

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА И ПАРАМЕТРОВ КОМПРЕССИОННОЙ КАМЕРЫ СМЕСИТЕЛЯ-ГРАНУЛЯТОРА КОРМОВ

В статье представлена разработка конструкции смесителя-гранулятора высокобелковых кормов с использованием соевого компонента, которая содержит компрессионную камеру, а также получена математическая модель оценки процесса приготовления высокобелковых кормовых смесей.

Ключевые слова: компрессионная камера, смеситель-гранулятор, соевый компонент, высокобелковая кормовая смесь.

S.N. Voyakin, A.N. Vishnevskiy, S.M. Dotsenko, V.A. Shirokov

THE COMPRESSIVE CHAMBER PROCESS AND PARAMETER SUBSTANTIATION OF THE FORAGE MIXER-GRANULATOR

The design development of the high-protein forage mixer-granulator with the soy component use that contains the compressive chamber is presented in the article; the assessment mathematical model of the high-protein forage mixture preparation process is received.

Key words: compressive chamber, mixer-granulator, soy component, high-protein forage mixture.

Введение. Как показывает анализ литературных источников, а также практика, и в настоящее время актуальным направлением в производстве высокобелковых кормовых смесей остается получение продуктов в их гранулированной форме. При этом основным показателем качества гранул является показатель, характеризующий их крошимость [1].

Как установлено ранее проведенными исследованиями [2], одним из основных факторов, влияющих на показатель крошимости высокобелковых гранул, является наличие воздушных пор в «теле» влажных гранул.

Цель работы. Обоснование процесса уплотнения и параметров компрессионной камеры смесителя-гранулятора высокобелковых кормовых продуктов.

Достижение поставленной цели предусматривает решение следующих задач:

1) получить аналитические выражения, характеризующие параметры процесса уплотнения кормовых продуктов в компрессионной камере смесителя-гранулятора;

2) экспериментальным путем, на основе математического моделирования, определить оптимальные значения параметров указанного процесса.

Методы исследования. Плотность влажных гранул определяли косвенным путем на приборе, разработанном Украинским НИИ механизации и электрификации сельского хозяйства (УНИИМЭСХ) [3]. Крошимость сухих гранул определяли по относительному содержанию разрушенных гранул согласно ГОСТ 18691-73 [1].

Для повышения качества гранул, на наш взгляд, необходимо удалить воздух из продукта путем его уплотнения в камере смесителя-гранулятора.

С этой целью авторами статьи разработана конструкция смесителя – гранулятора высокобелковых кормов с использованием соевого компонента, который содержит компрессионную камеру 4 (рис. 1).

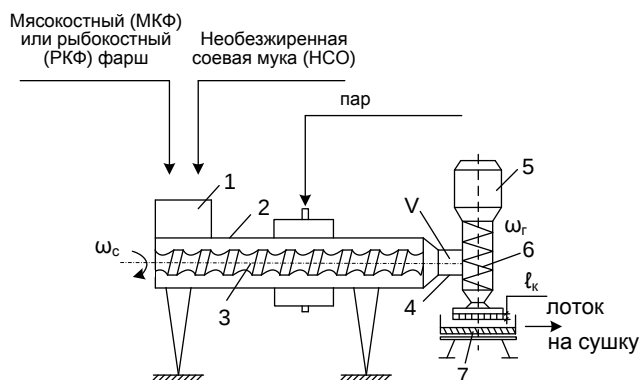


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема смесителя-гранулятора с компрессионной камерой:

1 – бункера; 2 – корпус смесителя; 3 – винт; 4 – компрессионная камера; 5 – гранулятор;

6 – винт гранулятора; 7 – лоток для влажных гранул

Результаты исследования. Анализом данного процесса установлено, что изменение формы продукта, попадающего из смесителя в компрессионную камеру, связано с деформацией его состояния (рис. 2).

