

ПРОЦЕССЫ, АППАРАТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 636.085.5

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПАНДЕРА ЗЕРНА С АКТИВНОЙ МАТРИЦЕЙ

В.А.Шаршунов, А.В.Червяков, О.В.Понталев

Установлена возможность применения в качестве кормовой добавки пудрета для составления смесей с зерном при производстве комбикормов для кормления крупного рогатого скота. Разработана рациональная конструктивно-технологическая схема экспандера с активной матрицей, обеспечивающей баротермическую обработку материала в кольцевом зазоре между неподвижным корпусом и боковой цилиндрической поверхностью вращающегося формообразующего элемента. Данный элемент закреплен на валу подающего шнека. Теоретически и экспериментально обоснованы параметры рабочих органов экспандера и режимы работы при обработке зерновых смесей. Разработана методика расчета конструктивных и технологических параметров установки. Показана эффективность экспандирования смеси ячменя и пудрета и применения получаемого готового продукта.

Введение

Углубленная переработка фуражного зерна для кормления свиней, крупного рогатого скота и птицы является общепризнанным направлением в производстве комбикормов для животноводства. «Взрыв» зерна при экспандировании, за счет комбинированного воздействия давления и температуры, обеспечивает увеличение переваримости питательных веществ на 10–15% с влажностью материала до 26%, что позволяет использовать пудрет в качестве добавки в смесь с зерном [1].

В существующих конструкциях экструдеров и экспандеров применяется пассивная одно- и многоканальная матрица, закрепленная неподвижно в корпусе самого экспандера и позволяющая получить конечный продукт цилиндрической формы с взорванной микропористой внутренней структурой после достижения давления прессования до 2,3 МПа и температуры 180–200⁰С. Недостатком применения пассивных матриц является ограниченность возможности увеличения площади проходного сечения матрицы выше предельно допустимых уровней, необходимых для обеспечения теплового взрыва зерна на ее выходе [2].

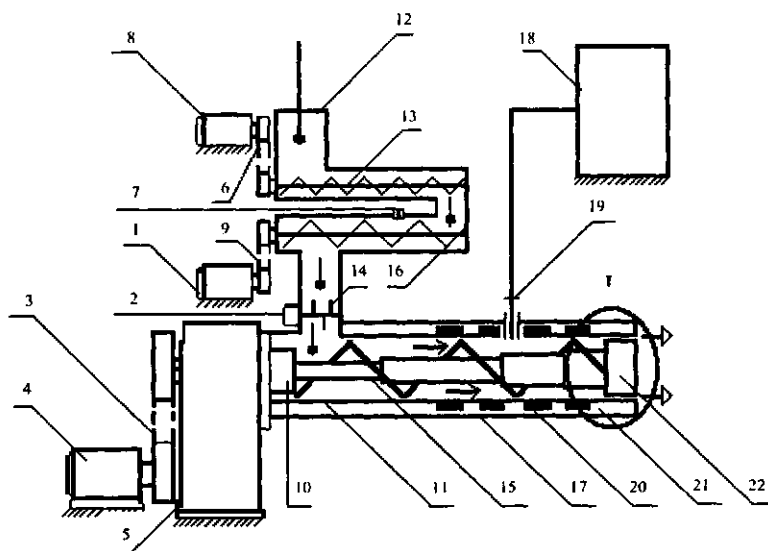
Основная часть

В УО БГСХА предложена новая конструкция матрицы (рис.1), включающая корпус экспандера 11 и формующий элемент 22, установленный неподвижно на валу шнека 15 экспандера, а следовательно, и вращающейся вместе с ним относительно корпуса [3].

При этом экспандирование кормовых смесей на исследуемом экспандере происходит в кольцевом зазоре между корпусом и боковой поверхностью формующего элемента матрицы. Кольцевой зазор в пределах 3,5–4,5 мм позволяет за счет изменения диаметров формующего элемента и корпуса увеличивать площадь живого сечения матрицы с обеспечением эффективного экспандирования зерна и его смесей, что не ограничивает

возможность повышения производительности рассматриваемого процесса в больших пределах, чем у экспандеров традиционной конструкции. Вращение формующего элемента матрицы вместе со шнеком позволяет уменьшить коэффициент трения о ее поверхность, что в свою очередь снижает давление прессования на осуществление процесса экспандирования смеси и приводит к уменьшению энергозатрат на сам рабочий процесс.

