

## Оптимизация конструктивных параметров шнека переменного шага пресс-экструдера КМЗ-2 на основе планирования эксперимента

*И.Е. Припоров, к.т.н., Т.Н. Бачу, соискатель,  
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ*

В настоящее время при производстве кормов используется экструдирование, позволяющее повысить их качество [1]. Процесс заключается в приготовлении кормов для сельскохозяйственных животных [2] и связан с переработкой продукта в экструдере путём размягчения или пластификации и придания кормам формы при продавливании через экструзионную головку. Сечение её фильер соответствует конфигурации изделия [3]. Применение таких кормов способствует повышению перевариваемости и питательной ценности продукции и сбалансированному питанию животных, снижению затрат на подготовку их к скармливанию, транспортированию и хранению, а также улучшению процесса раздачи и дозирования [2].

Наибольший практический и научный интерес представляет тепловой способ подготовки высококонцентрированных кормов к скармливанию [3].

Для экструдирования зерна используют выпускаемые промышленностью пресс-экструдеры ПЭК-125×8-75, серии КМЗ-2 разных модификаций. Шнек их должен быть с переменным уменьшающимся шагом по мере передвижения вдоль его оси обрабатываемого кормового материала (ОКМ) [4–6].

Преимуществами пресс-экструдеров являются простота использования, отсутствие возвратно-поступательных (инерционных) сил и связанных с этим снижением металлоёмкости, отсутствие холостого хода, широкий спектр изменения физико-механических свойств перерабатываемых материалов и степень воздействия на них. Основным недостатком пресс-экструдеров — это высокая энергоёмкость, в снижении которой заключается важная народнохозяйственная задача [7].

**Цель исследования** — оптимизация конструктивных параметров шнека переменного шага с учётом его конструктивных особенностей и физико-механических свойств семян подсолнечника путём применения планирования эксперимента с целью снижения энергоёмкости пресс-экструдера.

**Материал и методы исследования.** Процедура проведения многофакторного эксперимента сводится к следующему [8]. Перед началом эксперимента факторы кодировали, осуществляя линейное преобразование факторного пространства с переносом начала координат в центр эксперимента и введением новых единиц измерения  $\varepsilon$  по осям. Кодирование факторов производилось по формуле:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\varepsilon}, \quad (1)$$

где  $x_i$  – кодированное значение фактора, верхний уровень обозначался +1, а нижний – -1 (в центре эксперимента нулевой уровень);

$X_i$  – натуральное значение фактора (именованная величина в размерности фактора);

$X_{0i}$  – натуральное значение фактора на нулевом уровне;

$\varepsilon$  – натуральное значение интервала варьирования фактора.

Натуральное значение интервала варьирования фактора определяли по известной формуле:

$$\varepsilon = \frac{X_i^B - X_i^H}{2}, \quad (2)$$

где  $X_i^B, X_i^H$  – значения фактора на верхнем и нижнем уровнях.

С учётом проведённого обзора литературных источников, теоретических исследований и другой научно-технической информации были выбраны факторы, интервалы и уровни их варьирования для расчёта плотности подсолнечного жмыха в рассыпном виде, полученного после обработки семян на пресс-экструдере КМЗ-2 (табл. 1).

В литературных источниках приводят общее значение плотности подсолнечного жмыха. Отсутствует значение её величины, как в рассыпном, так и гранулированном видах.

Данная работа направлена на устранение пробела в рассматриваемом вопросе.

Для проведения планирования эксперимента была разработана программа, позволяющая рассчитать коэффициенты регрессии полученной математической модели.

После расчёта коэффициентов регрессии проверяли адекватность результатов полученной математической модели факторов [9].

**Результаты исследования.** После обработки результатов эксперимента было получено уравнение регрессии, описывающее плотность подсолнечного жмыха в рассыпном виде, полученного после обработки семян на пресс-экструдере КМЗ-2:

$$Y_S = 3279,8 - 897,06x_1 + 200,5x_2 + 109,1x_3 + 32,2x_1x_2 + 5,2x_1x_3 - 6,3x_2x_3 + 47,8x_1^2 - 26,8x_2^2 - 4,8x_3^2.$$

где  $Y_S$  – значение плотности подсолнечного жмыха в рассыпном виде, полученного после обработки семян на пресс-экструдере КМЗ-2, г/м<sup>3</sup>.

Анализ данного уравнения показывает, что наибольшее влияние на плотность подсолнечного жмыха в рассыпном виде при обработке семян в пресс-экструдере КМЗ-2 оказывает угол конусности шнека, шаг витка шнека 2-й навивки и 1-й навивки, в том числе парное взаимодействие между углом конусности и шаг витка шнека 2-й навивки.

Результаты проверки адекватности полученной математической модели представлены в таблице 2.

При 5-процентном уровне значимости табличное значение критерия Фишера составило 9,55. Так как значение F-критерия, полученное по расчётам, не превышает табличного для выбранного уровня значимости, значит, данная математическая модель адекватна.

Для нахождения максимума функции отклика приравняем к нулю её частные производные и решаем полученную систему уравнений [9].