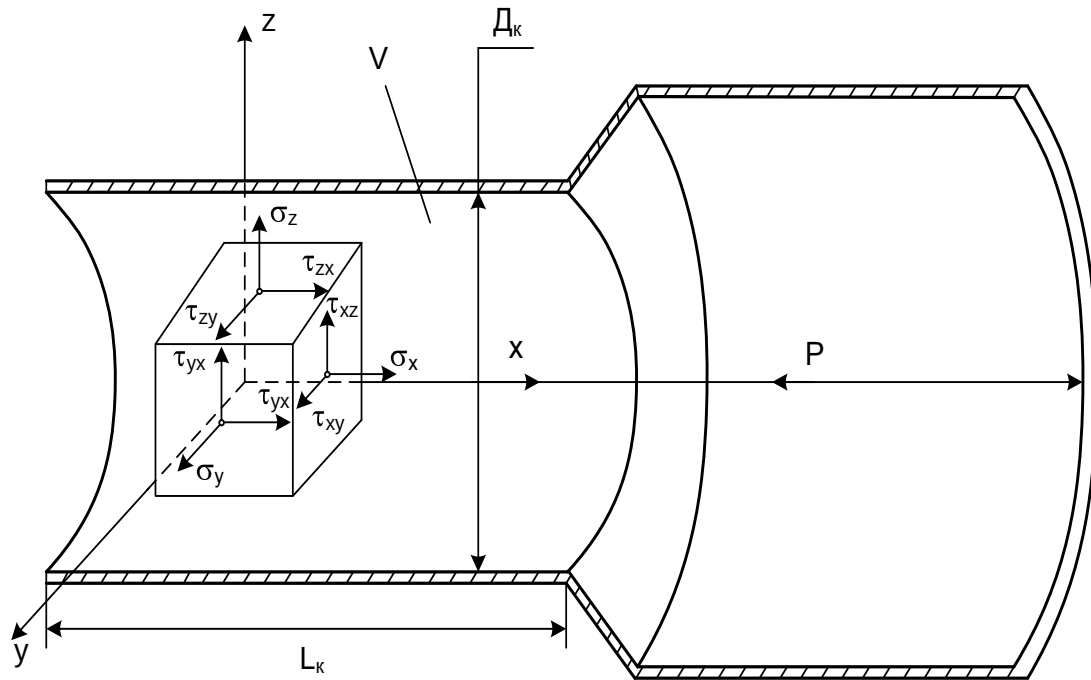


Рис. 2. Схема к определению давления в компрессионной камере и ее параметров

Абсолютное приращение объема спрессованного продукта определяется в соответствии с принципом объемной деформации [4] разностью \

$$\Delta V = dx \cdot dy \cdot dz \cdot (+\varepsilon_x) (+\varepsilon_y) (+\varepsilon_z) dx \cdot dy \cdot dz, \quad (1)$$

или

$$\Delta V = dx \cdot dy \cdot dz \cdot (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) \quad (2)$$

где $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – относительное сжатие по осям.

Тогда для относительного изменения объема продукта в компрессионной камере можно записать, что оно равно сумме линейных деформаций по трем осям

$$e_V = \frac{\Delta V}{V} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z, \quad (3)$$

$$e_x = \frac{\sigma_x}{E} - \mu \cdot \frac{\sigma_y}{E} - \mu \cdot \frac{\sigma_z}{E} \quad (4)$$

где μ – коэффициент Пуассона;

E – модуль упругости первого рода;

V – объем компрессионной камеры.

Такие же выражения получаются и для ε_y и ε_z . В итоге имеем

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} \cdot \sigma_x - \mu \cdot \sigma_y + \sigma_z \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} \cdot \sigma_y - \mu \cdot \sigma_z + \sigma_x \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} \cdot \sigma_z - \mu \cdot \sigma_x + \sigma_y \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Сложение левых и правых частей этих равенств дает выражение для объемной деформации продукта в компрессионной камере смесителя-гранулятора

$$\frac{\Delta V}{V} = e_v = \frac{1-2 \cdot \mu}{E} \cdot \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (6)$$

Примем, что

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \Theta \quad (7)$$

при

$$\sigma_1 + \sigma_2 = \xi_0 \cdot P \quad \text{и} \quad \sigma_3 = P, \quad (8)$$

где ξ_0 – коэффициент бокового распора; P – давление.