Анализ результатов теоретических исследований позволяет сделать вывод, что производительность экспандера зависит от свойств обрабатываемого материала, подачи шнека и пропускной способности матрицы, которая по рекомендациям Н.П. Черняева и Г.М. Медведева [4] характеризуется коэффициентом «живого» сечения. На его величину оказывает влияние кольцевой зазор между боковой поверхностью формующего элемента и корпусом шнека.



→ -исходный материал; → -спрессованный материал; → -взорванный продукт

1-привод смесителя-дозатора; 2-привод ворошителя; 3, 6, 9-клиноременные передачи; 4-привод шнека; 5-редуктор; 7-форсунка; 8-привод питателя; 10-соединительная муфта; 11-корпус камеры шнека; 12-загрузочный бункер; 13-питатель; 14-ворошитель; 15-шнек; 16-смеситель-дозатор; 17-защитный кожух; 18-шкаф управления; 19-измерительный преобразователь температуры; 20-кольцевые нагревательные элементы; 21-теплоизолятор; 22-формующий элемент активной матрицы

Рисунок 1 – Схема экспандера принципальная

Производительность экспандера (Q_3 , т/ч) определяется выражением (рис. 2, а)

$$Q_3 = 900 \cdot \pi \cdot \left(\frac{(\pi \cdot f)^2 \cdot k_{ш}^2}{(\pi \cdot f \cdot k_{ш})^2} \right) \cdot H^3 \cdot \gamma_1 \cdot K_n \cdot n \cdot \left(\frac{4j' \cdot (D_k - j')}{D_k^2} \right) \cdot k_m, \quad (1)$$

где f – коэффициент трения обрабатываемой смеси в зоне загрузки шнека;

$k_{ш}$ – конструктивный коэффициент (отношение шага витка шнека к его наружному диаметру);

H – шаг витка шнека, м;

γ_1 – объемная масса смеси в зоне загрузки шнека, т/м³;

K_n – коэффициент заполнения межвиткового пространства шнека в зоне загрузки;

n – частота вращения шнека, с⁻¹;

j' – кольцевой зазор между боковой поверхностью формующего элемента активной матрицы и корпусом шнека, м;

D_k – диаметр корпуса шнека, м;

k_m – коэффициент, учитывающий изменение пропускной способности матрицы в зависимости от свойств обрабатываемого материала и ее конструктивных особенностей (определяется экспериментальным путем).

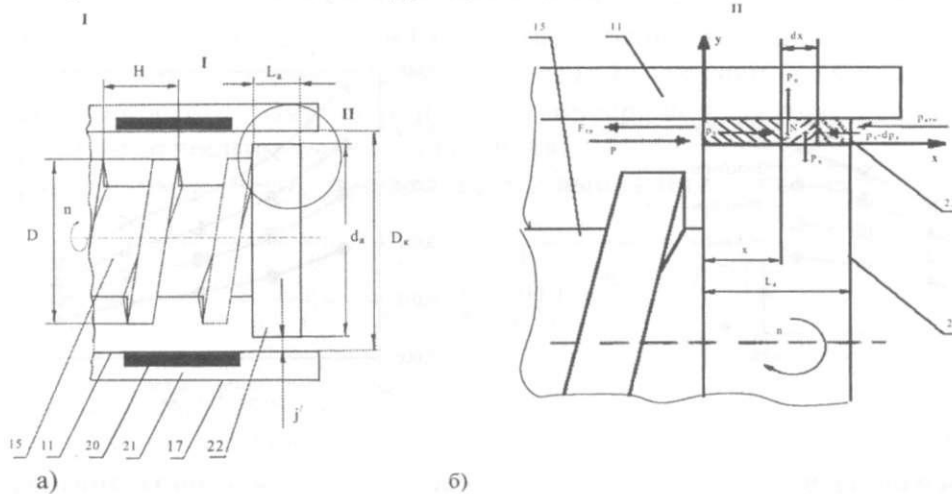
Значение конструктивного коэффициента $k_{ш}$ рекомендуется принимать В.А. Силиным в пределах от 0,5 до 1.

