1 Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее показатель неравномерности при $X_1 = 0$

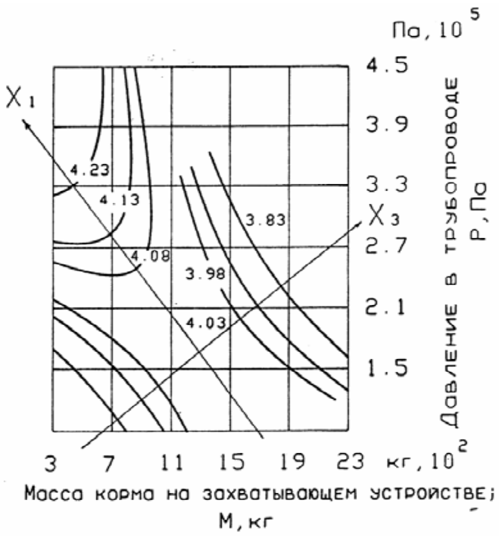

Рис. 2 Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее показатель неравномерности при $X_2 = 0$

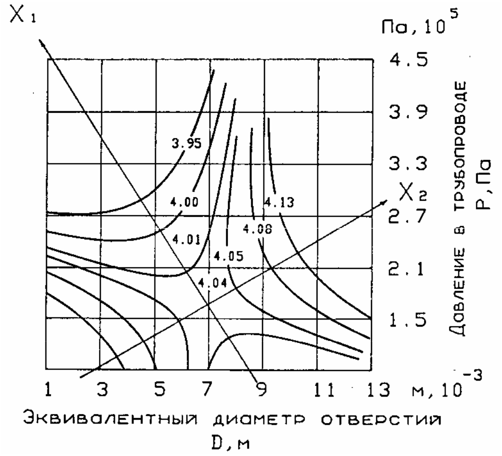

Рис. 3 Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее показатель неравномерности при $X_3 = 0$

В результате проведенного многофакторного эксперимента было получено уравнение, описывающее процесс дозирования консерванта, на основании которого определены оптимальные конструктивно-режимные параметры, обеспечивающие наиболее равномерное распределение консерванта в растительной массе и, соответственно, минимальный коэффициент неравномерности, – давление в напорном трубопроводе 0,18...0,25 МПа, диаметр эквивалентных отверстий 0,006...0,01 м, масса корма на захватывающем устройстве 1600...2000 кг.