Тогда

$$\Theta = 1 + 2 \cdot \xi_0 \cdot P. \quad (9)$$

$$P = \Theta / (1 + 2 \cdot \xi_0). \quad (10)$$

С учетом выражения (6) имеем, что

$$e_v = \frac{1-2 \cdot \mu \cdot \Theta}{E}. \quad (11)$$

С учетом выражения (9)

$$\frac{\Delta V}{V} = e_v = \left[\frac{1-2 \cdot \mu}{E} \right] \cdot (1 + 2 \cdot \xi_0 \cdot P) \quad (12)$$

откуда

$$P = \frac{\Delta V \cdot E}{V \cdot (1 - 2 \cdot \mu + 2 \cdot \xi_0 - 4 \cdot \mu \cdot \xi_0)} \quad (13)$$

Данное выражение характеризует взаимосвязь между давлением в компрессионной камере смесителя-гранулятора P , ее объемом V , а также структурно-механическим показателем (модулем Юнга) бинарной композиции на основе соевого компонента.

Параметры компрессионной камеры смесителя-гранулятора определили используя следующий методический подход.

Согласно обобщенной теореме взаимности работ [4], для схемы, представленной на рисунке 2, можно записать.

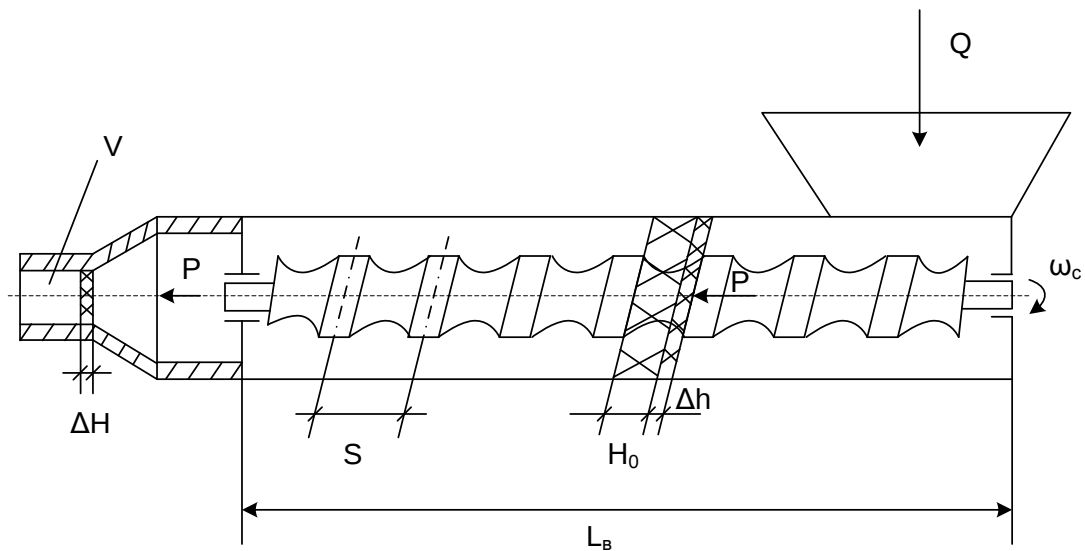


Рис. 3. Схема к обоснованию конструктивных параметров компрессионной камеры смесителя-гранулятора

$$F \cdot \Delta H = P \cdot \Delta V, \quad (14)$$

где F – сила, приводящая к изменению объема;

ΔH – изменение расстояния в уплотняемом продукте под действием давления P .

При этом изменение расстояния под действием давления P можно определить через начальную и конечную пористость бинарной композиции γ_n и γ_k

$$\Delta H = \Delta h \cdot n = H_0 \cdot \left(\frac{\gamma_n - \gamma_k}{1 + \gamma_n} \right), \quad (15)$$

где n – число уплотненных порций кормового продукта, равное $L_{\text{в}}/S$; $L_{\text{в}}$ – длина винта; S – шаг витков винта.

Соответственно, изменение объема ΔV определим как

$$\Delta V = \frac{P \cdot H_0 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}{E} = \frac{P \cdot \Delta h \cdot L_{\text{в}} \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}{E \cdot S}. \quad (16)$$

Приравняв правые части выражений (15) и (16) и решая полученное равенство относительно P , имеем аналитическую зависимость, характеризующую процесс уплотнения с учетом начальной и конечной пористости высокобелковых бинарных композиций

$$P = E \cdot \left(\frac{\gamma_n - \gamma_k}{1 + \gamma_n} \right) \cdot (1 - 2 \cdot \mu). \quad (17)$$

Приравнивая правые части выражений (13) и (17) и решая полученное равенство относительно параметра V , имеем

$$V = \frac{\Delta V}{\left(\frac{\gamma_H - \gamma_K}{1 + \gamma_H} \right) \cdot 1 - 2 \cdot \mu^2 \cdot 1 + 2 \cdot \xi_0} \quad (18)$$

Для компрессионной камеры цилиндрической формы имеем, что

$$V = \frac{\pi \cdot D_K^2}{4} \cdot L_K, \quad (19)$$

где D_K – диаметр камеры; L_K – длина камеры.