Шаг H и коэффициент заполнения K_H зависят от эквивалентного диаметра обрабатываемых частиц (физико-механических свойств смеси), оптимальное значение данных параметров определялось по методике, предложенной В.А. Силиным [5].

Коэффициент K_H заполнения межвиткового пространства шнека в зоне загрузки

$$K_H = \frac{w \cdot d_3^3}{6 \cdot H \cdot h \cdot (d+h)}, \quad (2)$$

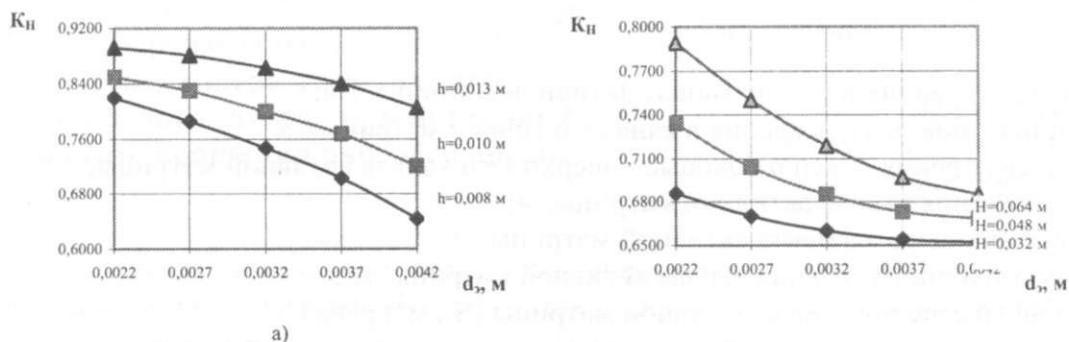
где: w – количество частиц смеси в межвитковом пространстве в зоне загрузки шнека, шт.;
 d_3 – эквивалентный диаметр обрабатываемых частиц;
 h – высота витка шнека в зоне загрузки, м;
 d – диаметр вала шнека в зоне загрузки, м.



а – схема к расчету производительности; б – схема сил, действующих на выделенный элемент смеси

11 – корпус камеры шнека; 15 – шнек; 17 – защитный кожух; 20 – кольцевые нагревательные элементы; 21 – теплоизолятор; 22 – формующий элемент активной матрицы; 23 – обрабатываемая смесь; D – наружный диаметр шнека, м; D_k – диаметр корпуса шнека, м; d_a – диаметр активной матрицы, м; j' – кольцевой зазор между боковой поверхностью формующего элемента активной матрицы и корпусом шнека, м; H – шаг витка шнека, м; n – частота вращения шнека, c^{-1} ; $F_{тр}$ – сила трения, действующая в горизонтальной плоскости, Н; p – давление прессования в начале канала активной матрицы, Па; p_n – давление на выделенный элемент смеси, Па; p_n – сила нормального давления, Н; N – сила нормальной реакции, Н; $p_{атм}$ – атмосферное давление, Па; dp_x – потери давления на внутреннее трение, Па; dx – выделенный элемент смеси, м; x – расстояние от начала координат до выделенного элемента смеси, м; L_a – длина формующего элемента активной матрицы, м

Рисунок 2 – Элемент конструкции рабочего органа экспандера



а – эквивалентный диаметр частиц и высоты витка шнека в зоне загрузки;
 б – эквивалентный диаметр частиц и шага витка шнека в зоне загрузки

Рисунок 3 – Зависимость коэффициента заполнения от эквивалентного диаметра частиц, высоты и шага витка шнека в зоне загрузки

Определена зависимость коэффициента заполнения от эквивалентного диаметра обрабатываемых частиц и конструктивных параметров шнека – высоты витка (рис. 3, а), шага (рис. 3, б) в зоне загрузки.

Эффективность подачи обрабатываемой смеси из зоны загрузки в предматричную зону шнековым рабочим органом обеспечивается рациональным выбором угла подъема винтовой линии лопасти шнека, зависящим от шага витка, диаметра вала и коэффициента трения смеси.

Тогда, учитывая вышеизложенное, диаметр d вала шнека в зоне загрузки определяется из условия $d = H / \pi \cdot f$.

Графический анализ зависимостей высоты витка h и диаметра вала d от шага H и эквивалентного диаметра частиц d_p представлен на рисунке 4.