Решение системы уравнений даёт следующие координаты точки максимума (кодированные значения):  $x_1 = -0,369$ ;  $x_2 = -0,265$ ;  $x_3 = -0,345$ .

Подставив полученные результаты в данное уравнение, определим максимальное значение плотности подсолнечного жмыха в рассыпном виде, полученного из семян после обработки на пресс-экструдере КМЗ-2, которое составляет  $Y_S = 1533,6$  г/м<sup>3</sup>.

В результате обработки полнофакторного эксперимента для плотности подсолнечного жмыха в рассыпном виде получено уравнение регрессии (3) в канонической форме для угла конусности (град) шнека и шаг витка (мм) шнека 2-й навивки (рис. 1):

$$Y - 1533,6 = 47,8X_1^2 - 121,6X_2^2, \quad (3)$$

или

$$\frac{(X_1)^2}{\frac{Y - 1533,6}{47,8}} + \frac{(X_2)^2}{\frac{Y - 1533,6}{-121,6}} = 1.$$

Поверхность отклика представляет собой параболоид (рис. 1), а его центр – экстремум (максимум), так как канонические коэффициенты имеют разные знаки.

В результате обработки полнофакторного эксперимента для плотности подсолнечного жмыха в

### 1. Исходные данные для планирования эксперимента

Фактор	Кодированное обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Угол конусности шнека, град.	$x_1$	1	6	7	8
Шаг витка шнека 2-й навивки, мм	$x_2$	2	5	7	9
Шаг витка шнека 1-й навивки, мм	$x_3$	4	8	12	16

2. Результаты проверки адекватности математической модели

Показатель	Значение показателя
Дисперсия неадекватности, $S^2_{LF}$	80202
Дисперсия ошибки опыта, $S^2_y$	9548
Критерий Фишера: расчётное	8,4
табличное	9,55

рассыпном виде получено уравнение регрессии (4) в канонической форме для угла конусности (град.) и шага витка (мм) шнека 1-й навивки (рис. 2):

$$Y - 1533,6 = 47,8X_1^2 - 62,7X_3^2, \quad (4)$$

ИЛИ

$$\frac{(X_1)^2}{\frac{Y-1533,6}{47,8}} + \frac{(X_3)^2}{\frac{Y-1533,6}{-62,7}} = 1.$$

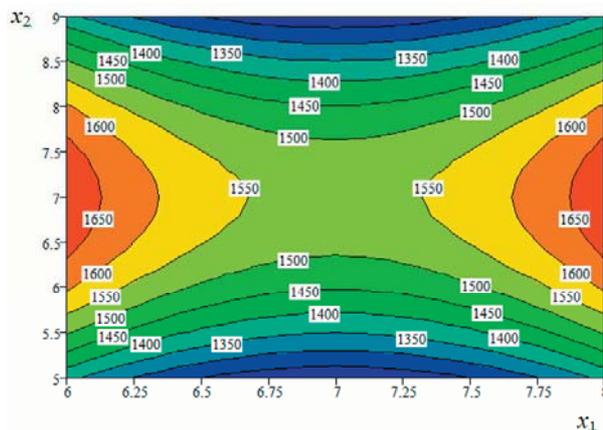
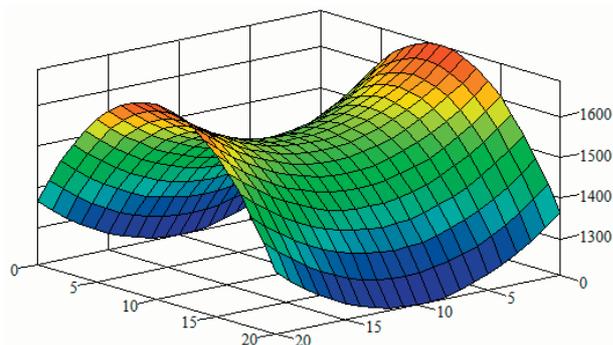


Рис. 1 – Поверхность зависимости плотности подсолнечного жмыха в рассыпном виде от угла конусности и шага витка шнека 2-й навивки

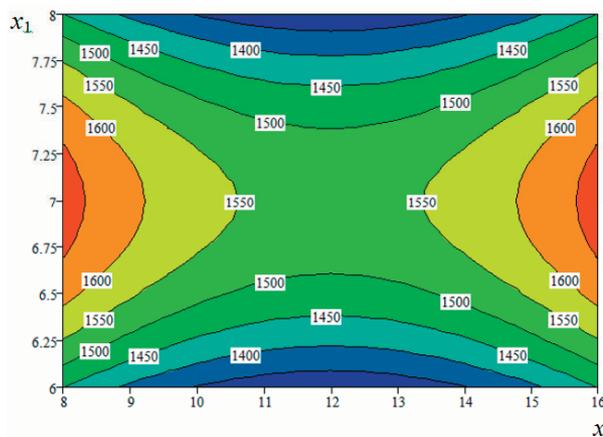
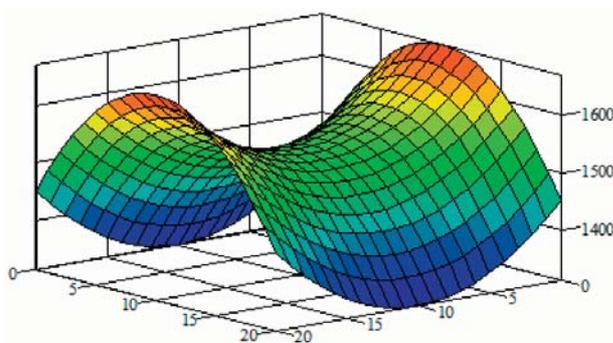