Совместное решение уравнений (18) и (19) относительно параметра D_K дает выражение, характеризующее связь между конструктивными параметрами и пористостью бинарных композиций

$$D_K = \sqrt{\frac{4 \cdot \Delta V}{\pi \cdot L_K \cdot \left(\frac{\gamma_H - \gamma_K}{1 + \gamma_H} \right) \cdot 1 - 2 \cdot \mu^2 \cdot 1 + \xi_0}}. \quad (20)$$

Плотность кормового продукта в компрессионной камере после удаления «пор» определили согласно зависимости

$$\rho_K = \rho_0 + \kappa \cdot P. \quad (21)$$

где κ – эмпирический коэффициент, имеющий размерность, c^2/m^2 ; P – давление на продукт.

С учетом выражения (13) можно записать, что

$$\rho_K = \rho_0 + \frac{\Delta V \cdot E \cdot \kappa}{V \cdot 1 - 2 \cdot \mu + 2 \cdot \xi_0 - 4 \cdot \mu \cdot \xi_0}, \quad (22)$$

Анализ выражения (22) показывает, что приращение плотности прессуемого продукта в компрессионной камере смесителя-гранулятора зависит от структурно-механических и упругих свойств уплотняемого продукта.

В результате эксперимента, проведенного на этом устройстве, получены данные, после математической обработки которых были построены математические модели оценки процесса получения высокобелковых кормовых смесей.

Для оценки плотности получаемых влажных гранул на выходе из гранулятора математическая модель имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \rho_K = & -2041,8 + 324,4 \cdot \omega_c + 19,228 \cdot \omega_e + 65,369 \cdot l_K - 0,361 \cdot \omega_c \cdot \omega_e - \\ & - 1,500 \cdot \omega_c \cdot l_K - 0,075 \cdot \omega_e \cdot l_K - 13,046 \cdot \omega_c^2 - \\ & - 0,047 \cdot \omega_e^2 - 1,445 \cdot l_K^2 \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (23)$$

где ω_c, ω_z – угловые скорости вращения винта смесителя и гранулятора;
 $\omega_c = 9,0 \div 9,5 \text{ с}^{-1}; \omega_z = 14,0 \div 15,0 \text{ с}^{-1}$;

l_e – длина канала формующей решетки, $l_k = 13,6 \div 15,0 \text{ мм}$.

При данных значениях параметров плотность влажных гранул составила $\rho_k = 1077 \text{ кг} / \text{м}^3$, что на 21,3 % выше по сравнению с вариантом без использования компрессионной камеры.

Сушка гранул данной плотности в сушильном шкафу «ЭСПИС-4 Универсал» при их начальной влажности $W_n = 33,04 \div 34\%$, массовой доле необезжиренной соевой муки, равной $M_o = 48,8 \div 53,6\%$ и температуре сушки $t^o = 109,6 \div 110,4^o \text{ C}$ показала, что крошимость сушеных гранул $W_k = 8 \div 10\%$ находится на уровне 3,0–5,0 %, в соответствии с предъявляемыми требованиями [2].

Выводы

1. На основе принципа объемной деформации выражения и установлен характер взаимосвязей:
 - между необходимым давлением, объемом продукта и его структурно-механическими показателями;
 - между диаметром компрессионной камеры, ее длиной, начальной и конечной пористостью продукта, а также приращением его объема в камере;
 - между плотностью влажных гранул и объемной деформацией продукта с учетом его пористости.
2. На основе полученных математических моделей оценки плотности влажных и крошимости сушеных соево-мясокостных и соево-рыбокостных гранул обоснованы оптимальные значения параметров работы смесителя-гранулятора, снабженного компрессионной камерой.

Литература

1. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.
2. Рекомендации по разработке технологической линии и технических средств получения высокобелковых гранулированных кормовых смесей для сельскохозяйственных птицы / С.М.Доценко, Л.А. Ковалева, М.А. Зайцева [и др.]. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2007. – 30 с.
3. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.
4. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1967. – 552 с.