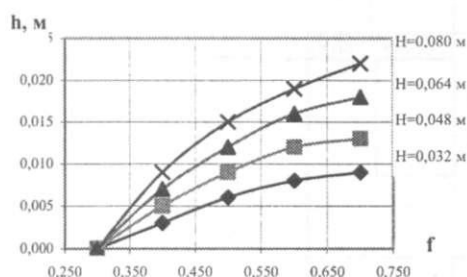


Рисунок 4 – Зависимость высоты витка от коэффициента трения смеси и шага

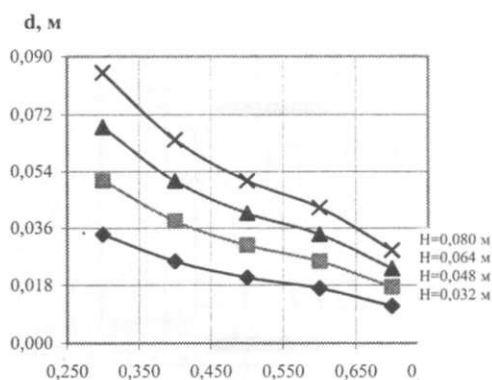


Рисунок 5 – Зависимость диаметра вала от коэффициента трения смеси и шага

Стабильность протекания процесса экспандирования, а следовательно, и качество полученного продукта, зависит не только от кольцевого зазора между поверхностью формирующего элемента активной матрицы и корпусом шнека, но и от длины его боковой поверхности, определение которой проводилось по методике, предложенной А.Я. Соколовым (рис. 2, б).

Распределение давления по длине канала, образованного боковыми поверхностями формирующего элемента и корпусом шнека, который проходит материал до завершения релаксационных процессов, возникающих в результате термодинамического воздействия температуры и давления (p_{La} , Па), определяется формулой (6):

$$p_{La} = p \cdot e^{-\frac{k_{\sigma} \cdot f_2 \cdot \Pi \cdot L_a}{S_a}}, \quad (4)$$

где p – давление прессования в начале канала активной матрицы, Па;

k_{σ} – коэффициент бокового давления в канале активной матрицы;

f_2 – коэффициент трения смеси о боковые поверхности канала активной матрицы;

Π – периметр сечения канала активной матрицы, м;

L_a – длина формирующего элемента активной матрицы, м;

S_a – площадь проходного сечения канала активной матрицы, m^2 .

Площадь проходного сечения канала активной матрицы (S_a, m^2) равна

$$S_a = \frac{\pi \cdot (D_k^2 - d_a^2)}{4}, \quad (5)$$

где d_a – диаметр формирующего элемента активной матрицы.

Учитывая величину зазора, получаем

$$S_a = \pi \cdot j' \cdot (D_k - j'), \quad (6)$$

С учетом выражения (6) и значения периметра Π , равного $2 \cdot (L_a + j')$, формула (4) примет вид

$$p_{La} = p \cdot e^{-\frac{2 \cdot k_{\sigma} \cdot f_2 \cdot L_a \cdot (L_a + j')}{\pi \cdot j' \cdot (D_k - j')}}}, \text{ Па} \quad (7)$$

Уравнение, полученное в результате решения зависимости (7), позволяет определить длину формирующего элемента L_a активной матрицы, превышение которой приводит к тому, что продукт прекращает осевое движение и остается неподвижным относительно камеры шнека.

Длина формирующего элемента (L_a , м) выражается зависимостью

$$L_a = -\frac{j'}{2} + \sqrt{\frac{(j')^2}{4} - \frac{\pi \cdot j' \cdot (D_k - j') \cdot \ln \frac{p_{атм}}{p}}{2 \cdot k_{\sigma} \cdot f_2}}, \quad (8)$$

где $p_{атм}$ – атмосферное давление, Па.

Графический анализ зависимостей (1) и (8) представлен на рисунках 6 и 7.