Рис. 2 – Поверхность зависимости плотности подсолнечного жмыха в рассыпном виде от угла конусности и шага витка шнека 1-й навивки

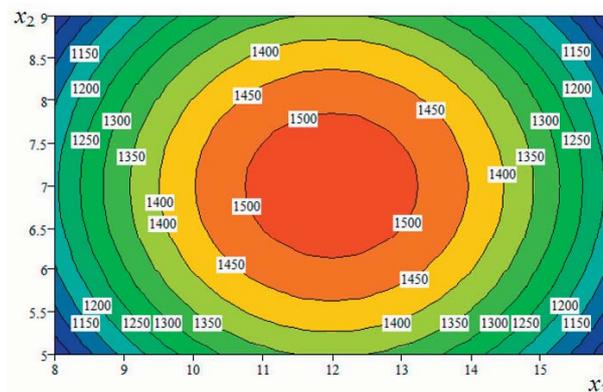
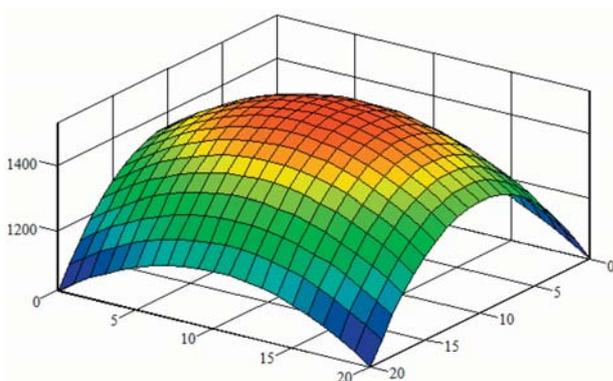


Рис. 3 – Поверхность зависимости плотности подсолнечного жмыха в рассыпном виде от шага витка шнека 2-й навивки и шага витка шнека 1-й навивки

Поверхность отклика представляет собой параболоид (рис. 2), а её центр – экстремум (максимум), так как канонические коэффициенты имеют разные знаки.

В результате обработки полнофакторного эксперимента по плотности подсолнечного жмыха получено уравнение регрессии (5) в канонической форме для шага витка (мм) шнека 2-й навивки и шага витка (мм) шнека 1-й навивки (рис. 3):

$$Y - 1533,6 = -121,6X_2^2 - 62,7X_3^2, \quad (5)$$

или

$$\frac{(X_2)^2}{\frac{Y - 1533,6}{-121,6}} + \frac{(X_3)^2}{\frac{Y - 1533,6}{-62,7}} = 1.$$

Поверхность отклика представляет собой эллипсоид (рис. 3), а её центр – экстремум (максимум), так как канонические коэффициенты имеют одинаковые знаки.

**Вывод.** В результате проведённого исследования были определены оптимальные конструктивные параметры шнека переменного шага пресс-экструдера КМЗ-2, которые составили следующие значения: угол конусности составил  $7^\circ$ , шаг витка шнека 2-й навивки – 7 мм, шаг витка шнека 1-й навивки

пресс-экструдера – 12 мм. При данных параметрах критерий оптимизации (плотность подсолнечного жмыха в рассыпном виде) составил  $1533,6 \text{ г/м}^3$ .

### Литература

1. Орси́к О.Л. О влиянии конусности направителя на продвижение смеси в пресс-экструдере // Нива Поволжья. 2014. № 3 (32). С. 73–78.
2. Денисов С.В. Повышение эффективности кормосмеси на основе стебельчатого корма и обоснование параметров пресс-экструдера: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Саратов, 2006. С. 3.
3. Зубкова Т.М. Повышение эффективности работы одношнекового экструдера для производства кормов на основе параметрического синтеза: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. Оренбург, 2006. 39 с.
4. Фролов В.Ю. Теоретические и экспериментальные аспекты разработки технологий и технических средств, приготовления концентрированных кормов на основе соевого белка. Краснодар: КубГАУ, 2010. 140 с.
5. Припоров И.Е. Обоснование рациональных конструктивных параметров шнека переменного шага пресс-экструдера // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 12. С. 27–30.
6. Припоров И.Е. Обоснование винтовой поверхности шнека переменного шага пресс-экструдера // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (63). С. 67–70.
7. Курманов А.К. Совершенствование винтового пресс-экструдера // Вестник торгово-технологического института. 2011. № 5 (5). С. 39–41.
8. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рошин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 1980. 168 с.
9. Юдин М.И. Планирование эксперимента и обработка его результатов. Краснодар: КубГАУ, 2004. 239 с.