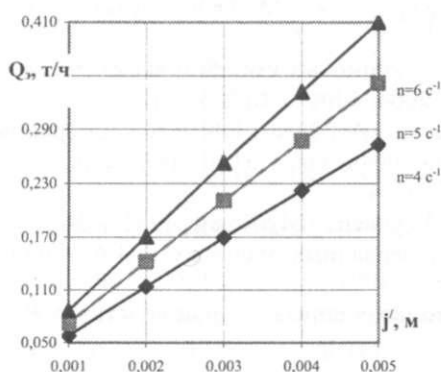


Рисунок 6 – Зависимость производительности экспандера от величины кольцевого зазора при различной частоте вращения рабочего органа

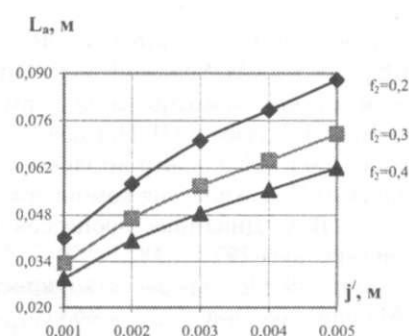


Рисунок 7 – Зависимость длины формирующего элемента от величины кольцевого зазора и коэффициента трения смеси о боковые поверхности канала активной матрицы

Анализ полученных результатов показывает, что для достижения необходимых качественных показателей конечного продукта (табл. 1) с обеспечением минимальных удельных энергозатрат необходимо иметь следующие рациональные конструктивные параметры и технологические режимы обработки: диаметр и длина формирующего элемента активной матрицы соответственно 0,060–0,065 м и 0,066–0,068 м (при диаметре корпуса шнека – 0,075 м); частота вращения шнека 4,7–5,0 с^{-1} ; температура нагрева камеры шнека 180–200 $^{\circ}\text{C}$; влажность обрабатываемой смеси 23–25%.

Таблица 1 - Качественные показатели продукта до и после обработки

Показатель	Смесь ячменя и пудрета	
	до обработки	после обработки
Коэффициент взорванности	–	1,7
Углеводы, %	16,3	39,7
Сырая клетчатка, %	26,74	4,67
Степень декстринизации крахмала, %	40	65
Переваримость белка, %	35,27	50,73
Патогенная микрофлора, в 1 г	$2 \cdot 10^6$	отсутствует

Заключение

Исходя из физико-механических свойств обрабатываемого материала (влажность обрабатываемой смеси 21,8–39,6%, эквивалентный диаметр частицы 0,0024–0,0042 м, коэффициент трения 0,49–0,64, объемная масса 0,674–0,774 т/м³) определены конструктивные параметры основных рабочих элементов экспандера: шнека (длина – 0,2–1,4 м, высота и шаг витка соответственно 0,007–0,018 м и 0,024–0,067 м, диаметр вала в зоне загрузки 0,022–0,070 м, наружный диаметр 0,036–0,106 м) и активной матрицы (кольцевой зазор между боковой поверхностью формующего элемента и корпусом шнека 0,001–0,005 м, диаметр и длина формующего элемента соответственно 0,036–0,096 м и 0,030–0,088 м); технологические режимы обработки смеси (температура нагрева камеры шнека – 100–220 °С, частота вращения от 0,8 с⁻¹).

Литература

1. Шаршунов, В.А. Состояние и тенденции применения новых ресурсосберегающих технологий при производстве комбикормов / В.А. Шаршунов, А.В.Червяков, С.В. Курзенков. – М.: ООО «Девятка Плюс», 2004. – 136 с.
2. Шаршунов, В.А. Результаты исследований по экспандированию кормовых смесей с включением пудрета / В.А. Шаршунов, А.В. Червяков, О.В. Понталев // Агропанорама. – 2004. – №2. – С. 2–5.
3. Экспандер для приготовления кормов: пат. 3208 Респ. Беларусь, А 23 N 17/00 / В.А. Шаршунов, А.В. Червяков, С.И. Козлов, О.В. Понталев; заявитель БГСХА. – № и 20060046; заявл. 31.01.2006; опубл. 30.12.2006 / Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. улаенасці. – 2006. – №6. – С. 4.
4. Черняев, Н.П. Технология комбикормового производства / Н.П. Черняев. – М.: Колос, 1992. – 367 с.
5. Силин, В.А. Динамика процессов переработки пластмасс в червячных машинах / В.А. Силин. – М.: Машиностроение, 1972. – 182 с.
6. Соколов, А.Я. Основы расчета и конструирования машин и автоматов пищевых производств / А.Я. Соколов. – М.: Машиностроение, 1973. – 463 с.

Поступила в редакцию 27.02.2007